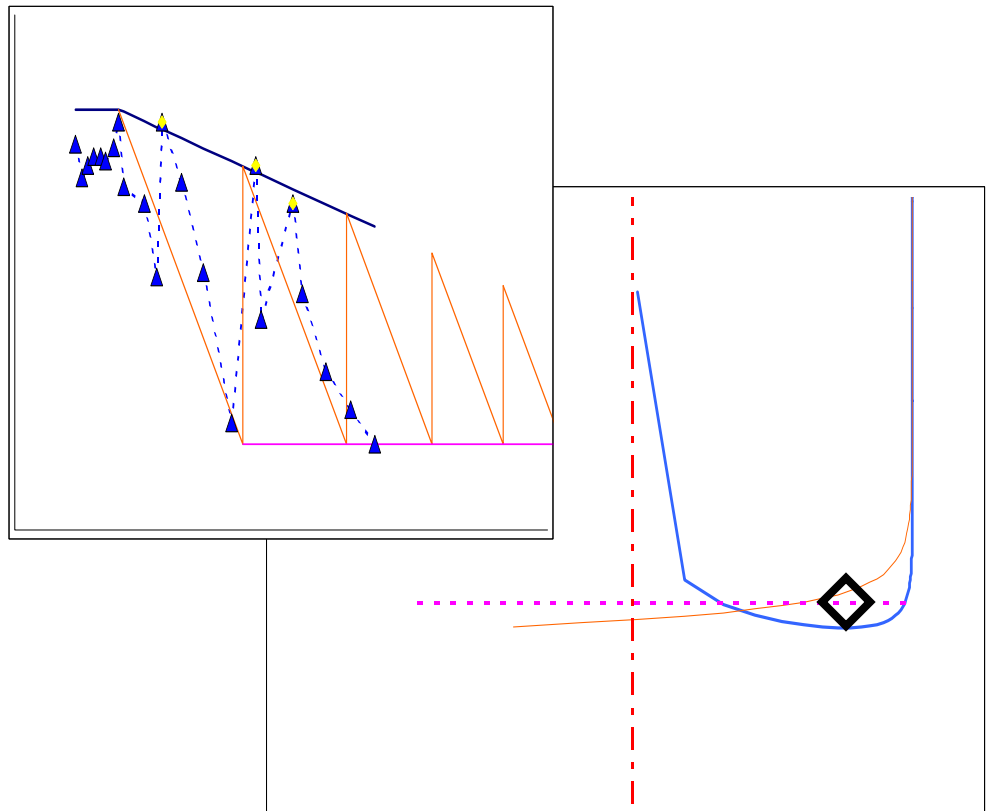


BTO 2004.023
juni 2004

Assetmanagement voor Pompputten

Regenereren of vervangen?



BTO 2004.023
juni 2004

Assetmanagement voor Pompputten

Regenereren of Vervangen?

© 2004 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Opdrachtgever
BTO

Projectnummer
11.1456.404

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Assetmanagement voor Pompputten – Regenereren
of Vervangen?

Projectnummer

11.1456.404

Projectmanager

Jan Willem Kooiman

Kwaliteitsborger(s)

Gijsbert Cirkel

Auteur

Kees Vink

Dit rapport is selectief verspreid onder medewerkers van BTO-participanten.

Bij het tot stand komen van dit rapport is dankbaar gebruik gemaakt van de adviezen van de leden van een klankbordgroep, bestaande uit medewerkers van waterbedrijven die betrokken zijn bij het project Assetmanagement voor Pompputten (zie Bijlage I).

Een CDROM is als bijlage opgenomen bij dit rapport. De CDROM bevat een Excel programma voor uitvoering van bedrijfseconomische berekeningen, voorbeeldbestanden van putgegevens en het voorliggende rapport in pdf format.

Samenvatting

De term “assetmanagement” heeft betrekking op een kosteneffectieve bedrijfsvoering waarvoor heldere doelstellingen en randvoorwaarden zijn geformuleerd in de vorm van service- en risicoprofielen. Toegepast op pompputten van waterbedrijven heeft assetmanagement m.n. betrekking op het maken van keuzen ten aanzien van onderhoud en vervanging van pompputten. De voor de bedrijfsvoering gekozen service- en risicoprofielen van putmanagement vormen de randvoorwaarden waarbinnen onderhoud en vervanging van putten geoptimaliseerd kunnen worden. De verschillende aspecten die bij de keuze van een service- en risicoprofiel aan de orde kunnen komen zijn in dit rapport in kaart gebracht in de vorm van een analyse van de relaties tussen putmanagement en bedrijfszekerheid.

Voorbeelden van concrete vragen die in dit verband door medewerkers van de waterbedrijven gesteld zijn:

- Moet ik Put X vervangen of regenereren?
- Wanneer moet Put X vervangen worden en met welk type put?
- Wanneer kan Put X het beste geregenereerd worden zodat de kosten minimaal zijn bij een optimale leveringszekerheid?
- Hoeveel geld moet ik per jaar reserveren voor vervanging en onderhoud?

Er is een aantal rekenschema's uitgewerkt en geïmplementeerd in een Excel programma om deze vragen voor concrete gevallen te kunnen beantwoorden. Het Excel programma is opgeslagen op de CDRom die is meegeleverd met het voorliggende rapport. Het programma bevat een module om het optimale vervangingsmoment van een put te bepalen en bevat tevens enige werkbladen waarin bedrijfseconomische basisbewerkingen voor putmanagement kunnen worden uitgevoerd. Deze werkbladen zijn te beschouwen als een digitale gereedschapskist en kunnen onafhankelijk van elkaar worden gebruikt. De thema's van de werkbladen zijn:

- Rente
- Inflatie
- Afschrijving
- Contante waarde en vergelijking van twee putten met verschillende investerings- en exploitatiekosten
- Energiekosten
- Optimaal vervangingsmoment van een put

Bij veel putten vormt de regeneratie een belangrijk onderdeel van de onderhoudskosten. Vooral nog is de mate van putverstopping van een nieuw aangelegde put meestal niet op voorhand te voorspellen met behulp van een theoretisch model. Bij het optimaliseren van putonderhoud en de bepaling van het optimale vervangingsmoment is echter wel een prognose van het verloop van de putverstopping en het effect van regeneratie benodigd. Er is daarom een pragmatische methode ontwikkeld waarmee een prognose van in de toekomst benodigde regeneraties van een bestaande put kan worden gemaakt, zodat bepaling van het optimale vervangingsmoment mogelijk is.

Inhoud

	Samenvatting	1
	Inhoud	2
1	Inleiding	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Doel	3
1.3	Aanpak	4
1.4	Leeswijzer	4
2	Theoretisch raamwerk	7
2.1	Definitie assetmanagement	7
2.2	Randvoorwaarden en uitgangspunten	8
2.3	Bedrijfseconomie	10
2.3.1	Afschrijving	10
2.3.2	Rentekosten	11
2.3.3	Rentevoet	11
2.3.4	Contante waarde	11
2.3.5	Energiekosten	12
2.4	Geohydrologie	13
2.5	Putverstopping en regeneratie	13
2.6	Putontwerp	16
2.7	Risico en strategie	17
3	Optimaal vervangingsmoment	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Karakterisering putverstoppingsverloop	19
3.3	Optimaal vervangingsmoment bij vervanging door een put van hetzelfde type	21
3.4	Optimaal vervangingsmoment bij vervanging door een put van een ander type	22
3.5	Discussie en conclusies	25
4	Literatuur	27
I	Deelnemers aan de workshops Assetmanagement voor Pompputten	29

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van het Bedrijfstakonderzoek (BTO) Optimalisatie winningstechnieken en strategieën is aanvankelijk voorgesteld om een Well Warning and Information System te ontwikkelen (WWIS), een informatiebeheersysteem waarmee putmanagement op bedrijfsniveau zou kunnen uitgevoerd. In tweede instantie is de opzet en reikwijdte van het genoemde WWIS sterk aangepast op grond van reacties vanuit de bedrijfstak op het projectvoorstel. In het algemeen bleken de in het BTO onderzoek participerende waterbedrijven geen behoefte te hebben aan een breed opgezet beheerssysteem voor putmanagement. In overleg met de betrokkenen is daarom het oorspronkelijke plan aangepast, waarbij de inhoud is beperkt tot het onderdeel assetmanagement voor putmanagement. Vervolgens zijn enige interviews met specialisten van waterbedrijven gehouden die zijn verwerkt in het plan van aanpak, getiteld "Assetmanagement voor Pompputten, - Plan van aanpak voor Toolontwikkeling" (Bernhardi, Kiwa, 2003).

Voor de uitvoering van het project heeft het overleg met de in het BTO participerende drinkwaterbedrijven plaatsgevonden via een klankbordgroep, bestaande uit medewerkers van de waterbedrijven die bij putmanagement betrokken zijn. Tijdens de uitvoering van het project is een drietal bijeenkomsten georganiseerd tijdens welke de klankbordgroep is geconsulteerd en de uitwerking van het project is bijgestuurd op grond van het commentaar uit deze groep. Prof. Dr. G. Blauwens, Voorzitter van het departement Transport en Ruimtelijke Economie van de Universiteit van Antwerpen en de heer R. Martijn van de afdeling Finance & Control van Kiwa NV is overlegd over de bepaling van het optimale vervangingsmoment. Tevens heeft overleg met betrokkenen uit de bedrijfstak plaatsgevonden over de functie en de beste vorm van het project tijdens het tweede kennisplatform putmanagement, dat is gehouden op woensdag 18 februari 2004. Als gevolg van het overleg met de betrokkenen uit de bedrijfstak is het accent van het project verschoven van facilitering van op assetmanagement gericht informatiebeheer naar op facilitering van op assetmanagement voor putmanagement gericht onderzoek.

1.2 Doel

Het project assetmanagement voor putmanagement heeft als algemeen doel een kosteneffectieve bedrijfsvoering van putten te bewerkstelligen die afgestemd is op een door betrokkenen te kiezen service- en risicoprofiel.

1.3 Aanpak

Om de hierboven beschreven doelen te realiseren zijn berekeningsmethodieken ontwikkeld die zijn geïmplementeerd in een Excel computerinstrument. Met deze tools wordt beheer en exploitatie van putten gefaciliteerd. Dit rapport en de bijbehorende programmatuur zijn primair bestemd voor puttendeskundigen.

De functies van het computerinstrument zijn navolgend opgesomd:

- Berekening van de kosten per m³ water voor een separate put.
- Kostenvergelijkingen van verschillende winmiddelen (bijvoorbeeld twee ondiepe putten in plaats van één diepe put, of één horizontale bron in plaats van vier verticale putten).
- Inzicht in het effect op de kosten per m³ water (winningskosten) van (uitgestelde) investeringen aan een put.
- Verschaffen van een methodiek en bijbehorende resultaten waarmee beslissingen op het gebied van assetmanagement voor pompputten onderbouwd kunnen worden.

Het computerinstrument biedt de mogelijkheid om de gevoeligheid van keuzen ten aanzien van de uitgangspunten te onderzoeken door invoerwaarden te variëren. Een beslissing over het al dan niet investeren in een productiemiddel wordt daarmee voorafgegaan door een iteratief proces waarin verschillende scenario's met behulp van het programma kunnen worden onderzocht. De resultaten kunnen tevens bijdragen aan een onderbouwing van beslissingen op het gebied van assetmanagement voor pompputten. De uitgangspunten en randvoorwaarden van de verschillende berekeningen worden in voorliggend rapport en in de begeleidende teksten in het computerinstrument nader toegelicht.

De verschillende aspecten die bij de keuze van een service- en risicoprofiel een rol kunnen spelen zijn in kaart gebracht in de vorm van een analyse van de relaties tussen putmanagement en bedrijfszekerheid.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van het theoretische raamwerk van assetmanagement voor putmanagement, bestaande uit definities, begripsomschrijvingen, randvoorwaarden en een beschrijving van de raakvlakken met techniek, risico's en strategie. Deze onderdelen vormen het algemene raamwerk waarbinnen de kernvragen van het project zijn uitgewerkt. Lezers die goed bekend zijn met assetmanagement voor pompputten kunnen dit hoofdstuk overslaan of op hoofdlijnen doornemen. In hoofdstuk 3 wordt de bepaling van het optimale vervangingsmoment van putten concreet uitgewerkt. Er wordt een methodiek gepresenteerd waarmee in de toekomst benodigde regeneraties kunnen worden geprognosticeerd. Een tweetal rekenschema's om op basis van de bedrijfseconomische

kenmerken het optimale vervangingsmoment te berekenen. In het bijgaande Excel programma is de berekening van het optimale vervangingsmoment, en daarmee de beantwoording van de vraag “Regenereren of Vervangen” nader toegelicht in het werkblad “Vervangingsmoment”.

2 Theoretisch raamwerk

2.1 Definitie assetmanagement

De term “assetmanagement” heeft betrekking op een kosteneffectieve bedrijfsvoering waarvoor heldere doelstellingen en randvoorwaarden zijn geformuleerd in de vorm van service- en risicoprofielen. Op 17 april 2003 is een workshop Assetmanagement bij Kiwa gehouden. Deze bijeenkomst vormt geen onderdeel van het project Assetmanagement voor Pompputten maar is gehouden in het kader van een algemener georiënteerd project dat betrekking heeft op assetmanagement op centraal strategisch bedrijfsniveau. Tijdens deze workshop over assetmanagement hebben diverse sprekers hun definitie van assetmanagement gegeven. Navolgend worden enige definities van (het doel van) assetmanagement geciteerd:

- *Efficiënt en rendabel omgaan met kwaliteit* (Rob van Veldhuizen, Corporate Finance Integrated Energy ABN)
- *Een geïntegreerd verbeteringsproces dat een waterleidingsbedrijf in staat stelt beslissingen te nemen om de levensduurkosten betreffende het bezit en gebruik van infrastructuur installaties te minimaliseren met behoud van het door de klant gewenste service niveau* (Association of Metropolitan Sewerage Agencies American Water Works Association, USA) - Uit de lezing van Klaas-Jan Kok, Global Business Development Manager Shell Services.
- *Maximaal invulling geven aan alle prestatie-eisen en prestatiewensen, tegen minimale (levensduur)kosten.* (Rob Visser, Duinwaterbedrijf Zuid-Holland).
- *In beeld brengen van kosten en risico's en transparantie van kosten om tot een gemotiveerd en afgewogen besluit te komen voor de gehele levenscyclus* (Jenne van der Velde, Vitens)

De expliciete verdiscontering van service- en risicoprofielen is specifiek voor de hedendaagse definitie van assetmanagement en onderscheidt deze van de klassieke invalshoek van de bedrijfshuishoudkunde. Toegepast op pompputten van waterbedrijven heeft assetmanagement m.n. betrekking op het maken van keuzen ten aanzien van onderhoud en vervanging van pompputten.

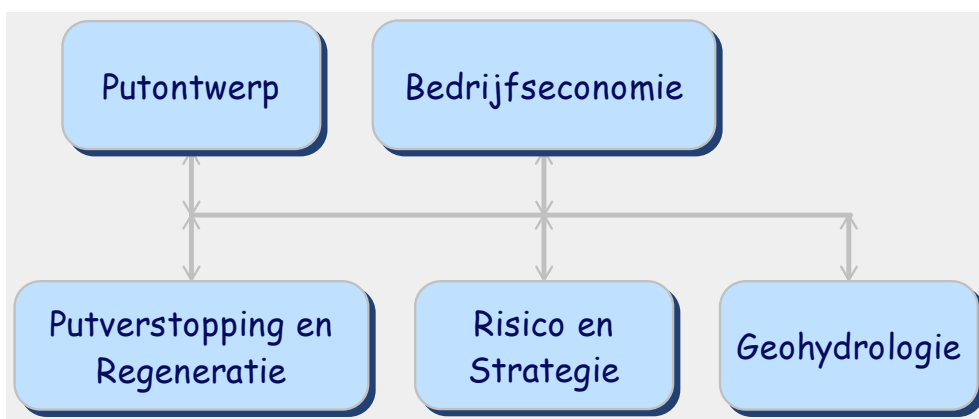
Concrete voorbeelden van vragen voor waterbedrijven:

- Wanneer moet Put X vervangen worden en met welk type put?
- Wanneer kan Put X het beste geregenereerd worden zodat de kosten minimaal zijn bij een optimale leveringszekerheid
- Hoeveel geld moet ik per jaar reserveren voor vervanging en onderhoud?

De voor de bedrijfsvoering gekozen service- en risicoprofielen van putmanagement vormen de randvoorwaarden waarbinnen onderhoud en vervanging van putten geoptimaliseerd kunnen worden. De verschillende aspecten die bij de keuze van een service- en risicoprofiel aan de orde kunnen komen zijn in dit hoofdstuk in kaart gebracht in de vorm van een analyse van de relaties tussen putmanagement en bedrijfszekerheid.

2.2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

De bedrijfseconomische optimalisatie wordt begrensd door randvoorwaarden die bestaan uit bedrijfseconomische, technische en strategische uitgangspunten. De randvoorwaarden kunnen simpelweg worden vastgesteld of aan de hand van een gestructureerde methode worden bepaald.



Figuur 1 Raakvlakken van de bedrijfseconomie met belendende terreinen bij putmanagement

In *Figuur 1* zijn de raakvlakken van assetmanagement voor putmanagement met belendende terreinen schematisch weergegeven. In het domein van deze raakvlakken worden de randvoorwaarden en uitgangspunten bepaald die de begrenzing vormen van het zoekgebied voor de bedrijfseconomische optimalisatie van het putmanagement. Een voorbeeld van deze randvoorwaarden binnen het domein "risico en strategie" is de keuze van het niveau van bedrijfszekerheid. Wanneer er minder preventief onderhoud aan een put wordt uitgevoerd dan eigenlijk nodig is, neemt de bedrijfszekerheid van de drinkwatervoorziening af. De kans dat de pomp uitvalt wegens achterstallig onderhoud of lucht gaat happen als gevolg van vergaande verstopping van het filter neemt dan toe. Bij uitval van putten neemt de capaciteit van de winplaats af en daardoor kan misschien niet aan de piekvraag worden voldaan. Anderzijds is het evenmin gewenst meer aan preventief onderhoud te spenderen dan nodig is om aan het gekozen service- en risicoprofiel te voldoen. Bedrijfseconomische optimalisatie kan pas plaatsvinden wanneer het gewenste risico- en serviceprofiel duidelijk is.

Ook binnen het bedrijfseconomische domein zelf moeten uitgangspunten en randvoorwaarden worden gekozen. Zo moet bijvoorbeeld de netto-rentevoet worden gekozen die wordt gehanteerd bij de berekening van de optimale levensduur van een put. De keuze van deze uitgangspunten en randvoorwaarden kan grote invloed hebben op het resultaat van een bedrijfseconomische optimalisatie en daarom is het van belang dat er voldoende inzicht bestaat in hun aard en betekenis. In *Figuur 2* zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten bij assetmanagement voor putmanagement schematisch weergegeven.

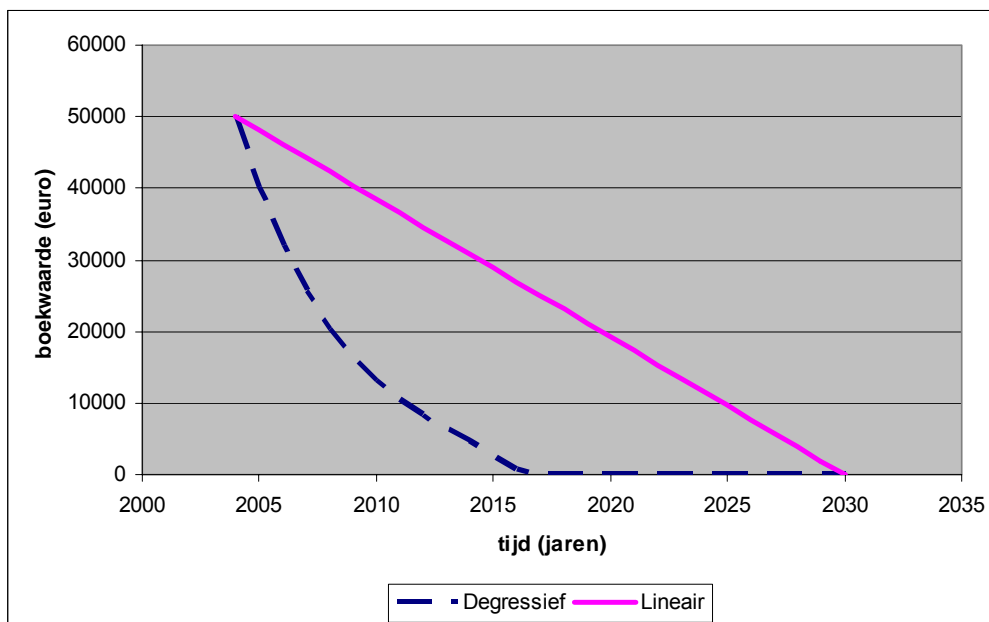


Figuur 2 Schematische weergave van de context van assetmanagement voor putmanagement.

2.3 Bedrijfseconomie

2.3.1 Afschrijving

De levensduur van een put bedraagt over het algemeen een periode van meerdere jaren. De variatie in levensduur is groot; er zijn putten die meer dan 50 jaar meegaan, er zijn ook putten die al binnen enkele jaren verstopt zijn en waar regeneratie duurder is dan aanleg van een nieuwe put. Het eerste type van putten komt voor bij winning uit diepe anaërobe pakketten terwijl de laatste vorm veelal kleine, ondiepe putten betreft met lage investeringskosten. Het is zinnig in dit verband onderscheid te maken tussen technische- en economische levensduur. De technische levensduur kan vaak verlengd worden door het uitvoeren van regeneraties. De economische levensduur is de levensduur die correspondeert met minimale gemiddelde totale kosten. De afschrijving is de bedrijfseconomische weergave van de waardevermindering van de put. Bij de *lineaire methode*, de meest gebruikte methode bij Nederlandse putten, wordt de boekwaarde van de put verminderd met een vast, jaarlijks bedrag gedurende de levensduur van de put. Soms wordt in de bedrijfseconomie een versnelde vorm van afschrijving toegepast waarbij de jaarlijkse afname van de boekwaarde wordt berekend als een percentage van de boekwaarde. Deze laatste vorm wordt degressieve methode genoemd (zie Figuur 3).



Figuur 3 Voorbeeld van twee verschillende afschrijvingsmethoden

2.3.2 *Rentekosten*

Rentekosten worden berekend over het in kapitaalgoederen geïnvesteerde kapitaal over de levensduur van de put. De berekening wordt niet door alle bedrijven op dezelfde wijze uitgevoerd. Vaak worden de rentekosten berekend over de gemiddelde boekwaarde van een put, verdisconteerd over de halve economische levensduur. Voorzover een productiemiddel nog niet afgeschreven is heeft dat productiemiddel boekwaarde. Wanneer de boekwaarde in geld beschikbaar zou zijn geweest en bij een bank zou worden beheerd zou er rente over kunnen worden ontvangen. Deze gedeerde inkomsten worden door de berekening van de rentekosten gerepresenteerd. Het is reëel om rentekosten mee te wegen in bedrijfshuishoudkundige berekeningen, ook voor drinkwaterbedrijven, want over in kapitaalgoederen geïnvesteerd kapitaal worden immers renteinkomsten gedeerd, of anders geformuleerd, over leningen bij banken moet rente worden betaald.

2.3.3 *Rentevoet*

De rentevoet is het rentepercentage dat jaarlijks wordt geheven over een lening of wordt uitgekeerd over een tegoed. De rentevoet is van belang bij berekening van de rentekosten van een investering en bij berekening van de contante waarde van een verzameling van toekomstige schulden en/of vorderingen (zie paragraaf 2.3.4).

2.3.4 *Contante waarde*

De contante waarde van een verzameling toekomstige vorderingen of schulden is de waarde daarvan teruggerekend naar een vast tijdstip, meestal het heden. Het effect van rente en inflatie wordt daarbij verrekend. De methode is geschikt om alternatieve investeringen met elkaar te vergelijken. De netto rentevoet die bij de berekening van de netto contante waarde wordt gebruikt is het verschil van kapitaalrente op een tegoed bij een bank minus de inflatie. Bij vergelijking van de *netto* contante waarde van twee alternatieven dienen alle kosten en baten verrekend te worden (vandaar het woord *netto*). Eventuele subsidies op een investering of exploitatie van kapitaalgoederen (zoals putten) moeten daarbij ook verdisconteerd worden. (Zie ook de betreffende werkbladen in het Excel programma). De keuze van het netto-rente percentage is vaak van grote invloed op het resultaat van de contante waarde berekening. Meestal bestaan er richtlijnen binnen een bedrijf over de keuze van de netto rentevoet. Naarmate de netto-rente hoger wordt gekozen neemt de contante waarde van een reeks toekomstige schulden of vorderingen af.

2.3.5 Energiekosten

De vermogen, ofwel de gebruikte energie per tijdseenheid voor het oppompen van water wordt berekend met formule 1:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot dH \cdot Q}{\eta_p \cdot \eta_a} \quad (1)$$

De energiekosten van een put bij exploitatie worden berekend volgens formule 2:

$$F = P \cdot t \cdot cE \quad (2)$$

Legenda

P	=	Vermogen, gebruikte energie per seconde (in W of Joule/seconde)
ρ	=	Dichtheid vloeistof (water: 1000 kg/m ³)
g	=	Gravitatie constante (9,81 m/s ²)
dH	=	Hoogteverschil (m)
Q	=	Volumestroom (debiet) (m ³ /s)
η_p	=	Rendement pomp (-)
η_a	=	Rendement pompaandrijving (-)
t	=	Tijdseenheid van de energiekosten (bijv. uur)
cE	=	Kosten van de energie per tijdseenheid (bijv. kWh)
F	=	Energiekosten

De energiekosten worden meestal uitgedrukt in euro/kWh. 1 kWh komt overeen met een vermogen van 1000 W (J/s) dat gedurende 1 uur wordt afgenomen. Naarmate het hoogteverschil toeneemt, zal het evenredig meer energie kosten om een debiet op te pompen. De vermogenskromme van een pomp wordt weergegeven met de pompkarakteristiek. De pompkarakteristiek geeft het verband tussen opvoerhoogte en debiet. Bij een toename van het te overbruggen hoogteverschil dH verandert bij de meeste pomptypen de verbruikte energiestroom nauwelijks maar vermindert het vooral het debiet. Bij enkele pomptypen blijft bij een toename van het hoogteverschil het geleverde debiet gelijk maar neemt het energieverbruik toe. De mate waarin de stijghoogte van het bepompde pakket varieert is van invloed op de energiekosten per volume-eenheid doordat het rendement van een pomp lager is naarmate de pomp voor een grotere fluctuatie van de benodigde opvoerhoogte geschikt moet zijn.

De afpompingskosten toenemen wanneer een pomp verstopt en daardoor zullen de energiekosten per opgepompte kubieke meter water toenemen. In de toekomst zal de energieprijzen naar verwachting toenemen en daarmee ook de energiekosten van het oppompen van water. Zie ook de betreffende werkbladen in het bijgaande Excel programma.

2.4 Geohydrologie

De geohydrologische situatie vormt een randvoorwaarde voor assetmanagement voor pompputten. Ter schetsing van de context is deze paragraaf opgenomen in het rapport.

Door de onttrekking van grondwater wordt de stijghoogte in de bepompte aquifer verlaagd. De mate waarin er peilverlaging optreedt, hangt af van de eigenschappen van de aquifer, de autonome¹ stijghoogte, het debiet dat onttrokken wordt en het putontwerp. Wanneer meerdere putten op korte afstand van elkaar zijn aangelegd dan is er sprake van onderlinge beïnvloeding: de peilverlaging van de ene put beïnvloedt de stijghoogte in de andere put. Over het algemeen wordt de onderlinge afstand van pompputten in een puttenveld vooral bepaald door de kosten van het ruimtebeslag van het puttenveld. De energiekosten vormen ook een criterium dat bij de afweging een rol speelt; hoe verder de pompputten van elkaar verwijderd zijn, hoe geringer de onderlinge beïnvloeding en hoe geringer de benodigde energie om het water op te pompen. Anderzijds nemen de kosten van leidingen en horizontaal transport toe naarmate de putten verder uiteen liggen. Het bereik waarover de stijghoogte fluctueert is van invloed op de ontwerpcriteria van de pomp; naarmate de fluctuatie groter is moet een pomp worden gekozen met een vlakkere pompkarakteristiek. Het gemiddelde energierendement van de pomp neemt af wanneer de pompkarakteristiek vlakker is. Naarmate de energieprijzen hoger worden, wat in de komende decennia te verwachten is, zal het belang van de energiekosten in de afweging toenemen. De onderlinge beïnvloeding van putten kan in extreme gevallen het drooglopen van een pomp veroorzaken. Het grondwaterpeil daalt dan door de onttrekkingen tot onder het niveau van één van de onderwaterpompen. De pomp gaat dan lucht happen en kan in het ergste geval doorbranden. De mate waarin een put verstopt is heeft invloed op de afpompings- en daarmee ook op de kans dat een pomp droogloopt.

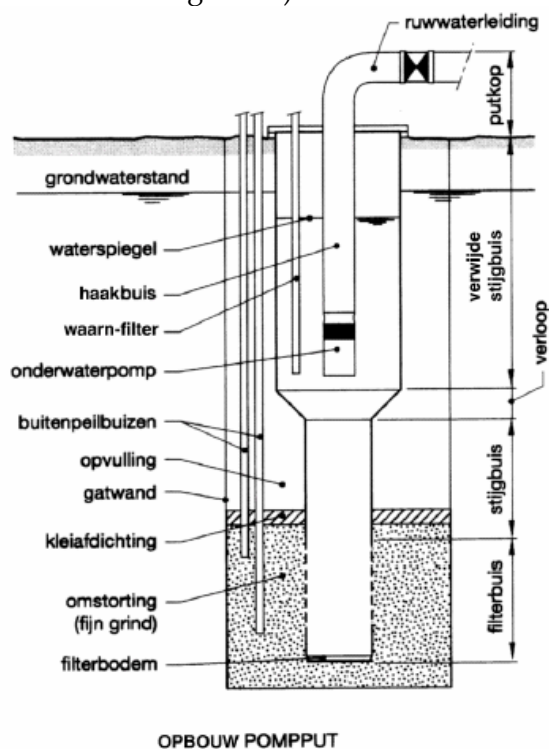
2.5 Putverstopping en regeneratie

Het fenomeen putverstopping vormt een belangrijke factor in de onderhoudskosten van pompputten. Er bestaan verschillende vormen van putverstopping. Dit proces treedt naar schatting op in 2/3 van alle putten. Bij ongeveer 1/3 deel van de pompputten vindt verstopping van de boorgatwand plaats, en bij 1/3 deel van de putten filterspleetverstopping (zie Figuur 4). Verstopping van de boorgatwand bestaat uit geleidelijke dichtslibbing van de boorgatwand met in het grondwater gesuspendeerde deeltjes. Dit type verstopping treedt vooral op bij winning van oevergrondwater en bij winning uit diepe anaërobe pakketten. Filterspleetverstopping is een vorm van chemische verstopping en betreft redox of zuur/base reacties van ijzer, mangaan, aluminium of kalk. Dit type

¹ De stijghoogte zonder het verlagende effect van de onttrekking

verstopping treedt vooral op in ondiepe pakketten van waaruit grondwater wordt aangetrokken uit verschillende geochemische milieus. De beide typen grondwater komen met elkaar in contact in het filter waarbij één of meerdere van de bovengenoemde reacties optreden.

Beide typen verstoppingen leiden tot een afname van de specifieke volumestroom² van putten. Het verloop van het verstoppingsproces is complex en hangt af van locatiespecifieke geohydrochemische omstandigheden en de wijze van bedrijfsvoering. De oorzaken en het verloop van verstopping van de boorgatwand zijn nog niet tot in alle details bekend. Wanneer te lang wordt gewacht met *regeneratie*, het verwijderen van de verstopping, is het niet meer mogelijk het initiële specifieke debiet van de put te herstellen. Er is dan sprake van permanent verlies van specifieke putcapaciteit als gevolg van secundaire verstoppingsprocessen. Deze secundaire processen kunnen een vorm van secundaire oxidatie betreffen of bijvoorbeeld de ontwikkeling van verstoppingsvormen die verband houden met bacteriële groei. Om het effect van secundaire putverstoppingsprocessen te vermijden is het wenselijk om bij verstoppende putten een maximale termijn in te stellen voor het regeneratie-interval (bijv. 2 - 3 jaar, afhankelijk van de lokale omstandigheden).



Figuur 4 Naamgeving onderdelen pompput (SBW 1995)

² De specifieke volumestroom van een put is het quotiënt van het debiet en de afpomping en heeft als eenheid m³/u/m. De specifieke volumestroom wordt ook wel

Consequenties van putverstopping zijn:

1. Toenemende kans op drooglopen van de pomp. Wanneer regeneratie van de put te lang wordt uitgesteld dan bestaat de mogelijkheid dat tijdens een periode met een piekvraag de onderwaterpompen zich “droog trekken” en daardoor oververhit raken. De pomp kan dan doorbranden. Bij vergaande mate van verstopping van meerdere putten van een puttenveld bestaat de mogelijkheid dat het benodigde debiet niet meer geleverd kan worden.
2. Toename van de energiekosten als gevolg van de afname van de specifieke volumestroom.
3. Verhoging van de kosten door verkorting van de levensduur van de pompputten door beschadiging en extra slijtage tijdens regeneratie.

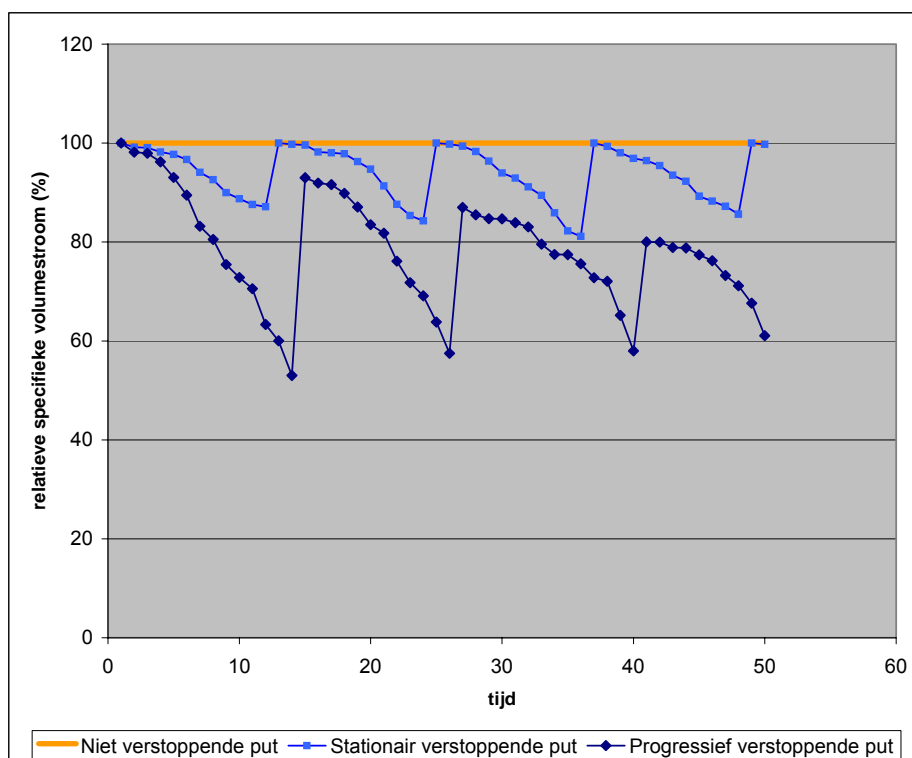
In de literatuur wordt aanbevolen te regenereren bij een relatieve specifieke volumestroom van 60% - 85%. In het Kennisdocument Putten (Kiwa, 2000) wordt geadviseerd om uiterlijk te regenereren wanneer een put voor 50% verstopt is omdat anders volledige regeneratie soms niet meer haalbaar is. In de praktijk kan het soms beter zijn om al eerder te gaan regenereren. Wanneer alle putten van een puttenveld 50% van hun oorspronkelijke specifieke capaciteit bezitten wegens verstopping, dan kan een piekvraag misschien niet opgevangen worden. Het is mogelijk dat vervroegd regenereren terugverdiend kan worden door een gemakkelijker, en daardoor goedkopere regeneratie en/of door besparing op de energiekosten. De laatste mogelijkheid is zelden van toepassing doordat de energiekosten meestal laag zijn in verhouding tot de regeneratiekosten³.

Er bestaan 3 typen putten wanneer putverstopping wordt beschouwd vanuit bedrijfseconomisch perspectief (zie Figuur 5):

1. Niet verstoppende putten;
2. Stationair verstoppende putten die met regelmatige intervallen geregenereerd moeten worden;
3. Progressief verstoppende putten, waarvan de specifieke volumestroom direct na regeneratie een structureel dalende trend vertoont, zodat steeds frequenter geregenereerd moet worden.

specifiek debiet of specifieke capaciteit genoemd. Voor nadere informatie: zie Kennisdocument Putten(velden), Kiwa 2000.

³ Een van de werkbladen in het voor assetmanagement bij putten gemaakte Excel programma heeft betrekking op de berekening van de energiekosten.



Figuur 5 Voorbeelden van het verloop van de relatieve specifieke volumestroom⁴ bij drie typen putten.

Niet verstoppende putten hoeven niet geregenereerd te worden en hebben een vrijwel onbeperkte technische levensduur. Stationair verstoppende putten hoeven meestal niet vervangen te worden op bedrijfseconomische gronden. Alleen wanneer er een nieuwe put kan worden aangelegd die significant kosteneffectiever zal zijn is vervanging aan de orde. Progressief verstoppende putten moeten op een geschikt moment vervangen worden. De wijze waarop het optimale vervangingsmoment van een put van dit type kan worden bepaald is beschreven in Hoofdstuk 3.

2.6 Putontwerp

Het putontwerp heeft betrekking op het dimensioneren van de put. Uitgebreide informatie over de aspecten die bij ontwerp van winputten aan de orde komen is opgenomen in het Kennisdocument Putten (Kiwa 2000). Bezien vanuit het oogpunt van assetmanagement is relevant dat het putontwerp invloed heeft op de investeringskosten, de onderhoudskosten en het energieverbruik van een put. Over het algemeen bestaat er een complementair verband tussen investeringskosten en onderhoudskosten: naarmate de put "zuiniger" ontworpen wordt zijn de investeringskosten

⁴ De relatieve specifieke volumestroom is het quotiënt van de momentane en initiële specifieke volumestroom, uitgedrukt in procenten.

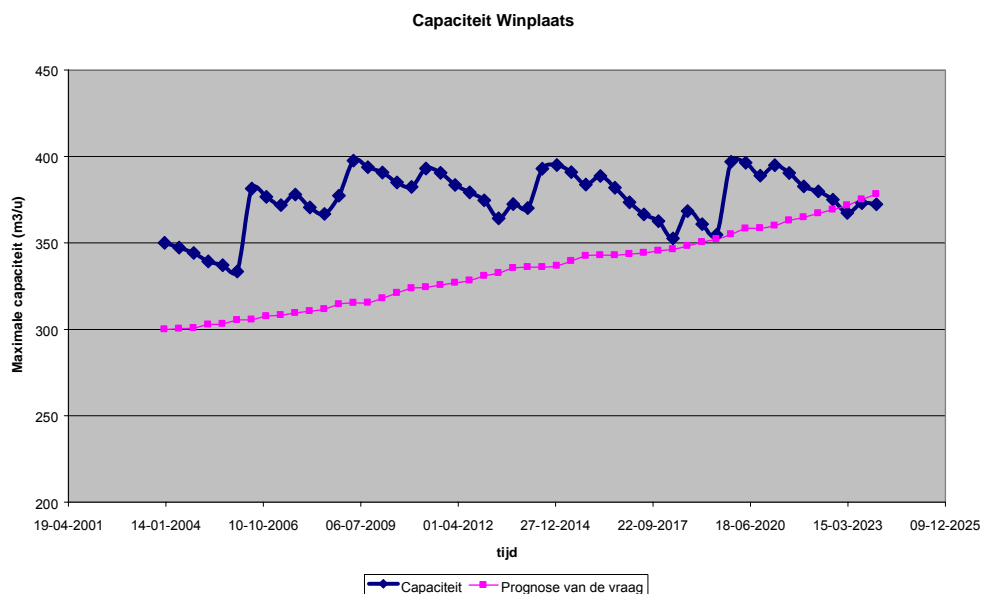
lager maar zijn de exploitatiekosten⁵ hoger. Uiteraard geldt dit verband binnen redelijke grenzen, het bestaat niet meer wanneer er sprake is van buitenproportionele overdimensionering. Er bestaat dus een optimaal economisch ontwerp, waarvoor geldt dat de gemiddelde kosten per opgepompte kubieke meter over de levensduur van de put minimaal zijn (Vink, 1989). In de praktijk is het moeilijk om op voorhand de onderhouds- en regeneratiekosten van een ontwerp nauwkeurig te schatten. Niettemin kan het zinvol zijn om door het uitvoeren van verkennende berekeningen inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de gemiddelde levensduurkosten voor verschillende ontwerpalternatieven. Een bekend voorbeeld is het verschil in investerings- en exploitatiekosten bij horizontale versus verticale putten. Bij winning van ondiep grondwater kan het interessant zijn om voor een horizontale put te kiezen. De investeringskosten van een horizontale put zijn vaak hoger dan wanneer voor eenzelfde capaciteit verticale putten worden aangelegd maar de exploitatiekosten zijn lager.

2.7 Risico en strategie

In de inleiding van het rapport is al aangegeven dat bij voorkeur expliciete service- en risiconiveaus benodigd zijn als randvoorwaarden van bedrijfseconomische optimalisatie. In definities van assetmanagement wordt het verband tussen kosten en kwaliteit meestal expliciet genoemd. Strategische aspecten die relevant zijn voor assetmanagement van putten houden verband met de maximale capaciteit van een put, puttenveld of winplaats. Ook de betrouwbaarheid van het functioneren speelt daarbij een belangrijke rol. De maximale capaciteit van een put neemt af bij toenemende verstopping door toename van de afpompings. De gevoeligheid is afhankelijk van de pompkarakteristiek. Vanaf een zekere mate van verstopping kan een pomp drooglopen en doorbranden. Dit komt relatief vaak voor op momenten dat er een pieklast geleverd moet worden. Wanneer een winplaats niet aan de vraag kan voldoen komt de bedrijfszekerheid/leveringszekerheid in gevaar (Figuur 6). Uit oogpunt van leveringszekerheid is het dus wenselijk om ruim voldoende onttrekkingscapaciteit op een winplaats beschikbaar te hebben en veel onderhoud te plegen. Uit oogpunt van minimalisering van kosten is het wenselijk om over niet meer onttrekkingscapaciteit op een winplaats te beschikken dan nodig is en niet meer onderhoud te plegen dan noodzakelijk is om aan het gekozen risico - en serviceprofiel te voldoen. Tussen de beide doelstellingen bestaat een spanningsveld. Hoewel meestal niet tot achter de komma kan worden uitgerekend wat het verband is tussen uitstel van onderhoud en bedrijfszekerheid kunnen hier toch werkbare schattingen voor worden bepaald. De eventuele aanwezigheid van "backup" capaciteit bij andere winplaatsen dient bij de bepaling van de risico's en de keuze van het service- en risiconiveau ook in aanmerking worden genomen. Uiteindelijk moet voldoende betrouwbaar en nauwkeurig inzicht worden verkregen in het effect van risicobeperkende maatregelen en de bijbehorende kosten. Steeds meer drinkwaterbedrijven verfijnen hun risicomanagement en formuleren expliciete doelstellingen en criteria voor bedrijfs- en

⁵ Onder exploitatiekosten wordt hier onderhoud- en energiekosten verstaan.

leveringszekerheid. Deze kunnen vervolgens als randvoorwaarde dienen bij de bedrijfseconomische optimalisatie.



Figuur 6 Fictief voorbeeld van het verloop van de capaciteit van de winplaats onder invloed van putverstopping. Putverstopping kan van invloed zijn op de capaciteit van de winplaats

3 Optimaal vervangingsmoment

3.1 Inleiding

In Hoofdstuk 2 is beschreven dat het merendeel van de putten met een constante frequentie van regenereren in goede conditie kan worden gehouden. Een minderheid van de putten vertoont echter een stelselmatig afnemende specifieke volumestroom na regeneratie. Voor deze deelverzameling van putten is de vraag relevant wanneer zij vervangen moeten worden. In dit hoofdstuk zal worden beschreven hoe het optimale vervangingsmoment kan worden berekend. De berekening is geïmplementeerd in het computerinstrument dat in het kader van het voorliggende rapport is gemaakt. Het betreffende instrument is bij het voorliggende rapport meegeleverd (CDROM). Bij de bepaling van het optimale vervangingsmoment wordt ervan uitgegaan dat de trendmatige verslechtering van de putcapaciteit direct na regeneratie niet wordt veroorzaakt door onjuiste keuze van de benodigde regeneratietechniek of door onjuiste planning of uitvoering van de regeneraties. Meer informatie over keuze van regeneratietechnieken is beschikbaar in het Kennisdocument Putten (Kiwa 2000) en in een NOBIS publicatie (van Beek et al. 2000). In 2004 is bij Kiwa nieuw inzicht verworven in de oorzaken en remedies van putverstopping van de boorgatwand (Kiwa, van Beek & de Zwart, publicaties in voorbereiding).

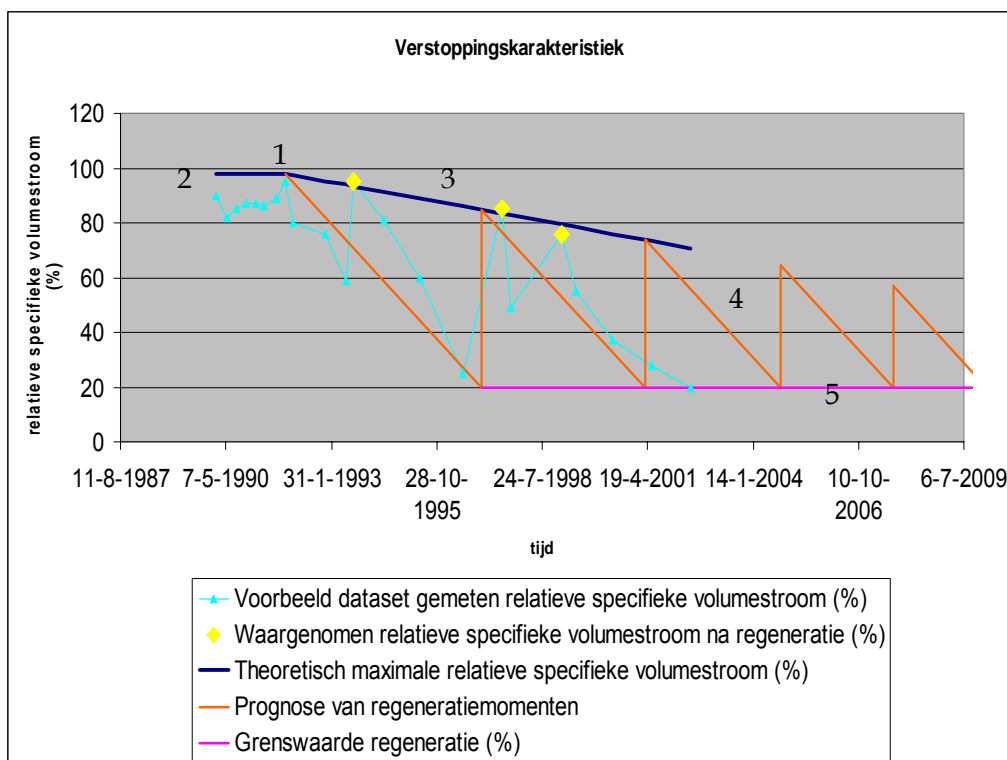
3.2 Karakterisering putverstoppingsverloop

Een voldoende betrouwbare prognose van in de toekomst benodigde regeneraties van een put zijn noodzakelijk voor een bedrijfshuishoudkundig optimaal beheer. In het voorliggende rapport is gekozen voor een empirische benadering van de regeneratieprognose. Het verloop van verstoppingen en regeneraties in de tijd kan worden gekarakteriseerd door een beperkt aantal parameters. De parameters kunnen worden bepaald door de corresponderende variabelen te "fitten" op waarnemingen van het verloop van de relatieve specifieke volumestroom van een put in de tijd (Figuur 7). De prognose wordt gekenmerkt door de volgende kengetallen:

1. Begindatum van structureel capaciteitsverlies
2. Beginwaarde theoretisch maximale capaciteit (%)
3. Helling theoretisch maximale capaciteit (%/d)
4. Helling afname relatieve specifieke volumestroom vanaf regeneratie (%/d)
5. Regeneratie criterium: grenswaarde relatieve specifieke volumestroom (%)

De nummers van de kengetallen zijn weergegeven in Figuur 7 bij het onderdeel waar zij betrekking op hebben. De eerste 3 kengetallen hebben

betrekking op de donkerblauwe lijn. Het 4^e kengetal heeft betrekking op de helling van de oranje lijn. Het 5^e kengetal heeft betrekking op de y-waarde van de violet gekleurde lijn.



Figuur 7 Voorbeeld van de methodiek voor prognose van benodigde regeneraties

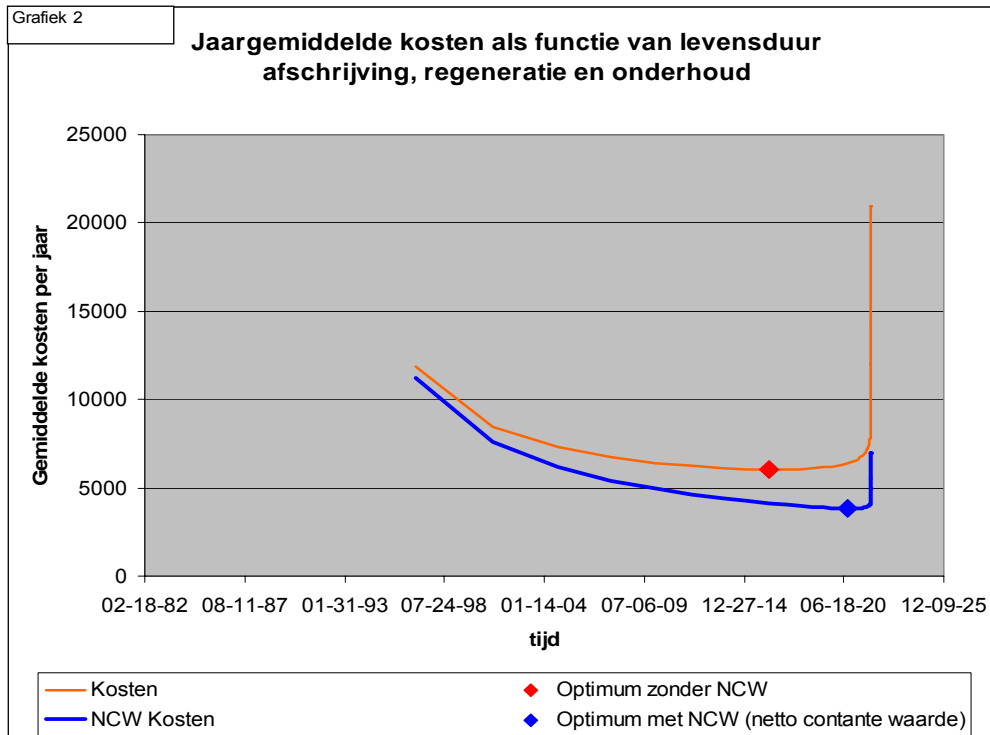
In bovenstaande figuur is een realistische empirische dataset weergegeven. Het verloop van de relatieve specifieke volumestroom is tamelijk grillig en de uitvoering van de regeneraties is niet altijd bij exact dezelfde grenswaarde uitgevoerd. Deze normale empirische variatie is in de prognose veralgemeniseerd tot een regelmatig verloop. De regeneraties worden geacht plaats te vinden op het moment dat de grenswaarde van de relatieve specifieke volumestroom net wordt overschreden. Ook de prognose van het resultaat van de regeneraties en het verloop van de putverstopping zijn veralgemeniseerde prognoses die minder grillig zijn dan de praktijk. De essentie van de hierboven beschreven methodiek betreft de prognose van de toekomstige regeneraties en de daar aan gerelateerde kosten. De instelling van de kengetallen benodigt een interpretatie van de beschikbare gegevens en kan het beste door ter zake kundigen worden uitgevoerd.

3.3 Optimaal vervangingsmoment bij vervanging door een put van hetzelfde type

Voor de bepaling van het optimale vervangingsmoment van een put door een andere put met *identieke eigenschappen* kan worden volstaan met een bepaling van de optimale levensduur van de put. De optimale economische levensduur van een put is de levensduur waarbij de gemiddelde kosten minimaal zijn. De uitwerking van deze berekening bestaat uit het berekenen van de kosten voor iedere mogelijke levensduur, te beginnen bij één jaar en te eindigen bij een levensduur waarbij de gemiddelde kosten beginnen toe te nemen (Figuur 8). Voor elk van deze mogelijke levensduren worden de investeringskosten, de totale exploitatiekosten en de rentekosten van de investering opgeteld en vervolgens gemiddeld over de betreffende levensduur. Het is gewenst om de netto contante waarde van de bedragen te berekenen omdat de verschillende kosten betrekking hebben op een meerjarige periode. De aldus berekende gemiddelde kosten over de levensduur wordt equivalente annuïteit genoemd (Blauwens et al, 2002). Het resultaat van deze berekening levert een holle curve op, waarbij de levensduur die correspondeert met minimale gemiddelde kosten optimaal is (zie Figuur 8). Bij zeer korte levensduren domineren de dan relatief hoge gemiddelde investeringskosten de kostenberekening, zoals te zien is aan de steile gradiënt aan de linkerkant van de grafiek. Door verlenging van de levensduur kunnen de investeringskosten over een langere periode worden uitgesmeerd zodat de gemiddelde kosten over de levensduur dan lager worden. Bij verdere verlenging van de levensduur begint op een bepaald moment de toename van de regeneratiekosten de afname van de over de levensduur gemiddelde investeringskosten te overstemmen en verandert de gradiënt van dalend naar stijgend, zoals te zien is in het rechterdeel van de grafiek. Het minimum van de gemiddelde kosten bevindt zich daar waar de gradiënt van de grafiek omslaat van dalend naar stijgend. Dit minimum correspondeert met de optimale levensduur van de put.

In Figuur 8 zijn de gemiddelde kosten als functie van de levensduur op twee manieren berekend, nl. met en zonder berekening van de netto contante waarde. Bij berekening van de netto contante waarde komt de curve lager te liggen en is de optimale levensduur langer dan zonder verdiscontering van de netto rente⁶. Het verschil is een gevolg van de eigenschappen van het rekenschema van de contante waarde: naarmate de rente hoger is en de periode langer is de contante waarde van een toekomstige kostenpost lager. De helling van de curve bij het minimum geeft informatie over de gevoeligheid van de berekening. Wanneer de curve bij het minimum over een traject van meerdere jaren vrijwel horizontaal verloopt, dan zijn de gemiddelde kosten niet bijzonder gevoelig voor een geringe verlenging of verkorting van de levensduur.

⁶ Netto rente: kapitaalrente - inflatie



Figuur 8 Voorbeeld van de gemiddelde kosten van een put als functie van de levensduur.

In bepaalde gevallen kan een hoge netto rente leiden tot een extreem lange optimale levensduur. Deze situaties doen zich voor wanneer de netto rente hoog is in vergelijking met de toename van de regeneratiekosten. De regeneratiefrequentie wordt uiteindelijk extreem hoog, maar doordat het tijdstip ver in de toekomst ligt, en de rente een hoge waarde is toegekend, is de netto contante waarde van de regeneratiekosten niettemin klein. Dergelijke resultaten zijn niet realistisch doordat ofwel de rente te hoog wordt gekozen, en/of er over een te lange planhorizon wordt gepland. Het is ook mogelijk dat niet alle bijkomende kosten van regeneraties zijn meegerekend, denk bijvoorbeeld aan productiederving tijdens het uitvoeren van regeneraties. Er is een tweede vervangingscriterium, het minimaal toegestane regeneratie interval (MTR), toegevoegd aan het rekenschema in het Excel programma om in de gaten te houden of de berekende regeneratiefrequentie reëel is.

3.4 Optimaal vervangingsmoment bij vervanging door een put van een ander type

Bij vervanging van een put door een *ander* type put is een andere berekening benodigd dan die in de vorige paragraaf beschreven is. Voor zowel de bestaande als de aan te leggen put moet een prognose van de gemiddelde kosten over de levensduur worden berekend. Voor de bestaande put is dit de resterende levensduur, voor de nieuwe put de totale economische levensduur. Bij de kostenvergelijking worden *alle* kosten bij handhaving van

een bestaande put vergeleken met *alle* kosten bij aanschaf van een nieuwe put. Aangezien het nog niet afgeschreven deel van de investeringskosten van een bestaande put niet komt te vervallen bij aanschaf van een nieuwe put moeten ze onderdeel uitmaken van de kostenberekening van beide alternatieven. In het rekenschema van het Excel programma is dit rekentechnisch uitgevoerd door de nog resterende afschrijvingen en rentekosten bij geen van de beide alternatieven in rekening te brengen. Bij de afweging tussen de continuering van de exploitatie van een bestaande put tegen het laten aanleggen van een nieuwe moet ook de eventuele restwaarde van de bestaande put in de afweging worden meegenomen. In bepaalde gevallen bestaat de restwaarde van een put uit de waarde van de pomp en de bijbehorende installatie, die in een nieuwe put hergebruikt kunnen worden. Eventuele dempingskosten van de bestaande put dienen bij de investeringskosten van de vervangende put te worden opgeteld. Subsidies of belastingvoordeel bij investering in een nieuwe put dient van de investeringskosten van de nieuwe put te worden afgetrokken. In Tabel 1 zijn de in de berekening te verdisconteren kostensoorten per alternatief opgesomd.

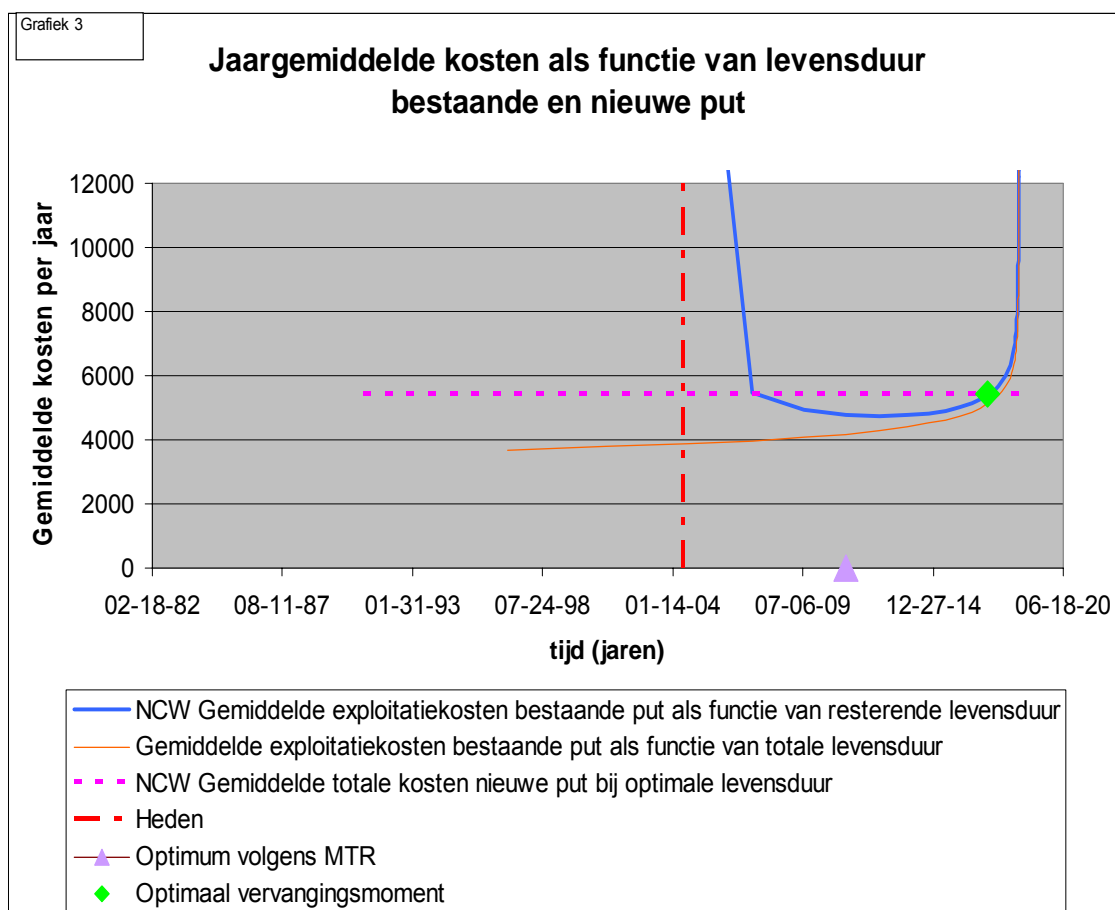
Tabel 1 Kostensoorten die per alternatief gesommeerd dienen te worden bij afweging van de alternatieven

Alternatief 1 Handhaven bestaande put	Alternatief 2 Aanschaf nieuwe put
Algemene onderhoudskosten	Algemene onderhoudskosten
Regeneratiekosten	Regeneratiekosten
Energiekosten	Energiekosten
	Netto Investeringskosten (Investeringskosten vermeerderd met eventuele dempingskosten van de bestaande put en verminderd met eventuele restwaarde, subsidies en belastingvoordelen)
	Rentekosten

Het gemiddelde van de totale gekapitaliseerde⁷ kosten over de levensduur wordt *equivalente annuïteit* genoemd (Blauwens et al. , 2002).

⁷ Gekapitaliseerd: het rente-effect is verrekend door de contante waardeberekening

In het bijgaande Excel programma worden voor de bestaande put de exploitatiekosten gekapitaliseerd over de resterende levensduur. Het optimale vervangingsmoment is het moment dat verlenging van de levensduur van de bestaande put zou leiden tot hogere kosten dan de optimale equivalente annuïteit van de nieuwe put. In Figuur 9 is het resultaat van de berekening grafisch gepresenteerd. De gemiddelde exploitatiekosten over de mogelijke resterende levensduur van de bestaande put zijn aanvankelijk zeer hoog doordat de kosten over een zeer korte tijdsduur worden gedeeld. Naarmate de periode langer wordt nemen de gemiddelde exploitatiekosten af. Vervolgens nemen deze kosten weer toe omdat de frequentie van de benodigde regeneraties sterk toeneemt. Op het snijpunt van de lijn van de gemiddelde exploitatiekosten van de bestaande put met de gemiddelde totale kosten van de nieuwe pompput ligt het optimale vervangingsmoment.



Figuur 9 Bepaling van het optimale vervangingsmoment bij vervanging door een put met andere eigenschappen

3.5 Discussie en conclusies

Een methode voor de bepaling van het optimale vervangingsmoment van putten is in dit hoofdstuk beschreven. In de bijgaande Excel werkbladen zijn de rekenschema's geïmplementeerd. Bij gebruik van het instrumentarium dienen de resultaten altijd kritisch te worden geïnspecteerd. De gevoeligheid van de resultaten voor de gekozen randvoorwaarden kan in bepaalde gevallen groot zijn, zodat een geringe wijziging van bijvoorbeeld de netto rentevoet, of de prognose van de regeneraties, grote veranderingen in het resultaat kan veroorzaken.

De verstoppingskarakteristiek van een put is voor iedere put weer anders. De pluriformiteit die in de praktijk bestaat ten aanzien van berekening van rentekosten, afschrijvingen en de keuze van de netto rentevoet geeft al aan dat het de bedrijfseconomie geen natuurwetenschap is en dat de benodigde keuzen een subjectief dan wel strategisch element bevatten. Overleg met de afdeling bedrijfseconomie van uw waterbedrijf over de keuze van uitgangspunten voor de berekeningen wordt daarom aangeraden.

4 Literatuur

- Anonymus, (2000), Kennisdocument putten; Ontwerp, aanleg en exploitatie van puttenvelden. Kiwa BTO 2000.210
- Beek van C.G.E.M., L. Vasak, A. Nieuwaal, G.C. Stefess en L.M.M. Bakker, (2000), Implementatie beslissystematiek ontwerp en onderhoud van infiltratie - en onttrekkingsmiddelen. NOBIS 98- 1- 08
- Beekman W. (2003), Verstopping van pompputten, beschrijving van een aantal processen. Kiwa BTO 2003.037
- Bernhardi L. (2003), Assetmanagement voor Putmanagement; Plan van aanpak. Kiwa BTO 2003.036
- Blauwens G., P. De Baere, en E. Van De Voorde. (2002), Transport Economics. ISBN 90 455 0218 6
- Prins, J. B. de Zwart en C.G.E.M van Beek (2004), "Betrouwbare deeltjestellingen, een stap voorwaarts in putonderzoek" H2O, Nr. 1 2004
- Pul J. (2002), De herinvesteringsbeslissing in de binnentankvaart. Afstudeerscriptie Universiteit van Rotterdam, Haven - en Vervoerseconomie.
- Vink C. (1989), Computer aided economic optimisation of borehole design. MSc Thesis, Silsoe College, Cranfield University.

I Deelnemers aan de workshops

Assetmanagement voor Pompputten

- Inke Leunk (Brabant Water)
- Carl van Rosmalen (Brabant Water)
- Joelle Verstraelen (Brabant Water)
- Rob Lafort (Delta)
- Pieter Dammers (DZH)
- Rob Breedveld (Hydron)
- Harrie Timmer (Hydron)
- Erik Amting (Vitens)
- Ton Ebbing (Vitens)
- Richard Nijenhuis (Vitens)
- Ate Oosterhof (Vitens)
- Jan van der Sluys (VMW)
- Steven Blaauw (Waterbedrijf Groningen)