

Waterzuivering transparant

**Een empirisch onderzoek naar de productiviteit
en doelmatigheid van de Nederlandse
rioolwaterzuiveringsinstallaties, 2002-2009**

Centrum voor Innovaties en Publieke Sector
Efficiëntie Studies, Technische Universiteit Delft



IPSE Studies

A.C.M. Dumaij
J.A. Wilschut

Delft, november 2012

IPSE Studies, Technische Universiteit Delft

COLOFON

Productie en lay-out: TU Delft, IPSE Studies

Druk: Sieca Repro Delft

Delft, november 2012

ISBN/EAN: 978-94-6186-093-4

JEL-codes: C33, D24, L53, L97, O33

TU Delft

IPSE Studies

Postbus 5015

2600 GA DELFT

Jaffalaan 5

2628 BX DELFT

T. 015-2786558

F. 015-2786332

E: ipsestudies@tudelft.nl

www.ipsestudies.nl

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van de Unie van Waterschappen, 2012.

Inhoudsopgave

Voorwoord	7
Samenvatting	9
Summary	13
1 Inleiding	17
1.1 Onderzoeksvragen en afbakening	17
1.2 Leeswijzer	19
2 Theorie en methode van aanpak	21
2.1 Inleiding	21
2.2 Het kostenmodel	22
2.2.1 Kostendoelmatigheid	22
2.2.2 Schaalearbeiden	24
2.2.3 Autonome kostenontwikkeling	25
2.3 Schatting van het kostenmodel	26
2.4 Verklaring van de kostendoelmatigheid	28
3 De gegevensbeschrijving	31
3.1 Bronbeschrijving	31
3.1.1 Productie	32
3.1.2 Ingezetten middelen	33
3.2 Dataselectie en kwantitatieve beschrijving	38
3.3 Ontwikkeling van de variabelen, 2002, 2006, 2009	42

4	Resultaten	43
4.1	Schattingsresultaten van de kostenfunctie	45
4.2	Schaaleffecten	46
4.3	Autonome productiviteitsontwikkeling	50
4.4	Kostendoelmatigheidsscores	50
4.5	Totale productiviteitsontwikkeling	52
4.6	Verklaring van de kostendoelmatigheid	52
4.7	Productiviteit in de literatuur	54
5	Conclusie, beschouwingen en aanbevelingen	59
5.1	Conclusies ten aanzien van de methodiek	59
5.2	Productiviteit en doelmatigheid	60
5.3	Kanttekeningen bij de productiviteit en doelmatigheid	61
5.4	Aanbevelingen	62
	Bijlage A De multi-product translogkostenfunctie	65
	Bijlage B Variabelen in de literatuur	69
	Bijlage C Gegevensmodel zuiveringsbeheer	71
	Bijlage D Overzicht van organisaties	85
	Bijlage E Schattingsresultaten	87
	Bijlage F Begrippen en definities	99
	Bijlage G Afkortingen	101
	Literatuur	103

Voorwoord

Het rapport dat voor u ligt is het resultaat van een verkennend onderzoek naar de productiviteit van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) in Nederland. De studie is de eerste productiviteitsmeting van rwzi's in Nederland in zijn soort en heeft een verkennend karakter.

De studie past in het voortdurende streven van de waterschappen naar het kosteneffectief uitvoeren van hun kerntaken. Het Bestuursakkoord Water, dat in 2011 door het rijk, de provincies, gemeenten, waterschappen en drinkwaterbedrijven is gesloten, zet in op verdere vergroting van de doelmatigheid. Daarin is doelmatigheid uitgewerkt naar besparingen, vergroting van de transparantie en vermindering van bestuurlijke drukte.

Het begrip 'doelmatigheid' heeft in de voorliggende studie betrekking op de kostendoelmatigheid en is een vergelijking van de individuele rioolwaterzuiveringsinstallaties en vergelijkbare installaties die met de laagste kosten opereren. Door bestaande gegevensbestanden uit de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer te ontsluiten en nader te analyseren wilde de Unie van Waterschappen zicht krijgen op de tussen 2002 en 2009 bereikte doelmatigheidswinst. Met de nodige slagen om de arm is dat gelukt: in de periode 2006-2009 is de totale productiviteit met 2,6 procent toegenomen en over de hele periode met in totaal 3,2 procent.

Tegelijkertijd past ons – en ook u als lezer/gebruiker – voorzichtigheid bij de interpretatie. Drie hoofdoverwegingen spelen hierin mee. Ten eerste betreft deze studie slechts een deel van het zuiveringsverhaal. Belangrijke aspecten als transport van afvalwater en verwerking van slib zijn buiten beschouwing gebleven, omdat daarvan geen gegevens beschikbaar waren op rwzi-niveau. Als tweede is 38 procent van de waarnemingen niet verwerkt, omdat de onderzoekers aan de betrouwbaarheid van een of meer metingen twijfelden. Drie waterschappen zijn zelfs in hun geheel buiten de beschouwing gebleven, omdat in een jaargang gegevens ontbraken. Het derde aspect betreft het beschouwde tijdsinterval. Enkele grote installaties, als de Harnaspolder (2009) en Amsterdam-West (2010) zijn niet in de studie betrokken. Wellicht heeft dit de scores van de schaaldoelmatigheid

beïnvloed. En het is juist na de onderzoeksperiode dat in deze sector de innovatiekoorts volop uitbrak met nieuwe zuiveringstechnieken (Nereda-technologie), energiefabrieken en grondstoffenfabrieken. Ook de ambitieuze besparingsdoelstellingen in het Bestuursakkoord Water, de visie op de afvalwaterketen 2030, green deals en klimaatakkoorden zijn gemaakt na 2009.

In het besef dat het cross-sectoraal toepassen van empirisch doelmatigheidsonderzoek in het zuiveringsbeheer nog in de kinderschoenen staat, hopen wij met deze verkenning een eerste stap te hebben gezet naar het regelmatig toepassen van de methodiek bij het analyseren van de prestaties in het zuiveringsbeheer. De voortzetting hiervan is een schone opgave voor de waterschappen bij hun kerntaken. *Waterzuivering transparant* verwijst dan ook naar de mogelijkheden om de productiviteitsontwikkeling van de rwzi's onderling te vergelijken.

Graag wil ik een aantal mensen bedanken voor hun bijdrage aan deze studie. In de eerste plaats uiteraard mijn collega's Adrie Dumaij en Janneke Wilschut voor het uitvoeren van het onderzoek. Daarnaast Eric Gloudemans (Unie van Waterschappen) en Kees Meinema-Linders (DHV) voor het aanleveren van de gegevens. Verder ben ik de leden van de begeleidingscommissie: Rob Uijterlinde, Wijnand Dekking en Ruud van Esch (alle drie Unie van Waterschappen), Paul van der Loo en Jacques Segers (Ontwikkelteam financiën van de Bedrijfsvergelijkingen Zuiveringsbeheer), Cora Uijterlinde (STOWA) en alle collega's van IPSE Studies erkentelijk voor hun waardevolle commentaar op de eerdere versie van dit rapport.

Jos Blank

Directeur Centrum voor Innovaties en Publieke Sector Efficiëntie (IPSE)
Studies

Technische Universiteit Delft

Delft, november 2012

Samenvatting

Achtergrond

Het bestuur en management van de waterschappen beschikken over gegevens van ruim tien jaar Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer. Op basis hiervan kunnen verschillende indicatoren bepaald worden die iets zeggen over de prestaties van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) onderling. In dit rapport beogen we de bedrijfsvergelijking aan te vullen met de integrale meting van de productiviteit van het zuiveringsproces en de vergelijking van de kostendoelmatigheid van de rwzi's.

Doelstelling en afbakening

De voorliggende studie verkent de mogelijkheden om de beschikbare gegevens en methodiek te gebruiken voor de bepaling van de productiviteit en de doelmatigheid van de Nederlandse rioolwaterzuiveringssector.

Het onderzoek richt zich op de rwzi's en omvat alleen het proces van het zuiveren van afvalwater. De processen 'transport van afvalwater' en slibverwerking van het zuiveringsbeheer zijn buiten de analyse gehouden en dat geldt ook voor de overige taken van de waterschappen. Alle installaties bevinden zich in Nederland. De onderzoeksperiode is van 2002 tot en met 2009. De periode is gekozen vanwege de beschikbaarheid van betrouwbare gegevens uit de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer.

Aanpak

De onderliggende vraag leent zich bij uitstek voor het gebruik van een kostenmodel. Op basis van de gegevens van de individuele rwzi's wordt een kostenfunctie geschat. De kostenfunctie is een wiskundige relatie tussen de kosten, productie en ingezette middelen. Bovendien is het mogelijk ontwikkelingen in de tijd te kwantificeren. Uit de kostenfunctie zijn enkele eigenschappen af te leiden. Om te beginnen leiden we de productiviteit af uit de kostenfunctie. De productiviteit is de verhouding tussen de kosten en de productie, gecorrigeerd voor de prijzen. De kostenfunctie beschrijft in feite de minimale kosten bij een bepaalde productie, oftewel de kosten van de

best presterende rwzi's. De meeste rwzi's maken echter meer kosten dan de best presterende rwzi's. De kostendoelmatigheid van een rwzi geeft het percentage van de kosten weer waartegen de rwzi (theoretisch) zou moeten kunnen opereren als deze dat volgens de best presterende rwzi zou gaan doen. Ten derde geeft de kostenfunctie weer of er winst te behalen is door op een andere schaal te gaan opereren. We kunnen dus schaaleardeffecten afleiden uit de kostenfunctie.

Tot slot kan de kostenfunctie opschuiven door autonome ontwikkelingen in de tijd. Deze ontwikkelingen worden veroorzaakt door technologische ontwikkeling of veranderingen in wet- en regelgeving. De individuele rwzi heeft hierop geen invloed. Over de hele linie is er dan sprake van een productiviteitsontwikkeling.

Zoals gezegd geeft de kostendoelmatigheid een beeld van de kostenreductie die een rwzi in potentie zou kunnen realiseren. Er kunnen echter goede redenen zijn waarom een bepaalde rwzi die reductie in de praktijk niet kan verwezenlijken, bijvoorbeeld door bepaalde omgevingsfactoren. Het is daarom interessant om na te gaan of er factoren te vinden zijn die samengaan met een gemiddeld lagere of hogere score van de kostendoelmatigheid. We hebben enkele kenmerken geselecteerd (die we verderop zullen benoemen) waarvan we de relatie met de kostendoelmatigheid bekijken.

Begrippen voor productiviteitsmeting

Productiviteit is de verhouding tussen de kosten en de productie, gecorrigeerd voor de prijzen.

De kostendoelmatigheid is de verhouding tussen de totale kosten van een rwzi en de minimale kosten waarmee de productie gerealiseerd had kunnen worden.

Schaaldoelmatigheid is het voortbrengen van de productie tegen minimale hoeveelheid inzet van middelen door optimale keuze van de schaal.

De autonome productiviteitsontwikkeling is een verschuiving in de hele sector, veroorzaakt door technologische ontwikkeling of wet- en regelgeving.

De gegevens

De kostenfunctie geeft de relatie weer tussen de kosten, de productie en de ingezette middelen. De gekozen productiemaat is samengesteld uit de hoeveelheid aangevoerd afvalwater, de hoeveelheid verwijderde fosfaat (P-jaarvracht), stikstof (N-jaarvracht) en chemisch zuurstofverbruik (CZV-jaarvracht) alsmede de geproduceerde hoeveelheid slib in tonnen droge stof. De kosten zijn berekend door de optelling van kosten van de middelen die

zijn gebruikt voor het zuiveringsproces. In deze studie is onderscheid gemaakt naar de kosten van personeel, materiaal, energie en kapitaal.

De gegevens voor de analyse zijn ontleend aan de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer 2002, 2006 en 2009. De observatie-eenheid is de rwzi in een bepaald jaar. De gegevens die gebruikt worden in deze analyse dekken 705 van de 1132 observaties. Hoewel er een paar nieuwe en wat grotere rwzi's buiten beschouwing zijn gelaten, is de gemiddelde hoeveelheid afvalwater van de rwzi's die buiten beschouwing zijn gelaten gemiddeld niet groter is dan die van de geïncludeerde rwzi's. De overige observaties bevatten ontbrekende of onwaarschijnlijke waarnemingen en zijn dus buiten beschouwing gelaten.

Resultaten

De productiviteit van het zuiveringsproces van de waterzuiveringsinstallaties is tussen 2002 en 2009 met in totaal 3,2 procent gestegen. Deze stijging vond vooral in de afgelopen jaren plaats: 2,6 procent in de periode 2006-2009. De stijging houdt vooral verband met een verbetering van de kostendoelmatigheid van de rwzi's (2,7%). De rwzi's zijn over het algemeen dus iets meer richting de beste-praktijk rwzi's opgeschoven. De gemiddelde kostendoelmatigheidsscore in 2009 is 86 procent. Dit houdt in dat als alle rwzi's zouden opereren volgens de beste praktijk rwzi's, er op termijn nog 14 procent aan kosten bespaard kan worden. Daarnaast is er een lichte productiviteitsverbetering door de schaalvergroting in de afgelopen jaren. Puur kijkend naar het zuiveringsproces kunnen er nog steeds schaalvoordelen behaald worden door schaalvergroting van de rwzi's, maar hierbij moet ook worden gekeken naar de transport- en slibverwerkingsfasen die hier buiten beschouwing zijn gelaten. Tot slot geldt dat in het onderzoek geen autonome productiviteitsontwikkeling is aangetroffen.

De kostendoelmatigheidsscores verschillen aanzienlijk tussen de waterschappen. De scores verschillen ook afhankelijk van het type beluchting dat wordt toegepast (puntbeluchting, bellenbeluchting, (kooi)rotoren of borstelbeluchting en overige beluchtingstechnieken). De installaties die gebruikmaken van (kooi)rotoren of borstelbeluchting scoren hierbij het hoogst, en de categorie overige beluchtingstechnieken het laagst. Er blijkt geen verband tussen de kostendoelmatigheidsscores en het bouwjaar van de installatie, de technologie voor defosfatering, de

technologie voor slibstabilisatie of het soort ondergrond waarop de rwzi is gebouwd.

Kanttekeningen

De resultaten moeten met voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Niet alle waarnemingen zijn gebruikt vanwege ontbrekende of onwaarschijnlijke gegevens, en er kan sprake zijn van meet- en invoerfouten in de gegevens. Niet alle beschikbare gegevens zijn gestandaardiseerd zoals afschrijvingen, en enkele gegevens, zoals personeelsgegevens, zijn geëxtrapoleerd. Daarnaast kunnen de verklaringen voor verschillen in de doelmatigheidsscores zijn beïnvloed door niet-waargenomen variabelen. In dat geval wordt een effect bijvoorbeeld toegeschreven aan een technologie, terwijl het effect in werkelijkheid moet worden toegeschreven aan de variabele die met de technologie samenhangt.

Aanbevelingen

Deze studie is een verkennend onderzoek naar de productiviteit in de waterzuiveringssector. Hoewel er verbetermogelijkheden zijn, blijken de beschikbare gegevens geschikt voor een dergelijke analyse. We hebben ook een eerste stap gezet in het vinden van verklaringen voor de verschillen tussen rwzi's, en daarmee mogelijke doelmatigheidsverbeteringen. Naast het type beluchtingstechniek zijn er mogelijk nog andere factoren die een verband laten zien met de kostendoelmatigheid. Bovendien zeggen de resultaten niets over de effectiviteit van de verschillende technieken, wellicht is er sprake van leereffecten van nieuwe technieken en worden die in de toekomst goedkoper. Ook de verschillen in doelmatigheidsscores tussen waterschappen kunnen nader onderzocht worden aan de hand van governancekenmerken van de waterschappen. Dit zijn bijvoorbeeld het personeelsbeleid, automatiseringsbeleid, de managementstructuur, mate van decentrale verantwoordelijkheid en mate van externe samenwerking. Ten slotte kan het onderzoek worden uitgebreid tot het complete zuiveringsbeheer, inclusief het transport en de slibverwerking. Hiervoor zijn wel gegevens nodig. Een goede duiding van resultaten vereist daarom een verdiepingsslag. De resultaten kunnen richting geven aan de te voeren discussie binnen de sector.

Summary

Background

The board and management of Dutch water boards have data going back more than a decade from the wastewater treatment management benchmark (*Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer*). On the basis of these data, several indicators are defined that tell us something about the comparative performance of wastewater treatment plants (WWTPs) themselves. In this report we aim to extend the benchmark by adding an integral measurement of the productivity of the plants' wastewater purification and a comparison of their cost efficiency.

Objective and scope of the study

The present study explores the possibilities of the available data and the methodology used to determine the productivity and cost efficiency of the Dutch wastewater treatment sector.

The research focuses on the wastewater treatment plants and includes only the process of purifying wastewater. The transportation of wastewater and the processing of sludge from the purification process are beyond the scope of this analysis, as are the other tasks of the water boards. All the plants concerned are in the Netherlands. The study period was from 2002 to 2009. The period was chosen because of the availability of reliable data from the *Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer* benchmark.

Approach

The underlying question is ideal for using a cost model. Data from the individual wastewater treatment plants are used to estimate a cost function. The cost function is a mathematical relation between costs, production and resources. Moreover, it is possible to quantify developments over time. A number of properties can be derived from the cost function. To begin with, we can derive productivity from the cost function. Productivity is the ratio between cost and production, adjusted for prices. The cost function describes the minimum cost for a given production, in other words, the cost of the best

performing wastewater treatment plants. However, most WWTPs incur more costs than the best performing WWTPs. The cost efficiency of a WWTP indicates the percentage of the cost of the WWTP (theoretically) should it operate at the same level as the best performing WWTP. Thirdly, the cost function shows the effect to be made by a different scale of operation. So we can derive scale effects from the cost function.

Finally, the cost function shifts by autonomous developments over time. These developments are caused by technological developments or changes in laws and regulations. The individual wastewater plant has no influence on that. Across the sample of WWTPs there is then a development of productivity.

As said, the cost efficiency presents a picture of the costs that a WWTP could potentially save. However, there may be good reasons why a particular WWTP cannot achieve these savings in practice, for example, because of certain environmental factors. It is therefore interesting to examine whether there are any particular factors associated with a lower or higher cost efficiency. We have selected some factors which might explain the differences in cost efficiencies.

Concepts for productivity measurement

Productivity is the ratio between cost and production, adjusted for prices.

The cost efficiency is the ratio between the total cost of a wastewater treatment plant and the minimum cost with which production could be achieved.

Scale efficiency is the production at minimal use of resources by optimal choice of the scale.

The autonomous productivity development is a shift in the entire sector, caused by technological development or legislation.

The data

The cost function shows the relationship between production costs and resources used. The selected measure of production is made up of the amount of wastewater received by the plant, the amount of phosphate removed (P-annual load), nitrogen removed (N-annual load) and chemical oxygen demand removed (COD load-year) as well as the quantity of sludge produced, measured in tonnes of dry matter. The cost is calculated by adding up the cost of resources used for the treatment. In this study, a distinction is made between the costs of personnel, materials, energy and capital.

The data for the analysis are drawn from the *Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer* 2002, 2006 and 2009. The unit of observation is the WWTP in a given year. The data used in this analysis cover 705 of the 1132 observations. Although some of the larger and newer WWTPs are excluded, the average amount of wastewater of all WWTPs excluded was not larger than the average amount of wastewater of the other WWTPs. The other observations contain missing or implausible observations and are therefore disregarded.

Results

The total productivity increase of wastewater treatment between 2002 and 2009 is 3.2 percent: that is 0.6 percent in the period 2002-2006 and 2.6 percent in the period 2006-2009. This increase is mainly due to an improvement in the cost efficiency of the wastewater treatment (2.7%). The WWTPs have generally shifted a little more towards the performance of the best performing WWTP. The average cost-efficiency score in 2009 is 86 percent. This means that if all WWTPs were able to operate according to the best performing WWTPs, another 14 percent of the total cost could be saved in time. A slight improvement can be seen in productivity through scale effects in recent years. Purely looking at the treatment process, scale efficiencies can still be achieved through expansion of the plants. The scale discussions, however, must take transportation of wastewater and sludge processing into account, which we omitted in this study. And finally, the study found no autonomous productivity development.

The cost-efficiency scores differ significantly between water boards. Moreover, the scores differ depending on the type of aeration that is used (point aeration, fine bubble aeration, (cage) and aeration rotors, brush or other aeration techniques). The installations that use (cage) rotors or brush aeration score the highest and the lowest category is other aeration techniques. There appears to be no relationship between the cost efficiency scores and the age of the plant, the technology for phosphorus removal, the technology for sludge stabilisation or the type of surface on which the treatment plant is built.

Limitations

The results should be interpreted with caution. Not all data are used, due to missing or implausible observations, and possible measurement and input errors in the data. Not all data used were in a standardised form, such as depreciation, and some data on personnel were extrapolated. In addition, the differences in the efficiency scores could be explained by unobserved variables. For example, an effect might be attributed to a technology, while, in reality, the effect is to be attributed to the variable that is associated with the technology.

Recommendations

This research is an exploratory study of productivity in the wastewater treatment sector. Although there are opportunities for improvement, the available data have proven suitable for such an analysis. We also took a first step in finding explanations for the differences in efficiency scores between WWTPs, and thus towards potential efficiency improvements. In addition to the type of aeration technology, there may be other factors that could explain the differences. Moreover, the results say nothing about the effectiveness of different techniques. There may possibly be learning effects associated with new techniques and these new techniques might be cheaper in the future. The differences in efficiency scores between water boards can be further investigated on the basis of governance characteristics of the water boards. These include human resources, IT policy, the management structure, degree of decentralised responsibility, degree of external cooperation, and so on, provided that there are data available. Finally, the research may be extended to the complete wastewater treatment process, including transportation of wastewater and sludge processing. More data are needed to facilitate this. Proper interpretation of results therefore requires further analysis. The results can be used to guide the discussion and support communication in the wastewater treatment sector.

1 Inleiding

Het bestuur en management van de waterschappen beschikken over gegevens van ruim tien jaar bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer. Hiermee kunnen de prestaties en kosten van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) vergeleken worden met de prestaties en kosten van alle overige installaties. Ook kunnen de ontwikkelingen van de eigen prestaties door de tijd heen inzichtelijk gemaakt worden. De bedrijfsvergelijking is daardoor een belangrijk instrument voor het verbeteren van de prestaties, doelmatigheid en transparantie in de sector. De uitkomsten van de bedrijfsvergelijking geven informatie aan de waterschappen om de bedrijfsvoering te verbeteren. In dit rapport beogen we de bedrijfsvergelijking aan te vullen door de productiviteit en de kostendoelmatigheid van het zuiveringsproces per rwzi te meten en te verklaren.

1.1 Onderzoeksvragen en afbakening

Het onderzoek heeft tot doel na te gaan of de productiviteitsontwikkeling en doelmatigheid van de Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties vastgesteld kan worden op basis van beschikbare gegevens uit de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer (2002, 2006, 2009).

Het onderzoek is verkennend, want dergelijk onderzoek is niet eerder uitgevoerd voor de rwzi's. Het verslag is uitgewerkt als onderzoeksrapport om de aanpak te verantwoorden en een basis te leggen voor vernieuwing voor zowel de aanpak als de gebruikte gegevens.

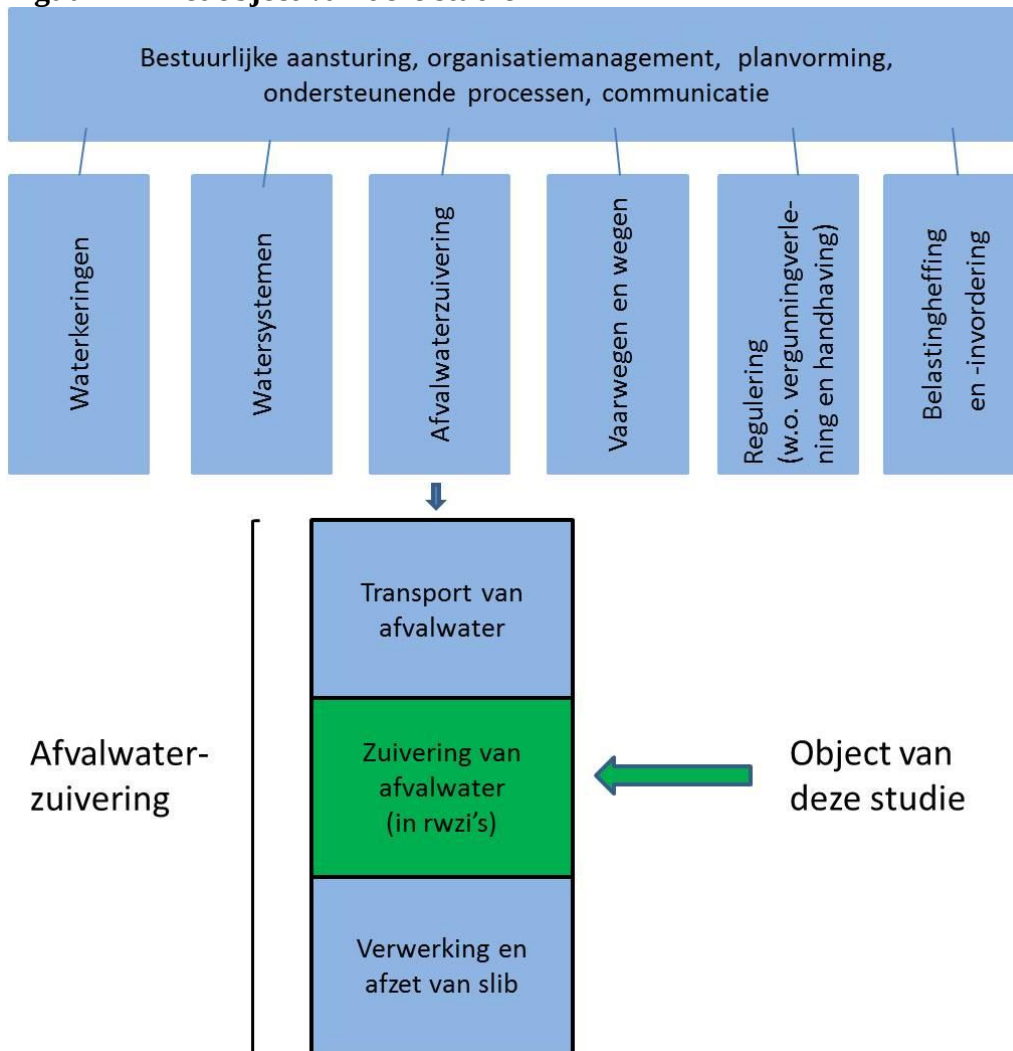
Het doel van het rapport is niet maatschappelijke vraagstukken oplossen of maatschappelijke afwegingen mogelijk maken. Het rapport is primair een meting en verklaring van productiviteit en kostendoelmatigheid op basis van de aangeleverde gegevens. De beoogde doelgroep is dan ook dezelfde als die voor de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer: de waterschappen zelf.

De centrale onderzoeksvragen zijn:

1. Zijn de gegevens geschikt voor productiviteitsmeting en analyse van de kostendoelmatigheid?
2. Hoe heeft de productiviteit van de rwzi's zich de afgelopen jaren ontwikkeld?
3. Hoe ziet de decompositie van de productiviteitsontwikkeling eruit naar autonome ontwikkeling, schaalontwikkeling en kostendoelmatigheid?
4. Hoe kan de doelmatigheid van de rwzi's verklaard worden?

Het onderzoek richt zich op het zuiveringsproces van de rwzi's. Het transport van het afvalwater vanuit de riolering naar de rwzi's en de slibverwerking maken geen deel uit van deze studie. Ook de andere taken van het waterschap, de bestuurlijke aansturing, centrale ondersteunende processen en processen zoals vergunningverlening en handhaving en belastingheffing zijn niet in dit onderzoek betrokken. Het niveau van de analyse (de rwzi) en de periode zijn gekozen vanwege de beschikbaarheid van gegevens. Figuur 1.1 geeft aan welk deel van de taken van het waterschap in beschouwing zijn genomen.

Figuur 1-1 Het object van deze studie



Bron: Unie van Waterschappen

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de theorie en de methode van aanpak. In hoofdstuk 3 gaan we verder in op de gebruikte gegevens. In hoofdstuk 4 beschrijven we de resultaten en in hoofdstuk 5 geven we tot slot een beschouwing van de resultaten, conclusies en kanttekeningen.

2 Theorie en methode van aanpak

2.1 Inleiding

Over productiviteits- en doelmatigheidsanalyses zijn veel boeken en artikelen geschreven. De basis voor de modellen en de formules wordt gevormd door de dualiteitstheorie die is ontwikkeld door Shephard en uitgebreid is beschreven door Färe en Primont (1995). Coelli et al. (2005) geven een inleiding op vier basismethoden van doelmatigheids- en productiviteitsstudies, waaronder *Data Envelopment Analysis* (DEA) en *Stochastic Frontier Analysis* (SFA). Fried et al. (2008) geven eveneens een overzicht van de verschillende methoden om doelmatigheid te bepalen. Kumbhakar en Lovell (2000) gaan veel dieper in op SFA. Blank (2000) laat aan de hand van een aantal voorbeeldstudies zien hoe de methoden in praktijk gebracht kunnen worden. De hiervoor genoemde literatuur dient als algemene basis voor dit onderzoek.

Een veelgebruikte en eenvoudige methode om de productiviteit uit te rekenen is het toepassen van een ratio, zoals de ratio van de hoeveelheid aangevoerd afvalwater en het volume kapitaal. Een dergelijke benadering geeft de globale ontwikkeling in de tijd weer of globale verschillen tussen rwzi's. Met deze ratio's is het moeilijk recht te doen aan de diversiteit van de rwzi's en de complexiteit van het productieproces. Voor de beperkingen van het gebruik van dit soort ratio's in een situatie dat er sprake is van een *multiple input multiple output* productie wordt verwezen naar bijvoorbeeld Lovell (2000). Vanwege de beschikbaarheid van microgegevens uit de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer kunnen er ook nieuwe en meer geavanceerde technieken worden toegepast. Een van deze technieken is het toepassen van een kostenmodel. De onderhavige studie maakt gebruik van zo'n kostenmodel.

Een kostenmodel heeft een aantal voordelen ten opzichte van een ratio. De kostenfunctie kan met meerdere verschillende producten (of productgroepen) en ingezette middelen overweg zonder dat er *a priori* gewichten aan de producten of middelen moeten worden toegekend. Met het

kostenmodel is zo de productiviteit vast te stellen na correctie voor prijzen en eventuele omgevingsvariabelen.

Behalve het kostenmodel zijn er nog vele andere modellen die op een of andere wijze de kosten- of productiestructuur in kaart brengen. Voor een overzicht hiervan en een toelichting op de verschillende modellen zie bijvoorbeeld Blank (2010). Voor deze studie ligt de kostenfunctie het meest voor de hand, omdat bij die aanpak kostenminimalisatie het uitgangspunt is bij gegeven productie. Ook voor een rwzi is de hoeveelheid te zuiveren afvalwater een gegeven.

2.2 Het kostenmodel

Het kostenmodel dat we gebruiken voor de rwzi's bestaat uit een kostenfunctie en daaruit af te leiden kostenaandelenfuncties. Een dergelijk model is bij uitstek geschikt om te bepalen hoe de productiviteit in de sector zich de afgelopen jaren heeft ontwikkeld en hoe de rwzi's zich onderling verhouden op het gebied van de kostendoelmatigheid. Een kostenfunctie geeft de (wiskundige) relatie weer tussen enerzijds de kosten en anderzijds de omvang en samenstelling van de productie, de prijzen van de ingezette middelen (zoals salarissen) en de stand van de techniek. De kostenfunctie is weer te geven met een wiskundige vergelijking, waarvan de parameters op basis van de beschikbare gegevens worden vastgesteld. Dit zal in de volgende paragraaf worden toegelicht aan de hand van figuur 2-1.

Het kostenmodel beschrijft de productiviteit. Uit het kostenmodel zijn diverse economische relaties af te leiden. Het gaat hier om de volgende relaties:

- kostendoelmatigheid;
- schaaffecten;
- autonome kostenontwikkelingen.

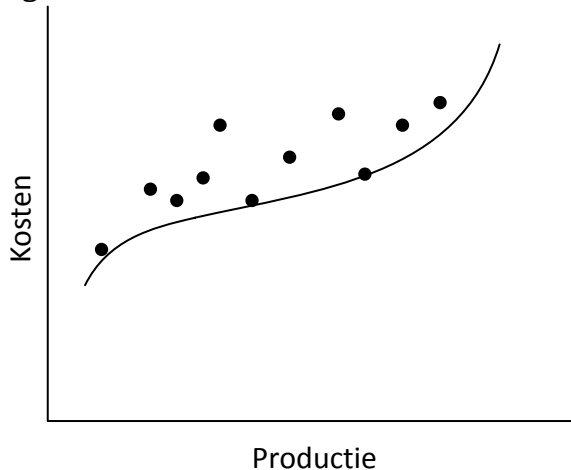
In het vervolg van dit hoofdstuk worden de belangrijkste begrippen nader toegelicht.

2.2.1 Kostendoelmatigheid

In deze paragraaf bespreken we de kostendoelmatigheid van een rwzi. Figuur 2-1 geeft een grafische voorstelling van kostendoelmatigheid. Op de

horizontale as is de productie weergegeven en op de verticale as de kosten. Ieder punt in de figuur representeert de kosten en productie van een rwzi. In de figuur is ook een vereenvoudigde kostenfunctie getekend.

Figuur 2-1 Voorbeeld van een kostenfunctie en kostendoelmatigheid



Er zijn technieken om de kostenfunctie zo te bepalen dat deze aan de onderkant van de puntenwolk van rwzi's ligt. Aan de onderkant van de puntenwolk liggen de rwzi's met de laagste kosten gegeven de productie; per euro kosten zijn dit dus eigenlijk de meest productieve rwzi's. De functie die de onderkant van de puntenwolk beschrijft, kent verschillende benamingen zoals beste praktijk, *frontier* of grenskostenfunctie. Rwzi's die op de frontier liggen zijn kostendoelmatig. Rwzi's die niet op de frontier liggen zijn kostenondoelmatig en zouden theoretisch een verbetering van maximaal de afstand tot de kostenfunctie kunnen realiseren. De (relatieve) afstand tot de kostenfunctie is de kostendoelmatigheid van de rwzi. Een score van 100 procent wil zeggen dat de rwzi doelmatig opereert. Een lagere doelmatigheidsscore, bijvoorbeeld 87 procent, wil zeggen dat de rwzi (theoretisch) een besparing van 13 procent ($= 100\% - 87\%$) kan bewerkstelligen door kostendoelmatig te opereren. In de praktijk kunnen er echter goede redenen zijn waarom een rwzi dat (op korte termijn) niet kan, bijvoorbeeld omdat deze rwzi met bepaalde omgevingsfactoren of beslissingen over kapitaal te maken heeft.

Het is mogelijk dat rwzi's jaar na jaar gemiddeld opschuiven in de richting van de frontiers. Rwzi's worden dan doelmatiger. Als over de gehele linie sprake is van opschuiven in de richting van de frontiers dan is dat een vorm van doelmatigheidsverbetering.

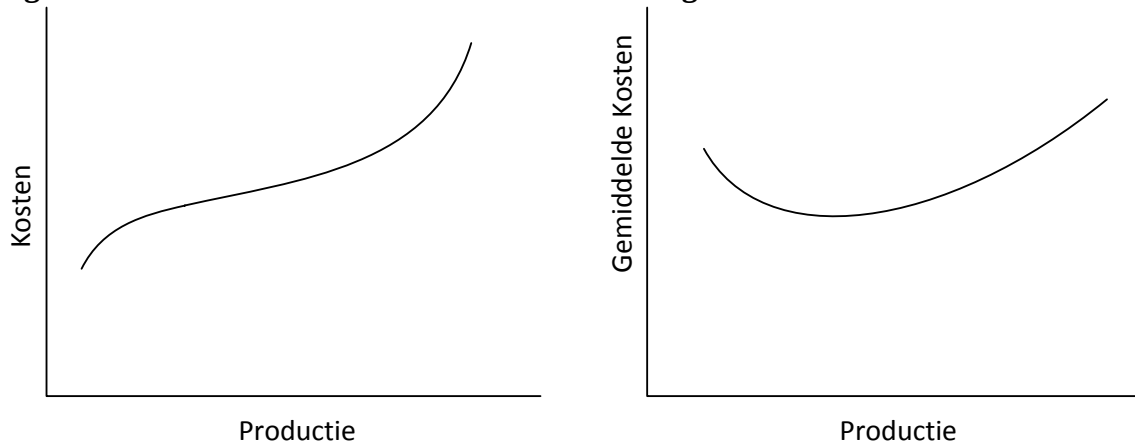
2.2.2 Schaaffecten

Uit de kostenfunctie is ook direct een maat af te leiden voor de schaaffecten. De kostenfunctie geeft immers aan wat de gevolgen zijn in termen van kosten bij een groei van de productie met bijvoorbeeld 1 procent. Indien de kosten met minder dan 1 procent groeien, is er sprake van schaalvoordelen. Als de kosten met precies 1 procent stijgen dan is er sprake van constante schaalopbrengsten. In het geval dat de kostenstijging groter is dan 1 procent, is er sprake van schaalnadelen. De mate van kostengroei wordt aangeduid met het begrip kostenflexibiliteit.

De schaaffecten kunnen variëren met de grootte van een rwzi. Bij kleine rwzi's is wellicht sprake van schaalvoordelen, terwijl grote rwzi's met schaalnadelen worden geconfronteerd. Een dergelijk verloop staat bekend als een U-vorm: de gemiddelde kosten dalen tot een bepaald optimum naarmate de rwzi groter wordt, daarna groeien de kosten weer. Economen duiden een dergelijk verloop als volgt. Kleine rwzi's kunnen bij schaalvergroting voordelen realiseren door hun kapitaal beter te benutten of het personeel verder te specialiseren in bepaalde taken. Een rwzi kan echter ook te groot worden doordat de span of control te groot wordt. Dit leidt dikwijls tot extra managementlagen, maar ook tot meer protocollen en procedures waar het personeel zich aan dient te houden. Ook kan de arbeidsmotivatie teruglopen door een geringere betrokkenheid van de werknemers in een groot bedrijf.

Figuur 2-2 geeft een voorbeeld van een kostenfunctie weer waarbij er in eerste instantie sprake is van schaalvoordelen die vervolgens omslaan in schaalnadelen. De figuur toont eveneens het U-vormig verloop van de gemiddelde kosten.

Figuur 2-2 Voorbeeld van een kostenfunctie en de gemiddelde kosten



Het is niet zo dat de gemiddelde kosten per definitie een U-vormig verloop hebben. De gemiddelde kosten kunnen, afhankelijk van de kostenfunctie, ook nog een ander verloop hebben, bijvoorbeeld L-vormig (alleen maar schaalvoordelen) of omgekeerd L-vormig (alleen maar schaalnadelen). De empirie moet hierover uitsluitsel geven.

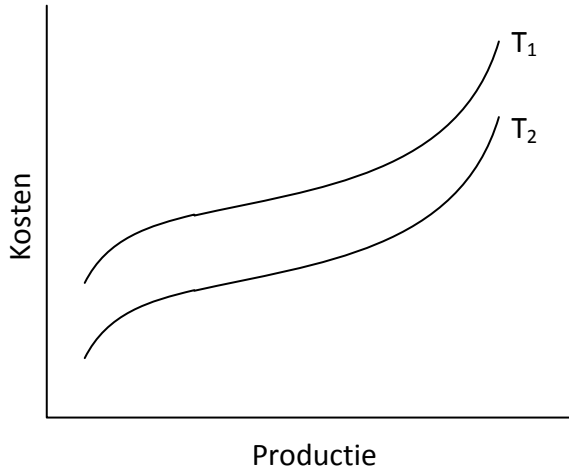
2.2.3 Autonome kostenontwikkeling

Een belangrijk element in het kostenmodel betreft de invloed van technische of autonome ontwikkelingen. Door technische ontwikkelingen, maar ook door andere ontwikkelingen zoals wijzigingen in de wet- en regelgeving, kunnen veranderingen optreden in de kosten. Een voorbeeld van een technische ontwikkeling is de toepassing van een andere zuiveringstechniek, waardoor de gemiddelde energiekosten lager liggen. Figuur 2-3 geeft grafisch weer hoe autonome kostenontwikkelingen eruit kunnen zien. De kostenfunctie schuift van T_1 naar T_2 ; in deze figuur betreft de verschuiving een autonome kostendaling.

Dikwijls wordt in vergelijkbare productiviteitsstudies uitgegaan van een neutrale technische ontwikkeling: de technische ontwikkeling heeft een even grote impact op alle ingezette middelen. Deze restrictieve veronderstelling wordt hier losgelaten. Het hier gehanteerde kostenmodel laat toe dat er in de loop der tijd veranderingen optreden in de samenstelling van de ingezette middelen. Met andere woorden, bepaalde nieuwe technieken leiden vooral tot besparingen op de inzet van arbeid, maar niet tot besparingen op de inzet

van kapitaal. Grafisch gezien betekent dit dat de kostenfunctie ook van vorm kan veranderen.

Figuur 2-3 Voorbeeld van een kostenfunctie met een autonome kostenontwikkeling



2.3 Schatting van het kostenmodel

In deze paragraaf beschrijven we de techniek die gebruikt is om de kostenfunctie te schatten. De inhoud is vrij technisch van aard en niet noodzakelijk voor het begrip van de rest van het rapport.

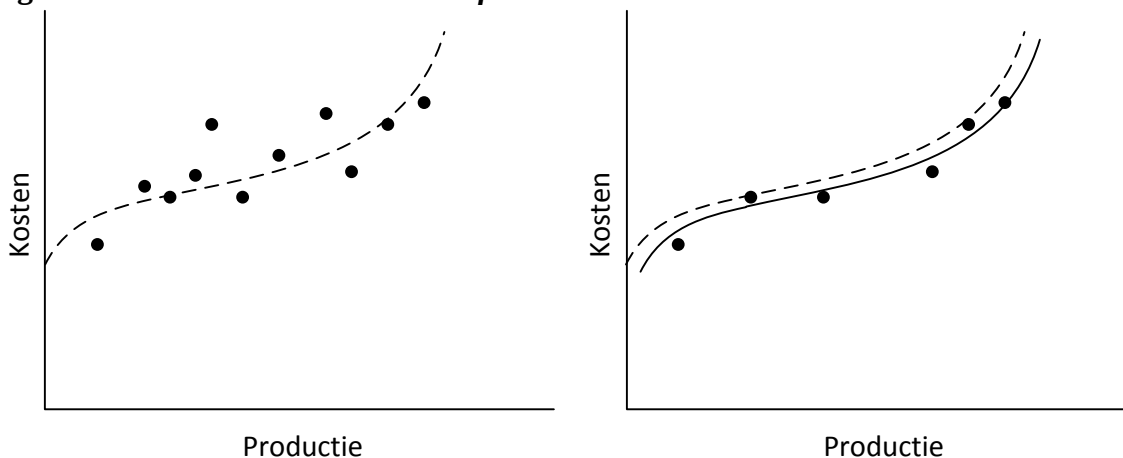
Om het kostenmodel met econometrische technieken te schatten, is het noodzakelijk een bepaalde wiskundige vorm te kiezen. Een van de meest flexibele vormen is de zogenoemde translogfunctie. Deze door Christensen et al. (1973) ontwikkelde vorm is zonder enige twijfel de meest toegepaste vorm in productiviteitsonderzoek gebaseerd op een kostenmodel. De precieze specificatie van het model is opgenomen in bijlage A.

De kostenmodellen worden geschat met de methode van *maximum likelihood*. Deze methode is bij uitstek geschikt om stelsels die onderlinge samenhang vertonen te schatten.

Om een robuuste schatting te kunnen maken is gebruikgemaakt van de methode van *thick frontier*. Deze methode, geïntroduceerd door Berger en Humphrey (1991) en Bauer et al. (1991), bestaat uit twee stappen. In de eerste stap wordt een schatting op het gehele bestand van rwzi's uitgevoerd

(linkerplaatje in figuur 2-4). Op basis van deze schattingen wordt het deel met de kleinste residuele afwijkingen geselecteerd voor de tweede stap, de zogenoemde efficiënte subset. Om te voorkomen dat deze efficiënte subset een niet-representatieve steekproef is van alle *rwzi*'s, wordt de selectiemethode steeds apart toegepast op afzonderlijke grootteklassen en jaren. In de tweede stap wordt de schatting nogmaals uitgevoerd, maar dan alleen op de waarnemingen uit de efficiënte subset (rechterplaatje in figuur 2-4). De *thick frontier* is dan eigenlijk een curve door het gemiddelde van alle waarnemingen uit de efficiënte subset. Dit houdt in dat de schattingen gebaseerd zijn op dat deel van de waarnemingen die relatief de laagste kosten hebben. Uiteraard liggen niet alle punten op de curve, maar ook erboven en eronder. De standaardafwijking ten opzichte van de frontier wordt beschouwd als een maat voor statistische ruis (meet- en specificatiefouten). Deze standaardafwijking is ook een maat voor de statistische ruis van de waarnemingen buiten de selectie. Hierdoor is het mogelijk om ook voor die waarnemingen statistische ruis en ondoelmatigheid van elkaar te scheiden. De afstand van een willekeurig punt (dus ook buiten de efficiënte subset) tot de frontier is een maat voor de doelmatigheid, nadat deze gecorrigeerd is voor mogelijk statistische ruis. De toegepaste formule is die van Materov, zoals beschreven door Kumbhakar en Lovell (2000: 78).

Figuur 2-4 Voorbeeld van een *thick frontier*



Het voordeel van de *thick frontier* aanpak is dat het een veel robuustere methode is dan methoden die gebaseerd zijn op de beste waarneming, zoals

corrected ordinary least squares, vanwege de ongevoeligheid van de resultaten voor eventuele uitbijters. Deze aanpak heeft verder nog als voordeel dat hij transparanter is dan de in de literatuur veelvoorkomende methode van SFA, waarbij via ingewikkelde econometrische constructies ruis en doelmatigheid van elkaar worden gescheiden.

Een geschatte kostenfunctie moet aan een aantal technische voorwaarden voldoen. Zo moeten de kosten bijvoorbeeld toenemen als de prijzen stijgen (monotoniciteit). Verder geldt dat bijvoorbeeld een loonstijging de loonkosten nooit meer dan evenredig kan opdrijven (concaviteit). De *rwzi* zal immers proberen de kostenstijging af te wentelen door personeel te vervangen door andere middelen.

De eisen van monotoniciteit en concaviteit zijn vanuit de parameters van het model te vertalen in statistische toetsen. Deze toetsen worden uitgevoerd. Daarnaast is het mogelijk met eenvoudige grafieken de eisen te visualiseren, namelijk door de kromming van de grafieken te bekijken. Toegankelijke uiteenzettingen hierover zijn beschreven door Blank (2010).

2.4 Verklaring van de kostendoelmatigheid

Zoals in paragraaf 2.2.1 is beschreven, bepalen we voor elke *rwzi* een kostendoelmatigheidsscore tussen de 0 en 100 procent. Dit geeft een indicatie hoe groot de verschillen in kostendoelmatigheid zijn tussen de *rwzi*'s. Interessanter is waardoor deze verschillen worden veroorzaakt. Daarom relateren we de individuele kostendoelmatigheidsscores aan enkele kenmerken van de *rwzi*'s. De gebruikte kenmerken zijn afkomstig uit de gegevens van de bedrijfsvergelijking; ze zijn weergegeven in tabel 2-1. We gebruiken een tobit-analyse om het verband tussen de kostendoelmatigheid en de kenmerken te schatten. De bronnen in de tabel verwijzen naar het vraagnummer in de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer 2009.

Tabel 2-1 De kenmerken voor de verklaring van de kostendoelmatigheid met verwijzing naar het vraagnummer van BVZ 2009

<i>Kenmerk</i>	<i>Bronnen</i>
Waterschap	0.1
Bouwjaar van de rwzi	1.32
Simultane defosfatering	1.49a
Preprecipitatie	1.49b
Biologische defosfatering in de hoofdstroom	1.49c
Biologische defosfatering in een deelstroom	1.49d
Overige defosfatering	1.49e
Slibgisting	1.50a
Simultane aerobe slibstabilisatie	1.50b
Separate aerobe slibstabilisatie	1.50c
Overige slibstabilisatie	1.50d
Puntbeluchting	1.51a
Bellenbeluchting	1.51b
Rotoren, kooirotoren of borstelbeluchters	1.51c
Overige beluchtingstechnologie	1.51d
Zandgrond	1.52a
Kleigrond	1.52b
Veengrond	1.52c
Overige grond	1.52d

3 De gegevensbeschrijving

In dit hoofdstuk beschrijven we de data die we hebben gebruikt voor de schatting van het kostenmodel. Bij de keuze van de variabelen hebben we gebruikgemaakt van literatuur en van de expertise van de begeleidingscommissie. Abbott en Cohen (2009) geven een uitgebreid overzicht van productiviteitsstudies in de watersector. Veruit de meeste studies hebben betrekking op drinkwatervoorziening. Enkele studies over waterzuivering geven aan in welk land en periode de studies zijn uitgevoerd, hoe de voorziening is afgebakend, hoeveel voorzieningen zijn opgenomen en welke methode en variabelen daarbij gebruikt zijn. Tabel B-1 in bijlage B vat dit overzicht samen en vormt de basis van de variabelen voor onderhavige studie.

3.1 Bronbeschrijving

De brongegevens worden gevormd door de vragenlijsten die door de waterschappen zijn ingevuld voor de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer in 2002, 2006 en 2009. De vragenlijsten bevatten technische en economische gegevens per rwzi en/of waterschap. Het complete gegevensmodel is beschreven in bijlage C, inclusief verwijzing naar de nummers van de vragen in jaar 2009.

Voor het kostenmodel hebben we gegevens voor de productie en ingezette middelen geselecteerd. De productie meten we aan de hand van de hoeveelheid aangevoerd afvalwater en de verwijderde hoeveelheid jaarvracht stikstof, fosfaat, het chemisch zuurstofverbruik en de geproduceerde hoeveelheid slib. De ingezette middelen die we onderscheiden zijn personeel, materiaal, energie en kapitaal. De keuze voor deze variabelen zullen we in dit hoofdstuk verder toelichten.

De gegevens voor de bedrijfsvergelijking zijn op het niveau van een rwzi uitgevraagd. Het totaal aantal waterschappen met de taak afvalwaterzuivering is door de jaren heen afgenomen, evenals het aantal

rwzi's (389 rwzi's in 2002, 376 in 2006 en 367 in 2009, verdeeld over 27 waterschappen in 2002 en 25 in 2006 en 2009). In 2002 waren er naast de 27 waterschappen met de taak afvalwaterzuivering nog 26 waterschappen met andere waterschapstaken. Sinds 2005 zijn er alleen nog maar waterschappen die alle taken uitvoeren. Hierbij geldt dat de twee Limburgse waterschappen hun afvalwaterzuiveringstaak laten uitvoeren door Waterschapsbedrijf Limburg onder een gemeenschappelijke regeling. In 2006 en 2009 zijn er dus 26 waterschappen en 25 organisaties die zich bezighouden met de zuivering van afvalwater. Terwijl er in de periode 2002-2009 dus een ingrijpende opschaling van de waterschappen heeft plaatsgevonden (van 53 naar 26), geldt dit voor het zuiveringsbeheer in veel mindere mate (van 27 naar 24 organisaties). Het overzicht van de waterschappen is gegeven in tabel D-1 van bijlage D. We noemen een rwzi in een bepaald jaar een observatie. In totaal zijn er 1132 observaties.

3.1.1 Productie

De productie van het zuiveringsproces van een rwzi bestaat uit het zuiveren van afvalwater, wat bepaald wordt door de hoeveelheid aangevoerd afvalwater, de hoeveelheid stoffen die verwijderd worden en de hoeveelheid slib die wordt geproduceerd. De hoeveelheid verwijderde stoffen meten we af aan de hoeveelheid verwijderde jaarvracht van de afvalstoffen. De volumes afvalstoffen liggen complex omdat ze gecorreleerd zijn: hoe meer afvalwater er wordt aangeboden, hoe meer verwijderde stoffen en afvalstoffen er worden geproduceerd. De hoeveelheid geproduceerde afvalstoffen is ook afhankelijk van de mate van vervuiling van het aangeboden afvalwater en van de hoeveelheid reststoffen in het gezuiverde water. De hoeveelheid toegestane reststoffen in het gezuiverde water wordt bepaald door de lozingseisen. Kortom, de hoeveelheid afvalstoffen is tevens een kwaliteitsmaat.

In deze studie is naast de hoeveelheid afvalwater gekozen voor vier productindicatoren:

- ΔCZV : de hoeveelheid verwijderde CZV-jaarvracht in kg;
- ΔN : de hoeveelheid verwijderde N-jaarvracht in kg;
- ΔP : de hoeveelheid verwijderde P-jaarvracht in kg;
- slib: de hoeveelheid slib in tonnen droge stof (restproduct).

Hierin is CZV het chemisch zuurstofverbruik, N is stikstof, P is fosfaat, en Δ wijst naar het verschil tussen de hoeveelheid gemeten in het influent en het effluent. Het verschil in hoeveelheid stof in het influent en de hoeveelheid in het effluent noemen wij de verwijderde jaarvracht van de betreffende stof. De variabelen zijn samengevat in tabel 3-1, inclusief vermelding van de gegevensbronnen.

Tabel 3-1 De productievariabelen per rwzi met verwijzing naar het vraagnummer van BVZ 2009

<i>Variabele</i>	<i>Bijzonderheden</i>	<i>Bronnen</i>
afw	Hoeveelheid aangevoerd afvalwater in m ³ /dag	1.34
ΔCVZ	Hoeveelheid CZV-verwijdering in kg = CZV-jaarvracht in het influent – CZV-jaarvracht in het effluent	1.19 1.20
ΔN	Hoeveelheid stikstofverwijdering in kg = stikstofjaarvracht in het influent – stikstofjaarvracht in het effluent	1.21 1.22
ΔP	Hoeveelheid fosfaatverwijdering in kg = fosfaatvracht in het influent – fosfaatvracht in het effluent	1.24 1.25
slib	Slibproductie in ton droge stof	1.31

Omdat de verwijderde stoffen sterk gecorreleerd zijn, hebben we ze via een wiskundig verband tot één productiemaat omgerekend, waarbij elke stof bij de schatting een gewicht krijgt. Dit is als volgt in formulevorm weer te geven:

$$y = afw \times \left(\frac{\Delta CVZ}{afw}\right)^{\beta_1} \times \left(\frac{\Delta N}{afw}\right)^{\beta_2} \times \left(\frac{\Delta P}{afw}\right)^{\beta_3} \times \left(\frac{slib}{afw}\right)^{\beta_4}$$

waarin y de productiemaat is.

3.1.2 Ingezette middelen

Om het afvalwater te zuiveren zijn verschillende middelen ingezet. In deze analyse delen we de ingezette middelen in vier groepen in: personeel, materieel, energie en kapitaal. Voor het kostenmodel hebben we gegevens nodig over de kosten en de prijzen van de ingezette middelen. De prijzen

worden doorgaans berekend door de kosten te delen door het volume van het middel.

De kosten van de ingezette middelen zijn als volgt opgebouwd (tabel 3-2, inclusief de vermelding van de gegevensbronnen). Voor personeel nemen we de som van de kosten van het personeel voor beheer en onderhoud. De overige personeelskosten zijn alleen beschikbaar op waterschapsniveau en daarom hebben we die buiten beschouwing gelaten. De totale materiaalkosten betreffen de kosten van chemicaliën, kosten van derden voor beheer en onderhoud en overige kosten voor onderhoud. De kosten voor energie zijn de energiekosten voor het beheer van de zuiveringsinstallaties. Kosten van ingehuurd personeel maken in deze studie deel uit van de materiaalkosten. De totale materiaalkosten betreffen de kosten van chemicaliën, kosten van derden voor beheer en onderhoud en overige kosten voor onderhoud. De kosten voor energie zijn de energiekosten voor de exploitatie van de zuiveringsinstallaties. De kosten van kapitaal bestaan uit afschrijvingen en de kosten van leaseconstructies (huur en dotaties), niet-geactiveerde eigen bijdragen/ personeelskosten voor investeringsprojecten en overige kosten bouw en verwerving zuiveringsinstallaties. Wij hebben rentekosten niet meegenomen, omdat de rentekosten afhankelijk zijn van de vermogenspositie van elk waterschap, van het financiële beleid van het waterschap, en dergelijke. De gebruikte afschrijvingsmethode verschilt tussen de waterschappen. Gegevens hierover maken geen deel uit van de Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer. Hierdoor is in feite een meetfout ontstaan die deels tot uitdrukking komt in de verschillen tussen waterschappen.

Tabel 3-2 De kostenvariabelen met verwijzing naar BVZ 2009

<i>Variabele</i>	<i>Bijzonderheden</i>	<i>Bronnen</i>
Personeel	Kosten personeel in euro's =	
	kosten personeel beheer zuiveringsinstallaties +	2.6f
	kosten personeel onderhoud zuiveringsinstallaties	2.6k
Materiaal	Kosten materiaal in euro's =	
	kosten derden (personeel + materieel) beheer	2.6g
	zuiveringsinstallaties +	2.6i
	kosten chemicaliën beheer zuiveringsinstallaties +	2.6j
	overige kosten beheer zuiveringsinstallaties +	
	kosten derden (personeel + materieel) onderhoud	2.6l
	zuiveringsinstallaties +	2.6m
	overige kosten onderhoud zuiveringsinstallaties	
Energie	Kosten energie beheer zuiveringsinstallaties in euro	2.6h
Kapitaal	Kosten van kapitaal in euro =	
	kosten leaseconstructies +	2.6c
	niet-geactiveerde eigen bijdragen/ personeelskosten	
	voor investeringsprojecten +	2.6d
	overige kosten bouw en verwerving	
	zuiveringsinstallaties +	2.6e
	afschrijving zuiveringsinstallaties	2.6b

De prijzen van de ingezette middelen zijn als volgt verkregen. De prijs van het personeel is berekend uit de ratio van de totale personeelskosten en het aantal voltijdsbanen voor beheer en onderhoud. De prijs van personeel is dus niet hetzelfde als de lonen volgens de cao. In de analyseperiode is de arbeidsduur constant (38 uur per week), waardoor er niet gecorrigeerd hoeft te worden.

Het materiaal is een diffuse groep middelen. Het hoofdbestanddeel van het materiaal is 'overige kosten'. Daarom is voor de prijs van materiaal de consumentenprijsindex (CPI) van het CBS gekozen.

De tarieven voor energie zijn per waterschap beschikbaar voor de jaren 2006 en 2009. De tarieven voor 2002 hebben we bepaald op basis van die van 2006 en de prijsindex voor energie (CBS). Door deze aanpak zijn de waterschappen in 2002 wat energie betreft naar verhouding net zo gunstig of ongunstig uit als in 2006. Bovendien geldt voor alle jaren dat de prijs voor energie voor alle rwzi's binnen een waterschap hetzelfde is. Hierbij maken we de kanttekening dat de energietarieven in 2004 zijn geliberaliseerd.

De prijs van het kapitaal is de ratio van de totale kapitaalkosten (zie tabel 3-2) en het kapitaalvolume. Het volume van het kapitaal wordt benaderd met de ontwerpcapaciteit van de rwzi's. We hebben voor deze ratio gekozen, aangezien de prijsverschillen op het niveau van een rwzi erg groot waren. Dit wordt deels veroorzaakt doordat de kosten binnen een aantal waterschappen gelijk verdeeld waren over alle rwzi's. Grote rwzi's kregen bijvoorbeeld net zoveel leasekosten toebedeeld als kleine. Eenzelfde prijs voor kapitaal over alle rwzi's binnen een waterschap geeft een realistischer beeld.

De gebruikte gegevens voor de prijzen zijn weergegeven in tabel 3-3, inclusief vermelding van de bron of berekening.

Tabel 3-3 De prijzen van de ingezette middelen met verwijzing naar BVZ 2009

<i>Variabele</i>	<i>Bijzonderheden</i>	<i>Bronnen</i>
Personeel	Personeelskosten/volume personeel	Berekend
Materiaal	Consumentenprijsindex	CBS
Energie	Prijs per kWh:	
	2006 en 2009: volgens hoog/laag-tarief	2.14f
	2002: volgens tarief 2006 en energieprijnsindex CBS	2.14g en berekend
Kapitaal	Kapitaalkosten/volume kapitaal	Berekend

Zoals gezegd is de prijs van personeel berekend door de personeelskosten te delen door het volume personeel. Het volume personeel voor het zuiveringsbeheer is beschikbaar op waterschapsniveau en wordt uitgedrukt in het aantal voltijdsbanen (fte) voor beheer en onderhoud. In 2009 zijn hiervoor gegevens beschikbaar. Voor 2002 en 2006 zijn echter alleen gegevens beschikbaar voor alle personeelsfuncties van het zuiveringsbeheer tezamen. Het aandeel personeel voor beheer en onderhoud is daarom voor 2002 en 2006 berekend uit het aandeel personeel beheer en onderhoud in 2009. De consequentie van deze aanpak is dat wijzigingen door de jaren heen in de verhouding van het aantal voltijdsbanen voor de zuivering ten opzichte van het totaal binnen een waterschap of rwzi nu tot uitdrukking komen in de loonkosten. Bijvoorbeeld, als een waterschap naar verhouding minder mensen is gaan inzetten voor het zuiveringsproces, leidt dat in deze analyse tot hogere loonkosten in de eerste jaren. De verdeling van de volumes personeel over de rwzi's is vervolgens berekend naar ratio van de

kosten voor personeel. De personeelskosten voor beheer en onderhoud zijn wel bekend op het niveau van de rwzi's. Door deze aanpak berekenen we in feite voor elke rwzi binnen een waterschap dezelfde prijs.

Het volume van het materiaal is berekend uit de ratio van de totale kosten voor materiaal en de consumentenprijsindex (CBS). Dit volume is echter niet gebruikt in de kostenfunctie, maar wordt gebruikt om de ontwikkelingen inzichtelijk te maken.

Het energieverbruik is bekend voor de zuivering per rwzi. Er zijn echter rwzi's die zelf energie opwekken voor eigen gebruik of verkoop. Rwzi's die zelf energie opwekken maken minder energiekosten, maar meer kapitaalkosten. Hoeveel energie er per rwzi wordt opgewekt is niet bekend; wel is bekend dat het kan oplopen tot 25 procent van het energieverbruik. We hebben daarom het volume energie omgerekend uit de kosten voor energie en de tarieven. Er zijn rwzi's die ook gas en/of olie gebruiken als energiebron. Hiervan is alleen het volume bekend en kan derhalve niet meegenomen worden in de berekeningen. Het volume gas en olie kan oplopen tot ongeveer 10 procent van het totale volume energie.

Het volume kapitaal wordt benaderd met de ontwerpcapaciteit van de rwzi's. Het volume kapitaal wordt gebruikt om de prijs van kapitaal te berekenen. Voor 2002 en 2006 is de ontwerpcapaciteit omgerekend van 136 naar 150 gram totaalzuurstofverbruik (TZV).

De gehanteerde volumematen zijn samengevat in tabel 3-4, inclusief vermelding van de gegevensbronnen.

Tabel 3-4 De gehanteerde volumematen per rwzi met verwijzing naar BVZ 2009

<i>Variabele</i>	<i>Bijzonderheden</i>	<i>Bronnen</i>
Personeel	Aantal fte beheer en onderhoud per rwzi	0.6c + 0.6d
Materiaal	Volume (kosten materiaal / prijs materiaal)	Berekend
Energie	Volume (kosten energie / prijs energie)	Berekend
Kapitaal	Proxy: ontwerpcapaciteit per rwzi (i.e.'s)	1.9

3.2 Dataselectie en kwantitatieve beschrijving

De gegevens van de productie en de ingezette middelen zijn gecontroleerd op ontbrekende waarnemingen, negatieve en sterk afwijkende waarnemingen. Dit heeft geleid tot uitsluiting van 428 observaties (38% van het totaal aantal waarnemingen). Vooral waarnemingen van de ingezette middelen leverden problemen op. We hebben om die reden de volgende criteria gehanteerd voor inclusie van rwzi's:

- prijs personeel > 20.000 en < 100.000 euro per fte, en kostenaandeel personeel < 80 procent (uitval 28 observaties);
- kosten kapitaal > 0 en kostenaandeel kapitaal > 10 procent en < 80 procent (uitval 124 observaties, vooral doordat de totale kapitaalkosten vaak 0 of niet opgegeven waren).

Rwzi's met nul kapitaalkosten zouden ook economisch afgeschreven kunnen zijn, maar zijn technisch nog wel in gebruik. Het onderscheid tussen een omissie in de gegevens en werkelijk nul kapitaalkosten hebben wij niet kunnen maken.

Daarnaast hebben we enkele uitschieters op basis van totale kosten en hoeveelheid afvalwater, en de ratio van deze twee er uitgelaten (36 waarnemingen). Er zijn ook rwzi's uitgesloten vanwege ontbrekende waarnemingen of negatieve waarnemingen op een van de relevante variabelen. Tot slot hebben we alle rwzi's die in een bepaald jaar uitvielen, ook in de overige jaren niet meegenomen, om de vergelijking door de jaren heen zo consequent mogelijk te doen (rwzi's die niet in alle jaren bestaan hebben we wel meegenomen). De consequentie is dat we de volgende drie waterschappen in hun geheel niet meenemen:

- Reest en Wieden;
- De Dommel;
- Amstel, Gooi en Vecht.

De aantallen rwzi's per jaar die zijn meegenomen in het analysebestand zijn weergegeven in tabel 3-5, inclusief het percentage van het totaal aantal rwzi's in de jaren. Het jaar 2002 heeft het hoogste aantal waarnemingen en jaar 2009 het laagste aantal. Hierbij is uiteraard rekening gehouden met start,

sluiting en fusie van rwzi's. De aantallen rwzi's in het analysebestand zijn voldoende om betrouwbare schattingen te maken. Hoewel er enkele nieuwere en grotere rwzi's buiten beschouwing zijn gelaten (Amsterdam West en Harnaspolder), zuivert de groep rwzi's die buiten beschouwing gelaten is gemiddeld niet significant meer water, en zijn ze niet later gebouwd.

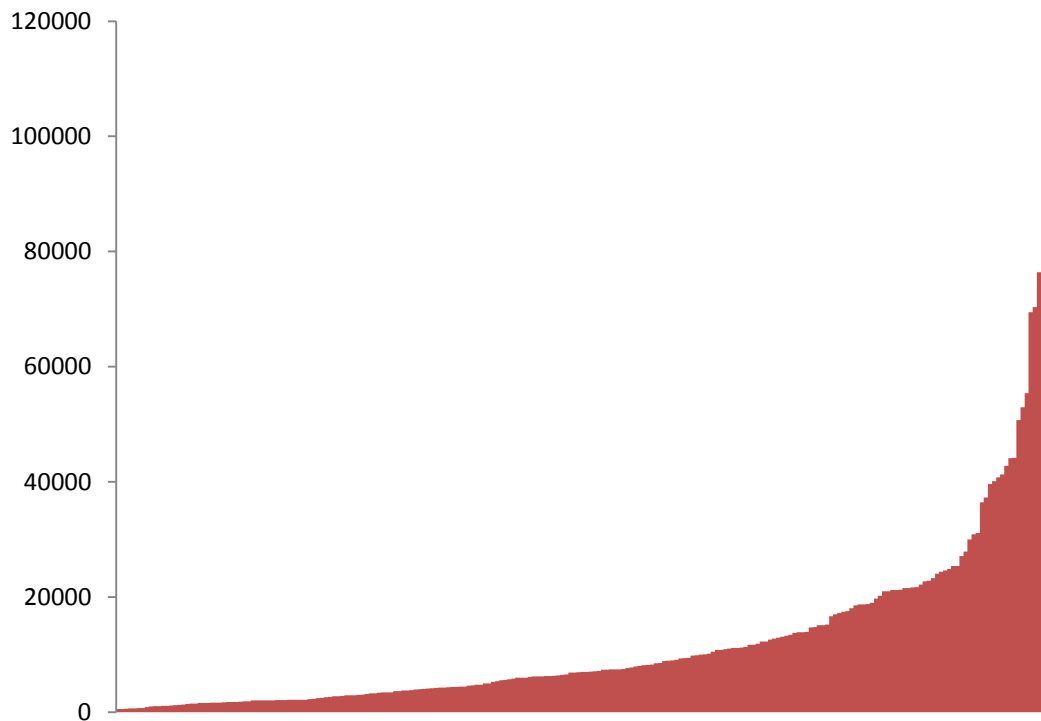
Tabel 3-5 De aantallen rwzi's per jaar in het analysebestand

<i>Jaar</i>	<i>Aantal</i>	<i>In procenten</i>
2002	244	63
2006	231	61
2009	230	62

Om een indruk te krijgen van de omvang van de rwzi's is in figuur 3-1 de hoeveelheid aangevoerd afvalwater weergegeven voor alle geselecteerde rwzi's in het jaar 2009.

Op de horizontale as zijn de rwzi's weergegeven, en op de verticale as de hoeveelheid aangeboden afvalwater. De figuur laat een grote spreiding zien in de aangevoerde hoeveelheid afvalwater. De kleinste rwzi kreeg 253 m³ per dag aangeleverd en de grootste ruim 100.000 m³, dat is bijna 400 maal meer dan de kleinste rwzi. Ruim 50 procent van de rwzi's verwerkt tussen de 5.000 en 50.000 m³ afvalwater per dag.

Figuur 3-1 Verdeling van de hoeveelheid aangeboden afvalwater over de rwzi's in m³ per dag, 2009



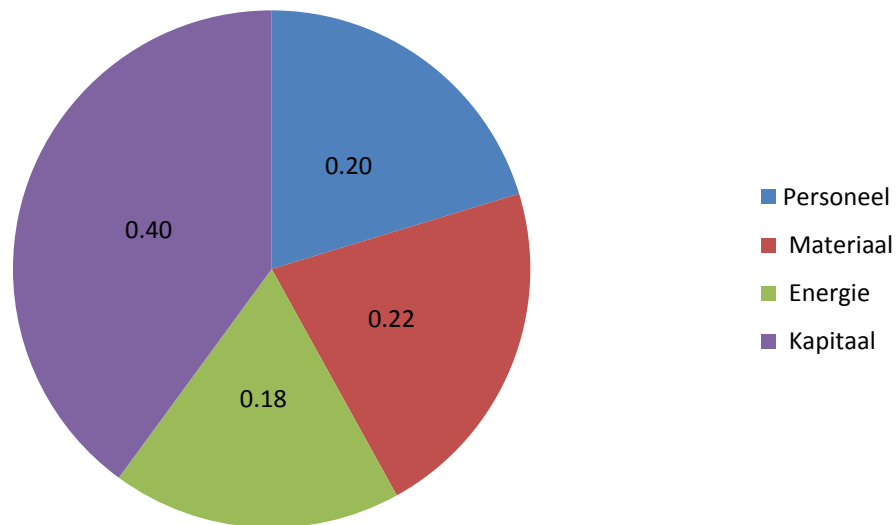
De hoeveelheid verwijderde stoffen is sterk gecorreleerd met de hoeveelheid aangevoerd afvalwater. Tabel 3-6 laat de correlaties zien tussen de productmaten. De stoffen onderling zijn, zoals verwacht, ook gecorreleerd. De sterkste correlatie vinden we tussen de verwijderde CZV-jaarvrucht en het geproduceerde slib met het afvalwater.

Tabel 3-6 Correlaties tussen de productmaten

	<i>Afvalwater</i>	<i>N- jaarvrucht</i>	<i>P- jaarvrucht</i>	<i>CZV- jaarvrucht</i>	<i>slib</i>
Hoeveelheid afvalwater	1,00				
Verwijderde N-jaarvrucht	0,80	1,00			
Verwijderde P-jaarvrucht	0,76	0,74	1,00		
Verwijderde CZV-jaarvrucht	0,92	0,83	0,82	1,00	
Geproduceerde vrucht slib	0,92	0,73	0,72	0,87	1,00

Voor de geselecteerde rwzi's bedragen de gemiddelde kosten per rwzi in 2009 ongeveer 1,0 miljoen euro. De kosten lopen uiteen van 60.000 euro tot 5,5 miljoen euro, waarbij ongeveer 70 procent van de rwzi's bij kosten tussen 0,2 en 2 miljoen euro opereert. De aandelen van de kosten van de vier ingezette middelen (personeel, materiaal, energie, kapitaal) in de totale kosten is voor de gemiddelde rwzi in 2009 weergegeven in figuur 3-2. De kostenaandelen van personeel, materiaal en energie zijn gemiddeld rond de 20 procent. Het kostenaandeel van kapitaal is het grootst met ongeveer 40 procent.

Figuur 3-2 De aandelen van de middelen in de gemiddelde totale kosten, 2009



Tussen de rwzi's zijn er aanzienlijke verschillen in de kostenaandelen. Zo varieert in 2009 het aandeel personele kosten van 4,2 tot 48 procent, het aandeel materiële kosten van 2,4 tot 49 procent, het aandeel energiekosten van 3,7 tot 40 procent, en het aandeel kapitaal van 10 tot 72 procent (na eliminatie van rwzi's met minder dan 10% kapitaalkosten of meer dan 80% personeels- of kapitaalkosten).

De kosten per fte variëren in 2009 van 28.000 tot 97.000 euro. Het is mogelijk dat een deel van de verschillen te verklaren is uit verschillen in aantallen flexibele arbeidskrachten van wie de kosten worden geboekt onder

de materiële kosten. Het grote verschil blijft echter opmerkelijk. De gemiddelde prijs van energie varieert in 2009 van 6,1 tot 9,3 eurocent per kWh.

De prijs van kapitaal hebben we benaderd door de kosten per capaciteitsseenheid te bepalen. De absolute waarde heeft daardoor geen duidelijke betekenis. Ten opzichte van de gemiddelde prijs voor kapitaal in 2009 varieert de prijs van kapitaal van 62 tot 192 procent, oftewel een factor 3 verschil tussen de rwzi met de laagste en de rwzi met de hoogste prijs voor kapitaal.

3.3 Ontwikkeling van de variabelen in 2002, 2006, 2009

De ontwikkeling van de belangrijkste variabelen in de jaren 2002, 2006 en 2009 is weergegeven in tabel 3-7. In deze tabel staan de kostenaandelen van de verschillende productiefactoren. Daarnaast wordt de gemiddelde groei van productie, kosten en prijzen weergegeven ten opzichte van het niveau in 2002.

We zien een toename in de kosten van ruim 30 procent (inclusief inflatie, want we gaan uit van de feitelijke kosten), terwijl de hoeveelheid te zuiveren afvalwater met 6 procent afneemt. De hoeveelheid verwijderde afvalstoffen is toegenomen. Dit gaat samen met een toename van de hoeveelheid materiaal en een daling van de hoeveelheid energie. Het volume kapitaal neemt toe met bijna 10 procent. De prijs van personeel lijkt tussen 2002 en 2006 wel erg sterk toegenomen. Mogelijk is het echte aantal voltijdbanen voor de zuivering in 2002 toch lager dan het door ons geëxtrapoleerde aantal. De overige prijzen zien er aannemelijk uit. De kostenaandelen van de ingezette middelen zijn redelijk constant gebleven. Er is een kleine toename van het kostenaandeel materiaal en energie te zien ten koste van kapitaal.

Tabel 3-7 Ontwikkeling gemiddelden in 2002, 2006, 2009 (index 2002 = 100)

<i>Variabele</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
<i>Productie:</i>			
Hoeveelheid afvalwater*	100	93	93
Hoeveelheid CZV-verwijdering	100	105	106
Hoeveelheid stikstofverwijdering	100	112	120
Hoeveelheid fosfaatverwijdering	100	105	108
Hoeveelheid slibproductie (droge stof)	100	104	103
<i>Kosten ingezette middelen:</i>			
Personeel	100	129	141
Materiaal	100	128	156
Energie	100	132	162
Kapitaal	100	105	112
Totale kosten**	100	120	134
<i>Kostenaandelen:</i>			
Personeel	0,20	0,20	0,20
Materiaal	0,20	0,20	0,22
Energie	0,15	0,16	0,19
Kapitaal	0,45	0,44	0,40
<i>Prijzen:</i>			
Personeel	100	139	142
Materiaal	100	104	109
Energie	100	151	194
Kapitaal	100	105	112

* De gemiddelde hoeveelheid afvalwater in 2002 is 12.816 m³ per dag.

** De gemiddelde totale kosten in 2002 zijn 720.000 euro.

De Unie van Waterschappen (UvW, 2007) rapporteert over de periode 2002-2006 een toename van de zuiveringsprestaties, en wel van 79 procent naar 84 procent, die is veroorzaakt door meer stikstofverwijdering: van 67 procent in 2002 naar 78 procent in 2006 en fosfaatverwijdering van 78 procent naar 82 procent. Volgens de waterschapsrapportages naar aanleiding van de BVZ 2009 heeft deze verbetering zich voortgezet in de periode 2006-2009. De zuiveringsprestatie is verder gestegen naar 86 procent in 2009: de stikstofverwijdering is gestegen naar 83 procent en de fosfaatverwijdering naar 84 procent. De gerapporteerde toename in hoeveelheid stikstof- en

fosfaatverwijdering zien we terug in de gegevens van de voorliggende studie.

Een vergelijking van de kostengegevens in deze studie met de gegevens van de Unie van Waterschappen kan niet gemaakt worden, omdat hier alleen de kosten van het zuiveringsproces in beschouwing zijn genomen, terwijl UvW (2007) de kostenontwikkeling beschrijft van het totale zuiveringsbeheer.

4 Resultaten

In dit hoofdstuk bespreken we de resultaten van de schattingen van het kostenmodel en de afgeleide resultaten, zoals de productiviteitsontwikkeling, de kostendoelmatigheid, schaaleffecten en de verklaring van de doelmatigheid.

4.1 Schattingsresultaten van de kostenfunctie

Een compleet overzicht van de geschatte parameters van de kostenfunctie is weergegeven in tabel E-1 in bijlage E. In deze paragraaf beperken we ons tot een aantal algemene opmerkingen over de kwaliteit van het model en de schattingen in aansluiting op de theoretische eisen.

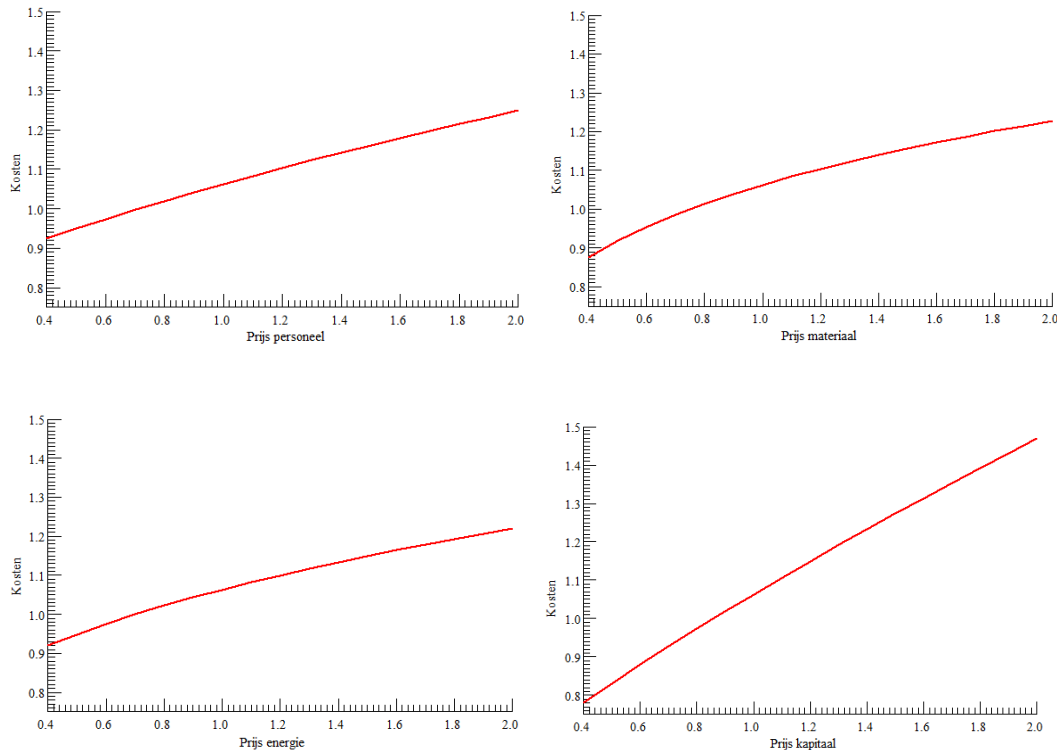
De meeste parameterschattingen zijn significant op het 5 procentniveau. De tekens van de geschatte parameters zijn ook in overeenstemming met de verwachte tekens, voor zover dat vooraf te bepalen is. Zo nemen de kosten toe naarmate er meer stoffen worden verwijderd. De kosten nemen ook toe als de prijzen stijgen. Afgezien van de veranderingen die worden veroorzaakt door veranderingen van de productie en de prijzen, zijn de veranderingen in de tijd klein.

Omdat de voorspelde kostenaandelen positief zijn voor alle rwz_i 's, wordt voor alle middelen voldaan aan de theoretische voorwaarde met betrekking tot de monotoniciteit. Aan de concaviteitseis wordt voldaan als de eigen vraagelasticiteiten negatief zijn. Dit geldt voor personeel in 99 procent van de gevallen en voor materiaal, energie en kapitaal in alle gevallen.

Figuur 4-1 visualiseert hoe voldaan is aan de theoretische eisen ten aanzien van monotoniciteit en concaviteit. In de figuur is op de horizontale as de prijs van een ingezet middel weergegeven, op de verticale as de kosten. De curven moeten een stijgend (monotoniciteit) en een bol verloop hebben (concaviteit). De mate van bolheid geeft de prijsgevoeligheid weer van een ingezet middel. Als de prijs van een middel stijgt, dan stijgen de kosten,

maar niet lineair. De bolheid van alle curven van de ingezette middelen is concaaf, hetgeen erop wijst dat er rationeel economisch is gereageerd op prijsstijgingen. Dat wil zeggen, minder inzet van een middel en eventueel vervanging door andere middelen in geval van stijgende prijzen. De bolheid is echter zeer gering.

Figuur 4-1 Het verloop van de kostencurve van de ingezette middelen



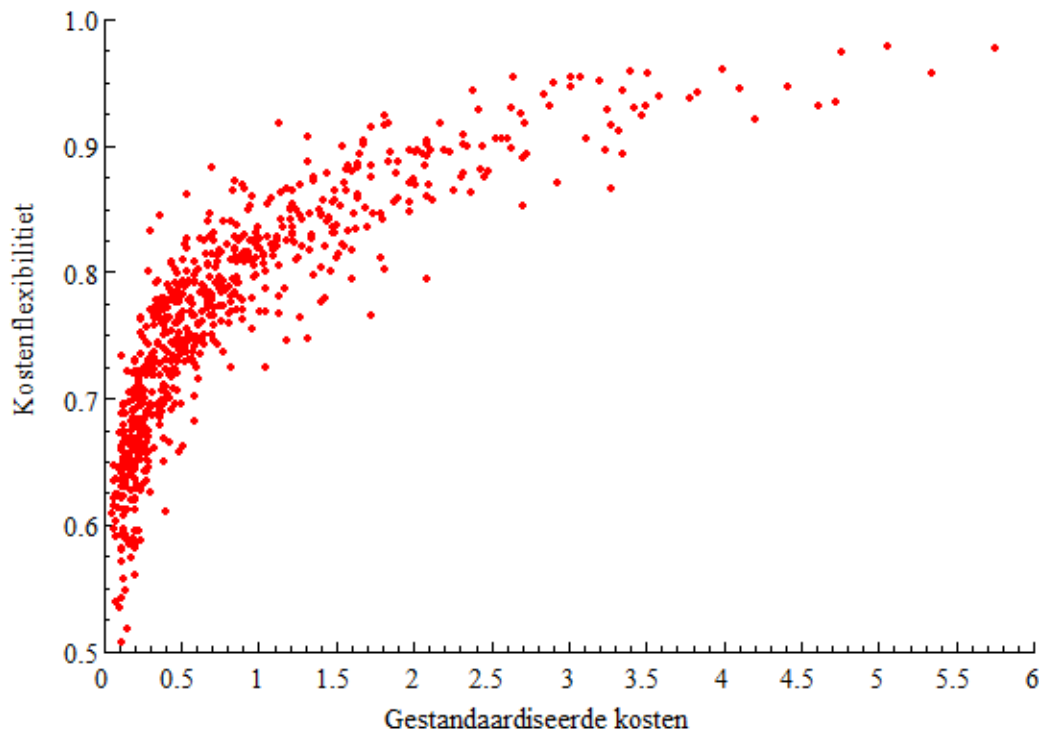
4.2 Schaaleffecten

Het is ook mogelijk om per rwzi uit te rekenen of deze te maken heeft met schaalvoordelen of schaalnadelen. Dit kan met de zogenoemde kostenflexibiliteit. De kostenflexibiliteit geeft aan wat het effect is van groei van alle producten in dezelfde mate op de totale kosten. Een kostenflexibiliteit boven de 1 betekent dat de kosten sneller groeien dan de productie (een kostenflexibiliteit van 1,2 betekent dat bij een groei van 1 procent van de productie de kosten met 1,2 procent toenemen). Er is dus

sprake van schaalnadelen als de kostenflexibiliteit boven de 1 ligt. Bij een kostenflexibiliteit van 1 is er sprake van schaalneutraliteit. Een kostenflexibiliteit kleiner dan 1 betekent dat er sprake is van schaalvoordelen.

Figuur 4-2 toont de kostenflexibiliteit per rwzi gerelateerd aan de schaal van de rwzi. De schaal is uitgedrukt in gestandaardiseerde kosten. De gestandaardiseerde kosten van een rwzi zijn de kosten van een rwzi gedeeld door de gemiddelde kosten van alle rwzi's in 2009. Als de gestandaardiseerde kosten gelijk zijn aan 1, dan komt dit dus overeen met de kosten van een gemiddelde rwzi in 2009. Zijn de gestandaardiseerde kosten bijvoorbeeld 2, dan zijn de kosten van de betreffende rwzi tweemaal zo hoog als die van de gemiddelde rwzi in 2009. Net als in de voorgaande paragraaf merken we op dat de gestandaardiseerde kosten voor jaargangen van voor 2009 naast een schaaffect ook een prijseffect bevatten.

Figuur 4-2 Relatie kostenflexibiliteit en de schaal van de rwzi's

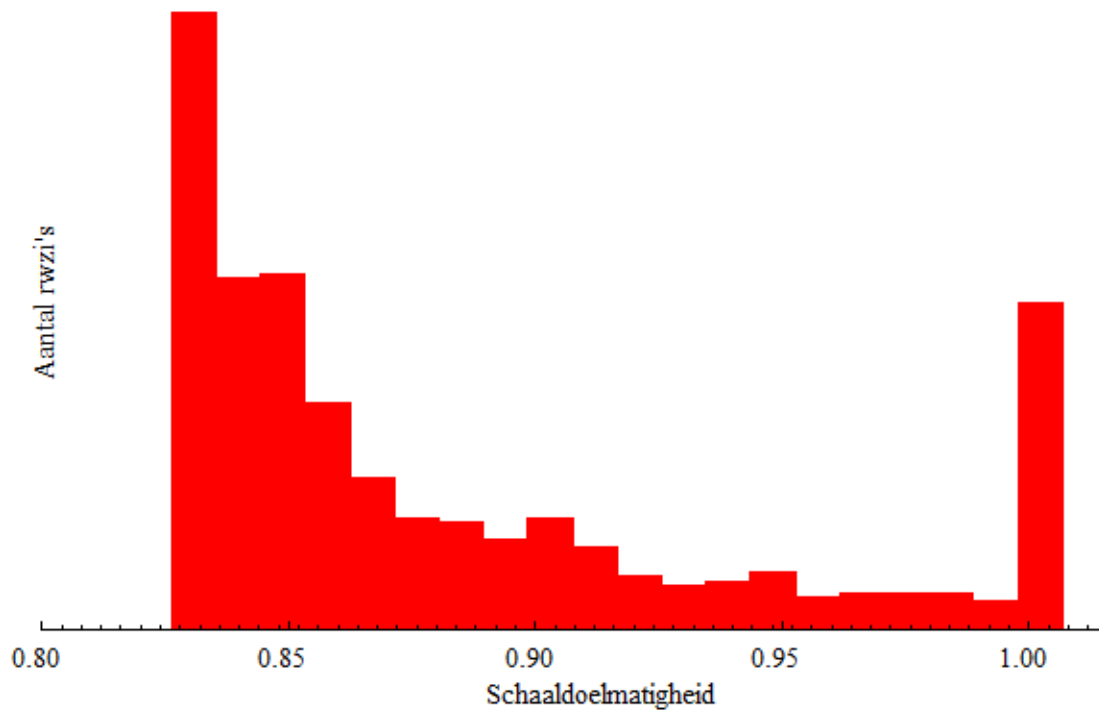


Figuur 4-2 maakt duidelijk dat alle rwzi's schaalvoordelen kunnen realiseren. Immers, voor alle rwzi's is de kostenflexibiliteit kleiner dan 1. De gemiddelde kostenflexibiliteit is 0,77. Dit betekent dat bij uitbreiding van de productie met 1 procent de kosten met gemiddeld 0,77 procent stijgen. Verder maakt de figuur duidelijk dat hoe kleiner de rwzi in termen van kosten hoe groter het schaalvoordeel. De schaalvoordelen gelden hier alleen voor het zuiveringsproces. Schaalvergroting heeft uiteraard ook consequenties voor de transportfase en slibverwerking. De schaalvoordelen kunnen hier daarom overschat zijn.

De schaaldoelmatigheid is de verhouding tussen de productietoename en de kostentoename als de productie toeneemt tot de optimale schaal. De optimale schaal is hier onbekend, omdat alle rwzi's opereren onder schaalvoordelen. De grootste rwzi's benaderen de optimale schaal het beste. Als referentie hebben we daarom gekozen voor de rwzi die hoort bij het negende deciel (bij sorteren van klein naar groot). De feitelijke schaaldoelmatigheid kan dus nog groter zijn dan hier wordt weergegeven.

Figuur 4-3 laat de frequentieverdeling zien met op de horizontale as de schaaldoelmatigheidsscores en op de verticale as het aantal rwzi's dat een dergelijke score heeft. Rwzi's met een score van 1 zijn doelmatig qua schaal, en komen hier door de gekozen aanpak overeen met alle rwzi's die groter zijn dan de rwzi bij het negende deciel.

Figuur 4-3 De frequentieverdeling van de schaaldoelmatigheidsscores



De gemiddelde schaaldoelmatigheid over de gemeten rwzi's in ieder jaar wordt weergegeven in tabel 4-1. Hierbij is ook een indexcijfer gegeven van de schaaldoelmatigheid ten opzichte van de schaaldoelmatigheid in jaar 2002. De gemiddelde scores zijn hoog in vergelijking met die van andere publieke sectoren (zie § 4.7). De ontwikkeling in de tijd is weliswaar negatief maar dermate gering dat hier geen conclusies aan kunnen worden verbonden.

Tabel 4-1 Ontwikkeling van de schaaldoelmatigheid in 2002, 2006, 2009 (index 2002 = 100)

<i>Jaar</i>	<i>Schaaldoelmatigheid</i>	<i>Indexcijfer</i>
2002	0,88	100,0
2006	0,88	100,2
2009	0,89	100,5

Samenvattend kunnen we zeggen dat er aanwijzingen zijn dat er schaalvoordelen te realiseren zijn, maar dat de opbrengst van schaalvergroting afhangt van de invloed van het transport en de slibverwerking.

4.3 Autonome productiviteitsontwikkeling

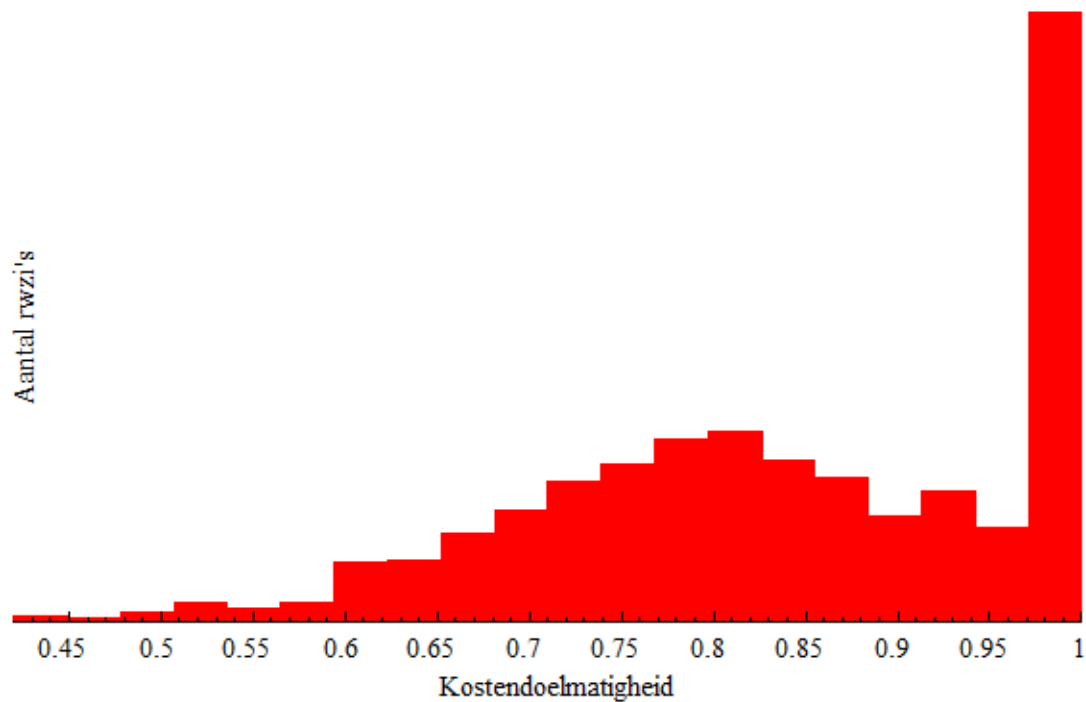
We vinden geen significante verschuiving van de kostenfunctie, oftewel geen autonome productiviteitsontwikkeling (na correctie voor prijzen en schaalearbeiden). Technologische ontwikkelingen en veranderingen in wet- en regelgeving hebben blijkbaar geen grote verschuiving opgeleverd voor de kostenfunctie.

4.4 Kostendoelmatigheidsscores

Figuur 4-4 geeft de frequentieverdeling weer van de kostendoelmatigheidsscores in 2009. Op de horizontale as staat de kostendoelmatigheidsscore, op de verticale as het aantal rwzi's dat een dergelijke score heeft. Rwzi's met een score van 1 zijn kostendoelmatig. Een score van 0,80 betekent dat de betreffende rwzi dezelfde productie zou kunnen realiseren tegen 80 procent van de huidige kosten. Het is belangrijk op te merken dat eventuele ruis door meetfouten en dergelijke hier al voor een belangrijk deel uitgefilterd is (zie § 3.2).

De kostendoelmatigheidsscores variëren van 0,42 tot 1 voor alle jaren. Er is een sterke concentratie bij 1. Dit heeft te maken met de schattingsmethode: de kostenfunctie wordt zo geschat dat dat deel van de waarnemingen als beste praktijk wordt gezien. De gemiddelde doelmatigheidsscore bedraagt 84,2 procent. Over het algemeen zijn de scores hoog te noemen, waarbij moet worden aangetekend dat er een robuuste methode is gehanteerd. Dit betekent dat veel van de afwijkingen ten opzichte van de frontier worden geïnterpreteerd als statistische ruis. Er is nog wel een groep van vier rwzi's aan te wijzen met een score lager dan 50 procent. De scores van de individuele rwzi's zijn opgesomd in tabel E-2 in bijlage E. De kostendoelmatigheid wordt in paragraaf 4.6 gerelateerd aan enkele kenmerken van de rwzi's.

Figuur 4-4 Frequentieverdeling kostendoelmatigheidsscores, 2009



De gemiddelde doelmatigheidsscores van alle gemeten rwzi's door de tijd heen zijn eveneens zichtbaar te maken. Tabel 4-2 geeft een overzicht van de gemiddelde kostendoelmatigheid per jaar. Gemiddeld is er een verbetering gemaakt in de kostendoelmatigheid: de rwzi's zijn dichterbij de beste praktijk toegekropen.

Tabel 4-2 Ontwikkeling gemiddelde kostendoelmatigheid, 2002, 2006, 2009 (index 2002 = 100)

<i>Jaar</i>	<i>Kostendoelmatigheid</i>	<i>Indexcijfer</i>
2002	0,83	100,0
2006	0,84	100,4
2009	0,86	102,7

4.5 Totale productiviteitsontwikkeling

De schaaleffecten, autonome kostenontwikkelingen en kostendoelmatigheid vormen samen de totale productiviteitsontwikkeling. Tabel 4-3 vat de resultaten samen en geeft eveneens de totale productiviteitsontwikkeling weer. Uit tabel 4-3 blijkt dat de totale productiviteit van de rwzi's in de periode 2002-2009 in totaal met 3,2 procent is gestegen. In de periode 2002-2006 is de toename nog gering en wel 0,6 procent; in de periode 2006-2009 is de toename sterk en wel 2,6 procent. Dat blijkt ook uit tabel 4-4, waarin de jaarlijkse gemiddelde toe- of afname is weergegeven.

Tabel 4-3 Ontwikkeling van componenten van de productiviteit van de rwzi's (index 2002 = 100)

<i>Jaar</i>	<i>Schaal</i>	<i>Autonoom</i>	<i>Kosten- doelmatigheid</i>	<i>Totaal</i>
2002	100,0	100,0	100,0	100,0
2006	100,2	100,0	100,4	100,6
2009	100,5	100,0	102,7	103,2

Tabel 4-4 De totale en jaarlijkse gemiddelde ontwikkeling, 2002-2009

<i>Meting</i>	<i>Totale ontwikkeling in procenten</i>	<i>Gemiddelde jaarlijkse ontwikkeling in procenten</i>
Productiviteit	3,2	0,45
Schaaldoelmatigheid	0,5	0,07
Kostendoelmatigheid	2,7	0,39
Autonoom	0,0	0,00

4.6 Verklaring van de kostendoelmatigheid

In paragraaf 4.4 hebben we de doelmatigheidsscores besproken. Voor iedere observatie (dat is een rwzi in een bepaald jaar) hebben we een score. Vervolgens proberen we de doelmatigheidsscores te verklaren aan de hand van de kenmerken van een rwzi volgens tabel 2-1. De kenmerken zijn gegroepeerd naar waterschap, bouwjaar, technologie voor defosfatering, technologie voor slibstabilisatie, type beluchting en het soort ondergrond. De

schattingsresultaten zijn gegeven in tabel E-3 in bijlage E. We zullen ons hier beperken tot de interpretatie van de resultaten.

Het ene waterschap scoort gemiddeld hoger op de kostendoelmatigheid dan het andere waterschap. Voor het kenmerk waterschap is Hoogheemraadschap van Delfland als basis genomen omdat deze het laagst scoorde. Ieder ander waterschap had ook als basis gekozen kunnen worden; de resultaten veranderen er niet wezenlijk door. De consequentie van deze keuze is dat veel verschillen significant worden. Let wel: een aantal rwzi's wordt volgens de beschrijving in paragraaf 3.2 buiten beschouwing gelaten. Ook de waterschappen Reest & Wieden, De Dommel en Amstel, Gooi en Vecht zijn om datatechnische redenen niet meegenomen in de analyse. De verschillen kunnen worden veroorzaakt door factoren die niet te maken hebben met de gekozen technologieën en omgevingsfactoren, en moeten vooral gezocht worden in de verschillen in governance van de waterschappen. Dit zijn bijvoorbeeld het personeelsbeleid, automatiseringsbeleid, inkoopbeleid, en dergelijke.

We hebben geen verband gevonden tussen de kostendoelmatigheid en het bouwjaar van de installatie. Blijkbaar zijn oude installaties niet meer of minder kostendoelmatig dan nieuwe installaties.

Ook vonden we geen verband tussen de kostendoelmatigheid en de technologie voor defosfatering (simultane defosfatering, preprecipitatie, biologische defosfatering in de hoofdstroom, biologische defosfatering in de deelstroom en overige defosfatering). Biologische defosfatering gaat gemiddeld samen met de hoogste kostendoelmatigheid, en overige defosfatering met de laagste, maar de verschillen zijn niet significant.

De kostendoelmatigheid verschilt bovendien niet significant met de technologie gebruikt voor de slibstabilisatie (slibgisting, simultane aerobe slibstabilisatie, separate aerobe slibstabilisatie en overige slibontwateringstechnologie). De simultane aerobe slibstabilisatie scoort gemiddeld het hoogst, de separate aerobe slibstabilisatie het laagst, maar het is niet uit te sluiten dat dit een min of meer toevallig verband betreft.

We vinden wel een significant verband tussen de kostendoelmatigheid en het type beluchting (puntbeluchting, bellenbeluchting, (kooi)rotoren of borstelbeluchting en overige beluchtingstechnieken). De (kooi)rotor of

borstelbeluchting scoort hierbij het hoogst, gevolgd door de puntbeluchting, vervolgens de bellenbeluchting en de laagste scores worden gevonden voor de overige beluchtingstechnieken.

De bodemgesteldheid lijkt niet van invloed op de kostendoelmatigheid van de rwzi's. Hierbij dient te worden opgemerkt dat eventueel hogere bouwkosten worden verdisconteerd in de prijzen. We vinden slechts licht hogere doelmatigheidsscores bij veen- dan bij kleigrond, en de laagste score bij zandgrond. Maar de verschillen zijn niet significant.

4.7 Productiviteit in de literatuur

Om een indruk te krijgen van de productiviteit in andere sectoren zijn beschikbare studies in kaart gebracht van overige publieke sectoren, de totale marktsector, de drinkwatersector en het gemeentelijk afvalbeheer. Wij maken vooraf de kanttekening dat een harde vergelijking niet mogelijk is, vanwege de specifieke kenmerken van de verschillende sectoren, verschillen in periode, niveau van analyse (doorgaans sectoraal) en methode van analyse. Doelmatigheidsscores kunnen sowieso niet vergeleken worden, omdat die berekend worden ten opzichte van de best presterende eenheid, en die verschilt uiteraard voor de diverse sectoren. De doelmatigheid laten we in deze paragraaf dan ook buiten beschouwing.

Saal en Parker (2000; 2001; 2004) vinden een gemiddelde jaarlijkse productiviteit van 1,3 procent voor tien gecombineerde drinkwaterbedrijven/rioolwaterzuiveringsinstallaties in Engeland en Wales in de periode 1985-1999. Saal et al. (2007) vinden voor deze installaties in de periode 1985-2000 een gemiddelde jaarlijkse productiviteit van 1,2 procent. Het onderlinge verschil in de gemiddelde productiviteit (1,3% en 1,2%) wordt voornamelijk veroorzaakt doordat verschillende analysemethoden zijn gebruikt. Verdere studies naar rwzi's betreffen de berekening van de optimale capaciteit van gecombineerde drink- en rioolwaterzuiveringsinstallaties (Knapp, 1978), diverse berekeningen van schaaldoelmatigheid (Fraquelli & Giandrone, (2003); Saal en Parker, (2000; 2001; 2004) en Saal et al., (2007)) en de berekening van kostendoelmatigheid (2002).

Het Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP) publiceert sinds jaar en dag publieke sector brede schattingen van de productiviteitsontwikkelingen in de verschillende publieke sectoren, variërend van onderwijs tot cultuur en rechtspraak. Tabel 4-5 bevat de ontwikkeling van de productiviteit van een groot aantal publieke sectoren in de periode 2002-2008. De ontwikkeling is weergegeven in indexcijfers met als basisjaar 2002. De totale jaarlijkse productiviteitsontwikkeling varieert van –4 procent (deelsector asiel en migratie) tot +3,8 procent (deelsector vertrekking medicijnen), met een totale score voor alle publieke sectoren van –0,2 procent.

Tabel 4-5 Ontwikkeling productiviteit in publieke sectoren, 2002-2008

	<i>Kosten in 2008 (mld. euro)</i>	<i>Jaarlijkse procentuele ontwikkeling</i>	
		<i>Kosten</i>	<i>Productiviteit</i>
Deze studie*	–	–	0,5
Onderwijs totaal	28,4	2,9	–0,9
Basisonderwijs	8,0	3,0	–2,1
Speciaal onderwijs	1,8	6,9	–1,4
Voortgezet onderwijs	6,5	2,5	–1,7
Beroepsonderwijs/ educatie	4,4	3,4	–1,3
Hoger beroepsonderwijs	3,0	3,2	0,0
Wetenschappelijk onderwijs	2,2	1,4	2,8
Wetenschappelijk onderzoek	2,6	1,5	1,2
Zorg totaal	57,1	4,7	0,2
Ziekenhuizen en specialisten	20,4	5,3	–0,2
Extramurale zorg	6,0	4,1	–2,0
Geestelijke gezondheidszorg	4,4	5,9	1,0
Verstrekking geneesmiddelen	6,1	2,8	3,8
Extramurale verzorging	3,7	3,3	2,3
Intramurale verzorging	8,7	2,5	–0,8
Gehandicaptenzorg	5,9	5,6	0,1
Persoonsgebonden budget	2,0	33,6	–

	<i>Kosten in 2008 (mld. euro)</i>	<i>Jaarlijkse procentuele ontwikkeling</i>	
		<i>Kosten</i>	<i>Productiviteit</i>
Welzijn totaal	5,3	6,6	-0,1
Kinderopvang	2,7	10,0	-2,2
Jeugdzorg	1,5	7,1	2,0
Gehandicapten	1,0	0,1	2,7
Veiligheid totaal	8,4	3,7	-0,7
Politie	4,8	3,1	-0,1
Openbaar ministerie	0,6	3,8	-1,2
Rechtspraak	0,9	5,1	-2,5
Gevangeniswezen	1,1	3,5	-0,5
Brandweer	1,0	5,9	-2,7
Overig	22,5	0,8	-0,3
Uitvoering sociale zekerheid	4,3	-0,8	1,5
Civiele aangelegenheden	6,1	1,6	2,0
Asiel en migratie	0,8	-6,9	-4,0
Cultuur en recreatie	4,1	0,8	-1,9
Openbaar vervoer	7,2	2,5	-1,6
Totaal publieke dienstverlening	121,7	3,5	-0,2

* In deze studie is de ontwikkeling gemeten in de periode 2002-2009.

Bron: Pommer en Eggink (2010)

Tabel 4-6 laat de vergelijking zien van de productiviteit van de rwzi's en de marktsector.

Tabel 4-6 Ontwikkeling productiviteit totale marktsector, 2002-2008

	<i>Kosten in 2008 (mld. euro)</i>	<i>Jaarlijkse procentuele Ontwikkeling</i>	
		<i>Kosten</i>	<i>Productiviteit</i>
Deze studie	–	–	0,5
Totaal marktsector	427,2	1,6	1,6

* In deze studie is de ontwikkeling gemeten in de periode 2002-2009.

Bron: Pommer en Eggink (2010)

Ten slotte geven wij een beknopte vergelijking van studies naar de Nederlandse drinkwatersector en het gemeentelijk afvalbeheer.

Dumaij en Van Heezik (2012) berekenen de productiviteit van de Nederlandse drinkwatersector op basis van gegevens op sectorniveau. Zij vinden een jaarlijkse gemiddelde productiviteit van 1,4 procent in de periode 1985-2010. In de periode 1985-1991 blijkt de productiviteit zelfs 3,8 procent gemiddeld per jaar te zijn, hetgeen vooral wordt toegeschreven aan het opschalingsproces. In de periode 1992-2001 is de productiviteitsontwikkeling nihil. Mogelijk is het effect van opschaling uitgewerkt. In de periode 2002-2010 neemt de productiviteit toe tot gemiddeld 1 procent per jaar. Dit effect is wellicht toe te schrijven aan de invoering van de bedrijfsvergelijking van drinkwaterbedrijven. Verdere studies naar de drinkwatersector betreffen de kostendoelmatigheid (Blank en Koot, (2004); Dijkgraaf et al., (1997); Dijkgraaf et al., (2005); Schmitz en Dane, (2008)) en schaaldoelmatigheid (Dijkgraaf et al., (1997)).

De productiviteit en doelmatigheid van het gemeentelijk afvalbeheer in de periode 2001-2009 is onderzocht door Felsö en De Groot (2011). Ook zij gebruiken een kostenfunctie die vergelijkbaar is met de kostenfunctie die wij hebben gebruikt. Zij vinden dat de productiviteit in 2009 circa 1 procent lager is dan in 2001. De productiviteit van afvalbeheer is in de periode 2001-2004 met ruim 8 procent gedaald. Na 2004 stijgt de productiviteit. Deze cijfers houden echter geen rekening met kostenverhogende kwaliteitsverbeteringen zoals ontwikkelingen in inzamelfrequentie en milieuvriendelijker (gescheiden) inzameling en verwerking van afval. Verder berekenen Felsö en De Groot de kostendoelmatigheid en verklaren die vervolgens aan de hand van de contractvorm waaronder het afval is beheerd.

5 Conclusie, beschouwingen en aanbevelingen

5.1 Conclusies ten aanzien van de methodiek

In deze studie is de productiviteit gemeten met een kostenfunctie en kostenaandelenfuncties, waarbij een robuuste methode gebruikt is voor het schatten van het model.

De Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer vormt een goede basis voor het te analyseren gegevensbestand. Er is wel een uitgebreide data-analyse en -bewerking toegepast om de gegevensset te construeren. In enkele gevallen konden ontbrekende gegevens worden geschat op basis van aanwezige gegevens. Dit heeft wel de uitkomsten beïnvloed.

In de analysefase van het onderzoek is uitgebreid geëxperimenteerd met uiteenlopende modelspecificaties voor zowel de productie als de ingezette middelen. Niet alle specificaties hebben geleid tot betrouwbare uitkomsten. Zo bleek onder andere het aantal inwonersequivalenten geen geschikte productmaat. De gebruikte stoffen als afzonderlijke productmaten opnemen leidde eveneens tot onbetrouwbare uitkomsten, vanwege de hoge correlatie tussen de productmaten. De samengestelde productmaat bood uitkomst.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de methode geschikt is voor de meting van productiviteit en kostendoelmatigheid. Er zijn nog wel verbetermogelijkheden. De invulling van het model bepaalt voor een belangrijk deel de uitkomsten en kan nog verder onderzocht worden. Dit geldt met name voor de verklaringen van de verschillen in kostendoelmatigheid tussen de rwzi's.

Daarnaast zou de toevoeging van slibverwerking en transport van toegevoegde waarde zijn. Dit vereist wel het verzamelen van aanvullende gegevens en aanpassing van het model.

5.2 Productiviteit en doelmatigheid

De productiviteit van de rwzi's tezamen is in de periode 2002-2009 gestegen met 3,2 procent (jaarlijks gemiddelde toename van 0,5%). De stijging vindt vooral plaats in de periode 2006-2009: totaal 2,6 procent (jaarlijks gemiddelde toename van 0,9%). Deze toename komt vooral doordat de verschillen in kostendoelmatigheid tussen de rwzi's kleiner zijn geworden. Daarnaast heeft de schaalvergroting van de rwzi's van de afgelopen jaren geleid tot een doelmatigheidsverbetering. In de hele sector hebben geen duidelijke productiviteitsontwikkelingen plaatsgevonden door wet- en regelgeving of technologische ontwikkelingen.

Hoewel de kostendoelmatigheid relatief hoog is, valt er op dat gebied nog steeds winst te behalen. Bij de gemiddelde kostendoelmatigheid van 85,6 procent kan dezelfde productie theoretisch met gemiddeld 14,4 procent minder kosten gerealiseerd worden. Er kunnen echter goede verklaringen zijn voor de verschillen in kostendoelmatigheid. Een eerste stap in het vinden van een verklaring voor de verschillen in kostendoelmatigheid hebben we gezet door de scores te relateren aan enkele kenmerken. We zien dan een verband tussen de kostendoelmatigheid en de beluchtingstechniek. Rwzi's die gebruikmaken van rotorbeluchting zijn gemiddeld kostendoelmattiger dan de rwzi's die puntbeluchting toepassen en die zijn weer doelmatiger dan rwzi's die gebruikmaken van bellenbeluchting. De categorie overige beluchtingstechnieken is het minst kostendoelmatig. Dit hoeft niet te betekenen dat rotorbeluchting een betere techniek is, mogelijk is de gunstigere kostendoelmatigheid veroorzaakt door minder hoge investeringen. Verder vinden we verschillen in kostendoelmatigheid tussen waterschappen. Kenmerken van een waterschap zoals het HRM-beleid, uitbesteding, mate van automatisering, de managementstructuur, de mate van decentrale verantwoordelijkheid en mate van samenwerking en dergelijke, zoals beschreven door Blank et al. (2010), kunnen de kostendoelmatigheid van de rwzi's beïnvloeden. De verklaring van de doelmatigheid aan de hand van deze kenmerken van de waterschappen is in deze studie niet verder onderzocht.

We hebben in deze studie ook de schaaldoelmatigheid van de rwzi's bekeken. Door schaalvergroting lijken er nog mogelijkheden te zijn tot doelmatigheidswinst. Dit betekent echter dat water meer getransporteerd moet worden. Om een goed beeld te krijgen van schaaldoelmatigheid zouden ook de slibverwerking en de transportfase betrokken moeten worden in de analyse.

5.3 Kanttekeningen bij de productiviteit en doelmatigheid

We plaatsen enkele kanttekeningen bij de studie. Ten eerste wordt de kwaliteit van de resultaten voor een belangrijk deel bepaald door de kwaliteit van de gegevens. Elke meting van een indicator wordt beperkt door meetfouten, enerzijds door verschillen in interpretatie van de indicator, anderzijds door fysieke meet- of invoerfouten. Ook bijzondere omstandigheden, zoals versnelde afschrijving of liquidatie van middelen, maken gegevens zonder aanvullende bewerkingen ongeschikt voor een productiviteitsmeting. In deze studie is ongeveer 40 procent van de rwzi's weggelaten, omdat één of meer metingen van indicatoren onwaarschijnlijke waarden hebben of omdat indicatoren geen waarde hebben gekregen. Bijna de helft van de uitgesloten observaties heeft geen of zeer onwaarschijnlijke kapitaalkosten opgegeven. Door deze exclusie is er een vorm van selectie ontstaan die veel voorkomt bij metingen van productiviteit en doelmatigheid in de literatuur. De mate van selectiviteit kan in dit geval echter om datatechnische redenen niet nader worden onderzocht. De waterschappen Reest en Wieden, De Dommel, en Amstel, Gooi en Vecht zijn in het geheel niet meegenomen in de analyse. Ook van het Hoogheemraadschap Delfland als geheel kan geen analyse gegeven worden vanwege de uitzonderingspositie en omvang van de rwzi's Harnaschpolder en Houtrust.

Een tweede kanttekening is dat niet alle indicatoren voor alle jaren en op het niveau van de rwzi's beschikbaar waren. Daardoor is bijvoorbeeld de prijs voor personeel voor alle rwzi's per waterschap hetzelfde. Bovendien hebben we aangenomen dat in de jaren 2002 en 2006 de verhouding personeel voor de zuivering en overig personeel hetzelfde was per waterschap. Dit omdat we voor de jaren 2002 en 2006 alleen over het totaal aantal voltijdbanen per waterschap beschikten en kostengegevens die alleen over het personeel gingen dat betrokken was bij het zuiveringsproces. Voor de prijs van energie ontbraken de tarieven in 2002. Deze hebben we doorgetrokken op basis van een algemene prijsindex. Ook op het gebied van kapitaal lijken gegevens niet beschikbaar op het niveau van de rwzi. Verschillende waterschappen hebben bijvoorbeeld de leasekosten gelijk verdeeld over alle rwzi's. Kleine rwzi's krijgen daardoor een grote kostenpost toebedeeld die waarschijnlijk niet werkelijk aan die rwzi toebehoort. Dit geeft een scheef beeld van de kostendoelmatigheid van de rwzi's.

De derde kanttekening betreft de prijzen. De prijzen van personeel en kapitaal zijn berekend uit de kosten en het volume. Het volume kapitaal is benaderd met de ontwerpcapaciteit van de rwzi's en houdt geen rekening met feitelijke

investeringen. De kosten van kapitaal zijn de jaarlijkse afschrijvingen en leasekosten etc. Het gebruikte materiaal is een samenstelling van chemische middelen, ingehuurd personeel en overige zaken. Het aandeel van overige kosten is echter aanmerkelijk groter dan de kostenaandelen van chemische middelen en ingehuurd personeel. Omdat van deze rubriek geen volume gegeven is, is hiervoor ook geen prijs te berekenen of prijsindex te kiezen. Daarom is voor de prijs van materiaal de consumentenprijsindex gekozen.

Gegeven de genoemde kanttekeningen dient de interpretatie van de resultaten met voorzichtigheid te gebeuren. Overigens is het heel gebruikelijk dergelijke kanttekeningen te moeten maken bij dit soort studies. Een aantal van de kanttekeningen heeft te maken met een gebrek aan gegevens in het verleden en zou voor toekomstige analyses in mindere mate een probleem moeten opleveren. Een betere uitsplitsing van de kapitaalkosten over de rwzi's zou de kwaliteit van de resultaten bovendien kunnen verbeteren. Op basis van deze analyse hebben we een aantal kenmerken kunnen identificeren die een verband hebben met de kostendoelmatigheid, zoals de wijze van beluchting. Bovendien zijn er verschillen gevonden in kostendoelmatigheid tussen waterschappen. Dit kan aanleiding zijn voor verdere discussie over wat de overeenkomsten zijn van relatief kostendoelmatige waterschappen. Er kunnen nog tal van andere oorzaken zijn voor de verschillen in kostendoelmatigheid. Het is niet uit te sluiten dat deze kenmerken gecorreleerd zijn met niet-waargenomen variabelen. In dat geval wordt een verklaring toegeschreven aan een variabele, terwijl deze eigenlijk aan de (onbekende) gecorreleerde variabele moet worden toegeschreven. Voor de toekomst zou het zinvol zijn om gegevens over andere mogelijke oorzaken te verzamelen.

5.4 Aanbevelingen

De studie is de eerste meting van de productiviteit en doelmatigheid van rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland. De aanbevelingen zijn dan ook gebaseerd op alleen deze studie en een vergelijkbare aanpak met toepassing op onder andere drinkwaterbedrijven.

De studie leidt tot de volgende aanbevelingen met betrekking tot de gegevens. Herhaalmeting en uitbreiding van de meting met aanvullende gegevens uit aankomende Bedrijfsvergelijkingen Zuiveringsbeheer wordt aanmerkelijk vereenvoudigd als de gegevens zich in een consistente database bevinden. De

database moet dan wel een exportmogelijkheid hebben. De variabelen in de database moeten eenduidig gemeten zijn voor alle rwzi's. De hoeveelheid geproduceerde elektriciteit per rwzi zou een zinvolle uitbreiding zijn, net als de kosten en prijzen die verband houden met de productie van elektriciteit. De eventuele inkomsten uit verkoop van elektriciteit zouden als aparte post opgenomen moeten worden, net als het eigen gebruik van eigen opgewekte elektriciteit.

In de studie zijn alleen de rwzi's geanalyseerd. Zowel het gegevensbestand als de meting van productiviteit en doelmatigheid kan worden uitgebreid met slibverwerking en transport, indien daarvoor passende variabelen zijn verzameld op het niveau van de rwzi's. Hierbij geldt dat voor elke productiemaat tevens de ingezette middelen moeten worden geregistreerd in passende maten voor kosten en prijzen, en eventueel volumina als één van beide niet waarneembaar is. Het productiemodel moet hiervoor worden aangepast. Dit is niet triviaal, vanwege de complexiteit van de functies en de toenemende onderlinge afhankelijkheid van variabelen.

Het verklaren van de kostendoelmatigheid kan worden uitgebreid met kenmerken van de waterschappen. Hierbij kan gedacht worden aan HRM-beleid, uitbesteding, mate van automatisering, managementstructuur, mate van decentrale verantwoordelijkheid en mate van samenwerking. Hiervoor geldt dat de kenmerken gemeten moeten worden voor alle waterschappen en bij voorkeur ook per jaar van meting volgens de BVZ.

Ten slotte is het belangrijk dat de gebruikte gegevens en uitkomsten terdege worden besproken binnen de waterschappen en de Unie van Waterschappen, met het oog op het verkrijgen van volledig inzicht in de betekenis van de aanpak en uitkomsten voor de waterschappen. Inzicht in mogelijke onjuistheden in zowel gegevens, aanpak, en uitkomsten zijn waardevol voor eventueel herhalingsonderzoek, of uitbreiding van het onderzoek met de gegevens uit de BVZ 2012.

Bijlage A De multi-product translogkostenfunctie

De multi-product translogkostenfunctie

Het kostenfunctiemodel betreft een translogkostenfunctie en de bijbehorende kostenaandelenvergelijkingen:

$$\begin{aligned}\ln(C) = & a_0 + \sum_{i=1}^m b_i \ln(Y_i) + \sum_{i=1}^n c_i \ln(W_i) + \sum_{i=1}^{n'} d_i \ln(Z_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m b_{ij} \ln(Y_i) \ln(Y_j) + \\ & \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \ln(W_i) \ln(W_j) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n'} \sum_{j=1}^{n'} d_{ij} \ln(Z_i) \ln(Z_j) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n e_{ij} \ln(Y_i) \ln(W_j) + \\ & \sum_{i=1}^{n'} \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln(Z_i) \ln(W_j) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n'} \sum_{j=1}^m g_{ij} \ln(Z_i) \ln(Y_j) + T + \\ & \sum_{i=1}^m i_{1i} T \ln(Y_i) + \sum_{i=1}^n j_{1i} T \ln(W_i)\end{aligned}\tag{1}$$

Met:

C = totale kosten;

Y_i = output i ($i = 1, \dots, m$);

T = jaar van de waarneming;

W_i = prijs van het ingezette middel i ($i = 1, \dots, n$);

Z_i = vast middel i ($i = 1, \dots, n$).

En:

$$T = \sum_t a_t \cdot (\text{jaar} = t)$$

$a_o, a_t, b_i, c_i, d_i, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}, e_{ij}, f_{ij}, g_{ij}, h_0, h_{11}, i_{1i}, j_{1i}$ te schatten parameters.

Met behulp van Shephard's lemma zijn de kostenaandelenfuncties :

$$S_j = c_j + \sum_{i=1}^n c_{ij} \ln(W_i) + \sum_{i=1}^m e_{ij} \ln(Y_i) + \sum_{i=1}^{n'} f_{ij} \ln(Z_i) + j_{1j} \cdot T \quad (j=1, \dots, n) \quad (2)$$

Met :

S_j = kostenaandelen voor middel j ($j = 1, \dots, n$).

Verder is homogeniteit van graad één voor de prijzen vereist en symmetrie; dit betekent de volgende restricties op de parameters:

$$b_{ij} = b_{ji} \quad ; \quad c_{ij} = c_{ji} \quad ; \quad d_{ij} = d_{ji}$$

$$\sum_{i=1}^n c_i = 1; \sum_{i=1}^n c_{in'} = 0 \quad (\forall n'); \sum_{i=1}^n e_{mi} = 0 \quad (\forall m); \sum_{i=1}^n f_{ki} = 0 \quad (\forall k); \sum_{i=1}^n j_{1n} = 0 \quad (3)$$

Afleiding factorproductiviteit

Wij definiëren de intrinsieke of nettoproductiviteitsverandering van middel j als de relatieve verandering in gebruik van middel j bij gegeven productieniveau en gegeven prijzen van de middelen als gevolg van technologische veranderingen. Het verschil met de brutoproductiviteitsontwikkeling is, dat bij brutoproductiviteitsontwikkeling ook substitutie-effecten een rol spelen. Veronderstel dat de kostenfunctie gedefinieerd wordt als:

$$C = c(Y, W, T) \quad (4)$$

Met :

C = totale kosten;

Y = productie;

W = prijzen van de middelen;

T = tijd (als maat voor de technologische verandering);

$C(\cdot)$ = is een tweemaal differentieerbare functie in W en T .

Per definitie geldt voor alle middelen j :

$$X_j = \frac{S_j \cdot C}{W_j} \quad (5a)$$

Met :

X_j = middel j ;

S_j = kostenaandeel j ;

W_j = prijs van middel j ;

We schrijven vergelijking (5a) in logaritmische vorm:

$$\ln X_j = \ln S_j + \ln C - \ln W_j \quad (5b)$$

Vervolgens differentiëren we de vergelijking naar T :

$$\frac{d \ln X_j}{dT} = \frac{\partial \ln S_j}{\partial T} + \frac{\partial \ln C}{\partial T} - \frac{\partial \ln W_j}{\partial T} \quad (6)$$

Omdat we de prijzen van de middelen constant veronderstellen over de tijd, vervalt de laatste term aan de rechterzijde van de vergelijking. Verder is de eerste term aan de rechterzijde te herschrijven als $\partial S_j / S_j \partial T$. Omdat we veronderstellen dat de rwzi haar kosten minimaliseert, volgt uit de toepassing van Shephard's lemma dat:

$$\frac{d \ln X_j}{dT} = \frac{1}{S_j} \frac{\partial \left[\frac{\partial \ln C}{\partial \ln W_j} \right]}{\partial T} + \frac{\partial \ln C}{\partial T} \quad (7)$$

Dit is een algemene formule voor de productiviteitsverandering van productiemiddel j uitgaande van een kostenfunctie. De productiviteitsverandering van middel j is gelijk aan een correctiefactor en de autonome kostenontwikkeling.

Toepassing van (7) op de translogfunctie zoals gespecificeerd in (1) maakt het mogelijk de uitdrukking aanzienlijk te vereenvoudigen. De enige term die immers wat oplevert als de translogfunctie gedifferentieerd wordt naar zowel de prijs van j als de tijd, is de kruisterm van prijs en tijd. Uitdrukking (7) wordt dus:

$$\frac{d \ln X_j}{dT} = \frac{j_{1j}}{S_j} + \frac{\partial \ln C}{\partial T} \quad (8)$$

Met S_j gedefinieerd als (2) en de twee term aan de rechterzijde als:

$$\frac{\partial \ln C}{\partial T} = \sum_t a_t \cdot (jaar = t) + \sum_{i=1}^m i_{li} \ln(Y_i) + \sum_{i=1}^n j_{li} \ln(W_i) \quad (9)$$

Bijlage B Variabelen in de literatuur

Tabel B-1 Variabelen in de literatuur

<i>Studie</i>	<i>Scope</i>	<i>Methode</i>	<i>Variabelen</i>
Fraquelli en Giandrone (2003)	Italië, 103 installaties, 1996	Cobb-Douglas kostenfunctie	Equivalent inhabitants served (thousands); Volumes of wastewater treated (millions m³); Volumes treated/Equivalent inhabitants served (m³ per unit); Residual sludge (tons); Residual sludge/volumes of treated water (mg/liter); Influent pollution load (ICOD, mg/liter); Effluent pollution load (ECOD, mg/liter); Removed pollution load (RECOD, mg/liter); Running costs/volumes treated (lira per m³); Labor cost/running costs (%); Costs of materials/running costs (%); Sludge disposal cost/running costs (%); Labor cost/employees (millions lira); Costs of materials/equivalent inhabitants served (lira); Sludge disposal cost/quantity disposed (lira per ton)
Knapp (1978)	Engeland en Wales, 173 installaties, 1972-1973	Multi-product kostenfunctie	Average operating cost per million gallons of total daily sewage flow; Total sewage flow in million gallons per day; Proportion of biochemical oxygen demand (five days at 20 °C) removed during purification (i.e. degree of purification); Average strength of influent (parts per million) as measured by suspended solids content; Average strength of effluent (parts per million) as measured by suspended solids content; Biological filtration dummies; Activated sludge dummies; Final effluent treatment dummies; Sludge digestion dummies; Mechanical de-watering dummies; Ratio of dry weather flow to total sewage flow (million gal/day); Ratio of trade effluent to total sewage flow (million gal/day); Total sewage flow per head of the population of the area draining to the works; Number of years since works commenced operation or underwent major reconstruction
Saal en	Engeland en	Translog	Resident water supply population;

<i>Studie</i>	<i>Scope</i>	<i>Methode</i>	<i>Variabelen</i>
Parker (2000)	Wales, 10 installaties, 1985-1999	multiple output kostenfunctie	Population connected to sewerage; Treatment works; Water quality (water quality compliance local/average); Sewerage quality (river and bathing water quality local/average); Labour; Capital; Other costs
Saal en Parker (2001)	Engeland en Wales, 10 installaties, 1985-1999	Multi-product translog kostenfunctie	Quality adjusted water supplied; Wastewater collected; Labour; Non-capitalised employment; Capital stock; Other costs
Saal en Parker (2004)	Engeland en Wales, 10 installaties, 1985-1999	Translog kostenfunctie van operationele kosten	Quality adjusted output of water and wastewater; Labour; Non-capitalised employment; Capital stock; Other costs
Saal en Reid (2004)	Engeland en Wales, 10 installaties, 1993-2003	Translog kostenfunctie van operationele kosten	Volume of water delivered net of leakage; Water capital stock; Sewerage capital stock; Labour; Other input costs; Drinking water quality; Percentage of secondary treatment of sewerage; Number of water connected properties; Number of sewerage connected properties; Density (population per kilometer of mains)
Saal et al. (2007)	Engeland en Wales, 10 installaties, 1985-2000	SFA	Water customers; Connections with sewerage customers; Physical water supply; Physical sewerage load; Quality adjustment indices (water and sewerage); Capital stock; Current cost operating profits less current cost depreciation; Infrastructure renewal expenditures; Non-capitalised employment; Labour
Thanassoulis (2002)	Engeland en Wales, 10 installaties, 1994	DEA	Sewerage operating expenditure; Resident population; Length of sewer pipes; Size of area served; Capacity of pumping in sewerage network

Bijlage C Gegevensmodel zuiveringsbeheer

Bron: Vragenlijst Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer. Den Haag: Unie van Waterschappen, 2009

1. Capaciteit

t_m – Capaciteit voor product m in sectorspecifieke eenheden; $m=1,2,3$

a. TRANSPORT

- i. V1.1a Gemeten capaciteit gemalen per rwzi in m^3/uur
- ii. V1.6 Aantal gemalen per rwzi

b. ZUIVERING

- i. V_ Aantal rwzi per ws
- ii. V1.9 Ontwerpcapaciteit per rwzi in i.e.
- iii. V1.10 Maximale hydraulische capaciteit per rwzi in m^3/uur
- iv. V1.27 Totaal aantal ontwerp i.e. om aan lozingenbesluit te voldoen per ws
- v. V1.38 Volume van de actief slibruimte per rwzi in m^3

c. VERWERKING

- i. V1.55 Ontwerpcapaciteit mechanische soi's per owl in ton ds
- ii. V1.65 Gesommeerde aantal in ontwerp gedefinieerde draaiuren soi's per owl in uur

2. Productie (output)

y_m – Productie van product m in sectorspecifieke eenheden; $m=1,2,3$

a. TRANSPORT

- i. V1.3 Hoeveelheid aangevoerd afvalwater via persleiding per rwzi in m^3km
- ii. V1.4 Hoeveelheid aangevoerd afvalwater via vrij verval per rwzi in m^3km
- iii. V1.5 Hoeveelheid aangevoerd afvalwater totaal per rwzi in m^3km

b. ZUIVERING

- i. V0.2 Aantal indirecte v.e. per ws
- ii. V0.3 Aantal v.e. door andere rwzi's per ws
- iii. V0.4 Aantal v.e. voor andere rwzi's per ws

- iv. V1.17 Gemiddelde belasting per rwzi in i.e.
- v. V1.18 Aantal met effluent geloosde i.e. per rwzi
- vi. V1.19 CZV-jaarvracht in het influent per rwzi in kg
- vii. V1.20 CZV-jaarvracht in het effluent per rwzi in kg
- viii. V1.21 Stikstof-jaarvracht in het influent per rwzi in kg
- ix. V1.22 Stikstof-jaarvracht in het effluent per rwzi in kg
- x. V1.23 Rendement stikstofverwijdering per ws in %
- xi. V1.24 Fosfaat-jaarvracht in het influent per rwzi in kg
- xii. V1.25 Fosfaat-jaarvracht in het effluent per rwzi in kg
- xiii. V1.26 Rendement fosfaatverwijdering per ws in %
- xiv. V1.31 Slibproductie per rwzi in ton ds
- xv. V1.34 Hoeveelheid aangevoerd afvalwater per rwzi in m³/dag
- xvi. V1.35 Hoeveelheid afvalwaterdebiet (exclusief retourslib) naar de actief slibruimte per rwzi in m³/dag
- xvii. V1.39 Hoeveelheid effluent geloosd bij andere waterkwaliteitsbeheerder per ws in m³
- xviii. V1.40 Totale hoeveelheid effluent geloosd bij andere waterkwaliteitsbeheerder per ws in m³

c. VERWERKING

- i. V1.54 Slibproductie per owl in tonnen ds
- ii. V1.57 Slibproductie in tonnen ontwaterd slib (gewichtston, nat) per ws
- iii. V1.68 Hoeveelheid verwerkt slib van externen per soi in ton ds
- iv. V1.69 Hoeveelheid droge stof voor verwerking door derden per ws in ton ds

3. Kwaliteit (output)

q_{ij} – Kwaliteitskenmerk j van product i in sectorspecifieke eenheden; $i,j=1,2,3$

a. TRANSPORT

- i. V1.2a Afnameverplichting per rwzi in m³/uur
- ii. V1.2b Percentage compliance afnameverplichting per rwzi in %
- iii. V1.2c Percentage contractuele afnameverplichting per rwzi in %
- iv. V1.8a Aantal storingen per proces geregistreerd per waterschap (j/n)
- v. V1.8b Aantal storingen per rwzi
- vi. V1.8c Totale duur storingen per rwzi in uur
- vii. V1.8d Aantal storingen resulterend in overstort per rwzi

b. ZUIVERING

- i. V1.11a Compliance effluent volgens lozingenbesluit per rwzi (j/n)

- ii. V1.11b Nalevingspercentage effluent volgens lozingenbesluit per rwzi (%)
- iii. V1.11c Effluent klasse-indeling per rwzi (klasse)
- iv. V1.13 Gelijkmatige minimale bemonstering volgens lozingenbesluit per rwzi (j/n)
- v. V1.14a Bypass aanwezig per rwzi (j/n)
- vi. V1.14b Bypass in effluentbemonstering opgenomen per rwzi (j/n)
- vii. V1.15 Aantal influentiebemonsteringen per jaar per rwzi
- viii. V1.16 Maatgevende belasting per rwzi in i.e.
- ix. V1.32 Bouwjaar per rwzi
- x. V1.33 Prognose belasting per jaar per rwzi in i.e.
- xi. V1.36 BZV-gehalte in de toevoer van de actief slibruimte per rwzi in mg/l
- xii. V1.37 Droge stofgehalte in de actief slibruimte per rwzi in kg/m^3
- xiii. V1.41 Gewogen gemiddelde BZV-gehalte in aanvoer per rwzi in mg/l
- xiv. V1.42 Gewogen gemiddelde CZV-gehalte in aanvoer per rwzi in mg/l
- xv. V1.43 Gewogen gemiddeld stikstofgehalte in aanvoer per rwzi in mg/l
- xvi. V1.44 Gewogen gemiddeld totaal fosfaatgehalte in aanvoer per rwzi in mg/l
- xvii. V1.45 Klasse voor percentage i.e. in retourstromen per rwzi (klasse)
- xviii. V1.46 Klasse voor percentage CZV in retourstromen per rwzi (klasse)
- xix. V1.47 Klasse voor percentage stikstof in retourstromen per rwzi (klasse)
- xx. V1.48 Klasse voor percentage fosfaat in retourstromen per rwzi (klasse)
- xxi. V1.53a Aantal storingen per proces en storingsduur geregistreerd per ws (j/n)
- xxii. V1.53b Aantal storingen totaal bij zuiveren per rwzi
- xxiii. V1.53c Totale storingsduur per rwzi (uur)
- c. VERWERKING
 - i. V1.56 Hoeveelheid toeslagstoffen t.b.v. mechanische slibontwatering per owl in ton ds/jaar
 - ii. V1.62 Gewogen gemiddelde droge stof percentage in toevoer naar mechanische slibontwateringen per ws in %
 - iii. V1.63 Bouwjaar soi per owl (jaar)

- iv. V1.64 Gesommeerde aantal werkelijke draaiuren soi's per ws in uur
- v. V.170a Aantal storingen per proces en storingsduur geregistreerd per ws (j/n)
- vi. V1.70b Aantal storingen totaal bij verwerken slib per soi
- vii. V1.70c Totale storingsduur bij verwerken slib per soi in uur

4. Prijzen (output)

p_m – Prijs van product i in euro; $i=1,2,3$

- i. V2.1 Tarief zuiveringsheffing per ws per v.e. in euro
- ii. Zie DIVERSE: (Overige) opbrengsten V2.3m, V2.6n, V2.11l, V2.11q
 - a. TRANSPORT
 - b. ZUIVERING
 - c. VERWERKING

5. Input (input)

x_1 – Volume personeel in fte, inclusief arbeidstijdverkorting

- i. V0.6 Aantal fte waterzuivering per ws (#management, #ondersteuning, #beheer, #onderhoud, #zuiveringstechnologie, #nieuwbouw, #planvorming en accountmanagement)
 - a. TRANSPORT
 - b. ZUIVERING
 - c. VERWERKING

x_2 – Volume materiaal

- a. TRANSPORT
- b. ZUIVERING
 - i. V1.30 Verbruikte chemicaliën voor fosfaatverwijdering per rwzi in mol Me/dag
- c. VERWERKING
 - ii. V1.59 Verbruikte poly-elektrolyet voor mechanische slibontwatering per ws in kg
 - iii. V1.60 Verbruikt ijzer (FeCl_3 of FeCl_2) voor mechanische slibontwatering per ws in kg Fe
 - iv. V1.61 Verbruikt calcium voor mechanische slibontwatering per ws in kg Ca

x_3 – Volume kapitaal in euro (x 1.000)

a. TRANSPORT

- i. V2.4a Bruto-investeringsbedragen per ws, 1970-2009
- ii. V2.4b Ontvangen subsidies per ws, 1970-2009

b. ZUIVERING

- iii. V2.7a Bruto-investeringsbedragen per rwzi, 1970-2009
- iv. V2.7b Ontvangen subsidies per rwzi, 1970-2009

c. VERWERKING

- v. V2.12a Bruto-investeringsbedragen per owl, 1977-2009
- vi. V2.12b Ontvangen subsidies per owl, 1977-2009

x_4 – Volume energie in kWh

- i. V2.16d Totaal ingekochte elektriciteit per ws in kWh, 2002-2009
- ii. V2.16e Verdeling ingekochte elektriciteit hoog-laag-tarief per ws in %

a. TRANSPORT

- i. V1.6 Energieverbruik van gemalen totaal per ws in kWh

b. ZUIVERING

- ii. V1.28 Energieverbruik per rwzi in kWh
- iii. V1.19 Energieverbruik beluchting per rwzi in kWh

c. VERWERKING

- iv. V1.58 Energieverbruik slibverwerking (t/m mechanische slibontwatering) per rwzi in kWh

6. Kosten (input)

C_1 – Kosten van personeel

a. TRANSPORT

- i. V2.3f Kosten personeel beheer transportstelsel per ws in euro
- ii. V2.3i Kosten personeel onderhoud transportstelsel per ws in euro

b. ZUIVERING

- i. V2.6f Kosten personeel beheer zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
- ii. V2.6k Kosten personeel onderhoud zuiveringsinstallaties per rwzi in euro

c. VERWERKING

- i. V2.11f Kosten personeel beheer ontwateren en transport per owl in euro
- ii. V2.11m Kosten personeel onderhoud ontwateren en transport per owl in euro

C₂ – Kosten van materiaal

a. TRANSPORT

- i. V2.3c Kosten leaseconstructies per ws in euro
- ii. V2.3d Niet-geactiveerde eigen bijdragen/ personeelskosten voor investeringsprojecten per ws in euro
- iii. V2.3e Overige kosten bouw en verwerving transportstelsel per ws in euro
- iv. V2.3g Kosten derden (personeel + materieel) beheer transportstelsel per ws in euro
- v. V2.3h Overige kosten beheer transportstelsel per ws in euro
- vi. V2.3j Kosten materieel onderhoud transportstelsel per ws in euro
- vii. V2.3j Kosten derden (personeel + materieel) onderhoud transportstelsel per ws in euro
- viii. V2.3l Overige kosten onderhoud transportstelsel per ws in euro

b. ZUIVERING

- i. V2.6c Kosten leaseconstructies per rwzi in euro
- ii. V2.6d Niet-geactiveerde eigen bijdragen/ personeelskosten voor investeringsprojecten per rwzi in euro
- iii. V2.6e Overige kosten bouw en verwerving zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
- iv. V2.6g Kosten derden (personeel + materieel) beheer zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
- v. V2.6i Kosten chemicaliën beheer zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
- vi. V2.6j Overige kosten beheer zuiveringsinstallaties per rwzi
- vii. V2.6l Kosten derden (personeel + materieel) onderhoud zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
- viii. V2.6m Overige kosten onderhoud zuiveringsinstallaties per rwzi in euro

c. VERWERKING

- i. V2.11c Kosten leaseconstructies per owl in euro
- ii. V2.11d Niet-geactiveerde eigen bijdragen/ personeelskosten voor investeringsprojecten per owl in euro

- iii. V2.11e Overige kosten bouw en verwerving soi's per owl in euro
- iv. V2.11g Kosten derden (personeel + materieel) ontwateren en transport per owl in euro
- v. V2.11i Kosten beheer chemicaliën ontwateren en transport per owl in euro
- vi. V2.11j Kosten beheer transport nat slib naar eigen soi per owl in euro
- vii. V2.11k Overige beheerkosten ontwateren en transport per owl in euro
- viii. V2.11n Kosten materieel voor onderhoud ontwateren en transport per owl in euro
- ix. V2.11o Kosten derden (personeel + materieel) ontwateren en transport per owl in euro
- x. V2.11p Overige onderhoudskosten ontwateren en transport per owl in euro
- xi. V2.11r Kosten transport ontwaterd slib per owl in euro
- xii. V2.11s Kosten eindverwerking slib/restproducten per owl in euro
- xiii. V2.11t Overige kosten afzet slib/ restproducten per owl in euro
- xiv. V2.11u Kosten transport nat slib naar derden per ws in euro

C₃ – Kosten van kapitaal

- i. V0.11 Renteomslagpercentage voor investeringen per ws in %
 - a. TRANSPORT
 - i. V2.3a Rentelasten transportstelsel per ws in euro
 - ii. V2.3b Afschrijving transportstelsel per ws in euro
 - b. ZUIVERING
 - iii. V2.6a Rentelasten zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
 - iv. V2.6b Afschrijving zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
 - c. VERWERKING
 - v. V2.11a Rentelasten soi's per owl in euro
 - vi. V2.11b Afschrijvingen soi's per owl in euro

C₄ – Kosten van energie

- a. TRANSPORT
- b. ZUIVERING

- i. V2.6h Kosten energie beheer zuiveringsinstallaties per rwzi in euro
 - c. VERWERKING
 - ii. V2.11h Kosten energie beheer ontwateren en transport per owl in euro
- C – Kosten totaal per ws
 - i. V2.2 Totale kosten zuiveringstechnische werken per ws in euro
Totale kosten zuiveringstechnische werken, som van kosten afvalwaterbehandeling door andere z.b.; kosten slibontwatering door andere z.b.; opbrengsten behandeling grensoverschrijdend afvalwater voor andere z.b.; opbrengsten slibontwatering voor andere z.b.; toegerekende kosten; dotaties en onttrekkingen aan voorzieningen (per saldo); Wvo-heffing effluent; subsidies afhaakproblematiek; nettokosten IBA's in beheer waterschap.
 - ii. V2.2j Netto directe kosten eigen zuiveringstechnische werken per ws in euro
 - iii. V2.2l Totaal dotaties en onttrekkingen aan reserves zuiveringsbeheer (per saldo) per ws in euro
 - iv. V2.2m Totaal overige kosten zuiveringsbeheer per ws in euro
 - v. V2.2_ Totale kosten ten laste van zuiveringsbeheer per ws in euro
 - vi. V2.16a Totale elektriciteitskosten (incl. BTW) per ws, 2002-2009 in euro
 - vii. V2.16b Afrekening elektriciteitskosten voorgaande jaren per ws (j/n)
 - viii. V2.16c Afrekening elektriciteitskosten voorgaande jaren per ws (euro)
- a. TRANSPORT
 - b. ZUIVERING
 - c. VERWERKING

7. Prijzen (input)

w_1 – Prijs van personeel in euro (x 1.000)/ fte

- a. TRANSPORT
- b. ZUIVERING
- c. VERWERKING

w_2 – Prijs van materiaal

- a. TRANSPORT

- b. ZUIVERING
- c. VERWERKING

w_3 – Prijs van kapitaal in %

- a. TRANSPORT
- b. ZUIVERING
- c. VERWERKING

w_4 – Prijs van energie

- i. V2.14f Prijs (incl. BTW) per kWh hoog tarief per ws, 2002-2009
- ii. V2.14g Prijs (incl. BTW) per kWh laag tarief per ws, 2002-2009

- a. TRANSPORT
- b. ZUIVERING
- c. VERWERKING

8. Sturingsvariabelen

a. Onderhoudsbeleid per ws

- iii. V0.7 Onderhoudsbeleidsplan aanwezig per ws (j/n)
- iv. V0.8 Onderhoudsbeleidsplan gebaseerd op bedrijfszekerheid per ws (j/n)
- v. V0.9 Percentage installaties onder onderhoudsbeleidsplan per ws (%)
- vi. V0.10 Percentage onderhoudsbeleidsplan gerealiseerd per ws (%)

a. Meting

- i. V1.1b Wijze van capaciteitsmeting van transport per rwzi (% geijkt continu, % continu, % handmatig debiet, % handmatig zonder protocol, % overig) in %

b. Vergunningen

- i. V1.12a Vergunning volgens lozingenbesluit per rwzi (j/n)
- ii. V1.12b Vergunningseisen strenger dan lozingenbesluit per rwzi (j/n)

c. Aanbesteding per ws (inkoop)

- i. V2.14a Elektriciteit ingekocht door aanbesteding per ws (j/n)
- ii. V2.14b Aanbesteding inkoop elektriciteit in collectief per ws (j/n)
- iii. V2.14c Totale omvang na aanbesteding ingekochte elektriciteit van het collectief per jaar per ws in GWh
- iv. V2.14d Ingangsdatum contract per ws (datum)

- v. V2.14e Looptijd van afgesloten contract per ws (maanden)
- vi. V2.14h Maximum prijs per kWh (hoog en laag tarief) per ws (j/n)
- vii. V2.14i Maximum prijs per kWh (hoog en laag tarief) per ws in euro/kWh
- d. Stelselbenadering per ws
 - i. V2.15a Stelselbenadering voor Energie Belasting (R)EB per ws (j/n)
 - ii. V2.15b Aantal stelsels voor Energie Belasting (R)EB per ws, 2002-2009
 - iii. V2.15c Aantal stelsels voor Energie Belasting (R)EB boven 10 miljoen kWh per ws, 2002-2009
 - iv. V2.15d Grootte stelsels voor Energie Belasting (R)EB boven 10 miljoen kWh per ws in kWh, 2002-2009
- e. Milieu per ws
 - i. V3.1a Inkoop grijze elektriciteit per ws in kWh
 - ii. V3.1b Inkoop groene elektriciteit per ws in kWh
 - iii. V3.1c Inkoop aardgas per ws in m³
 - iv. V3.1d Inkoop aardgas met groen certificaat per ws in m³
 - v. V3.1e Inkoop stookolie per ws in m³
 - vi. V3.1f Onverbrand gespuid biogas per ws in m³
 - vii. V3.1g Levering van biogas aan derden per ws in m³
 - viii. V3.1h Levering van elektriciteit aan derden per ws in kWh
 - ix. V3.1i Levering van warmte aan derden per ws in MJ
 - x. V3.2 Drie belangrijkste innovaties voor meerjarenafpraak energie-efficiency tot 2012 (reductie energieverbruik met 2% per jaar) per ws
- f. Technologische innovatie per ws
 - i. V4.1a Totaal middelen R&D-activiteiten 2007-2009 per ws in euro
 - ii. V4.1b Eigen gelden middelen R&D-activiteiten 2007-2009 per ws in euro
 - iii. V4.1c Subsidie middelen R&D-activiteiten 2007-2009 per ws in euro
 - iv. V4.1d Aantal R&D-projecten 2007-2009 per ws
 - v. V4.2a Aantal mensuren R&D per jaar per ws
 - vi. V4.2b Aantal fte voor R&D per ws
 - vii. V4.2c Innovatieprogramma of innovatiebeleid per ws (j/n)
 - viii. V4.3a Aantal (en naam) onderzochte technologieën sinds laatste bedrijfsvergelijking per ws

- ix. V4.3b Aantal studies of pilots voor vernieuwing/verbetering per ws
- vii. V4.3c Aantal (en naam) gerealiseerde technologieën sinds laatste bedrijfsvergelijking per ws
- g. Technologie in zuivering per rwzi
 - i. V1.49 Wijze van fosfaatverwijdering (% simultaan, % preprecipitatie, % biologisch in hoofdstroom, % biologische in een deelstroom, % overig) per rwzi in %
 - ii. V1.50 Laatste stabilisatiestap voor slibontwatering (% slibgisting, % simultane aerobe slibstabilisatie, % separate aerobe slibstabilisatie, % overig) per rwzi in %
 - iii. V1.51 Type beluchting (% puntbeluchting, % bellenbeluchting, % roteren, % kooirotoren of borstelbeluchters, % overig) per rwzi in %
- h. Technologie in verwerking per owl
 - i. V1.66 Techniek (verwerking) voor mechanische slibontwatering (% centrifuge, % kamerfilterpers, % membraanfilterpers, % zeefbandpers, % overig) per owl in %
 - ii. V1.67 Wijze van verwerking ontwaterd slib (% verbranden, % composteren, % drogen, % verglazen, % overig) per owl in %
- i. Samenwerking per ws
 - i. V4.4a Samenwerkingsverbanden buiten de branche per ws (j/n)
 - ii. V4.4b Aantal (en naam) van innovatie door samenwerking buiten de branche per ws
- j. Kringloopsluiting per ws
 - i. V4.5 Afvalwater als afval of als bron per ws (afval, bron)
 - ii. V4.6 Beleidsplan afval als bron aanwezig per ws (j/n)
 - iii. V4.7 Realisatie afval als bron economisch rendabel per ws (j/n)
 - iv. V4.8 Fosfaat uit ijzerarm slib na slibverbranding als as voor hergebruik fosfaat per ws (j/n)
 - v. V4.9 Effluent schoner dan vereist, voor oppervlakte-/grondwater per ws (j/n)
 - vi. V4.10 Effluent schoner dan vereist, voor industriewater per ws (j/n)
 - vii. V4.11 Effluent schoner dan vereist, voor huishoudens per ws (j/n)
 - viii. V4.12a Energie uit afvalwater voor productie en externe levering van biogas per ws (j/n)
 - ix. V4.12b Energie uit afvalwater voor productie van aardgas door opwerken biogas per ws (j/n)

- x. V4.12c Energie uit afvalwater voor productie van elektrische energie per ws (j/n)
 - xi. V4.12d Energie uit afvalwater voor productie extern geleverde warmte per ws (j/n)
 - xii. V4.12e Ander nuttig gebruik per ws (j/n, naam)
- k. MDG per ws
 - i. V4.13 Deelname aan projecten MDG gezien als een activiteit per ws (j/n)
 - ii. V4.14 Deelname aan projecten MDG in beleidsplan per ws (j/n)
 - iii. V4.15 Percentage fte voor MDG-projecten per ws (%)
 - iv. V4.16 Percentage totale kosten voor MDG-projecten, exclusief personeel per ws (%)
 - v. V4.17a MDG-project op gebied van sanitatie per ws (j/n)
 - vi. V4.17b MDG-project institutioneel per ws (j/n)
 - vii. V4.17c MDG-project op gebied van IWRM per ws (j/n)
 - viii. V4.17d MDG-project op gebied van opleiding per ws (j/n)
 - ix. V4.17d MDG-project ander gebied per ws (j/n, naam)
- l. Arbo en veiligheid per ws
 - i. V4.18 Aantal bijna-ongevallen per ws
 - ii. V4.19 Aantal ongevallen met verzuim korter dan 15 dagen per ws
 - iii. V4.20 Aantal ongevallen met verzuim langer dan 15 dagen per ws
 - iv. V4.21 Aantal dodelijke slachtoffers per ws
 - v. V4.22 Ongevallenfrequentie-index per ws in aantal arbeidsongevallen met verzuim $\times 1.000.000 /$ aantal gewerkte uren
- m. Verzuim per ws
 - i. V4.23 Percentage kort verzuim kleiner dan 8 dagen per ws in %
 - ii. V4.24 Percentage middellang verzuim kleiner dan 42 dagen per ws in %
 - iii. V4.25 Percentage verzuim groter dan 42 dagen per ws in %
 - iv. V4.26 Gemiddeld verzuimpercentage per ws
 - v. V4.27 Gemiddelde meldingsfrequentie per ws

OMGEVING

- a) V0.5 Bodemgesteldheid beheersgebied per ws (% zand, % klei, % veen, % anders)
- b) V1.52 Bodemgesteldheid waarop de rwzi is gebouwd (zand, klei, veen, anders)
- c) Oppervlakte per ws in km², zie Rutte (2009)
- d) Aantal inwoners per ws, zie Rutte (2009)

DIVERSE

- a) V2.3m (Overige) opbrengsten transportstelsel anders dan transport voor andere waterkwaliteitsbeheerders per ws in euro
- b) V2.6n (Overige) opbrengsten zuiveringsinstallaties anders dan zuivering voor andere waterkwaliteitsbeheerders per ws in euro
- c) V2.9 Voorgenomen investeringen zuivering per rwzi, 2010-2014 in euro
- d) V2.10 Installaties te amoveren per rwzi, tot 2014 (j/n)
- e) V2.11l (Overige) opbrengsten ontwateren en transport van slib anders dan voor andere waterkwaliteitsbeheerders per owl in euro
- f) V2.11q (Overige) opbrengsten ontwateren en transport van slib anders dan voor andere waterkwaliteitsbeheerders per owl in euro
- g) V2.17a Totaal behaalde voordelen uit samenwerkingen per ws, 2009 in euro
- h) V2.17b Verdeling naar partijen van behaalde voordelen uit samenwerkingen per ws, 2009 in euro

Bijlage D Overzicht van organisaties

Tabel D-1 Overzicht van organisaties

<i>Afkorting</i>	<i>Naam</i>
AA	De Aa
A&M	Aa en Maas
AGV	Amstel, Gooi en Vecht
BRD	Brabantse Delta
DFL	Delfland
DMK	De Maaskant
DOM	De Dommel
FRL	Fryslân
HAB	Alm en Biesbosch
HDSR	De Stichtse Rijnlanden
HEW	Hollandse Eilanden en Waarden
HHR	Rijnland
HHS	Schieland
HHSK	Schieland en de Krimpenerwaard
HNK	Hollands Noorderkwartier
HWB	West-Brabant
NZV	Noorderzijlvest
R&D	Regge en Dinkel
R&W	Reest en Wieden
SAL	Groot Salland*
V&E	Vallei & Eem*
V&V	Velt en Vecht
VEL	Veluwe*
WHA	Hunze en Aa's
WHD	Hollandse Delta
WRIJ	Rijn en IJssel
WSRL	Rivierenland
WZE	Zeeuwse Eilanden
WZV	Zeeuws-Vlaanderen
ZSL, WBL**	Limburg
ZZL	Zuiderzeeland

* Deze waterschappen vormen Waterschap Groot Salland

** Waterschapsbedrijf Limburg is een samenwerkingsorganisatie die voor de twee Limburgse waterschappen (Waterschap Peel en Maasvallei en Waterschap Roer en Overmaas) de uitvoering van de taak afvalwaterzuivering verzorgt.

Bijlage E Schattingsresultaten

De schattingsresultaten van het kostenmodel zijn samengevat in tabel E-1.

Tabel E-1 De geschatte parameters van de kostenfunctie

	<i>Parameter</i>	<i>Schatting</i>	<i>St. afwijking</i>	<i>t-waarde*</i>
Constante	a_0	0,061	0,033	1,86
2006	a_2	0,000	0,045	0,00
2009	a_3	0,000	0,018	0,00
CZV-jaarvracht	q_1	0,223	0,102	2,20
N-jaarvracht	q_2	0,488	0,079	6,14
P-jaarvracht	q_3	0,025	0,080	0,31
Slib	q_4	0,110	0,074	1,49
Prijs personeel	c_1	0,197	0,010	20,6
Prijs materiaal	c_2	0,209	0,010	20,6
Prijs energie	c_3	0,181	0,008	23,3
Prijs kapitaal	c_4	0,412	0,015	27,7
Prijs personeel × prijs personeel	c_{11}	0,101	0,017	6,01
Prijs personeel × prijs materiaal	c_{12}	0,011	0,017	0,64
Prijs personeel × prijs energie	c_{13}	-0,025	0,010	-2,47
Prijs personeel × prijs kapitaal	c_{14}	-0,087	0,015	-5,98
Prijs materiaal × prijs materiaal	c_{22}	-0,005	0,027	-0,17
Prijs materiaal × prijs energie	c_{23}	0,021	0,012	1,68
Prijs materiaal × prijs kapitaal	c_{24}	-0,027	0,020	-1,36
Prijs energie × prijs energie	c_{33}	0,050	0,010	4,83
Prijs energie × prijs kapitaal	c_{34}	-0,046	0,011	-4,15
Prijs kapitaal × prijs kapitaal	c_{44}	0,160	0,026	6,16
Productie × prijs personeel	e_{11}	-0,014	0,004	-3,61
Productie × prijs materiaal	e_{12}	-0,007	0,005	-1,41
Productie × prijs energie	e_{13}	0,006	0,004	1,39
Productie × prijs kapitaal	e_{14}	0,016	0,007	2,09
Tijd × personeel	j_{11}	54,46	15793	0,00
Tijd × materiaal	j_{12}	19,28	5593	0,00
Tijd × energie	j_{13}	0,45	176	0,00
Tijd × kapitaal	j_{14}	-74,19	21551	0,00

* Een parameter is significant als de t-waarde > 2 of < -2 is.

De individuele kostendoelmatigheidsscore van de rwzi's zijn per jaar weergegeven in tabel E-2. In deze tabel zijn alleen de rwzi's weergegeven die in de analyse zijn meegenomen. De overige rwzi's bevatten ontbrekende of onwaarschijnlijke gegevens.

Tabel E-2 De kostendoelmatigheid van de rwzi's, 2002, 2006 en 2009

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Waterschap Aa en Maas			
Dinther	1,00	0,86	0,89
Asten	0,51	0,52	0,51
Oijen	0,78	1,00	1,00
Land van Cuijk	0,66	0,70	0,70
's-Hertogenbosch	0,86	0,79	0,88
Schijndel	0,97		
Waterschap Alm en Biesbosch¹			
Sleeuwijk	1,00		
Aalburg	1,00		
Dussen	1,00		
Eethen	1,00		
Waterschap Brabantse Delta			
Baarle-Nassau	1,00	1,00	1,00
Bath	0,77	0,72	0,76
Chaam	0,80	0,91	1,00
Halsteren	0,94	0,80	0,98
Kaatsheuvel	0,80	0,81	0,82
Lage Zwaluwe	0,95	0,93	1,00
Nieuwveer	0,78	0,78	0,70
Ossendrecht	0,94	0,98	1,00
Rijen	0,79	0,75	0,76
Waalwijk	0,80	0,62	0,80
Waspik	0,79	0,79	0,77

¹ Inmiddels onderdeel van Waterschap Rivierenland

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Hoogheemraadschap van Delfland			
Berkel	0,56	0,65	
Rodenrijs	0,88	0,70	
Wetterskip Fryslân			
Ameland	0,63	0,74	0,73
Birdaard	1,00	1,00	0,83
Bolsward	0,95	0,84	0,87
Burgum	0,67	0,76	0,74
Damwoude	0,76	0,94	0,91
Dokkum	0,96	0,87	0,81
Drachten	0,76	0,98	0,70
Franeker	0,55	0,82	0,61
Gorredijk	0,98	0,75	0,71
Grou	1,00	0,85	0,78
Harlingen	0,68	0,76	0,89
Heerenveen	0,85	0,93	0,84
Joure	0,99	1,00	1,00
Kootstertille	0,77	0,85	0,78
Leeuwarden	0,82	0,83	0,82
Lemmer	0,85	0,89	0,90
Oosterwolde	0,99	1,00	1,00
Schiermonnikoog	0,42	0,62	0,68
Sloten	1,00	1,00	0,93
Sneek	0,76	0,88	0,87
Terschelling	0,64	0,69	0,69
Vlieland	0,63	0,69	0,73
Warns	0,92	0,88	0,92
Wolvega	0,93	0,99	0,93
Workum	1,00	0,91	0,91
Wijnjewoude	0,85	0,89	0,90
Waterschap Groot Salland			
Dalfsen	0,61	0,77	0,81
Kampen	0,81	0,98	0,86
Zwolle	0,82	0,83	0,83
Genemuiden	0,87	1,00	1,00
Deventer	0,77	0,77	0,78
Heino	0,97	1,00	0,89
Raalte	0,70	0,65	0,79
Olst-Wijhe	0,81	0,86	0,95
Hessenpoort	0,94	0,78	0,80

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Waterschap Hollandse Delta			
Den Bommel	0,77	0,85	0,95
Dordrecht	0,71	0,85	0,96
Goedereede	0,68	0,81	0,90
Heenvliet	0,77	0,52	0,53
Hellevoetsluis	0,68	0,64	0,77
Middelharnis	0,66	0,64	0,81
Numansdorp	0,82	0,93	0,74
Ooltgensplaat	0,76	0,72	0,80
Oud Beijerland	0,79	0,64	0,85
Oude Tonge	0,84	0,81	1,00
Piershil	0,88	0,73	1,00
Ridderkerk	1,00	1,00	1,00
Rotterdam Hoogvliet	1,00	1,00	1,00
Rozenburg	0,97	0,84	1,00
Spijkensisse Allemanspolder	1,00	0,94	0,94
Strijen	1,00	0,84	0,80
Zwijndrecht	1,00	1,00	1,00
Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden²			
Krimpen aan de Lek	0,97		
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier			
Geestmerambacht	0,79	0,71	0,88
Wervershoof	1,00	1,00	0,80
Alkmaar	0,71	0,81	0,78
Heiloo	1,00	0,88	1,00
Zaandam-Oost	0,79	0,78	0,65
Beemster	0,86	0,82	0,94
Katwoude	0,71	0,83	0,82
Oosthuizen	0,74	0,80	0,73

² Deze installatie van het voormalige zuiveringschap maakt inmiddels deel uit van Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.

Rwzi	2002	2006	2009
Waterschap Hunze en Aa's			
Bellingwolde	1,00	0,76	0,69
Hoogezand	0,85	0,92	0,76
Scheemda	0,75	0,80	0,80
Scheve Klap	0,86	0,80	0,80
Tweede Exloërmond	1,00	1,00	0,74
Oude Pekela	1,00	0,85	0,86
Stadskanaal	0,79	0,76	0,87
Ter Apel	0,83	0,86	0,85
Vriescheloo	0,71	0,85	0,74
Assen	1,00	0,94	0,88
Gieten	1,00	1,00	1,00
Waterschapsbedrijf Limburg			
Gennep	0,92	0,88	0,90
Kerkrade-Kaffeberg	1,00	0,85	0,96
Maastricht-Heugem	0,96	0,84	0,91
Maastricht-Limmel	0,79	0,72	0,70
Meijel	0,83	0,62	0,80
Panheel	0,80	0,91	0,80
Rimburg	1,00	1,00	1,00
Roermond	0,89	0,77	0,72
Stein	0,91	0,94	0,93
Susteren	0,77	0,69	0,77
Venlo	0,91	1,00	1,00
Weert	0,78	0,89	0,82
Waterschap Noorderzijlvest			
Marum	1,00	1,00	1,00
Gaarkeuken	1,00	1,00	1,00
Zuidhorn	0,80	0,78	0,81
Feerwerd	0,97	0,82	1,00
Hoogkerk	0,85	0,72	1,00
Eelde	0,92	1,00	1,00
Wehe den Hoorn	0,87	0,70	0,85
Uithuizermeeden	0,67	0,67	0,73
Delfzijl	1,00	0,93	1,00

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Waterschap Regge en Dinkel			
Almelo-Vissedijk	0,80	0,88	0,94
Denekamp	0,79	0,76	0,87
Glanerbrug	0,94	1,00	0,89
Goor	0,68	0,83	0,92
Haaksbergen	0,83	0,94	1,00
Losser	0,73	0,87	0,91
Nijverdal	0,70	0,85	1,00
Oldenzaal	0,60	0,70	0,88
Rijssen	1,00	0,74	0,68
Tubbergen	0,99	1,00	0,85
Vriezenveen	1,00	1,00	0,88
Weerselo	1,00		
Waterschap Rivierenland			
Arnhem-Zuid	0,65	0,81	0,76
Gendt	0,95	0,76	1,00
Valburg	1,00	0,82	1,00
Zetten	0,92	0,85	1,00
Dodewaard	0,99	0,99	1,00
Eck en Wiel	1,00	0,89	1,00
Lienden	0,87	0,84	1,00
Tiel	0,97	0,85	0,59
Asperen	0,95	0,92	1,00
Beesd	0,80	0,82	1,00
Culemborg	0,79	0,83	1,00
Geldermalsen	0,60	0,99	0,90
Gorinchem	0,87	0,88	1,00
Haaften	1,00	0,97	1,00
Aalst	1,00	0,86	1,00
Bommelerwaard-Oost	0,73	0,80	0,92
Dreumel	0,99	0,83	1,00
Nijmegen	0,79	0,97	0,81
Druten	0,71	0,80	0,90
Groesbeek	0,67	0,72	0,75
Maasbommel	0,72	0,64	0,71
Millingen	0,94	0,89	1,00
Eethen	1,00	1,00	1,00
Sleeuwijk		1,00	1,00
Aalburg		0,91	1,00
Alblasserdam	0,93	0,99	0,94
Gelkenes	0,92	1,00	1,00

Rwzi	2002	2006	2009
Hardinxveld de Peulen	0,97	1,00	1,00
Leerbroek	0,76	0,80	1,00
Leerdam	1,00	1,00	1,00
Meerkerk	0,59	0,74	1,00
Nieuw Lekkerland	0,85	0,85	0,98
Schelluinen	0,97	0,68	0,68
Sliedrecht	1,00	0,98	1,00
Vianen	0,87	0,91	0,95
Waterschap Rijn en IJssel			
Haarlo	0,94	1,00	1,00
Holten	1,00	0,82	0,71
Winterwijk	1,00	1,00	1,00
Zutphen	0,83	0,92	1,00
Aalten	1,00	1,00	1,00
Etten	0,75	1,00	0,89
Lichtenvoorde	0,74	1,00	1,00
Olburgen	1,00	0,85	0,72
Ruurlo	0,72	0,73	0,82
Varsseveld	1,00	0,53	0,49
Wehl	0,67	0,64	0,91
Hoogheemraadschap van Rijnland			
Alphen-Kerk & Zanen	0,64	0,65	0,80
Alphen-Noord	0,62	0,64	0,62
Bodegraven	0,84	1,00	1,00
Gouda	0,65	0,92	0,80
Haarlem-Schalkwijk	0,85	0,64	0,85
Haarlem-Waarderpolder	0,88	0,92	0,79
Katwijk	0,86	0,91	0,92
Leiden-Noord	0,73	0,99	0,86
Leiden-Zuidwest	0,75	0,75	0,71
Leimuiden	0,99	1,00	0,95
Lisse	0,58	0,62	0,73
Nieuwe Wetering	1,00	1,00	0,84
Nieuwveen	0,93	0,82	0,74
Rijnsaterwoude	0,66	0,71	0,61
Rijsenhout	0,69	0,76	0,62
Waddinxveen-Randenburg			0,81
Zwaanshoek	0,55	0,74	0,73
Zwanenburg	0,68	0,75	0,77

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard			
Kralingseveer	0,93	1,00	0,81
Bergambacht	0,75	0,78	0,81
Haastrecht	0,79	0,77	0,78
Stolwijk	0,80	0,68	0,73
Ammerstol	0,72	0,60	0,67
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijlanden			
Nieuwegein	0,82	0,71	0,86
Lopik	0,86		
De Meern	0,79	0,79	0,80
Montfoort	0,88		
Oudewater	0,87		
Woerden	0,74	0,69	0,81
Maarssenbroek	0,86	0,98	1,00
Leidsche Rijn	0,46	0,45	0,58
Breukelen	0,58		
De Bilt	0,79	0,79	0,69
Zeist	0,68	0,68	0,77
Bunnik	0,98		
Houten	0,68	0,72	0,78
Rhenen	0,94		
Wijk bij Duurstede	0,81		
Waterschap Vallei & Eem			
Bennekom	1,00	1,00	1,00
Nijkerk	0,89	0,96	0,75
Soest	0,63	0,60	0,73
Veenendaal	0,98	0,78	0,73
Woudenberg	1,00	1,00	0,80
Bunschoten	1,00		
Waterschap Velt en Vecht			
Coevorden	0,71	0,75	1,00
Sleen	0,68	0,62	0,82
Hardenberg	0,76	0,75	0,95
Ommen	0,75	0,65	0,86

<i>Rwzi</i>	<i>2002</i>	<i>2006</i>	<i>2009</i>
Waterschap Veluwe			
Elburg	0,62	0,81	1,00
Epe	0,67	0,96	0,92
Heerde	0,50	0,52	0,74
Hattem	0,87	1,00	1,00
Terwolde	0,61	0,77	0,82
Brummen	0,71	0,56	0,60
Waterschap Zeeuwse Eilanden³			
Willem Annapolder	0,71	0,79	0,84
Walcheren	0,64	0,87	0,87
De Verseput	0,71	0,80	0,77
Mastgat	0,99	1,00	0,76
Tholen	0,81	0,94	0,97
Sint Maartensdijk	0,67	1,00	0,84
Westerschouwen	0,72	0,59	0,79
Camperlandpolder	0,69	0,73	0,71
Waarde	0,81	0,88	1,00
Waterschap Zeeuws Vlaanderen⁴			
De Drie Ambachten	0,67	0,73	0,68
Hulst	1,00	0,97	0,85
Kloosterzande	0,75	0,88	0,78
Breskens	1,00	1,00	0,75
Oostburg	0,90	1,00	0,74
Groede	1,00	1,00	0,85
Retranchement	0,61	0,66	0,72
Waterschap Zuiderzeeland			
Lelystad	1,00	1,00	1,00
Zeewolde	0,63	0,59	0,70
Tollebeek	0,98	1,00	0,99

³ Per 1 januari 2011 opgegaan in Waterschap Scheldestromen.

⁴ Per 1 januari 2011 opgegaan in Waterschap Scheldestromen.

De schattingen in tabel E-3 geven aan in welke mate de variabelen een verband hebben met de kostendoelmatigheid. De coëfficiënten zijn alle berekend ten opzichte van een bepaalde basis per kenmerk. In dit geval is dat de combinatie van het Hoogheemraadschap Delfland, de categorie overige defosfatering, de categorie overige slibontwateringstechnologie, de categorie overige beluchtingstechnologie en zandbodem. De informatie over deze basiskenmerken zit samengevat in de constante. De coëfficiënten van de overige kenmerken geven aan in hoeverre de kostendoelmatigheid stijgt of daalt ten opzichte van de basis als dat kenmerk zou veranderen. De waarden moeten als relatieve waarden worden gezien, in absolute zin hebben ze niet direct betekenis.

Tabel E-3 De schattingen van de kenmerken van de kostendoelmatigheid

<i>Kenmerken</i>	<i>Coëfficiënt</i>	<i>Standaardafwijking</i>	<i>t-waarde*</i>
Constante	0,44	0,18	2,40
Vallei & Eem	0,22	0,11	1,97
Brabantse Delta	0,16	0,10	1,65
Rijnland	0,09	0,10	0,82
Rijn en IJssel	0,22	0,11	2,06
Zuiderzeeland	0,22	0,11	1,88
Zeeuwse Eilanden	0,16	0,11	1,47
Rivierenland	0,20	0,10	2,01
Hollandse Delta	0,15	0,10	1,42
Groot Salland	0,17	0,11	1,58
Zeeuws Vlaanderen	0,18	0,11	1,65
Veluwe	0,10	0,11	0,94
Schieland en de Krimpenerwaard	0,08	0,11	0,70
Noorderzijlvest	0,22	0,11	2,02
Velt en Vecht	0,08	0,11	0,72
Regge en Dinkel	0,24	0,11	2,25
De Stichtse Rijnlanden	0,09	0,11	0,88
Fryslân	0,14	0,10	1,32
Hollands Noorderkwartier	0,12	0,11	1,10
Aa en Maas	0,13	0,11	1,18
Limburg	0,21	0,10	2,01
Hunze en Aa	0,19	0,11	1,79
Bouwjaar van de rwzi	0,00	0,00	0,23
Simultane defosfatering	0,04	0,06	0,78
Preprecipitatie	0,08	0,07	1,10
Biologische defosfatering in de hoofdstroom	0,00	0,05	0,09
Biologische defosfatering in een deelstroom	0,10	0,10	1,02
Slibgisting	0,02	0,07	0,34
Simultane aerobe slibstabilisatie	0,08	0,07	1,11
Separate aerobe slibstabilisatie	0,00	0,13	-0,01
Puntbeluchting	0,14	0,05	2,58
Bellenbeluchting*	0,10	0,05	1,98
Rotoren, kooiroten of borstelbeluchters	0,19	0,06	3,35
Kleigrond	0,01	0,02	0,88
Veengrond*	0,03	0,02	1,11
2006	0,01	0,01	0,56
2009	0,04	0,01	2,66

* Een parameter is significant als de t-waarde > 2 of < -2 is.

Bijlage F Begrippen en definities

Blank (2010) beschrijft op toegankelijke wijze de principes van productiviteitsmeting waarop het voorliggende onderzoek is gebaseerd. De onderstaande begrippen en definities zijn ontleend aan Blank (2010).

Arbeidsproductiviteit

De verhouding tussen productievolume en gecorrigeerde personeelssterkte.

Autonome productiviteitsontwikkeling

De autonome productiviteitsontwikkeling is een verschuiving in de hele sector, veroorzaakt door technologische ontwikkeling of wet- en regelgeving. Het is de ontwikkeling van de productiviteit die overblijft na correctie voor expliciet gemodelleerde kenmerken van het productieproces (zoals schaal- en synergie-effecten).

Autonome ontwikkeling/ autonome groei van kostenaandelen

De ontwikkeling van de gemiddelde kostenaandelen die overblijft na correctie voor expliciet gemodelleerde kenmerken van de kostenstructuur, zoals de prijzen van de ingezette middelen.

Kostendoelmatigheid

De kostendoelmatigheid is de verhouding tussen de totale kosten en de minimale kosten waarmee de productie gerealiseerd had kunnen worden.

Kostenflexibiliteit

Het procentuele effect op de totale kosten van een verhoging van de productie van alle typen product met 1 procent.

Kostenfunctie

Een benadering van de productiestructuur in formele termen, waarbij een relatie wordt gelegd tussen de kosten enerzijds en de geproduceerde hoeveelheden en de prijzen van de ingezette middelen anderzijds.

Kosten van energie

De kosten die samenhangen met de inzet van energie.

Kosten van kapitaal

De kosten die samenhangen met de inzet van kapitaal.

Kosten van materiaal

De kosten die samenhangen met de inzet van materiaal, exclusief energie.

Kosten van personeel

De kosten die samenhangen met de inzet van arbeid.

Productiviteit

Productiviteit is de verhouding tussen de kosten en de productie, gecorrigeerd voor de prijzen.

Schaaldoelmatigheid

Het voortbrengen van de productie tegen minimale hoeveelheid inzet van middelen door optimale keuze van de schaal.

Schaalnadeel

De situatie waarin een procentuele groei van de inzet van middelen leidt tot een lagere procentuele groei van de productie of het productievolume.

Schaalvoordeel

De situatie waarin een procentuele groei van de inzet van middelen leidt tot een hogere procentuele groei van de productie of het productievolume.

Totale kosten

De som van alle kosten die verbonden zijn aan de inzet van middelen in het productieproces. Hieronder vallen dus de kosten van personeel, materiaal, energie en kapitaal.

Volume van de ingezette middelen

Maatstaf voor de inzet van alle ingezette middelen, gemeten in constante prijzen van het basisjaar.

Bijlage G Afkortingen

BZV	Biochemisch zuurstofverbruik in g O ₂ /m ³
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
COLS	Corrected ordinary least squares
CZV	Chemisch zuurstofverbruik g O ₂ /m ³
DEA	Data envelop analysis
ds	droge stof
IBA	Installatie voor de individuele behandeling van afvalwater
i.e.	Inwonersequivalent à 150 gr TZV/dag. Tot 2009 i.e. à 136 gr TZV/dag. Maatstaf die de mate van en hoeveelheid vuillast aangeeft van het afvalwater dat één persoon per dag gemiddeld loost
IWRM	Integrated water resources management
Kj-N	Kjeldahl-stikstofgehalte in g N/m ³
kWh	kilowattuur
MDG	Millennium development goal
NKJ	Gehalte aan stikstof bepaald volgens Kjeldahl-methode in mg/l
owl	Ontwateringslocatie
SBI	Standaard bedrijfsindeling van het CBS (Waterschappen: 75.111.6)
SFA	Stochastic frontier analysis
soi	Slibontwateringsinstallatie
TZV	Totaal zuurstofverbruik
V	Vraagnummer in de vragenlijst Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer
v.e.	Vervuilingseenheid
ws	Waterschap

Wvo	Wet verontreiniging oppervlaktewateren
z.b.	Zuiveringsbeheerder

Literatuur

- Abbott, M., & Cohen, B. (2009). Productivity and efficiency in the water industry. *Utilities Policy*, 17(3-4), 233-244.
- Bauer, P. W., Berger, A. N., & Humphrey, D. B. (1991). Inefficiency and productivity growth in banking: a comparison of stochastic econometric and thick frontier methods: Federal Reserve Bank of Cleveland.
- Berger, A. N., & Humphrey, D. B. (1991). The Dominance of Inefficiencies over Scale and Product Mix Economies in Banking. [Journal Article]. *Journal of Monetary Economics*, 28(1), 117-148.
- Blank, J. L. T. (2000). *Public provision and performance: contributions from efficiency and productivity measurement*. Amsterdam: Elsevier.
- Blank, J. L. T. (2010). *Principes van productiviteitsmeting. Elementaire handleiding voor kwantitatief onderzoek naar de productiviteit, doelmatigheid, effectiviteit en kwaliteit van de publieke sector*. Maastricht: Shaker Publishing B.V.
- Blank, J. L. T., Dumaij, A. C. M., Haelermans, C., van Heezik, A., van Hulst, B. L., & Koot, P. (2010). Is de ziekte van Baumol te behandelen? - Een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden om de productiviteit in de publieke sector te vergroten (Vol. IPSE Studies Research reeks 2010-7). Delft: Centrum voor Innovatie en Publieke Sector Efficiëntie Studies
- Blank, J. L. T., & Koot, P. (2004). Zuinig met water: een empirisch onderzoek naar de efficiëntie van bedrijven in de drinkwatersector. *Tijdschrift voor Openbare Financiën*, 36(2), 51-62.
- Christensen, L. R., Jorgenson, D. W., & Lau, L. J. (1973). Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, 55(1), 28-45.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An Introduction to efficiency and productivity analysis* (2 ed.). New York: Springer.
- Dijkgraaf, E., Van de Mortel, E., Varkevisser, M., De Jong, R., Nentjes, A., & Wiersma, D. (1997). Meer marktwerking maakt het water goedkoper. *ESB*, 82(4125), 796-800.

- Dijkgraaf, E., van der Geest, S. A., & Varkevisser, M. (2005). Efficiëntie boven water. *Economische Statistische Berichten*, 90(4451), 34-35.
- Dumaij, A. C. M., & Van Heezik, A. S. (2012). Productiviteitstrends in de drinkwatersector. Een empirische studie naar het effect van regulering op de productiviteitsontwikkeling tussen 1985 en 2010 *IPSE Studies research reeks*. Delft: IPSE Studies.
- Färe, R., & Primont, D. (1995). *Multi-Output Production and Duality: Theory and applications*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Felsö, F., & De Groot, H. (2011). Benchmark gemeentelijk afvalbeheer. Een empirisch onderzoek naar de productiviteit en kostendoelmatigheid. Delft: TUDelft, IPSE Studies.
- Fraquelli, G., & Giandrone, R. (2003). Reforming the wastewater treatment sector in Italy: Implications of plant size, structure, and scale economies. *Water Resour. Res.*, 39(10), 1293.
- Fried, H. O., Lovell, C. A. K., & Schmidt, S. S. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. New York: Oxford University Press.
- Knapp, M. R. J. (1978). Economies of Scale in Sewage Purification and Disposal. *The Journal of Industrial Economics*, 27(2), 163-183.
- Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic frontier analysis*. New York: Cambridge University Press.
- Lovell, C. A. K. (2000). Measuring efficiency in the public sector. In J. L. T. Blank (Ed.), *Public provision and performance: contributions from efficiency and productivity measurement* Amsterdam: Elsevier.
- Pommer, E., & Eggink, E. (2010). Publieke dienstverlening in perspectief. SCP-memorandum voor de kabinetsformatie 2010. Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.
- Rutte, C. (2009). *Een genuanceerde blik op de rioolzuiveringsbenchmarks. Een kwantitatief empirisch onderzoek naar de invloed van omgevingsvariabelen op de efficiëntie van rioolwaterzuiveringen*. B.Sc., Technische Universiteit Delft, Delft.
- Saal, D., & Parker, D. (2004). The comparative impact of privatization and regulation on productivity growth in the English and Welsh water and sewerage industry, 1985–99. . *International Journal of Regulation and Governance*, 4(2), 139-170.
- Saal, D., Parker, D., & Weyman-Jones, T. (2007). Determining the contribution of technical change, efficiency change and scale change to productivity growth in the privatized English and Welsh water and sewerage industry: 1985–2000. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1), 127-139.

- Saal, D. S., & Parker, D. (2000). The impact of privatization and regulation on the water and sewerage industry in England and Wales: a translog cost function model. *Managerial and Decision Economics*, 21, 253-268.
- Saal, D. S., & Parker, D. (2001). Productivity and Price Performance in the Privatized Water and Sewerage Companies of England and Wales. *Journal of Regulatory Economics*, 20(1), 61-90.
- Saal, D. S., & Reid, S. (2004, December 2004). *Estimating Opex productivity growth in English and Welsh water and sewerage companies: 1993-2003*. Aston Business School, Birmingham.
- Schmitz, T., & Dane, P. (2008). A sharp improvement in the efficiency of Dutch water utilities: benchmarking of water supply in the Netherlands, 1997-2007. *Water utility and management international*, 17-19.
- Thanassoulis, E. (2002). Comparative Performance Measurement in Regulation: The Case of English and Welsh Sewerage Services. *The Journal of the Operational Research Society*, 53(3), 292-302.
- UvW. (2007). *Zuiver Afvalwater 2006. Landelijke bedrijfsvergelijking van de waterschappen over het zuiveringsbeheer*. Den Haag: Unie van Waterschappen.