



## Energieverbruik voor de bemaling van West-Nederland *Vroeger, nu en in de toekomst*

Een case-study naar het ringvaartdistrict van Schieland en de Krimpenerwaard

Erwin van der Klooster  
Augustus 2009

# Energieverbruik voor bemaling van West-Nederland

## *Vroeger, nu en in de toekomst*

Een case-study naar het ringvaartdistrict van Schieland en de Krimpenerwaard

Augustus 2009

Erwin van der Klooster  
MSc Student Soil Science WUR (860407-445040)  
Stage Landdynamiek (LAD-70424)

Begeleiding vanuit en door:



Josje Fens  
Gerard Lappee



Michel van Cappellen



Jetse Stoorvogel

Foto Omslag: © Provincie Zuid Holland

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>6</b>
1.1 Aanleiding en Doel .....	6
1.2 Probleemomschrijving .....	6
1.3 Leeswijzer .....	6
<b>2 Aanpak</b> .....	<b>7</b>
2.1 Gebiedsomschrijving .....	7
2.1.1 De Krimpenerwaard .....	7
2.1.2 Het ringvaartdistrict van Schieland.....	8
2.2 Benodigde gegevens .....	9
2.2.1 Theoretische energievraag .....	9
2.2.2 Primair energieverbruik .....	10
2.2.3 Beschikbaarheid van de gegevens.....	10
2.2.4 De betrouwbaarheid van de gegevens .....	11
<b>3 Het verleden</b> .....	<b>13</b>
3.1 Theoretische energievraag .....	13
3.1.1 Watervezet .....	13
3.1.2 Opvoerhoogte .....	14
3.1.3 Theoretische energievraag .....	14
3.2 Energieverbruik en rendement .....	15
3.2.1 Op gebiedsniveau .....	15
3.2.2 Per gemaal.....	16
3.2.3 Voor 1970.....	17
<b>4 De toekomst</b> .....	<b>19</b>
4.1 Het klimaat.....	19
4.2 Watervezet.....	19
4.3 Opvoerhoogte .....	20
4.4 Rendement .....	20
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>21</b>
<b>Referenties</b> .....	<b>22</b>
<b>Verklarende woordenlijst</b> .....	<b>23</b>
<b>Bijlagen</b> .....	<b>24</b>

## Samenvatting

Door middel van een stageproject voor de studie Bodemkunde (WUR) is het energieverbruik onderzocht van gemalen in West-Nederland in relatie tot peilbeheer. De resultaten zijn gepresenteerd op de themadag "hoe ver-gaat het veen" als onderdeel van het programma "het jaar van de Aarde". In dit verslag is terug te vinden wat het energieverbruik voor de bemaling van twee typische West-Nederlandse gebieden was, is en zal zijn als we geen maatregelen nemen. Ook worden de mogelijke energiebesparingsmaatregelen aangegeven en de gevolgen die dit zal hebben voor de bodemdaling en het landgebruik.

Als gevolg van bodemdaling zijn de peilen in veengebieden in West-Nederland verlaagd, met als gevolg een grotere opvoerhoogte, het verschil tussen het peil in de polder en het peil van de rivieren. Water hoger oppompen kost in theorie meer energie. Of dit daadwerkelijk heeft geleid tot een groter energiegebruik hangt niet alleen af van de opvoerhoogte, maar ook van het rendement van de bemaling.

Het onderzoek is uitgevoerd voor twee verschillende gebieden die ook in andere delen van West-Nederland veel voorkomen. Een systeem van droogmakerijen (het ringvaartdistrict van Schieland) en een veenweidegebied (de Krimpenerwaard). De theoretische energievraag is uitgerekend aan de hand van het waterverzet en de opvoerhoogte. Het primaire energieverbruik is berekend met de stookwaarden van brandstoffen (diesel, kolen, steenkool) en het netto elektrisch rendement van elektriciteitscentrales.

In de afgelopen 30 jaar is de energievraag onveranderd gebleven voor beide gebieden. De opvoerhoogte is wel veranderd, maar de veranderingen zijn te klein om tot de theoretische energievraag te doen stijgen. De theoretische energievraag en het energieverbruik zijn ongewijzigd, waaruit volgt dat de verbeteringen in de techniek niet hebben bijgedragen aan een groter rendement. Van de tijd voor 1980 zijn er geen gegevens gevonden om de theoretische energievraag te kwantificeren. Wel is het primair energieverbruik uitgerekend. Dat is van 1930 tot 1950 scherp gedaald als gevolg van technische verbeteringen en de overgang van steenkolen naar elektriciteit.

In de komende 100 jaar zullen door klimaatverandering de winters natter worden en zullen de warmere zomers voor snellere bodemdaling zorgen. Dit betekent dat het waterverzet en de opvoerhoogte zullen toenemen. Zonder verbetering aan de techniek zal het energieverbruik in 2100 ongeveer 40% hoger liggen dan in 2008. Energie wordt schaarser en duurder, waardoor het produceren van eigen energie en het verminderen van het eigen energieverbruik ook geld zal opleveren. Als bodemdaling beperkt wordt zal dit ook leiden tot minder investeringen in nieuwe gemalen als gevolg van veranderende omstandigheden.

Op de lange termijn is het energieverbruik dan ook enkel te beperken door de verdere klimaatverandering te beperken door het beperken van de uitstoot van broeikasgasen. Dit kan zowel door het verbruik van energie uit fossiele brandstoffen te beperken als het beperken van de bodemdaling. De klimaatverandering zal voor een grotere opvoerhoogte en waterverzet zorgen in de toekomst. Dit kan deels voorkomen worden door het waterverzet en de opvoerhoogte te beperken.

Het waterverzet kan beperkt worden door meer neerslag te bergen. Ook het vergroten van peilgebieden kan hier aan bijdragen, door meer veerkracht aan het systeem te geven. Dit betekent wel dat grotere gebieden hetzelfde peil krijgen, wat tegenstrijdigheden in de ruimtelijke ordening kan veroorzaken.

De opvoerhoogte kan in de polder worden aangepast door het peil waar mogelijk te verhogen. Via gebiedsgerichte aanpak hoeven peilen niet op alle plaatsen de maaiveld daling te volgen. Dit is vooral van toepassing op veenweidegebieden, zoals de

Krimpenerwaard. Ook geldt hierbij dat er goede afwegingen moeten worden gemaakt voor het huidige landgebruik.

De rivieren bieden op korte termijn een grote kans. Dagelijks varieert de opvoerhoogte door het getij van de rivier enkele meters. Door hier bewust op in te spelen kan er energie bespaard worden. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre dit te combineren is met het huidige peilbeheer.

Ook kan de doorspoeling beperkt worden door eigenaren van particuliere inlaten en pompen beter te scholen in het gebruik hiervan. Ook handhaving op illegale inlaten zal het energieverbruik beperken.

Het beperken van energieverbruik uit fossiele brandstoffen en bodemdaling is van vitaal belang om verdere klimaatverandering te voorkomen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding en Doel

In het kader van een stage voor de Master Bodemkunde aan Wageningen Universiteit is er een historische studie uitgevoerd naar het energieverbruik voor het bemalen van veengebieden en de factoren die dit energieverbruik beïnvloeden. Het onderzoeksgebied, het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, is zeer geschikt door de verscheidenheid aan veenlandschappen: een droogmakerij en veenweidegebied. Op 25 juni zijn deze resultaten gepresenteerd door BuildDesk op de themadag "hoe ver-gaat het veen" binnen het programma van het Jaar van de Aarde. In dit verslag worden de cijfers in de presentatie onderbouwd.

## 1.2 Probleemomschrijving

Het verlagen van peilen om het huidige landgebruik in stand te houden heeft ervoor gezorgd dat de bodem in West-Nederland is gedaald. Als gevolg is een deel van het veen geoxideerd, wat heeft bijgedragen aan een versterkt broeikas-effect. Met de bodem zakken ook wegen, riolen en tuinen mee, met als gevolg hoge maatschappelijke kosten. Daarnaast heeft het energieverbruik voor de bemaling van droogmakerijen en veenweidegebieden, door het verbruik van fossiele brandstoffen, gezorgd voor verhoogde CO<sub>2</sub> concentraties in de atmosfeer. De peilveranderingen als gevolg van bodemdaling zorgen er voor dat het water uit de polder hoger opgepompt moet worden, wat ook voor een hogere vraag voor energie gezorgd kan hebben.

Het verlagen van peilen leidt er verder toe dat de druk van kwelwater uit de bodem toeneemt. Deze kwel is in een deel van de gebieden zout. Dit zoute water moet doorgespoeld worden, wat betekent dat rivierwater wordt ingelaten. Om het peil te handhaven moet dit water ook weer bemalen worden, met bijbehorende energiekosten. Om in de toekomst de gevolgen van klimaatverandering te beperken, moet het energieverbruik en de bodemdaling nu beperkt worden.

Voordat deze maatregelen gekozen kunnen worden, zal het huidige systeem beschreven moeten worden met de huidige energieverbruik- en vraag. Dit leidt dan ook tot de volgende vragen:

1. Hoeveel primaire energie is er door de jaren heen gebruikt om te bemalen en hoe verhoudt zich dit tot de theoretische energievraag?
2. Op welke wijze kan energie bespaard worden en welke gevolgen heeft dat voor het landgebruik en bodemdaling?

Twee verschillende gebieden qua diepteligging en landgebruik zijn droogmakerijen en veenweidegebieden. In het gebied van het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard zijn daarom een systeem van droogmakerijen (de Zuidplaspolder en Polder Prins Alexander) vergeleken met een veenweidegebied (de Krimpenerwaard).

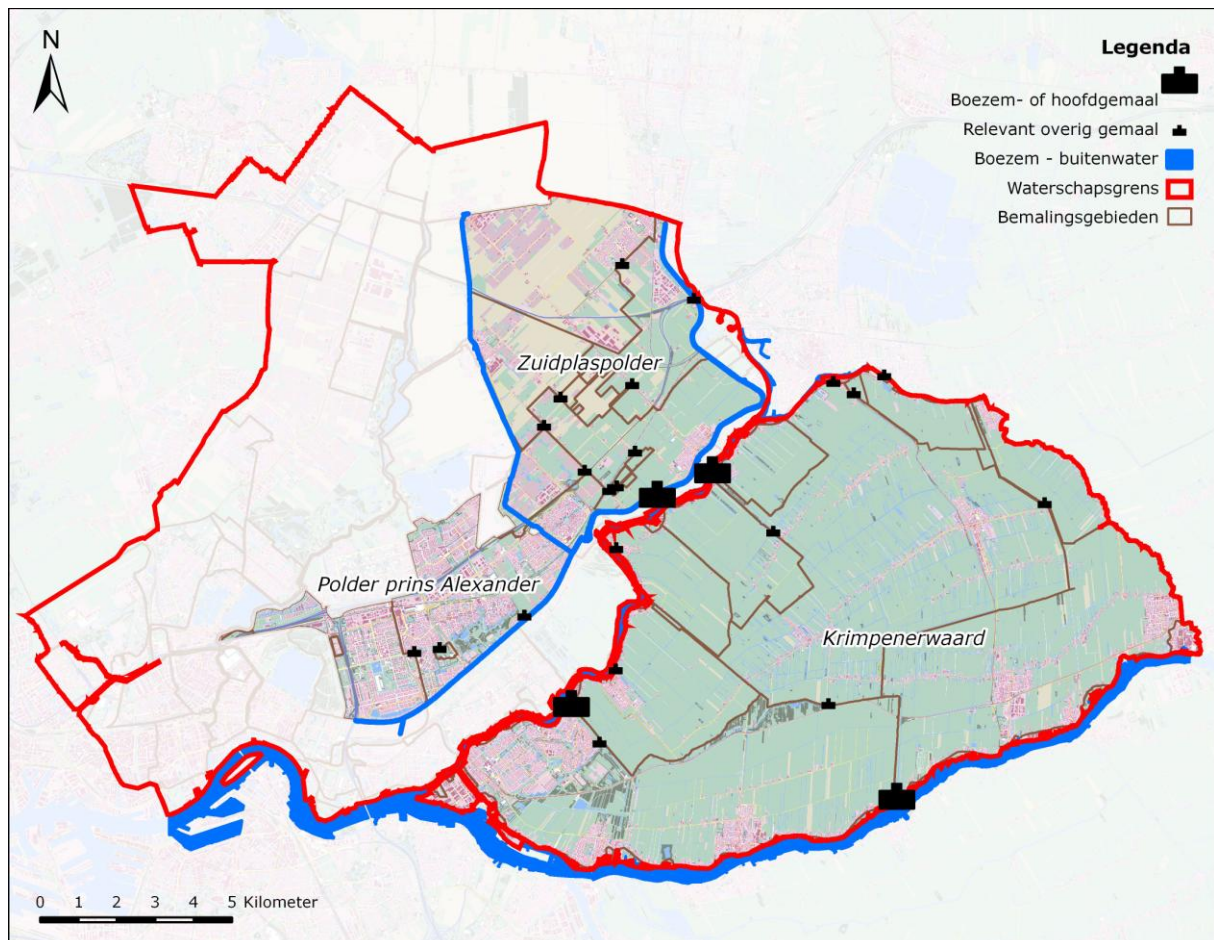
## 1.3 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk is in detail beschreven hoe deze vragen beantwoord zijn en worden de twee gebieden nader toegelicht. In hoofdstuk "het verleden" is een historisch overzicht gegeven over het energieverbruik en in hoofdstuk "de toekomst" worden verwachte gevolgen van klimaatverandering op het watersysteem besproken en de maatregelen om energieverbruik en bodemdaling te beperken. De verklarende woordenlijst kan gebruikt worden voor het terugvinden van gebruikte begrippen.

## 2 Aanpak

### 2.1 Gebiedsomschrijving

De grens van hoogheemraadschap is weergegeven in Figuur 1. De Krimpenerwaard ligt in het zuidoosten van het gebied en bestaat zoals te zien is voornamelijk uit grasland. De Zuidplaspolder en Polder Prins Alexander worden samen bemalen op de Hollandsche IJssel via een ringvaart. Dit gebied wordt verder aangeduid als het ringvaartdistrict.

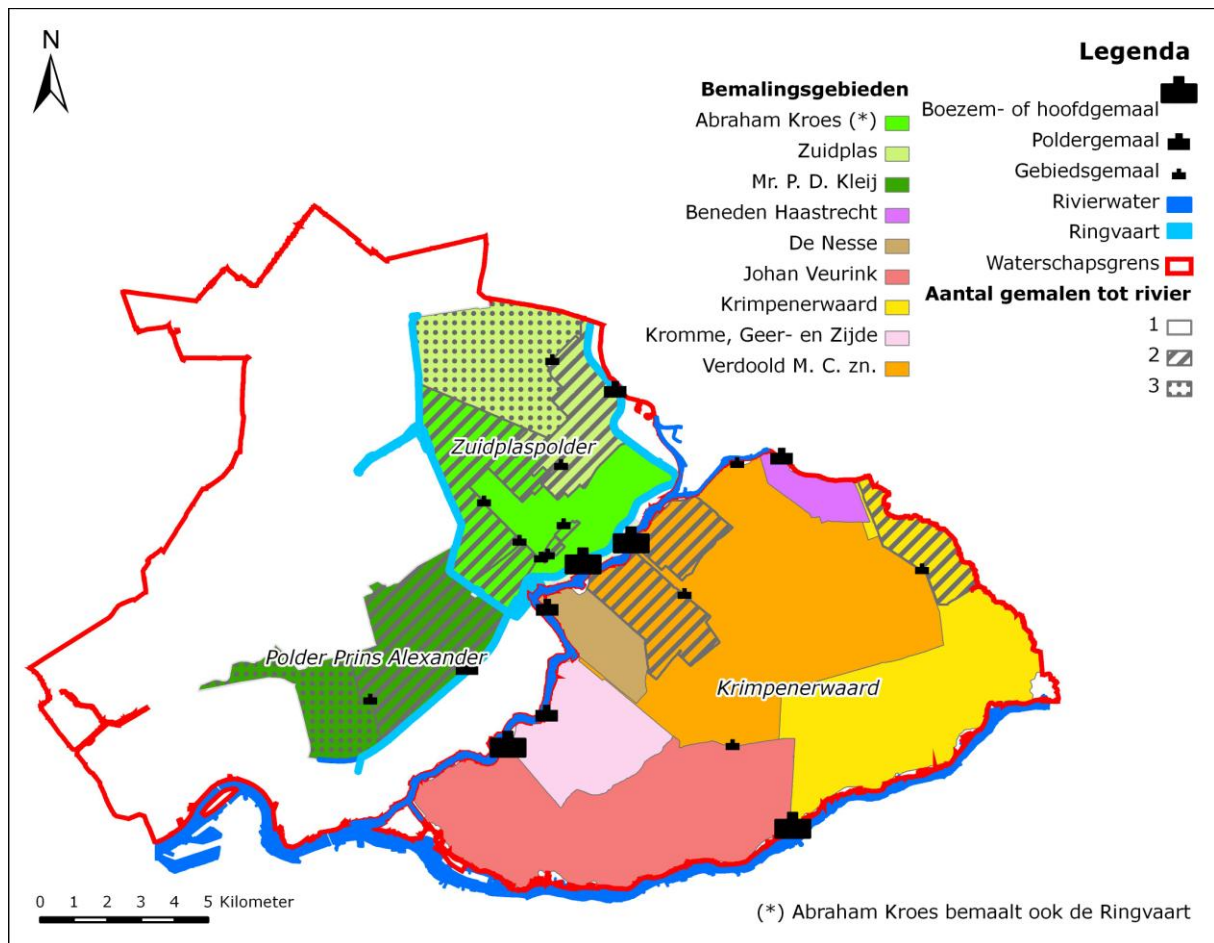


**Figuur 1 Het landgebruik in de onderzoeksgebieden**

#### 2.1.1 De Krimpenerwaard

De Krimpenerwaard is een door rivieren omsloten veenpakket van 13.500 ha dat gemiddeld 2 meter beneden NAP ligt. Dit gebied is deel van het Groene Hart en wordt voornamelijk gebruikt voor natuur en veeteelt. De bodem bestaat vooral uit veen. Langs de omliggende rivieren (de Lek en de Hollandsche IJssel) ligt er kleilaag over het veen. Van de 11<sup>e</sup> en de 13<sup>e</sup> eeuw is de Krimpenerwaard ontgonnen in meerdere polders. Oorspronkelijk lag de Krimpenerwaard boven NAP, maar door de ontwatering van het veen kwam het lager te liggen dan de omliggende rivieren. Machinale ontwatering en dijken werden nodig. De Krimpenerwaard ligt wel hoger dan de omliggende droogmakerijen. Hierdoor stroomt er grondwater van de Krimpenerwaard naar andere gebieden (o.a. de Zuidplaspolder). De ontwatering gaat hier sneller en daardoor ook de bodemdaling. Dit is vooral het geval in het noorden van de Krimpenerwaard. Om de bodemdaling te beperken is in het Veenweide Pact, een overeenkomst tussen de landgebruikers en de overheid, afgesproken dat in dit noordelijke deel vooral nieuwe natuur komt. De afwatering van de Krimpenerwaard is relatief eenvoudig, doordat het

water uit de gebieden direct op de rivier wordt bemaald. Dit is ook te zien in **Figuur 2**. De Krimpenerwaard bestaat vooral uit veel grote vlakken die direct bemalen worden op buitenwater. Enkele bemalingsgebieden worden in twee stappen op het buitenwater bemalen.



**Figuur 2 Bemalingsgebieden en het aantal stappen tot bemaling op buitenwater in het onderzoeksgebied.**

### 2.1.2 Het ringvaartdistrict van Schieland

Het ringvaartdistrict van Schieland bestaat uit twee polders, de Zuidplaspolder en de Polder Prins Alexander.

De Zuidplaspolder is de diepste polder van Nederland. Vanaf de 14<sup>e</sup> eeuw tot 1550 is het droge veen afgegraven. Vanaf halverwege de zestiende tot de achttiende eeuw is het nattere veen uitgebaggerd. Uiteindelijk bleef er een plas over. Om wateroverlast te voorkomen en nieuw productief land te winnen is deze plas drooggemalen in 1840. Het zuidoosten en noordwesten van de polder zijn verschillend, wat de polder complexer maakt dan de Krimpenerwaard.

In het zuidoosten ligt nog een restant van het veen, met op sommige plekken ongerijpte klei in de ondergrond. Deze ongerijpte klei zakt sneller in dan gewone klei bij het ontwateren. De ongerijpte klei bevat het zwavelhoudende pyriet. Ontwateren zou voor sterke verzuring zorgen, wat niet wenselijk is voor de landbouw en waterkwaliteit. Diep ontwateren is dus onmogelijk en daarom wordt dit deel voornamelijk gebruikt als grasland. In dit gebied is tevens sprake van zoute kwel, deels natuurlijk, deels lokaal uit geslagen putten (wellen) voor vroegere gaswinning.

In het noordwesten bestaan de bodems uit kalkrijke lichte klei. Ook dit deel bevat pyriethoudende klei, maar diepere ontwatering is mogelijk, omdat de aanwezige kalk de vrijgekomen zwavel neutraliseert. Aangezien er geen veen of ongerijpte klei aanwezig is,



is de bodemdaling minder groot. De ontwateringsmogelijkheden en betere grondsoorten hebben voor een diverse vorm aan akkerbouw gezorgd [StiBoKa, 1984]. De glastuinbouw is tegenwoordig ook een belangrijke functie. De Zuidplaspolder ligt niet in het Groene Hart en staat daarom onder druk van verstedelijking.

De Polder Prins Alexander is ontstaan door het droogmalen van een veertiental plassen in 1874. Ook in deze polder ligt nog veel restveen [StiBoKa, 1972]. Tegenwoordig is deze polder echter vrijwel volledig bebouwd.

In tegenstelling tot de Krimpenerwaard worden de bemalingsgebieden van het ringvaartdistrict bijna niet direct op buitenwater bemalen. Veel gebieden zijn gearceerd wat betekent dat het overtollige water uit dit gebied twee gemalen nodig heeft voordat zij op buitenwater bemaalt. Het gebied is op hoofdstructuur in te delen in drie gebieden, welke aangegeven zijn in Figuur 2 met drie groentinten. Het overtollige water uit het noorden van de Zuidplaspolder wordt door gemaal Zuidplas bemalen op de ringvaart. De polder Prins Alexander maalt ook op de ringvaart. Gemaal Abraham Kroes maalt vervolgens deze ringvaart op de Hollandsche IJssel. Ander pompen in Gemaal Abraham Kroes bemalen het zuiden van de Zuidplaspolder, zonder tussenkomst van de ringvaart.

## 2.2 Benodigde gegevens

### 2.2.1 Theoretische energievraag

De theoretische energievraag (minimale behoefte) kan berekend worden uit het waterniveau (hoeveelheid water) en de opvoerhoogte. Dit volgens de formule voor potentiële gravitatie energie (zwaarte-energie):

$$E_z = m \times g \times h \quad \text{[NVON, 1998]}$$

Met:

$E_z$  : zwaarte-energie (J)

$m$  : massa (kg)

$g$  : valversnelling, In Nederland:  $9,81 \text{ m/s}^2$  [NVON, 1998]

$h$  : hoogte, hier opvoerhoogte in meters.

De massa van water (in kg) is gelijk aan haar volume (in liters), aangezien water een soortelijke massa heeft van  $1 \text{ kg/dm}^3$ . Het waterniveau is in bepaalde perioden (zie 2.2.1) gegeven en in andere jaren berekend door het aantal draaiuren van een pomp te vermenigvuldigen met de capaciteit (volume per uur).

De opvoerhoogte is uit de peilbesluiten gehaald. Voor de standen van het buitenwater zijn de langjarige gemiddelde waterstanden (waternormalen) gebruikt van Rijkswaterstaat. Voor de Lek bij Schoonhoven, voor de Hollandsche IJssel bij de brug bij Gouda [Rijkswaterstaat, 2009].

Om tot een gemiddelde opvoerhoogte te komen voor een heel gebied is er een gewogen gemiddelde berekend op basis van oppervlakte. Grotere gebieden tellen zwaarder mee, aangezien daar ook meer regen valt en moet worden afgevoerd. Dit is enkel gedaan voor gemalen die op buiten- of boezemwater malen.

$$\bar{h} = \frac{\sum_{n=a}^{n=z} Opp_n \times h_{n \rightarrow r}}{\sum_{n=a}^{n=z} Opp_n}$$

Met:

$\bar{h}$  : gemiddelde opvoerhoogte gewogen naar oppervlak (m)

$Opp_n$  : oppervlakte van een bemalingsgebied n (ha)

$h_{n \rightarrow r}$  : opvoerhoogte van het peil in bemalingsgebied n tot aan de rivier (m)

Deze gemiddelde opvoerhoogte is bepaald voor de Krimpenerwaard en voor het Ringvaartdistrict. In het ringvaartdistrict zijn de polder-op-boezem gemalen meegenomen in plaats van het boezemgemaal Abraham Kroes. De opvoerhoogte van polder naar rivier is hier dan ook de opvoerhoogte van polder naar boezem plus de opvoerhoogte van boezem naar polder.

### 2.2.2 Primair energieverbruik

Het primair energieverbruik is berekend door alle energiebronnen om te zetten naar Joule. Fossiele brandstoffen zijn omgezet naar Joule met hun stookwaarde (energie/massa) en voor vloeistoffen en kolen ook met hun soortelijke massa (massa/volume). De gebruikte omzettingfactoren zijn gegeven in [Bijlage 1](#).

Het elektriciteitsverbruik is omgerekend naar primaire energie. Dit door het elektriciteitsverbruik te delen door het netto elektrisch rendement van de elektriciteitsproductie, zoals gegeven in [Bijlage 2](#).

#### *Neerslagoverschot*

Aangezien de polder geen natuurlijk afwatering heeft moet overtollig water weggemalen worden. Uit de dagstaten van het KNMI-station Rotterdam [KNMI,2009] zijn de neerslag en de verdamping (volgens Makkink) per jaar achterhaald.

#### *Oppervlakten bemalinggebieden*

Zoals hierboven aangegeven is de oppervlakte van de bemalingsgebieden nodig voor enkele berekeningen.

Uit het geo-informatiesysteem zijn de huidige oppervlakten van de bemalinggebieden gehaald. Indien in vroegere jaren bemalinggebieden anders waren zijn de oppervlakten achterhaald uit de jaarverslagen waterkwantiteit.

### 2.2.3 Beschikbaarheid van de gegevens

In de anderhalve maand dat er naar gegevens is gezocht in de archieven van het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard zijn niet alle gegevens gevonden voor de beoogde periode van 1900-2008, zoals weergegeven in [Tabel 1](#). In de periode voor 1975 werden de gegevens over de bemaling geregistreerd door polderbesturen. Elke polder registreerde de gegevens op zijn eigen wijze. De theoretische energievraag, en daarmee het rendement kon niet altijd berekend worden door het ontbreken van het waterverzet. Daarnaast is de beschikbaarheid en volledigheid per polder zeer variabel.

**Tabel 1 Bron van de gegevens voor het waterverzet en het energieverbruik**

Periode	Schieland		Krimpenerwaard	
	Energieverbruik	Waterverzet	Energieverbruik	Waterverzet
<1975	Polderarchieven	Polderarchieven	Polderarchieven	Polderarchieven
1975-1980	Nog te vinden	Nog te vinden	Nog te vinden	Nog te vinden
1980-1985	Jaarverslagen (1980-1986)	Jaarverslagen (1980-1986)		
1985-1990	Deels kWh meters	Deels draaiuurmeters	Jaarverslagen (1984-1995)	Jaarverslagen (1984-1995)
1990-1995	kWh-meters	Draaiuurmeters		
1995-2000			Nog niet gevonden	Nog niet gevonden
2000-2005	Digitale maandrapportage	Digitale maandrapportage	Nog niet gevonden	Nog niet gevonden
2005-2008			Digitale maandrapportage	Digitale maandrapportage

Vanaf 1975 zijn de polderbesturen opgeheven en werd de administratie en archivering over de bemaling ondergebracht bij de waterschappen. In de jaren 80 was er vanuit de provincie interesse in de bemaling. In deze periode zijn jaarverslagen waterkwantiteit gemaakt. Voor het hoogheemraadschap van Schieland gaan deze van 1980 tot en met 1986, voor het hoogheemraadschap Krimpenerwaard van 1984 tot en met 1995. Daarna zijn de gegevens digitaal bijgehouden. Vanaf 2000 zijn de digitale bestanden gevonden voor het deel van Schieland. Vanaf de fusie is er pas een digitale maandrapportage voor de Krimpenerwaard. Ook in deze periode ontbreken er van sommige jaren gegevens.

Voor de jaren 1987 tot 1999 zijn in de onderzoeksperiode geen gegevens gevonden voor het ringvaartdistrict en van 1996 tot 2006 voor de Krimpenerwaard. Op het gemaal Abraham Kroes zijn later in het onderzoek gegevens gevonden van het ringvaartdistrict voor de periode 1988 tot en met 1999. Dit waren vooral begin en eindstanden van kWh meters en draaiuren. Dit in tegenstelling tot de jaarverslagen waterkwantiteit en digitale maandrapportage waar de benodigde gegevens (energieverbruik en waterverzet) direct gegeven zijn.

Van deze periode zijn ook computerlogboeken gevonden, welke op een later moment ook in de recentere archieven bleken te zitten. Echter deze zijn niet compleet en verschillen van de meterstanden opgemeten door de beheerders van de gemalen.

In de periode zonder jaarverslagen en digitale maandrapportage is het energieverbruik en de energievraag op de volgende wijze geïnventariseerd:

De verplaatste hoeveelheid water is uitgerekend met het aantal draaiuren vermenigvuldigd met de capaciteit (het aantal m<sup>3</sup> per minuut). Indien gemalen uit verschillende pompen of uit pompen met verschillende standen (hoge toeren, lage toeren) bestonden is het waterverzet per pomp berekend. Op deze wijze is het waterverzet ook bepaald voor de jaarverslagen waterkwantiteit en de digitale maandrapportage.

Het elektriciteitsverbruik is uitgerekend aan de hand van de begin- en eindjaarstand van de kWh-meters van een gemaal. De meters werkten soms met een vermenigvuldigingsfactor waardoor niet per kWh werd gemeten, maar per 10, 20, 40 of 200 kWh. Deze vermenigvuldigingsfactor was soms onbekend. Met gegevens uit de periode uit de jaarverslagen en de digitale maandrapportage is de ordegrrootte geschat.

Het diesilverbruik was niet van elk jaar bekend. In de jaren dat het wel bekend was kon wel het verbruik per draaiuur berekend worden. Ook hebben de beheerders van de gemalen dit soort getallen gegeven. Het diesilverbruik is dan meestal ook uitgerekend door het aantal draaiuren van een pomp te vermenigvuldigen met dit verbruik per uur.

#### **2.2.4 De betrouwbaarheid van de gegevens**

De betrouwbaarheid van de resultaten hangt af van de nauwkeurigheid van de data.

De theoretische energievraag hangt af van het waterverzet en de opvoerhoogte. Het waterverzet is uitgerekend onder de aanname dat water een soortelijk gewicht heeft van 1,00 kg/dm<sup>3</sup>. In de werkelijkheid is dit hoger en afhankelijk van het zoutgehalte. Echter de exacte waarde was niet bekend. Hierdoor zijn de vraag en het rendement licht onderschat.

Het waterverzet wordt in alle gevallen beïnvloed door de capaciteit. Ook in periode met een gegeven waterverzet is dit berekend door het aantal draaiuren te vermenigvuldigen met de capaciteit. Het is niet duidelijk of verbeteringen aan een gemaal ook doorgewerkt hebben in de capaciteit.

Ook is het waterverzet afhankelijk van de opvoerhoogte, aangezien de gemalen minder water kunnen verplaatsen bij een grotere opvoerhoogte en meer bij een kleinere

opvoerhoogte. In de lente zijn bovendien door smeltwater uit de Alpen de rivierstanden hoger, en dus is er een lagere capaciteit voor de pompen door een grotere opvoerhoogte. Het waterverzet is waarschijnlijk licht overschat.

De opvoerhoogten zijn uit de peilbesluiten gehaald. Dit zijn de theoretische waterpeilen en kunnen afwijken van de werkelijkheid. Voor de bemaling is de opvoerhoogte kleiner dan na de bemaling, omdat het polderpeil zakt. Zoals al eerder aangegeven wordt de opvoerhoogte beïnvloedt door de dagelijkse en jaarlijkse dynamiek van de rivieren. Over een jaar genomen zijn de peilen wel op niveau en konden de afwijkingen niet meegenomen worden.

Aangezien het onderzoek is uitgevoerd op jaargegevens kon de dynamiek in opvoerhoogte (en capaciteiten) niet gekwantificeerd worden. Echter doordat het waterverzet overschat is en de opvoerhoogte onderschat hebben ze elkaar op bij de berekening van de theoretische energie.

Het gemeten energieverbruik wordt ook beïnvloedt door onzekerheden. Zo is het energieverbruik door de vermenigvuldigingsfactor op de kWh-meters.

Het energieverbruik hangt ook af van de variatie in stookwaarde van diesel, steenkool en Bij het elektriciteitsverbruik van een gemaal zit ook de elektriciteit voor de werking van meet-en regelkamers, hoewel dit een minimaal effect heeft op het energieverbruik.

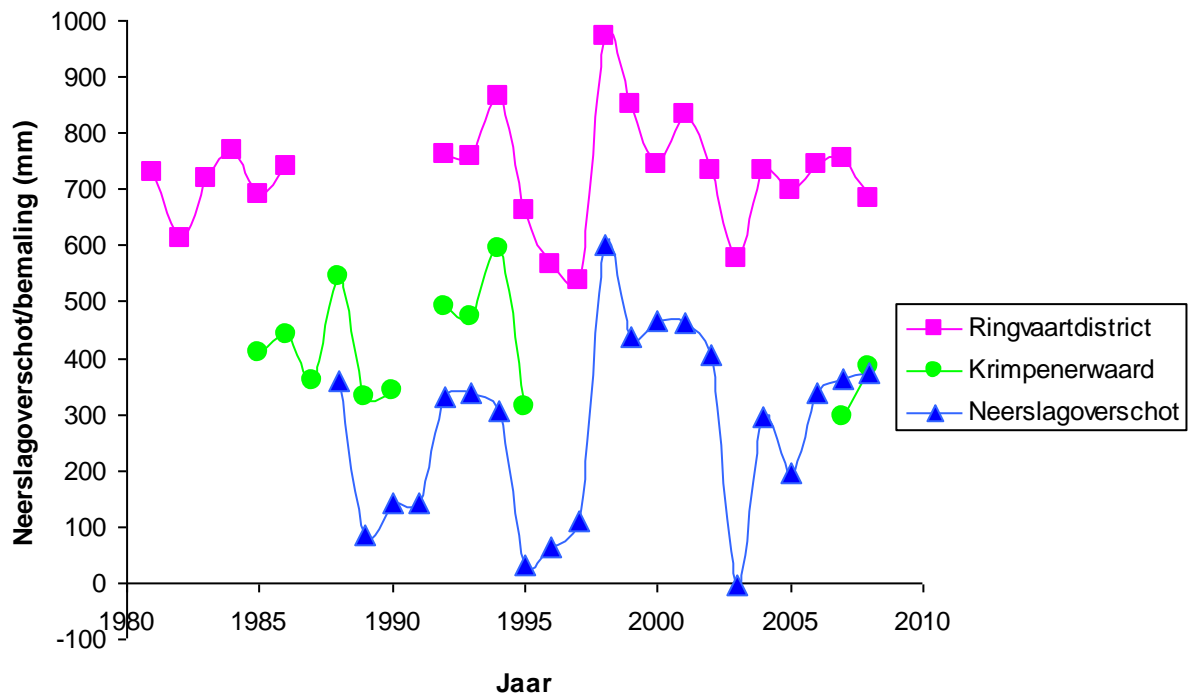
Ook in de elektriciteit zit een spreiding, omdat er gewerkt is met het landelijk gemiddelde rendementen van elektriciteitscentrales. Aangezien de oorsprong van de elektriciteit onbekend is geeft dit wel een representatief beeld.

### 3 Het verleden

#### 3.1 Theoretische energievraag

##### 3.1.1 Waterverzet

Het waterverzet wordt beïnvloed door het neerslagoverschot. In **Figuur 3** is het neerslagoverschot uitgezet tegen het waterverzet. Het waterverzet is per hectare weergegeven om een eerlijke vergelijking te maken tussen het ringvaartdistrict en de Krimpenerwaard.



**Figuur 3 Neerslagoverschot en bemaling in het ringvaartdistrict en de Krimpenerwaard**

In de grafiek is te zien dat er meer wordt bemalen dan het neerslagoverschot. Dit heeft verschillende oorzaken:

1. Het neerslagoverschot is per jaar berekend, terwijl er dagelijks bemaald wordt om het peil te handhaven. Als er op die tijdschaal te weinig ruimte is om het water te bergen moet er bemalen worden.
2. Niet alleen de neerslag wordt weggemalen, maar ook kwel
3. Er wordt ook water ingelaten en opgepompt voor doorspoelen van zoute kwel.

In het ringvaartdistrict zijn al deze effecten groter dan in de Krimpenerwaard. De peilvakken zijn kleiner, waardoor het systeem minder veerkracht heeft. Ook is er meer landgebruik (kassen, bebouwing) dat voor een snellere afvoer kan zorgen. Verder is er een groter kwelstroom, met daarbij nodige doorspoeling.

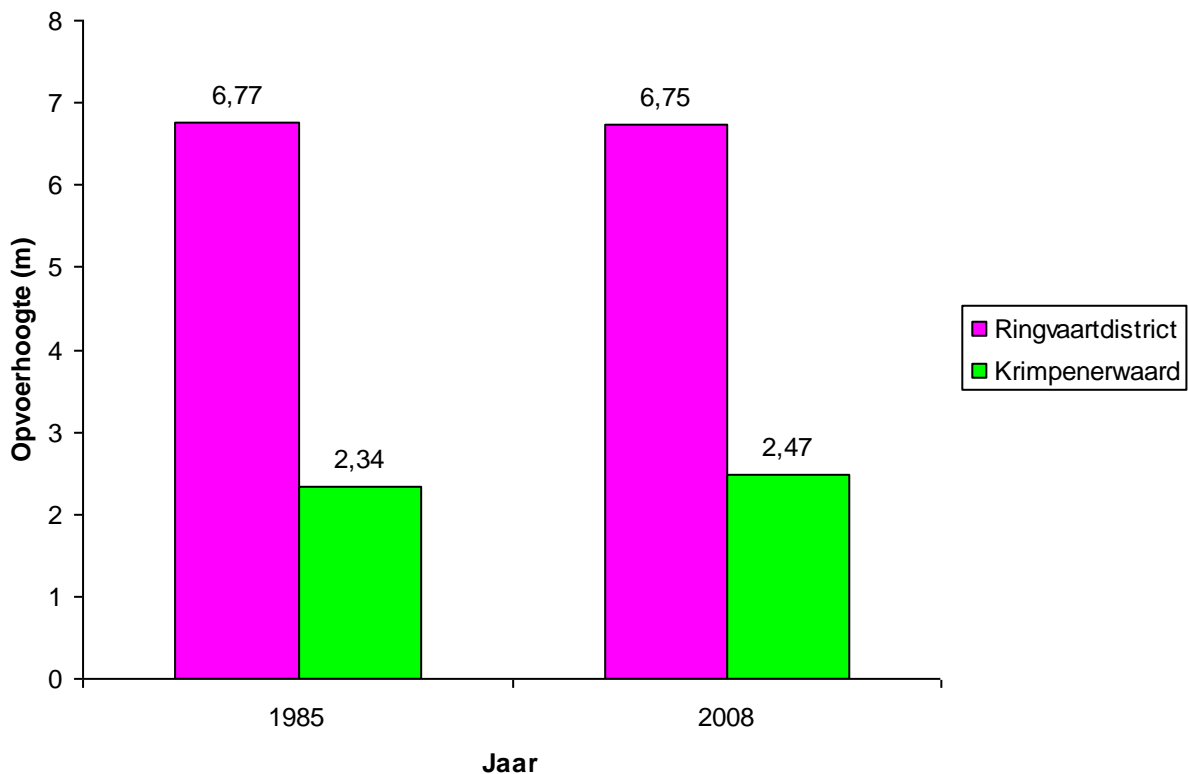
Opvallend is de hoeveelheid bemaling ten opzichte van het neerslagoverschot in 2007 en 2008 voor de Krimpenerwaard. Waar in de periode 1984-1995 zo'n 200 mm meer gemalen wordt dan het neerslagoverschot, zijn ze nu ongeveer gelijk.

### 3.1.2 Opvoerhoogte

De opvoerhoogte is berekend uit de peilbesluiten. Dat de opvoerhoogte groter is in het ringvaartdistrict is eenvoudig te verklaren, aangezien beide gebieden op hetzelfde buitenwater malen, maar vanaf verschillende diepten.

Zoals te zien is in **Figuur 4** is de gemiddelde opvoerhoogte gewogen naar oppervlakte in voor het ringvaartdistrict nauwelijks veranderd. In het ringvaartdistrict zijn de peilen van de ringvaart, bemalingsgebied Zuidplas en bemalingsgebied Mr. P.D. Kleij niet aangepast. Deze gebieden ondervinden ook weinig bodemdaling, aangezien de bodem vooral uit klei bestaat. In het zuiden van de Zuidplaspolder (bemalingsgebied Abraham Kroes polder) ligt wel veen. De stijging in de opvoerhoogte zal dan ook voornamelijk bij dit gemaal liggen. Het peil is echter 10 cm hoger gezet bij het gemaal. Waardoor de gemiddelde opvoerhoogte 2 cm is gedaald.

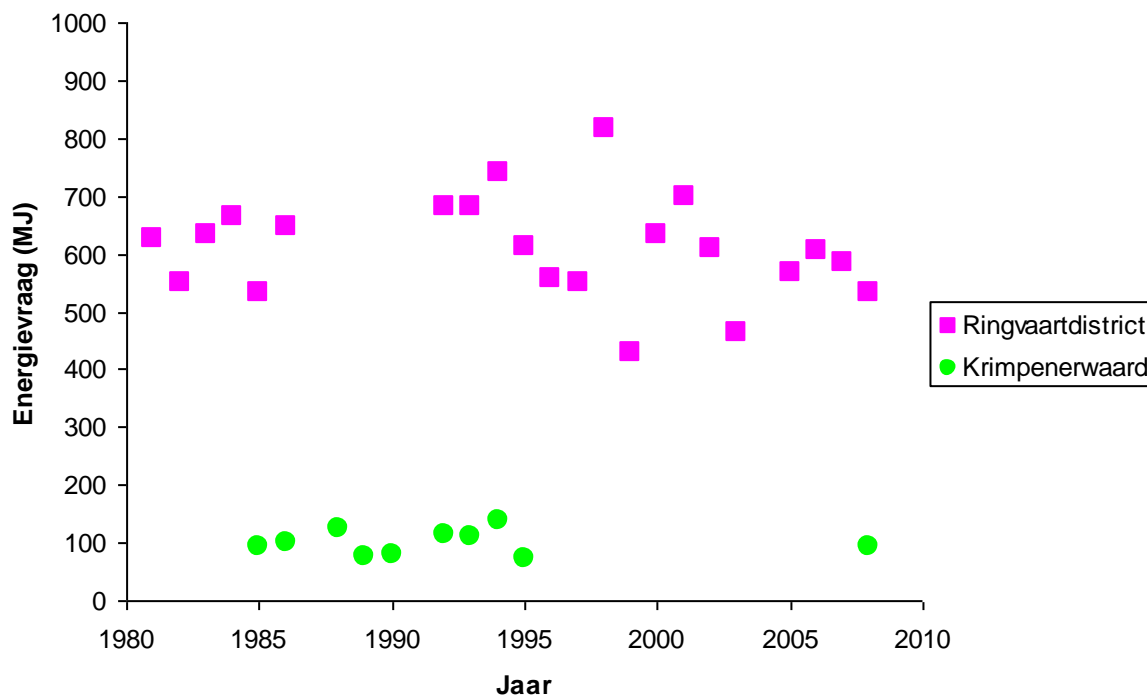
In de Krimpenerwaard is er een toename in opvoerhoogte. De stijging van de opvoerhoogte is 13 cm in 18 jaar (7 mm/jaar). De gemalen staan in de Krimpenerwaard vooral in het sneller zakkende noorden, waardoor de aanpassing aan de peilen geen representatief beeld geven van de gemiddelde bodemdaling in de Krimpenerwaard.



**Figuur 4 Gemiddelde opvoerhoogte gewogen naar oppervlakte in 1985 en 2008**

### 3.1.3 Theoretische energievraag

**Figuur 5** geeft de theoretische energievraag over de verschillende jaren weer. De energievraag voor de Krimpenerwaard is lager door de opvoerhoogte, maar ook door het doorspoelen, de beperkte veerkracht en kwel die voor een extra waterverzet zorgen in het ringvaartdistrict.



**Figuur 5 Theoretische energievraag in de periode 1980-2008**

## 3.2 Energieverbruik en rendement

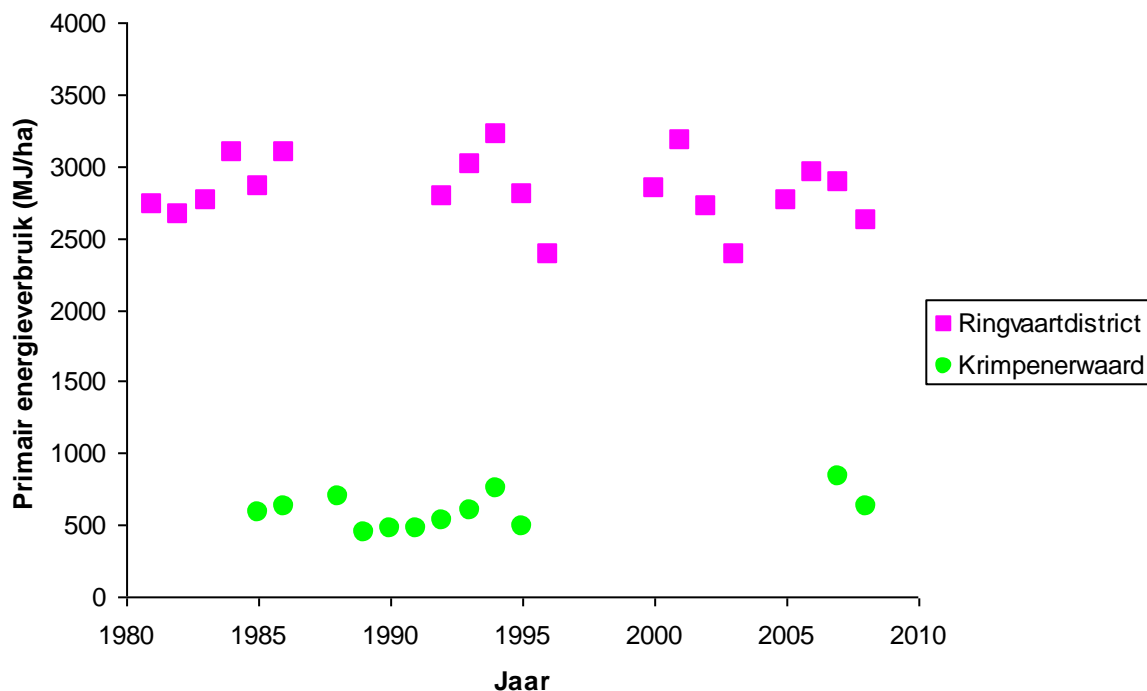
### 3.2.1 Op gebiedsniveau

Het primair energieverbruik van de Krimpenerwaard en het ringvaartdistrict van Schieland zijn gegeven in [Figuur 6](#). Het patroon lijkt op dat van de theoretische energievraag. De verhoudingen tussen energieverbruik en de primaire energievraag lijken gelijk te zijn gebleven, dit is ook terug te zien in het rendement.

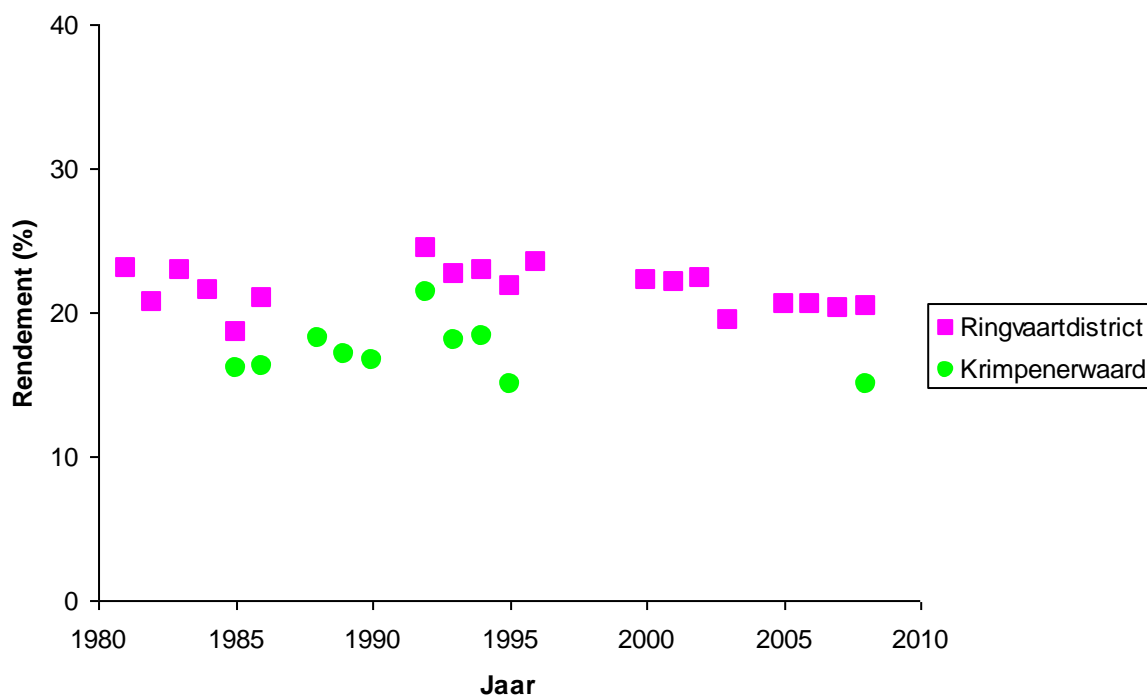
Dit rendement geeft aan hoeveel van de primaire energie gebruikt is voor de bemaling. Verliezen vinden plaats bij energieopwekking, in de motoren, in de opvoerwerktuigen en bij transport van pomp naar uitlaat. Het rendement is gemiddeld 22% in het ringvaartdistrict en 17% in de Krimpenerwaard. Dat het lager ligt in de Krimpenerwaard is te verklaren door meer oude gemalen die op buitenwater bemalen. Gemalen die op buitenwater malen hebben een groter opvoerhoogte met een grote variatie.

De verliezen bij de productie van elektriciteit zijn afgenomen van 62 naar 58% [SEP/energieNed,1999; ECN, 2005]. Dat suggereert dat het technisch rendement van de bemaling zelfs zou zijn afgenomen. Door slijtage zou dit eventueel ook verwacht kunnen worden. Toch zijn er de afgelopen 30 jaar wel verbeteringen geweest aan de bemalingstechniek. De piekbelasting bij het opstarten van de gemalen is afgenomen, wat een positief effect zou moeten hebben op het rendement.

In de Krimpenerwaard is in het bemalingsgebied "Den Hoek en Schuwacht" een nieuw gemaal geplaatst (Johan Veurink) ter vervanging van de gemalen Reinier Blok en Langeland & Kortland. Ook gemaal Bergambacht is vervangen door gemaal Krimpenerwaard. Er was verwacht dat hierdoor het rendement zou stijgen, echter in 2008 is het rendement zelfs lager dan gemiddeld. In de volgende paragraaf wordt er ingezoomd op deze situaties.



**Figuur 6 Primaire energiegebruik in de periode 1980-2008**



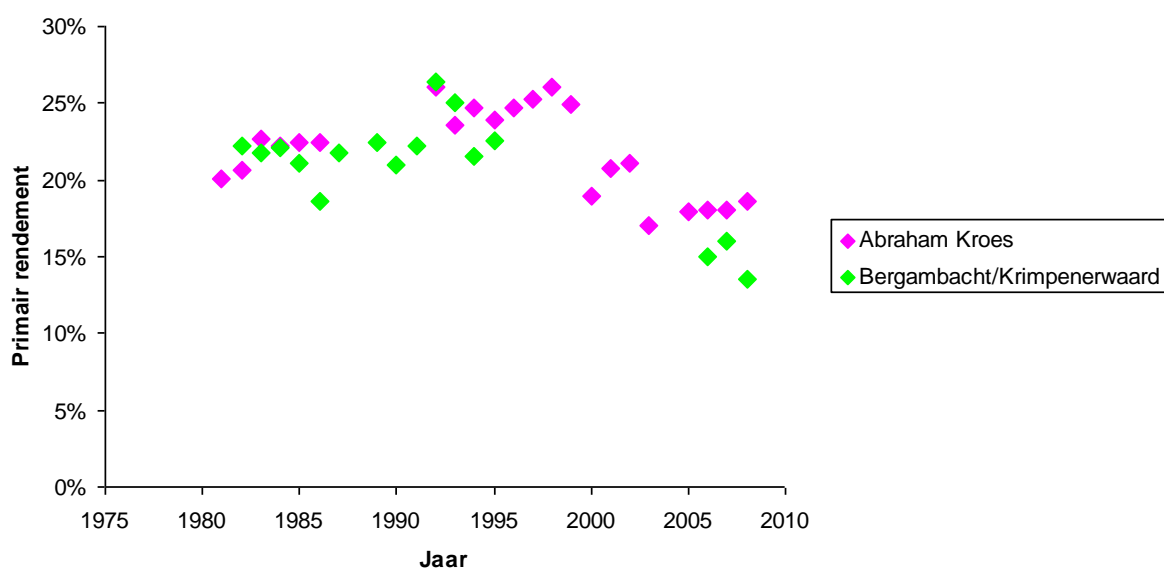
**Figuur 7 Primair rendement van de bemaling in de periode 1980-2008**

### 3.2.2 Per gemaal

Zoals aangegeven is het voor enkele gemalen zeer interessant om in te zoomen op het energieverbruik. Dit zijn:

- Gemaal Abraham Kroes, omdat dit het grootste gemaal is;
- Het maalgebied Bergambacht, aangezien daar gemalen zijn vervangen en het maalgebied hetzelfde is gebleven.



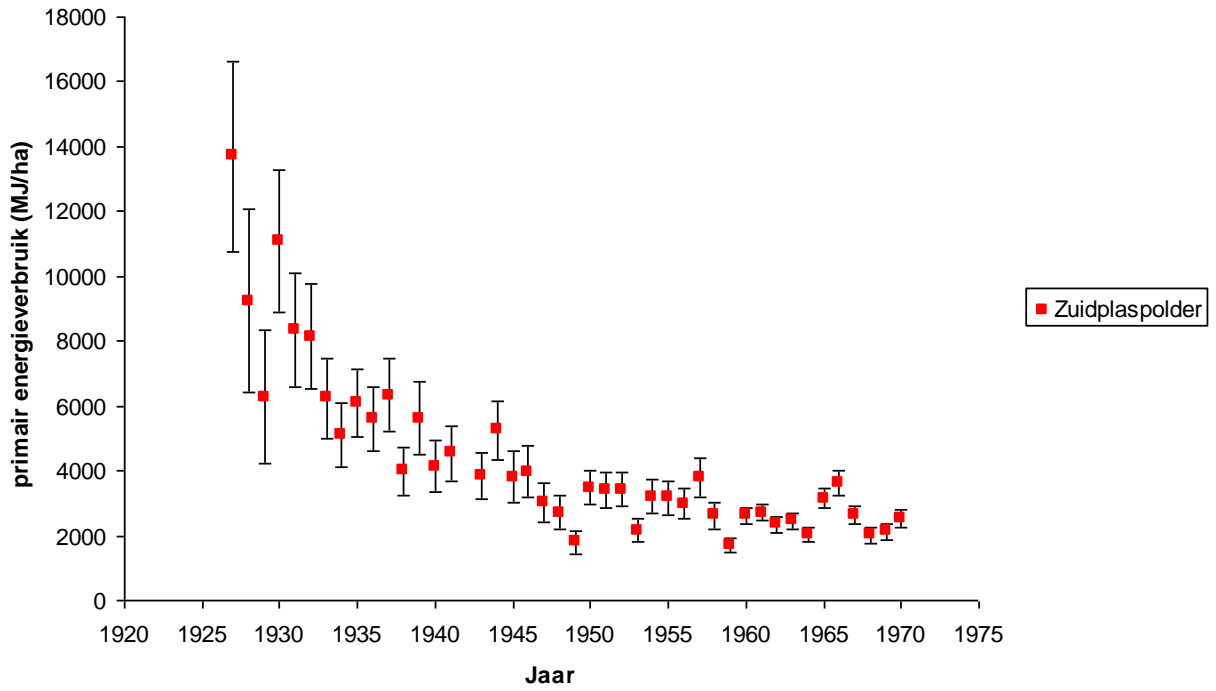


**Figuur 8 Primair rendementen van twee gemalen**

Figuur 8 geeft het rendement van de afzonderlijke gemalen. In de periode 1980-1999 lijkt het rendement van de gemalen licht gestegen te zijn. In de periode van de digitale maandrapportage zijn bij beide gemalen de rendementen gedaald. Aangezien dit uit een andere bron van gegevens komt, wordt de suggestie gewekt dat er verschillen zitten tussen de bronnen. De oorzaak hiervan is nog niet bekend.

### 3.2.3 Voor 1970

Er zijn in de archieven van Schieland ook gegevens gevonden van het energieverbruik van de Zuidplaspolder voor 1970. Figuur 9 geeft het primaire energieverbruik weer van die periode. Hier is ook een onzekerheid aangegeven, omdat de brandstoffen geen constante stookwaarde hebben en het rendement van de elektriciteitscentrale geschat is. De grafiek laat zien dat het primair energieverbruik is gedaald. In de jaren 1927-1935 lopen twee van de drie gemalen op steenkolen en een op elektriciteit. Er was een hoog energieverbruik met een grote bandbreedte, doordat steenkool een grote variatie kan hebben in stookwaarde. Vanaf 1934 gaat een van de steenkool-gemalen over op ruwe olie. In de tweede wereld oorlog loopt een van de gemalen ook deels op antraciet. Vanaf 1958 lopen alle gemalen op diesel of op elektriciteit. Helaas zijn van deze periodes het waterverzet of capaciteiten onbekend. Hierdoor kan de energievraag, en dus het rendement niet worden berekend. In de jaren 1960-1975 ligt het primair verbruik rond de 2500 MJ/ha. Tegenwoordig ligt het rond de 2700 MJ/ha voor het ringvaartdistrict. Gecorrigeerd voor het rendement van elektriciteitscentrales wordt er per hectare meer energie verbruikt. Wel moet gemeld worden dat dit een andere situatie is, omdat de ringvaart niet verbonden is met de Polder Prins Alexander.



**Figuur 9 Primair energieverbruik van de bemaling van de Zuidplaspolder. De spreiding geeft de onzekerheid aan als gevolg van de onbekende kwaliteit van steenkool en ruwe olie en het geschatte rendement van elektriciteitscentrales.**

## 4 De toekomst

Zoals aangegeven hangt het energieverbruik af van het waterverzet, de opvoerhoogte en het technisch rendement van de bemaling. Het verlagen van het waterverzet en de opvoerhoogte en het vergroten van het rendementen laten het energieverbruik dalen. De klimaatverandering zorgt hoe dan ook voor een groter energieverbruik, maar ook deze effecten zijn nog deels te keren.

### 4.1 Het klimaat

In de toekomst zal het waterverzet en de opvoerhoogte toenemen door veranderingen in het klimaat. Volgens de KNMI scenario's [KNMI,2006] valt er 14% meer water valt in de winter. Alterra [2007] geeft een toename in de bodemdaling van 68% voor een vergelijkbaar kwetsbaar veenweidegebied. Bij een voorzichtige schatting van de huidige bodemdaling van 5 mm/jaar zorgt dit voor een extra opvoerhoogte van 80 cm. Als het rendement van de bemaling niet toeneemt, zal dit voor een 40% groter energieverbruik zorgen.

**Tabel 2 Geschat energieverbruik in 2100 t.o.v. 2008 voor de Krimpenerwaard**

	<i>Waterverzet(mm)</i>	<i>Opvoerhoogte (m)</i>	<i>Rendement</i>	<i>Energieverbruik (MJ/ha)</i>
2008	384	2,5	15%	620
2100	408	3.3	15%	866

Het energieverbruik is op de lange termijn alleen te beperken door de mondiale CO<sub>2</sub> emissie te beperken. Minder energie uit fossiele brandstoffen beperkt de toekomstige CO<sub>2</sub> concentratie in de atmosfeer. Hierdoor zullen de opvoerhoogten en het neerslagpatroon minder veranderen. Het energieverbruik van de bemaling is klein ten opzichte van het mondiale energieverbruik, maar als er nergens bespaard wordt zullen de CO<sub>2</sub> emissies en de gevolgen steeds groter worden.

Naast dit ecologische- en sociale argument zijn er ook economische argumenten om energie te besparen en de CO<sub>2</sub> uitstoot te verminderen. Energie wordt schaarser en duurder, waardoor het produceren van eigen energie en het verminderen van het eigen energieverbruik ook geld zal opleveren.

### 4.2 Waterverzet

Het waterverzet kan verminderd worden door minder water uit te pompen. Er wordt op dit moment meer dan het overschot van water uitgepompt. Dit is echter op jaarbasis. Bemaling is nodig, omdat de verdamping in de winter de neerslag niet compenseert. Het bergen van water is dus een stap om het waterverzet te verminderen. Waterberging moet dan wel mogelijk zijn en gaat ten koste van andere ruimtegebruikers.

Zo'n opvang zou ook gebruikt kunnen worden aanvullen van peilen in de zomer. Op deze manier kan bodemdaling ook verminderd worden, wat vooral gebeurt door te lage grondwaterpeilen in de zomer. Bovendien is inlaatwater bij lage waterstanden te zout.

Doorspoelen wordt deels gedaan om lokale zout concentraties tegen te gaan. Dit wordt gedaan door rivierwater toe te laten en op een ander punt uit te pompen. Het is vrij eenvoudig om aan te voelen dat hier energie bespaard kan worden. Echter het betekent wel dat boeren met zoute kwel zich aan zullen moeten passen aan de zoute omstandigheden. Het overtuigen van boeren om dat te doen is geen eenvoudige opgave. Er liggen wel kansen wat betreft het beperken van het doorspoelen door scholing aan particulieren met eigen inlaten. Onnodig (lang) doorspoelen kan zo voorkomen worden. Ook zijn in het ringvaartdistrict vele illegale inlaten die de hoeveelheid doorgespoeld water vergroten. Handhaving hierop is dan ook de enige oplossing.

De invloed van kwel wordt groter bij een lagere grondwaterstand. Ook kan dit voor een grotere druk zorgen en opbarsten van de bodem met wellen (lokale kwel) als

resultaat. Plaatsen van damwanden en heipalen zorgt ook voor gaten. Waar mogelijk moet dit dus voorkomen worden.

Het watersysteem minder versnipperd maken kan ook het waterverzet verkleinen. Kleine vakken zorgen voor weinig veerkracht. Als een klein peilvak met een lager peil wordt opgenomen in een groter peilvak met een hoger peil, dan verminderd dit de bodemdaling en de opvoerhoogte. Echter het kan ook averechts werken. Bovendien betekent het dat dezelfde functie niet meer vervuld kan worden in hetzelfde peilvak. Zoals al aangetoond in het vorige hoofdstuk is er in de Krimpenerwaard weinig aan waterverzet te besparen. De maatregelen zijn dan ook vooral toepasbaar op gebieden als het ringvaartdistrict.

### **4.3 Opvoerhoogte**

De opvoerhoogte kan maar aan een kant door menselijk ingrijpen veranderd worden. Het polderpeil verhogen is een van de opties. Dit zorgt voor een kleinere opvoerhoogte, alleen in de zomer ook voor een groter watervraag. In de zomer is er over het algemeen een neerslagtekort, waardoor een hoger peil handhaven ook een groter waterbehoefte nodig is. Ook zijn niet alle vormen van landgebruik mogelijk bij een hoger oppervlakte (dus grondwater) peil. Voor natuur daarentegen is vaak een hoog waterpeil van belang. In veenweidegebieden kan het hooghouden van het grondwaterpeil op de lange termijn de stijging in opvoerhoogte afremmen. Met de drogere en warmere zomers zal er meer veen oxideren en zal bovendien het aantal jaren met een tekort aan (inlaat)water in de zomer, zoals in 2003, toenemen. Het vernatten van het veengebied zal zorgen voor een beperking aan bodemdaling en dus een beperking aan peilverlaging en daarmee een beperking aan opvoerhoogte, dus energie. Naast het opzetten van de peilen zijn onderwaterdrains [Alterra, 2008] ook een goede optie om lokaal bodemdaling tegen te gaan. In het midden van de percelen is door een holle grondwaterstand (als gevolg van verdamping) de bodemdaling en oxidatie het grootst. In de zomer zorgen de drains ervoor dat deze holle grondwaterstand minder wordt. De onderwaterdrains zorgen er in het voorjaar voor dat de boer eerder op het land kan, omdat water dan juist door de drains wordt afgevoerd.

Het beperken van de opvoerhoogte, door het beperken van bodemdaling is alleen nuttig in gebieden die dalen. Dit zijn vooral de veenweidegebieden, maar ook delen met restveen (zoals het zuiden van de Zuidplaspolder) zijn hiervoor geschikt.

De rivierstand is lastiger te beïnvloeden, maar wel te gebruiken. De Hollandsche IJssel heeft een getijverschil van 1,8 meter. Door goed gebruik te maken kan er dus maximaal al 1,8 meter opvoerhoogte bespaard worden. Hier is dan op korte termijn ook meer te halen dan met peilbeheer, waar toch maar enkele decimeters gewonnen kan worden. Dit betekent dat er soms gewacht moet worden met malen, terwijl dit niet moet leiden tot onaanvaardbare peilafwijkingen in de polder. Bij grote en hevige regenbuien zal dit minder toepasbaar zijn als bij kleine regenbuien, wegmalen van kwel en ondersteunen van doorspoeling. Het is ook eerder toepasbaar op gebieden met veel waterberging en gemalen met een overcapaciteit. Waterberging zorgt voor een tragere reactie van het waterpeil op de neerslag, wat meer tijd geeft tot wachten; grotere pompen beperken het risico van peiloverschrijding. Het optimaal benutten van de rivierstand is een maatregelen die nuttig is voor alle gemalen die in contact staan met een rivier of zee met getij.

### **4.4 Rendement**

Het rendement kan verbeterd worden door pompen die met een verouderde techniek werken te vervangen. Ook zijn sommige pompen niet optimaal ontworpen voor de huidige en/of toekomstige variatie en grootte van de opvoerhoogte. In het begin van de machinale bemaling kwamen er veel innoverende ideeën als opvolger van scheprad en vijzel. Of er in de toekomst een vernieuwde gedachte komt voor water omhoog pompen blijft de vraag.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

In twee maanden is er veel informatie gevonden over de bemaling van twee gebieden die representatief zijn voor veel gebieden in West-Nederland. Met deze informatie is er een historisch overzicht gekomen voor die twee gebieden. Daarnaast geeft deze studie ook de noodzaak aan om energie te besparen en geeft zij de richting in welke deze gezocht kan worden.

Uit het historisch onderzoek blijkt dat de peilaanpassingen in de afgelopen 30 jaar te klein zijn ten opzichte van de grootte van de opvoerhoogte om de theoretische energievraag te doen stijgen. Het waargenomen primaire energieverbruik is in de afgelopen 30 jaar ook constant gebleven. De verhouding tussen het primair energieverbruik en de theoretische energievraag zijn ook constant gebleven. Verwacht was dat verbeteringen in de techniek zouden leiden tot een lager energieverbruik bij een gelijkblijvende vraag. Dit is echter niet teruggevonden als resultaat. Het rendement van de bemaling ligt in de Krimpenerwaard op zo'n 17% en in het ringvaartdistrict op zo'n 22%. In de Krimpenerwaard is het rendement lager door oudere pompen, maar ook een vernieuwing van de pompen heeft (nog) niet geleid tot een hoger rendement.

In de toekomst zal er waarschijnlijk meer regen vallen in de winter, waardoor er meer water omhoog gepompt moet worden. Ook zal de hevigheid van de buien toenemen, waardoor er minder tijd is voor berging en er eerder bemalen moet worden.

De bodemdaling neemt in de toekomst toe door versnelde oxidatie van het veen als gevolg van warmere en drogere zomers. De daling zal vooral effect hebben op de Krimpenerwaard en het zuiden van de Zuidplaspolder, omdat die gebieden nog veen hebben. Met behulp van een scenariostudie is ingeschat dat het energieverbruik met zo'n 40% toeneemt in de Krimpenerwaard als er geen peilstrategieën worden toegepast om bodemdaling tegen te gaan. Er moet dan ook goed met de provincie en gemeenten worden besproken welke functies niet mogelijk zijn in deze voor bodemdaling kwetsbare gebieden.

Bovendien moeten de gemalen dan vervangen worden om te voldoen aan de nieuwe situaties. Hier moet met toekomstige financiering dan ook rekening mee worden gehouden. De energieprijzen zal door schaarste aan fossiele brandstoffen in de toekomst toenemen en een belangrijkere stempel drukken op de waterschapslasten. Naast de ecologische reden om energie te besparen is het vanuit economisch en sociaal oogpunt ook belangrijk om energie te besparen.

Naast het toepassen van peilstrategieën, wat op lange termijn bodemdaling en energieverbruik zal beperken zijn er ook oplossingen die direct invloed hebben op het energieverbruik. Zo kan er ook beter worden omgegaan met het getij van de rivieren. Dit betekent dat er op een eerder of later moment bemalen moet worden. Niet altijd zal er op laag tij gewacht kunnen worden, maar er liggen wel kansen wat betreft te momenten van bemaling van kleine buien, kwel en het faciliteren van doorspoeling. Daarnaast kan doorspoeling beperkt worden door betere handhaving en communicatie naar inwoners met (illegale) inlaten.

Dit is uiteraard niet alleen interessant voor het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, maar ook voor andere waterschappen die pompen op buitenwater dat onder invloed is van getij of te maken hebben met doorspoeling.

Als vervolg zouden de volgende acties genomen kunnen worden:

- Het beperken van doorspoelen door betere handhaving van illegale inlaten en betere scholing van inwoners die zelf inlaten en stuwen beheren.
- Een studie om te bepalen in hoeverre malen bij laag tij van de rivieren mogelijk is.
- Bij peilbesluiten en plannen in de ruimtelijke ordening provincies en gemeenten wijzen op de gevolgen van ruimtelijke ordening op peilbeheer en toekomstige bodemdaling.

## Referenties

Alterra (P. Jansen, E. Querner & C. Kwakernaak); 2007; **Effecten van waterpeilstrategieën in veenweidegebieden**, een scenariostudie in het gebied rond Zegveld.

Alterra (M. Pleijter & J.J.H. van den Akker); 2008; **Onderwaterdrains in het veenweidegebied**, Mogelijkheden van de toepassing van onderwaterdrains en de invloed op de maaiveldaling in het veenweidegebied.

ECN (A.J. Seebregts & C.H. Volkers); 2005; **Monitoring Nederlandse Elektriciteitscentrales 2000-2004**.

EnergieNed/SEP; 1998; **Elektriciteit in Nederland**

KNMI; 2006; **Klimaat in de 21<sup>e</sup> eeuw**, vier scenario's voor Nederland

KNMI, 2009, **Daggegevens van het weer in Nederland** (<http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens>); bezocht in mei 2009

NVON (Nederlandse Vereniging voor Onderwijs in de Natuurwetenschappen), 1998, **BiNaS**, informatieboek havo-vwo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen; Wolters-Noordhoff, Groningen

Programmabureau Groene Hart; 2006; **het Groene Hart: icoon van Nederland**, Samenvatting Uitvoeringsprogramma 2007-2013.

Rijkswaterstaat; 2009; **waternomalen** (<http://www.waternomalen.nl>); bezocht in mei 2009

SenterNovem (H.H.J. Vreuls); 2006; **Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO<sub>2</sub>-emissiefactoren**.

StiBoKa; 1972; **Bodemkaart van Nederland 1:50.000**, Toelichting bij het kaartblad 37 Oost Rotterdam.

StiBoKa (Markus, W.C); 1984; **Bodemkaart van Nederland 1:50.000**, Toelichting bij het kaartblad 38 West Gorinchem.

## Verklarende woordenlijst

<b>Bemalingsgebied</b>	Het overtollige water uit dit gebied wordt door een gemaal bemalen
<b>Boezemgemaal</b>	Een gemaal dat water uit een boezem op een rivier bemaalt.
<b>ECN</b>	Energiecentrum Nederland
<b>KNMI</b>	Koninklijke Nederlandse Meteorologisch Instituut
<b>Kwel</b>	Vanuit de ondergrond omhoogkomend water, veelal zout in het onderzoeksgebied.
<b>Netto elektrisch rendement</b>	Het percentage aan energie, dat omgezet wordt in elektriciteit in een elektriciteitscentrale.
<b>Ondergemaal</b>	Een gemaal dat water binnen een polder van het ene peilvak op een ander peilvak bemaalt.
<b>Opvoerhoogte</b>	Het verschil tussen het oppervlaktepeil voor en na een gemaal.
<b>Peilbesluit</b>	Beleid aangaande de hoogte van de peilen
<b>Peilvak</b>	Een gebied waar het oppervlakte water een vastgelegd peil heeft volgens peilbesluiten
<b>Poldergemaal</b>	Een gemaal dat water uit een polder direct op een rivier bemaalt
<b>Polder-op-boezemgemaal</b>	Een gemaal dat water uit een polder op een boezem bemaalt.
<b>StiBoKa</b>	Stichting voor Bodemkartering
<b>Theoretische energievraag</b>	De potentiële energie die nodig is om een bepaald volume aan water een bepaalde hoogte omhoog te pompen
<b>Primair energieverbruik</b>	Energie in de vorm zoals wordt aangetroffen in de oorspronkelijk gewonnen energiedrager (bijv. steenkool, olie, aardgas en uranium).
<b>Waterverzet</b>	Hoeveelheid water die opgepompt is door een gemaal
<b>Wellen</b>	Lokale hevigere plaatsen met omhoogkomende (veelal zout) grondwater

## Bijlagen

### Bijlage 1 Soortelijke massa en stookwaarden van stoffen

<i>Grootheid</i>	<i>Stof</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Bron</i>
Soortelijke massa			
	Antraciet	1,40-1,80	Kg/dm <sup>3</sup> Wikipedia.nl
	Diesel	0,84	Kg/dm <sup>3</sup> Wikipedia.nl
	Ruwe olie (petroleum)	0.79-0.97	Kg/m <sup>3</sup> NVON,1998; <a href="http://www.simetric.co.uk/">http://www.simetric.co.uk/</a>
	Steenkool	1.25-1,40	Kg/dm <sup>3</sup> Wikipedia.nl
	water	1,00	Kg/dm <sup>3</sup> NVON, 1998
Stookwaarden			
	Antraciet	26.6	MJ/kg SenterNovem, 2006
	Gas-, Dieselolie	42,7	MJ/kg SenterNovem, 2006
	Ruwe olie	42.7	MJ/kg SenterNovem, 2006
	(Overige bituminieuze)Steenkool	24.5	MJ/kg SenterNovem, 2006

### Bijlage 2 Overzicht netto elektrisch rendement van elektriciteitscentrales

<i>Jaar</i>	<i>Netto elektrisch rendement (%)</i>	<i>Bron</i>
1927-1939	10-20	Schattingen
1940-1949	15-25	Schattingen
1950-1959	20-30	Schattingen
1960-1969	25-35	Schattingen
1979	38,5	SEP/EnergieNed, 1998
1980	38,7	SEP/EnergieNed, 1998
1981	38,6	SEP/EnergieNed, 1998
1982	38,5	SEP/EnergieNed, 1998
1983	39,0	SEP/EnergieNed, 1998
1984	39,2	SEP/EnergieNed, 1998
1985	39,2	SEP/EnergieNed, 1998
1986	39,1	SEP/EnergieNed, 1998
1987	39,3	SEP/EnergieNed, 1998
1988	39,6	SEP/EnergieNed, 1998
1989	40,4	SEP/EnergieNed, 1998
1990	40,4	SEP/EnergieNed, 1998
1991	40,6	SEP/EnergieNed, 1998
1992	40,8	SEP/EnergieNed, 1998
1993	40,7	SEP/EnergieNed, 1998
1994	40,9	SEP/EnergieNed, 1998
1995	40,5	SEP/EnergieNed, 1998
1996	41,9	SEP/EnergieNed, 1998
1997	43,9	SEP/EnergieNed, 1998
1998	43,3	SEP/EnergieNed, 1998
1998	43,2	ECN. 2005
1999	43,2	ECN, 2005
2000	42,4	ECN. 2005
2001	41,9	ECN, 2005
2002	42,0	ECN. 2005
2003	41,9	ECN. 2005
2004(-2008*)	42,2	ECN, 2005

\* Cijfers van 2005 tot 2008 zijn nog niet gepubliceerd