

Effluentpolishing met kroos

Deelrapport 6: Ontwerpmodel



Tauw



Waterschap NOORDERZIJLVEST



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Radboud Universiteit Nijmegen



Effluentpolishing met kroos

Deelrapport 6. Ontwerpmodel

Verantwoording

Titel	Effluentpolishing met kroos
Auteur(s)	Otte, A., Bioniers
Projectnummer	4716656
Aantal pagina's	38 (exclusief bijlagen)
Datum	1 juli 2012

Inhoud

Verantwoording en colofon	5
1 Inleiding.....	9
2 Opzet van het model	13
2.1 Wat doet het ontwerpmodel?	13
2.2 Parameters en invoer	14
2.2.1 Waterkwantiteit en waterkwaliteit	14
2.2.2 Dimensionering en operatie van de kroosloten	16
2.2.3 Prijzen	17
2.3 Resultaat	18
2.3.1 Eigenschappen en dimensionering op basis van.....	18
2.3.2 Kosten en baten	18
2.3.3 Grafiek.....	18
2.4 Berekeningen vijver en water	19
2.5 Berekeningen kroosgroei	19
2.5.1 Instraling	20
2.5.2 Temperatuur	20
2.5.3 Groeiberekening.....	20
3 Uitwerken van een voorbeeld.....	23
3.1 Inleiding	23
3.2 Rwzi Marum	23
3.3 Invoer in het ontwerpmodel	23
3.3.1 Waterkwaliteit en waterkwantiteit	23
3.3.2 Dimensionering en operatie kroosloten	24
3.3.3 Prijzen	25
3.4 Resultaat en aanpassing.....	26
3.4.1 Dimensionering	26
3.4.2 Kosten en baten	30
3.5 Bijbelichten	31
4 Conclusies	35
5 Literatuur.....	37

1 Inleiding

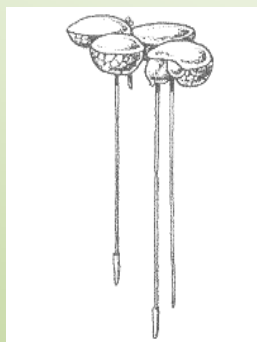
Ondanks dat de waterkwaliteit in Nederland de afgelopen decennia sterk is verbeterd, kent Nederland nog een forse opgave om aan de vereisten te voldoen die gesteld worden vanuit de Kader Richtlijn Water (KRW). Hiervoor zijn meerdere maatregelen mogelijk, variërend van natuurvriendelijke oevers, tot het verbeteren van het zuiveringsrendement van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Om de zoektocht naar innovatieve en kostenefficiënte maatregelen te stimuleren, heeft het ministerie van I&M subsidie beschikbaar gesteld vanuit het KRW-Innovatieprogramma.

Eén van de innovatiemaatregelen waar onderzoek naar wordt gedaan, is het nazuiveren van effluent met kroos: *Effluentpolishing met kroos*. Het onderzoek is uitgevoerd door een consortium bestaande uit Waterschap Noorderzijlvest, advies- en ingenieursbureau Tauw, Bioniers, de Radboud Universiteit Nijmegen en Wageningen UR Livestock Research.

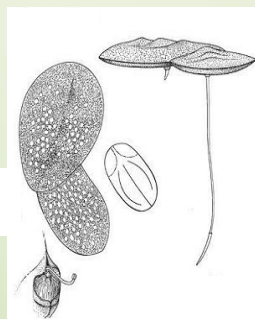
Kroos kan zeer efficiënt nutriënten verwijderen en wordt onder andere in de Verenigde Staten en Australië ingezet als waterzuiveraar in professioneel opgezette kweekvijvers. Het gaat daarbij primair om het verkrijgen van een goede waterkwaliteit. Kroos produceert naast schoon water tevens biomassa en waardevolle eiwitten. Hierdoor heeft Kroos potentie om te worden hergebruikt als biobrandstof, groenbemester of component in veevoer.

Kroos

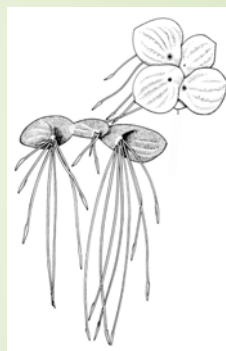
Kroos kent twee families met de wetenschappelijke namen *Lemnaceae* en *Azollaceae*. Het zijn drijvende waterplanten die doorgaans indicatief zijn voor nutriëntenrijk water (de Lyon and Roelofs, 1986). Onder de juiste omstandigheden zijn ze in staat om hun biomassa in 3 tot 5 dagen te verdubbelen (STOWA, 1992) waarbij ze nutriënten zoals stikstof en fosfaat direct op nemen uit het water. In Nederland zijn binnen de familie van de *Lemnaceae*, *Lemna gibba*, *Lemna minor* en *Spirodela polyrhiza* het meest voorkomend. Binnen de familie van de *Azollaceae* is dit *Azolla filiculoides* (fig. 1) (STOWA, 1992).



Lemna gibba
Bultkroos



Lemna minor
Klein kroos



Spirodela polyrhiza
Veelwortelig kroos



Azolla filiculoides
Kroosvaren

Figuur 1: *Lemna gibba* (commons.wikimedia.org). *Lemna minor* (wisplants.uwsp.edu). *Spirodela polyrhiza* (plants.ifas.ufl.edu). *Azolla filiculoides* (alienplantsbelgium.be)

Het project *Effluentpolishing met kroos* richt zich op zowel het kweken van kroos, het zuiveren van effluent als op de toepassingsmogelijkheden van kroos. De uitkomsten zijn gebundeld in een aantal rapporten. Voor u ligt: "Deelrapport 6, Ontwerpmodel" als onderdeel van de volgende serie:

Deelrapport	Onderdeel	Doel	Uitvoerende partij
1	Literatuurstudie	Een inventarisatie van reeds gedane onderzoeken naar kroosgroei en krooszuivering.	Tauw
2	Laboratoriumexperimenten	Het vullen van leemten in kennis uit de literatuurstudie. Eerste testen voor groei van kroos op effluent. Onderzoeken meest geschikte kroossoort.	Radboud Universiteit Nijmegen
3	Kroos als veevoer	Het analyseren van de kroosamenstelling voor het bepalen van de geschiktheid als veevoer of andere toepassingen. Het in kaart brengen van regelgeving omtrent veevoer.	Wageningen UR Livestock Research
4	Pilotstudie	Ontwikkelen van kennis over het kweken van kroos onder Nederlandse omstandigheden op rwzi-effluent.	Waterschap Noorderzijlvest
5	Modelberekeningen	Opstellen mathematisch model voor het berekenen van het meest optimale kweekstelsel voor zuivering.	Tauw
6	Ontwerp demonstratiesysteem	Het ontwerpen van een haalbaar en betaalbaar krooskweekstelsel op basis van de opgedane kennis in de eerdere onderzoeksfasen.	Bioniers
	Koepelrapport	Synthese	Tauw

Bij dit deelrapport hoort een Excel-bestand met een ontwerpmodel voor een grootschalige krooszuivering. In dit deelrapport wordt de werking van het model toegelicht en een voorbeeld uitgewerkt.

2 Opzet van het model

Het ontwerpmodel is opgebouwd als een spreadsheetmodel. Het model is opgebouwd in Microsoft Excel, maar ook te openen en te gebruiken in de gratis open-source kantoortoepassingen OpenOffice en LibreOffice.

Het bestand is opgebouwd uit vier bladen:

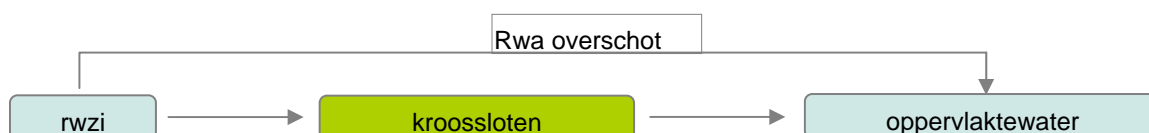
- Parameters en invoer
- Resultaat
- Berekeningen vijver en water
- Berekeningen kroosgroei

De laatste twee werkbladen zijn verborgen, maar als de gebruiker dit wenst kan hij of zij de bladen zichtbaar maken (Opmaak, Blad, Weergeven). De bladen zijn beveiligd, maar de beveiliging kan verwijderd worden omdat deze niet beschermd is met een wachtwoord. De beveiliging is aangezet zodat gebruikers niet per ongeluk cellen wijzigen.

2.1 Wat doet het ontwerpmodel?

Het ontwerpmodel geeft inzicht in de mogelijkheden van kroosloten voor het nabehandelen van rwzi effluent. De kroosplantjes nemen stikstof en fosfaat op uit het water en maken dit water zo schoner. Regelmatig oogst men het kroos, waardoor de nutriënten effectief worden verwijderd. Het kroos kan gebruikt worden voor verschillende doeleinden.

De krooszuivering wordt na de bestaande rwzi geplaatst en dient voor de nabehandeling van het effluent. De kroosloten worden gevoed met effluent uit de nabezinktank. Er is ook een bypass mogelijk, zodat de kroosloten bij zeer grote regenwaterafvoeren niet leegspoelen.



Door de eigenschappen van de rwzi en de gewenste waterkwaliteit aan te geven, berekent het model hoe groot het oppervlak van de kroosloten moet zijn. Ook geeft het model een indicatie van kosten, energieverbruik en opbrengsten. De gebruiker kan een maximale grootte van de sloten aangeven. Als het berekende benodigde oppervlak groter is dan deze maximale grootte, berekent het model wat de waterkwaliteit wordt bij deze beschikbare ruimte.

2.2 Parameters en invoer

Het werkblad *Parameters en invoer* bevat alle invoergegevens die nodig zijn om de berekeningen uit te kunnen voeren. Getallen in **groen** kunnen worden gewijzigd, getallen in **rood** worden berekend en kunnen niet worden gewijzigd.

Voor alle parameters en invoer is een standaardwaarde ingevuld. De bronnen van deze waarden staan vermeld in kolom E. De standaardwaarden staan nogmaals vermeld in kolom G, zodat de gebruiker deze snel terug kan vinden.

Het blad *Parameters en invoer* is verdeeld in drie secties:

- Waterkwantiteit en waterkwaliteit
- Dimensionering en operatie kroosloten
- Prijzen

2.2.1 Waterkwantiteit en waterkwaliteit

In tabel 1 staan de invoerwaarden en parameters van de sectie *Waterkwaliteit en waterkwantiteit*. In het onderdeel Gegevens RWZI voert de gebruiker de eigenschappen van de rwzi in. In het onderdeel *Gewenste waterkwaliteit* vult de gebruiker de concentraties van totaalstikstof en totaalfosfor in die gehaald moeten worden.

Het veld *Maatgevende periode* bepaalt gedurende welke periode deze concentraties (gemiddeld) gehaald moeten worden. Hier kan de gebruiker kiezen tussen jaargemiddeld, zomergemiddeld of een van de maanden van het jaar. Het model berekent de benodigde grootte van de kroosloten uit aan de hand van de gewenste concentraties in de hier aangegeven periode. In overige perioden kan de (gemiddelde) concentratie dus hoger of lager liggen. Zomergemiddeld is de gemiddelde concentratie gedurende het zomerhalfjaar. Dit loopt van 1 april tot 1 oktober.

Tabel 2.1: Invoer en parameters waterkwaliteit en waterkwantiteit

Gegevens RWZI			
Influent i.e.	20.000	i.e.	
Influent volume per i.e.	200	l/i.e.	STOWA 2005/28, blz 27
Aantal werkdagen	365	d/j	STOWA 2005/28, blz 27
Aantal uren	16	u/d	STOWA 2005/28, blz 27
Max. capaciteitsfactor	4	* DWA	STOWA 2005/28, blz 27
CZV	35	mg/l	STOWA rapport 2005-28, p.9
N-totaal	5,7	mg N/l	STOWA rapport 2005-28, p.13
Ammonium-N	1,0	mg N/l	STOWA rapport 2005-28, p.10
P-totaal	1,20	mg P/l	STOWA rapport 2005-28, p.13
Zwevend stof	6,5	mg/l	STOWA rapport 2005-28, p.9
HCO ₃ ⁻	10	mg/l	Inschatting
Door planten opneembaar P		86%	STOWA rapport 2009-W08, p.78
Watertemperatuur minimaal	5	°C	STOWA rapport 2005-28, p.9
Watertemperatuur maximaal	25	°C	STOWA rapport 2005-28, p.9
Watertemperatuur gemiddeld	13,5	°C	STOWA rapport 2005-28, p.9
Gewenste waterkwaliteit			
P-totaal	0,15	mg N/l	MTR waarde
N-totaal	2,2	mg P/l	MTR waarde
CZV	35	mg/l	geen verandering
Maatgevende periode	zomergemiddelde		

Bij het vaststellen van de benodigde hydraulische capaciteit van de effluentpolishing is naar analogie met de verkenningen zuiveringstechnieken en KRW (STOWA, 2005) in deze studie voor gekozen om de verwerkingscapaciteit lager te kiezen dan de maximale regenweeraanvoer (RWA-debiet), waardoor bespaard wordt op de investeringskosten. Bij dit uitgangspunt wordt het overgrote deel van het RWZI effluent echter wel behandeld. Uitgangspunt is om een hydraulische capaciteit te installeren van 200 l/ i.e.¹³⁶.d¹, gedurende 16 uur per dag. Dit komt overeen met een maximale hydraulische capaciteit van 1,5 maal droogweeraanvoer (DWA). Bij deze gekozen capaciteit wordt 85 % van het totale aangeboden RWZI effluent behandeld. Het percentage van de te verwijderen nutriënten met de nabehandeling zijn naar evenredigheid aangepast aan het te behandelen volume, zodat het totale te lozen effluentvolume voldoet aan de onderzoeksrichtwaarden.

¹ i.e. 136 is een maat voor de vervuiling van afvalwater en staat voor 1 inwoner equivalent met een totaal zuurstofverbruik van 136 mg/l

2.2.2 Dimensionering en operatie van de kroosloten

In tabel 2.2 staan de invoergegevens van de dimensionering en operatie van de kroosloten. In het onderdeel *Groei en nutriëntopname* staan parameters die specifiek met de berekeningen van de kroosgroei te maken hebben. De getallen die hier staan, komen uit de literatuur, zijn in de proefsloten bij rwzi Eelde bepaald of zijn resultaten van kalibreren van het model DuProl. Deze getallen zullen zelden te hoeven worden aangepast, omdat zij zijn gekalibreerd onder Nederlandse omstandigheden.

In het onderdeel *Dimensies* staat een paar gegevens over de kroosloten: diepte, extra ruimte die nodig is rond de sloten, maximaal beschikbare ruimte en het na te zuiveren debiet. De extra ruimte is bijvoorbeeld nodig om rond de sloten te kunnen rijden met een oogstmachine. De maximaal beschikbare ruimte is de ruimte die bij de rwzi beschikbaar is om de kroosloten te realiseren. Dit is dus de bruto ruimte, dus de ruimte van de sloten zelf, vermeerderd met de extra ruimte.

Tabel 2.2: Invoer en parameters Dimensionering en operatie kroosloten

Groei en nutriëntopname			
Stikstofgehalte kroos	2,6%	% van drooggewicht	Proefsloten
Fosforgehalte kroos	0,8%	% van drooggewicht	Proefsloten
Maximale groei kroos	0,50	per dag	STOWA 1992/10
Monod constante stikstof	0,070	mg N/l	STOWA 1992/10
Monod constante fosfor	0,02	mg P/l	STOWA 1992/10
Dichtheid kroosdek	60	g DS/m ²	Proefsloten
Maximale dichtheid kroosdek	400	g DS/m ²	STOWA 1992/10
Optimale lichtintensiteit	150	W/m ²	DuPol, 2011
Optimale temperatuur kroosgroei	26	°C	DuPol, 2011
Temperatuurfactor 1	0,025	–	DuPol, 2011
Temperatuurfactor 2	1,100	–	DuPol, 2011
Drooggewicht als percentage van natgewicht	6%	van het natgewicht	Proefsloten
Dimensies			
Diepte kroosvijvers	30	cm	
Extra ruimte rondom vijvers nodig	25	%	
Maximaal beschikbare ruimte	10,0	ha	
Na te zuiveren debiet	85% jaardebiet		
Energie			
Pompenergie	0,20	kWh/m ³	
Bijbelichten tot	13	uur daglichtlengte	
Sterkte bijbelichten	15	W/m ²	
Electrische energie nodig per W licht	2	W/W	monochromatisch rood LED-licht
Bijverwarmen tot	-	°C	
Energiekosten verwarmen	-	€/°C.m ³	0 bij gebruik van restwarmte
Gasopbrengst vergisting kroos	180	l methaan/kg organische stof	vergistingsproeven met kroos

In het onderdeel *Energie* kan de gebruiker een aantal parameters wijzigen die van belang zijn voor de energieconsumptie van de kroosloten.

Hier is het mogelijk om aan te geven of de vijvers extra belicht worden gedurende de wintermaanden (bijbelichting tot x uur daglengte en sterkte van de bijbelichting). Als de daglengte wordt verlengd, berekent het model per dag of en zo ja hoeveel bijbelichting nodig is. Ook kan worden aangegeven of verwarming van het water plaatsvindt en of dit gebeurt middels restwarmte.

2.2.3 Prijzen

In de sectie *Prijzen* voert de gebruiker eenheidsprijzen in voor de realisatie van de kroosloten en beheer en onderhoud. Tevens geeft de gebruiker op hoeveel het kroos oplevert als product. Dit getal is nog onzeker, omdat op het moment van dit schrijven nog niet bekend is welk gebruik per ton droge stof het meest oplevert. Daarnaast kunnen deze getallen in de loop der tijd variëren, omdat marktprijzen van grondstoffen en energie nu eenmaal fluctueren.

Tabel 2.3: Invoer en parameters Prijzen

Investeringsen			
Prijs grond	€30.000	/ha	
Bouwkosten vijvers	€30.000	/ha	
Droger kroosbiomassa	€100	/ton.j	
Oogstmachines	€10.000	/ha	
Omrekening bouwkosten -> investeringskosten	1,92		
BTW		19%	
Algemene kosten		10%	
financieringskosten		3%	
inrichtingskosten		2%	
leges/heffing		2%	
CAR verzekering		1%	
voorbereiding- en plankosten		25%	
onvoorzien		30%	
Vergistingsinstallatie nodig?		0	
Kosten vergistingsinstallatie	€600.000		
Exploitatie			
Rente		4%	
Afschrijving	15	jaar	
Opbrengst kroos	€400	/ton ds	
Prijs electriciteit	€0,13	/kWh	
Bemensing vijvers	0,05	fte/ha	
Kosten fte	€50.000	/fte.j	
Onderhoud	2	% van investering	
Energie drogen	667	kWh/ton ds	0,627 kWh/kg water
Kosten drogen	€83,38	/ton ds	
Opbrengst gas bij vergisten kroos	€0,85	/m ³ methaan	
Beheer en onderhoud vergister	€120.000	/j	

2.3 Resultaat

Het tabblad *Resultaat* bestaat uit drie secties:

1. Eigenschappen en dimensionering op basis van...
2. Kosten en baten
3. Grafiek

2.3.1 Eigenschappen en dimensionering op basis van...

Op basis van de gekozen maatgevende periode wordt een oppervlakte berekend waarbij de kroosloten het effluent zuiveren tot de gekozen concentraties van nutriënten. Als de aangegeven beschikbare ruimte kleiner is dan de benodigde ruimte om tot deze concentraties te komen, dan geeft het model de concentraties aan die wel gehaald kunnen worden. Tevens is te zien wat de kroosproductie is en hoeveel nutriënten worden verwijderd.

2.3.2 Kosten en baten

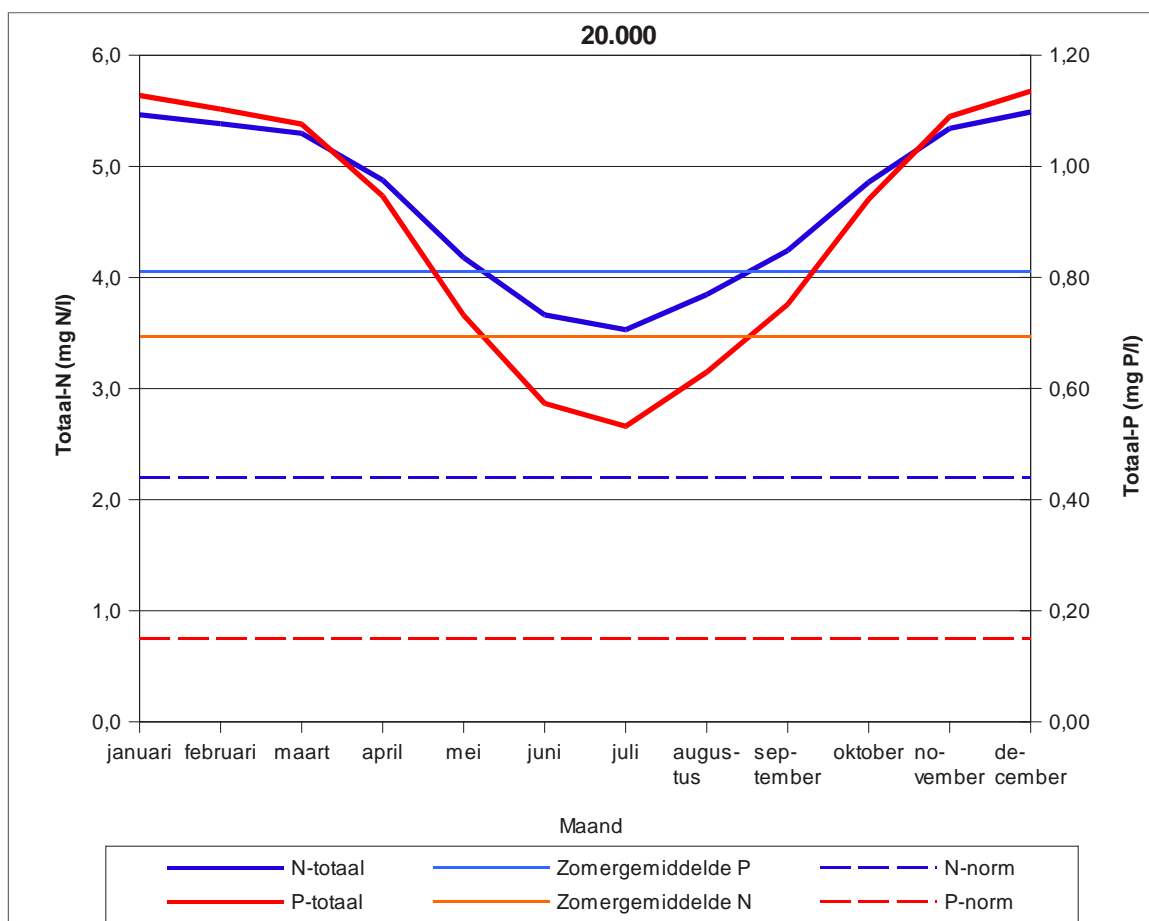
Het onderdeel *Kosten en baten* is opgebouwd uit investeringskosten, jaarlijkse kosten en jaarlijkse baten. De baten kunnen ontstaan door verkoop van het kroos of door vergisting van het kroos. Beide mogelijkheden zijn aangegeven.

Kapitaallasten worden berekend uit de investeringskosten, de afschrijvingsduur en de rentevoet. Als er een nieuwe vergistingsinstallatie nodig is, worden de kosten daarvan hier aangegeven. In rij 49 en 50 staan de totale jaarlijkse kosten of baten. Ook hier twee opties: verkoop van kroos of vergisten van kroos.

Tenslotte geeft het model weer hoeveel de zuivering van afvalwater met een kroosstelsel kost per kubus afvalwater, per kilogram verwijderd stikstof en per kilogram verwijderd fosfaat. Deze getallen kunnen worden vergeleken met die van andere technieken om stikstof en fosfaat uit effluent te verwijderen.

2.3.3 Grafiek

Figuur 2.1 geeft een voorbeeld weer van het verloop van de stikstof- en fosfaatconcentraties als maandgemiddelden. Tevens zijn de gewenste effluentconcentraties weergegeven (gestreepte lijnen) en de gemiddelde concentraties tijdens de gekozen maatgevende periode. In figuur 2.1 is deze periode de zomer. De in de grafiek getoonde normen kunnen door de gebruiker worden gewijzigd in de gewenste concentraties.



Figuur 2.1. Voorbeeld van een grafiek uit het tabblad Resultaten

2.4 Berekeningen vijver en water

Het onderdeel *Berekeningen vijver en water* bevat de basisgetallen die terugkomen in het blad *Resultaten*. Een deel van deze getallen wordt gehaald uit het blad *Berekeningen kroosgroei*. Het blad bevat een aantal omrekeningen van parameters en invoerwaarden uit het eerste tabblad en gebruikt deze vervolgens voor de berekeningen. De belangrijkste berekeningen vinden echter plaats in het (verborgen) blad *Berekeningen kroosgroei*.

2.5 Berekeningen kroosgroei

In dit (verborgen) blad staan de berekeningen van de groei van het kroos in de sloten. De berekeningen vinden plaats op uurbasis en worden vervolgens gesommeerd naar dagbasis en ten slotte naar maand- en halfjaarbasis. Door te rekenen op uurbasis worden variaties in licht- en temperatuurcondities meegenomen in de berekeningen.

Dit levert realistischer uitkomsten op dan wanneer gerekend zou worden met dag-, week-, of maandgemiddelde waarden voor licht en temperatuur.

De kroosgroei wordt berekend op basis van de maximaal mogelijke kroosgroei, gelimiteerd door de instraling, de temperatuur en de concentraties fosfaat en stikstof. Er wordt aangenomen dat de groei van het kroos direct gerelateerd is aan de opname van stikstof en fosfaat uit het water. Dit is een versimpeling van de werkelijkheid, omdat kroos in staat is om extra nutriënten op te nemen in tijden van overvloed en in te teren op de hoeveelheden intern stikstof en fosfaat in tijden van gebrek. Omdat dit model uitgaat van jaar- of seizoensgemiddelden wordt aangenomen dat deze versimpeling aanvaardbaar is, omdat de opname wordt uitgemiddeld tussen perioden met overvloeden en perioden met tekorten. Tevens houdt het model geen rekening met verwijdering van nutriënten door bezinking van deeltjes en nalevering door gesedimenteerde deeltjes. Aangezien over langere perioden wordt gemodelleerd, is de aanname dat er zich een evenwicht instelt tussen bezinking en nalevering en dat er netto geen verwijdering door sedimentatie en nalevering plaatsvindt.

De gebruikte parameterwaarden voor kroosgroei en nutriëntenopname zijn afgeleid aan de hand van de resultaten van de proefsloten bij RWZI Eelde in de periode mei 2010 tot en met december 2011 (zie ook De Vreede, 2011; Van Hoorn van Dulleman, 2012).

2.5.1 Instraling

De hoeveelheid licht wordt bepaald aan de hand van de positie op de aarde, het dagnummer, het uur en het percentage bewolking volgens Goudriaan (1977). Als er bijbelicht wordt, bekijkt het model of er aan de randvoorwaarden van het aantal daguren en de lichtintensiteit wordt voldaan. Zo niet, dan wordt bijbelicht tot de aangegeven lichtintensiteit.

2.5.2 Temperatuur

Gebruiker geeft in het blad Parameters en invoer een minimum en maximum temperatuur aan. Het model creëert een sinusvormig temperatuurprofiel door het jaar heen, waarbij het minimum begin januari ligt. Komt de temperatuur onder de door gebruiker opgegeven verwarmingstemperatuur, dan gaat het model ervan uit dat onder die temperatuur wordt verwarmt. De temperatuur wordt dus nooit lager dan de door de gebruiker opgegeven verwarmingstemperatuur. Het model berekent tevens de benodigde verwarmingsenergie.

2.5.3 Groeiberekening

De groei van het kroos wordt berekend aan de hand van het verschil tussen de door gebruiker opgegeven kroosdichtheid en maximale dichtheid en de maximale kroosgroeisnelheid. De groei wordt gelimiteerd door de hoeveelheid licht, de temperatuur en de concentraties van stikstof en fosfaat (STOWA, 1992; De Vreede, 2011). Limitaties door nutriënten worden berekend via de gebruikelijke Monod-functies.

De opname van nutriënten wordt ten slotte berekend uit de groeisnelheid en de gehalten van stikstof en fosfaat in kroos.

3 Uitwerken van een voorbeeld

3.1 Inleiding

Waterschap Noorderzijlvest zoekt tijdens het schrijven van deze rapportage naar een locatie voor een krooszuivering op grote schaal. Hierbij wil het waterschap het leeuwendeel van het effluent nabehandelen met kroos.

Rwzi Marum is een van de kandidaten voor een krooszuivering. In dit hoofdstuk wordt met behulp van het ontwerpmodel berekeningen uitgevoerd voor het ontwerp van een krooszuivering bij deze rwzi. Stap voor stap wordt doorgenomen hoe het ontwerpmodel gebruikt kan worden.

3.2 Rwzi Marum

Rwzi Marum is een kleine rwzi van ongeveer 9.000 i.e. van het type oxidatiesloot. De rwzi is gebouwd in 1979. De hydraulische capaciteit bij droogweerafvoer is 75 m³/uur en bij regenwaterafvoer 300 m³/uur.

De nitrificatie verloopt slecht in de rwzi. De meeste totaal-stikstof die wordt geloosd, is in de vorm van ammonium. De totaal-stikstofconcentratie ligt meestal tussen 5 en 10 mg N/l, maar pieken van boven 25 mg N/l komen voor.

Totaal-fosfor bestaat voor iets meer dan 60 % uit ortho-fosfaat. De totaal-fosforconcentratie ligt meestal lager dan 0,8 mg P/l. Pieken van 1,4 mg P/l komen voor.

3.3 Invoer in het ontwerpmodel

Veel parameters die in het tabblad *Parameters en invoer* staan zijn standaardwaarden die alleen gewijzigd dienen te worden indien er een gemeten, betere waarde voor beschikbaar is.

3.3.1 Waterkwaliteit en waterkwantiteit

In het geval van Marum dienen bij het onderdeel *Waterkwaliteit en waterkwantiteit* (zie tabel 3.1) alleen de waarden voor de grootte van de rwzi in i.e.'s in te vullen en de gemiddelde waarden van stikstof en fosfor in het effluent. In dit geval zijn dat 9.000 i.e., 10,3 mg N-totaal/l, 6,2 mg ammonium-N/l en 0,56 mg P-totaal/l.

Bij de gewenste waterkwaliteit gaan we uit van KRW streefwaarden van 0,14 mg P/l en 4,0 mg N/l.

Tabel 3.1: onderdeel Waterkwantiteit en waterkwaliteit

Waterkwantiteit en waterkwaliteit	
Gegevens RWZI	
Influent i.e.	9.000 i.e.
Influent volume per i.e.	200 l/i.e.
Aantal werkdagen	365 d/j
Aantal uren	16 u/d
Max. capaciteitsfactor	4 * DWA
CZV	35 mg/l
N-totaal	10,3 mg N/l
Ammonium-N	6,2 mg N/l
P-totaal	0,56 mg P/l
Zwevend stof	6,5 mg/l
HCO ₃ ⁻	10 mg/l
Door planten opneembaar P	86% %
Watertemperatuur minimaal	5 °C
Watertemperatuur maximaal	25 °C
Watertemperatuur gemiddeld	13,5 °C
Gewenste waterkwaliteit	
P-totaal	0,15 mg N/l
N-totaal	4,0 mg P/l
CZV	35 mg/l
Maatgevende periode	zomergemiddelde

3.3.2 Dimensionering en operatie kroosloten

Bij het subonderdeel *Groei en nutriëntopname* staan parameterwaarden uit de literatuur en gemeten waarden bij de proefsloten bij rwzi Eelde. Deze waarden hoeven niet te worden gewijzigd.

Bij het subonderdeel *Dimensies* kan de maximaal beschikbare ruimte worden ingevuld. Bij rwzi Marum is 0,2 ha direct beschikbaar. Dit is de bruto ruimte, dus de ruimte benodigd voor de kroosloten zelf en de ruimte nodig voor looppaden en dergelijke. Na te zuiveren debiet blijft voorlopig even op 85 % van het jaardebiet staan.

Onder subonderdeel *Energie* kan ingevoerd worden of er wordt bijbelicht en/of verwarmd. Bijbelichting en verwarmen worden uitgezet door in cel C60 0 in te vullen en in cel C64 eveneens 0.

Tabel 3.2: onderdeel Dimensionering en operatie kroosloten

Dimensionering en operatie kroosloten	
Groei en nutriëntopname	
Stikstofgehalte kroos	2,6% % van drooggewicht
Fosforgehalte kroos	0,8% % van drooggewicht
Maximale groei kroos	0,50 per dag
Monod constantie stikstof	0,070 mg N/l
Monod constante fosfor	0,02 mg P/l
Dichtheid kroosdek	60 g DS/m ²
Maximale dichtheid kroosdek	400 g DS/m ²
Optimale lichtintensiteit	150 W/m ²
Optimale temperatuur kroosgroei	26 °C
Temperatuurfactor 1	0,025 –
Temperatuurfactor 2	1,100 –
Drooggewicht als percentage van natgewicht	6% van het natgewicht
Dimensies	
Diepte kroosvijvers	30 cm
Extra ruimte rondom vijvers nodig	25 %
Maximaal beschikbare ruimte	0,2 ha
Na te zuiveren debiet	85% jaardebiet
Energie	
Pompenergie	0,20 kWh/m ³
Bijbelichten tot	- uur daglichtlengte
Sterkte bijbelichten	15 W/m ²
Electrische energie nodig per W licht	2 W/W
Bijverwarmen tot	- °C
Energiekosten verwarmen	- €/°C.m ³
Gasopbrengst vergisting kroos	300 l methaan/kg organische stof

3.3.3 Prijzen

Bij het onderdeel *Prijzen* staan standaard prijzen anno 2012. Deze blijven ongewijzigd

Ook Vergistingsinstallatie nodig? (cel C83) blijft 0.

Tabel 3.3: onderdeel Prijzen

Prijzen		
Investerings		
Prijs grond	€	30.000 /ha
Bouwkosten vijvers	€	30.000 /ha
Droger kroosbiomassa	€	100 /ton.j
Oogstmachines	€	10.000 /ha
Omrekening bouwkosten -> investeringskosten		1,92
BTW		19%
Algemene kosten		10%
financieringskosten		3%
inrichtingskosten		2%
leges/heffing		2%
CAR verzekering		1%
voorbereiding- en plankosten		25%
onvoorzien		30%
Vergistingsinstallatie nodig?		0
Kosten vergistingsinstallatie	€	600.000
Exploitatie		
Rente		4%
Afschrijving		15 jaar
Opbrengst kroos	€	400 /ton ds
Prijs electriciteit	€	0,13 /kWh
Bemensing vijvers		0,05 fte/ha
Kosten fte	€	50.000 /fte.j
Onderhoud		2 % van investering
Energie drogen		667 kWh/ton ds
Kosten drogen	€	83,38 /ton ds
Opbrengst gas bij vergisten kroos	€	0,85 /m ³ methaan
Beheer en onderhoud vergister	€	120.000 /j

3.4 Resultaat en aanpassing

3.4.1 Dimensionering

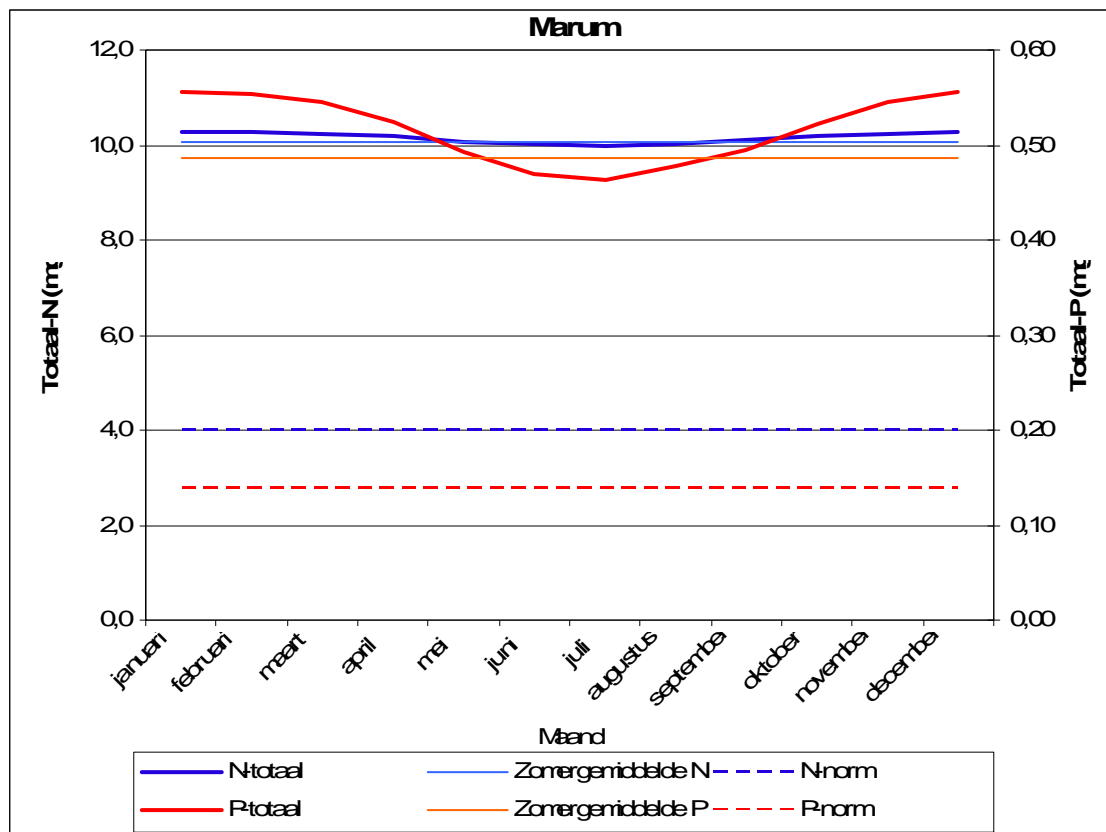
In tabel 3.4 is het resultaat van de berekeningen te zien. Er is maar 0,16 ha vijveroppervlak beschikbaar, waardoor de hydraulische verblijftijd slechts 0,3 dagen is. Het zuiveringsrendement is dan ook laag. Het effluent van de kroosloten bevat zomergemiddeld 10,1 mg N-totaal/l en 0,49 mg P-totaal/l (zie tabel 3.4 en figuur 3.1). Hiermee worden de gewenste concentraties bij lange na niet gehaald.

Het is wel mogelijk om een deelstroom van de rwzi te behandelen en in die deelstroom de gewenste concentraties te halen. In het tabblad *Parameters en invoer* kan in cel C56 onder *Dimensies* worden gekozen welk deel van de effluentstroom wordt behandeld.

Bij 20 % DWA wordt de streefwaarde voor fosfaat ruim gehaald en bij 30 % DWA net niet. De gewenste concentraties voor stikstof wordt in beide gevallen niet gehaald. De reden hiervoor is dat het effluent van de rwzi relatief veel stikstof bevat ten opzichte van de hoeveelheid fosfaat. Planten nemen stikstof en fosfaat in een min of meer vaste verhouding op. Deze verhouding wordt de *Redfield ratio* genoemd. Deze ratio houdt in dat de verhouding tussen koolstof, stikstof en fosfor in planten 106:16:1 is (mol:mol:mol). Omgerekend betekent dit dat de verhouding stikstof:fosfor in gram/gram 7,2:1,0 moet zijn. Bevat een effluent meer stikstof dan 7,2 maal de concentratie (opneembaar) fosfaat, dan zal er relatief minder stikstof worden opgenomen door het kroos. Bevat een effluent minder stikstof dan 7,2 maal de concentratie (opneembaar) fosfaat, dan zal er relatief minder fosfaat worden opgenomen. In het effluent van rwzi Marum is de verhouding stikstof:fosfaat 18,5. Dit betekent dat de concentratie totaal-stikstof na een zuivering met kroos nooit lager kan worden dan ongeveer 6,3 mg N/l, tenzij extra fosfaat wordt toegevoegd aan de vijvers om de stikstof:fosfaatverhouding te verlagen.

Tabel 3.4: resultaten van de berekening

Eigenschappen en dimensionering op basis van zomergemiddelde	
Kroosgroei en nutriëntopname	9.000 i.e.
Gemiddelde kroosgroei	22 ton ds/ha.j
Effluent vijvers N-totaal	10,1 mg N/l
Effluent vijvers P-totaal	0,49 mg P/l
Verwijderd N-totaal	0,2 ton N/j
Verwijderd P-totaal	0,01 ton P/j
Dimensionering vijvers	
Oppervlak vijvers	0,16 ha
Oppervlak totaal	0,2 ha
Totaal vijfervolume	480 m ³
Gemiddelde hydraulische verblijftijd	0,3 d
Electrische energie pompen	131.400 kWh/j
Electrische energie belichting	- kWh/j



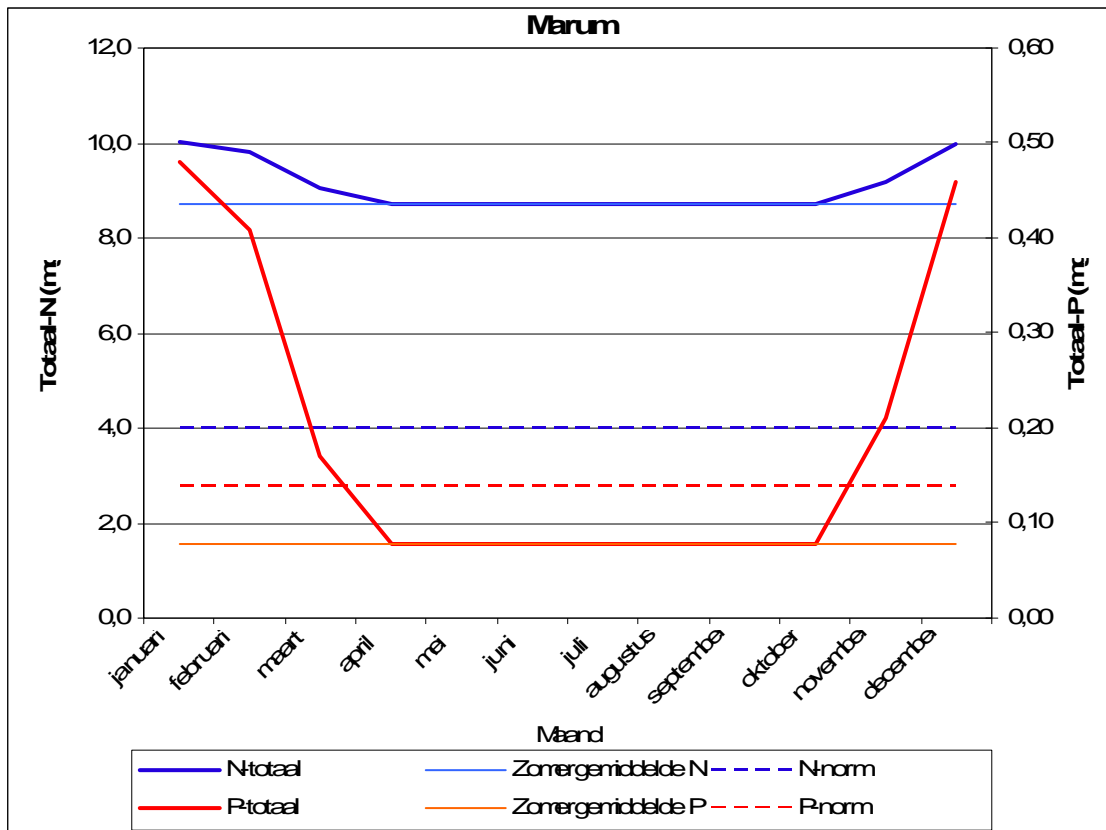
Figuur 3.1: verloop van de stikstof- en fosfaatconcentraties in de kroosloten bij 0,16 ha slootoppervlak

Als het mogelijk is om land rondom de rwzi aan te kopen, kan het leeuwendeel van het effluent nabehandeld worden. Om te kijken wat dit betekent, kan de restrictie op het beschikbare oppervlak in cel C55 (Maximaal beschikbare ruimte) veranderd worden in bijvoorbeeld 100. Cel C56 (Na te zuiveren debiet) wordt teruggezet naar 85 % jaardebiet.

In het blad *Resultaat* is nu te zien dat er een oppervlak nodig is van 4,2 ha aan kroosloten en een bruto-oppervlak van 5,3 ha. Het effluent van de kroosloten bevat dan zomergemiddeld 4,0 mg totaal-N/l en 0,52 mg totaal-P/l (zie tabel 3.5 en figuur 3.2).

Tabel 3.5: resultaten bij ongelimiteerde ruimte

Eigenschappen en dimensionering op basis van zomergemiddelde	
Kroosgroei en nutriëntopname	9.000 i.e.
Gemiddelde kroosgroei	23 ton ds/ha.j
Effluent vijvers N-totaal	4,0 mg N/l
Effluent vijvers P-totaal	0,52 mg P/l
Verwijderd N-totaal	4,1 ton N/j
Verwijderd P-totaal	0,28 ton P/j
Dimensionering vijvers	
Oppervlak vijvers	4,2 ha
Oppervlak totaal	5,3 ha
Totaal vijvervolume	12.706 m ³
Gemiddelde hydraulische verblijftijd	7,1 d
Electrische energie pompen	131.400 kWh/j
Electrische energie belichting	- kWh/j



Figuur 3.2: verloop stikstof- en fosfaatconcentraties in het effluent van de kroosloten

3.4.2 Kosten en baten

Tabel 3.6 laat de kosten en baten zien van het scenario met ongelimiteerde ruimte. De kosten van grondaankoop zijn hierin meegenomen. In de kapitaallasten zijn alle investeringskosten verrekend.

Inclusief deze kapitaallasten en ander jaarlijkse kosten, kost het behandelen van effluent met kroosloten €0,03 tot €0,10 per m³ bij verkoop van de biomassa. Wordt de kroosbiomassa vergist (en er hoeft geen vergister te worden aangeschaft), dan kost behandeling €0,04 tot €0,12 per m³.

Tabel 3.6: Kosten en baten

Kosten en baten		
Investeringskosten		
Grondaankoop	€	158.728
Aanleg vijvers	€	243.807
Drooginstallatie	€	9.325
Oogstmachines	€	42.328
Vergister	€	-
TOTAAL	€	454.188
TOTAAL met vergister	€	454.188
Jaarlijkse kosten		
Kapitaallasten	€	39.279 /j
Kapitaallasten met vergister	€	39.279 /j
Electriciteitskosten	€	16.425 /j
Verwarmingskosten	€	- /j
Droogkosten	€	7.775 /j
Personeelskosten	€	10.582 /j
Onderhoudskosten	€	5.909 /j
Jaarlijkse baten		
Opbrengst kroos	€	37.301 /j
Opbrengst gas bij vergisten	€	21.401 /j
TOTAAL verkoop biomassa kroos	€	42.669- /j
TOTAAL vergisting kroos	€	50.794- /j
Kosten bij verkoop biomassa		
Kosten per m ³	€0,03 - €0,10	€/m ³
Kosten per kg N verwijderd	€8,80 - €26,40	€/kg N
Kosten per kg P verwijderd	€28,60 - €85,79	€/kg P
Kosten bij vergisting		
Kosten per m ³	€0,04 - €0,12	€/m ³
Kosten per kg N verwijderd	€10,47 - €31,42	€/kg N
Kosten per kg P verwijderd	€34,04 - €102,13	€/kg P

3.5 Bijbelichten

Tijdens de winter kan de productie van kroos worden bevorderd door te zorgen voor een daglengte van minimaal 12 uur. In het ontwerpmodel is het mogelijk om bijbelichten in te stellen. Hierbij kan de daglengte worden ingesteld en het belichtingsvermogen.

In dit voorbeeld stellen we de daglengte in op 13 uur met 15 W/m². Dit stellen we in in het tabblad *Parameters en invoer* in de cellen C60 en C61. Belichting gebeurt met monochromatisch rood LED-verlichting. Dit kost 2 W/W aan elektrische energie.

Tabel 3.7: instelling bijbelichten

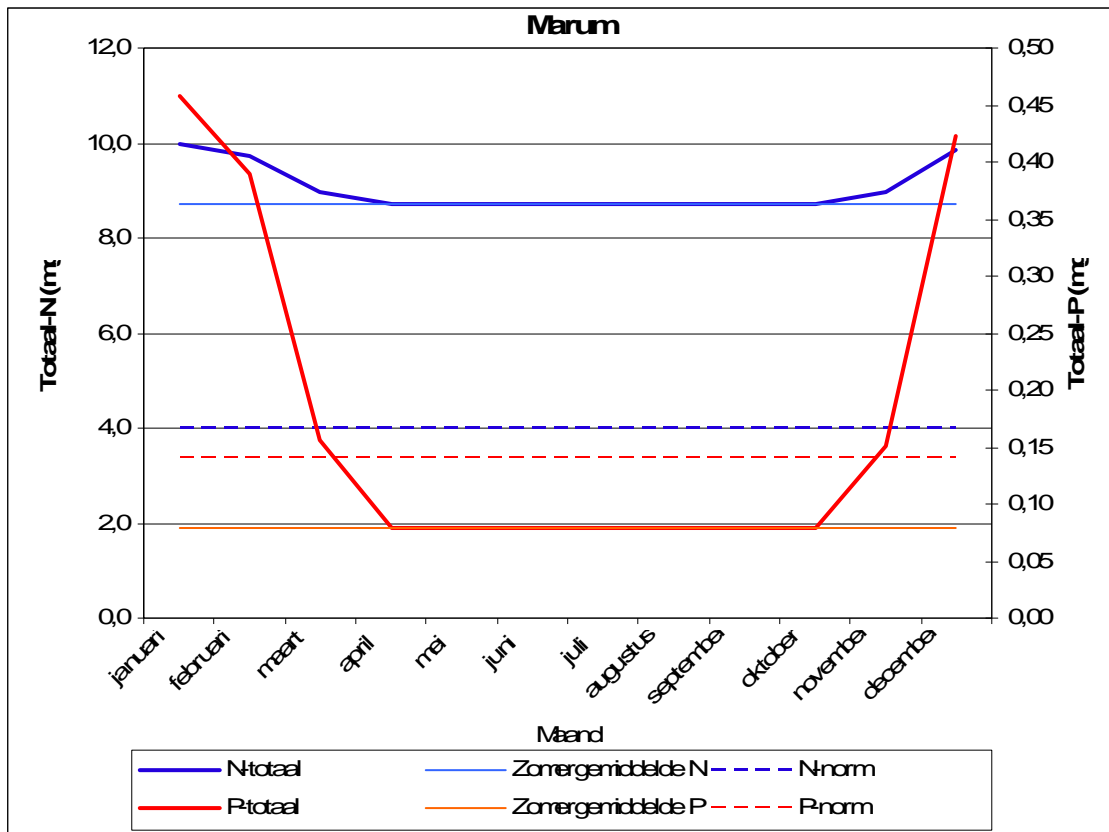
Energie	
Pompenergie	0,20 kWh/m ³
Bijbelichten tot	13 uur daglichtlengte
Sterkte bijbelichten	15 W/m ²
Electrische energie nodig per W licht	2 W/W

Bijbelichting zorgt niet voor een verbeterde zuivering in het zomerhalfjaar, omdat er in die periode immers niet hoeft te worden bijbelicht. Op basis van het zomergemiddelde is dezelfde oppervlakte nodig als zonder bijbelichten. Bijbelichten zorgt er voor dat de wintergemiddelden omlaag gaan van 9,5 mg N/l en 0,30 mg P/l naar 9,4 mg N/l en 0,28 mg P/l. Deze verlaging is klein en voegt voor de zuivering niet veel toe, maar bijbelichten kan ervoor zorgen dat het kroos beter de winter overleeft.

Tabel 3.8 laat zien dat de kosten door bijbelichten sterk stijgen.

Tabel 3.8: kosten en baten bij bijbelichten

Kosten en baten		
Investeringskosten		
Grondaankoop	€	158.227
Aanleg vijvers	€	243.036
Drooginstallatie	€	9.478
Oogstmachines	€	42.194
Vergister	€	-
TOTAAL	€	452.935
TOTAAL met vergister	€	452.935
Jaarlijkse kosten		
Kapitaallasten	€	39.171 /j
Kapitaallasten met vergister	€	39.171 /j
Electriciteitskosten	€	142.371 /j
Verwarmingskosten	€	- /j
Droogkosten	€	7.902 /j
Personeelskosten	€	10.548 /j
Onderhoudskosten	€	5.894 /j
Jaarlijkse baten		
Opbrengst kroos	€	37.911 /j
Opbrengst gas bij vergisten	€	21.751 /j
TOTAAL verkoop biomassa kroos	€	167.976- /j
TOTAAL vergisting kroos	€	176.233- /j
Kosten bij verkoop biomassa		
Kosten per m ³	€0,13 - €0,38	€/m ³
Kosten per kg N verwijderd	€34,08 - €102,25	€/kg N
Kosten per kg P verwijderd	€110,77 - €332,31	€/kg P
Kosten bij vergisting		
Kosten per m ³	€0,13 - €0,40	€/m ³
Kosten per kg N verwijderd	€35,76 - €107,28	€/kg N
Kosten per kg P verwijderd	€116,22 - €348,65	€/kg P



Figuur 3.3: verloop stikstof- en fosfaatconcentraties effluent kroosloten bij bijbelichten

4 Conclusies

Het ontwerpmodel is gemaakt om het ontwerpen van een krooszuivering als nabehandelingsstap te vergemakkelijken. Het model berekent de benodigde hoeveelheid ruimte gegeven een effluentdebiet en –samenstelling en de gewenste concentraties van nutriënten na zuivering. Tevens geeft het model een indicatie van kosten en baten. De gebruiker kan zelf de parameters waarmee het model rekt aanpassen. Omdat vooral kosten en baten kunnen variëren in tijd en plaats, dient de gebruiker deze altijd goed te controleren en aan te passen aan de lokale omstandigheden.

5 Literatuur

De Vreede, B.A.J. (2011) Effluentpolishing met kroos. Deelrapport 5: Modelberekeningen. Tauw bv.

Goudriaan, J. (1977). Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen. 249 pp.

STOWA (1992). Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos - Modelmatige benadering van de kroosontwikkeling en beoordeling van beheersbaarheid. STOWA rapport 1992/10.

STOWA (2005). Verkenningen zuiveringstechnieken en KRW. STOWA Rapport 2005/28.

STOWA (2009). Effluentpolishing met algentechnologie – Tussenrapportage. STOWA rapport 2009/W08.

Van Hoorn van Dulleman, M. (2012) Effluentpolishing met kroos. Deelrapport 4: Pilotstudie. Waterschap Noorderzijlvest.

