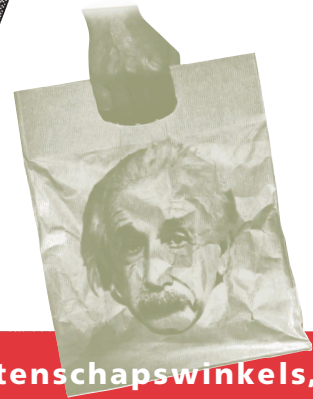




Utrechtse Wetenschapswinkels,
voor maatschappijgericht onderzoek

Waterplanten in rivier de Vecht

Edwin Schut

P-UB-2005-06

Wetenschapswinkel Biologie
Landschapsecologie

Waterplanten in rivier de Vecht

Modelstudie naar de oorzaken van de matige ontwikkeling van ondergedoken waterplanten in de rivier de Vecht

Edwin Schut

*Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht
Landschapsecologie, Universiteit Utrecht*

Juni 2005

P-UB-2005-06

Colofon

<i>Rapportnummer</i>	P-UB-2005-06
<i>ISBN</i>	90-5209-148-x
<i>Prijs</i>	€ 8,70
<i>Verschenen</i>	Juni 2005
<i>Druk</i>	eerste
<i>Titel</i>	Waterplanten in rivier de Vecht <i>Modelstudie naar de oorzaken van de matige ontwikkeling van ondergedoken waterplanten in de rivier de Vecht</i>
<i>Auteur</i>	Edwin Schut
<i>Uitgever</i>	Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht Padualaan 8, 3584 CH Utrecht. tel. 030-253 7363 www.bio.uu.nl/wetenschapswinkel
<i>Begeleider</i>	Dr. G.W. Heil, Disciplinarygroep Landschapsecologie, Universiteit Utrecht
<i>Projectcoördinator</i>	Ir. M.A. Vaal, Wetenschapswinkel Biologie, Universiteit Utrecht
<i>Opdrachtgever</i>	Drs. B. Specken, Hoogheemraadschap AGV, Hilversum
<i>Illustratie omslag</i>	Edwin Schut
<i>Vormgeving omslag</i>	Beeldverwerking en vormgeving, Universiteit Utrecht
<i>Reproductie</i>	DDCU, Universiteit Utrecht
<i>Copyright</i>	Het is niet toegestaan (gedeelten van) deze uitgave te vermenigvuldigen door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook. Overname van gedeelten van de tekst, mits met bronvermelding, is wel toegestaan. Toezending van een bewijsexemplaar wordt zeer op prijs gesteld.

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Voorwoord	5
Samenvatting	7
1. Inleiding	9
1.1 kader van het onderzoek	9
1.2 doelstelling	11
1.3 werkwijze	11
1.4 afbakening	12
1.5 deelvragen	13
1.6 leeswijzer	13
2. Het model	14
2.1 inleiding	14
2.2 kader van het model	14
2.2 opbouw van het model	16
2.7 tijdverloop	21
3. Resultaten	23
3.1 model	23
3.2 scenario : effect bij verschillende dieptes	25
3.3 scenario : effect van stratificatie	26
3.4 scenario : effect van chlorofylgehalte	27
3.5 scenario : diepte 30 cm	28
3.6 scenario : diepte 80 cm	30
3.7 scenario : diepte 130 cm	31

4. Discussie	23
4.1 <i>model</i>	34
4.2 <i>betrouwbaarheid</i>	34
4.3 <i>toepasbaarheid</i>	36
4.4 <i>uitbreiding</i>	37
5. Conclusie en aanbevelingen	39
5.1 <i>conclusie</i>	39
5.2 <i>deelvragen</i>	40
5.3 <i>aanbevelingen</i>	41
5.4 <i>slotconclusie</i>	42
Literatuurlijst	43
Bijlage 1	45
<i>Berekening biomassa productie</i>	45
Bijlage 2	46
<i>Parameter overzicht</i>	46
Bijlage 3	47
<i>Modelcode</i>	49

Voorwoord

De afgelopen jaren ben ik me steeds meer gaan realiseren dat een puur wetenschappelijke manier van werken niet voor mij is weggelegd. Het omgaan met mensen, beleidsmatige beslissingen en management kregen steeds meer de overhand. Door mijn deelname aan de cursus Toegepaste Biologie aan de faculteit Biologie in Utrecht werd mijn interesse gewekt voor de advieswereld. Biologische kennis vertalen in begrijpelijke en soms hapklare brokken voor de buitenstaander is absoluut een uitdaging. Hierbij worden biologisch gerelateerde problemen ook met een biologische benadering opgelost. Hierdoor krijgen beleidsmakers een handvat om betere besluiten te maken. Deze manier van werken bespaart al op vele vlakken in onze samenleving een hoop geld. Bovendien zorgt het voor verantwoorde besluiten door mensen die verstand hebben van biologische processen. Net als bij Toegepaste Biologie wil ik de kracht van een model gebruiken om een degelijk advies te geven. Door via een *decision support system* een proces samen te vatten en daar vragen aan te stellen die zinvol zijn voor de opdrachtgever, kunnen er zeer duidelijke en goede adviezen worden gegeven. Deze manier van werken is mijn hoofdmotivatie geweest om dit project te doen. Omdat ik het hele traject wilde meemaken, dus vanaf de probleemaafbakening tot aan het uiteindelijke eindproduct is een directe opdrachtgever een must. Als student is het via de Wetenschapswinkel Biologie gelukkig mogelijk om aan een dergelijke opdrachtgever te komen. Dit is het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi & Vecht geworden. Gerrit Heil en René Verburg waren bereid om deze stage te begeleiden. Ik heb de grenzen van de biologie verkend en heb een richting ontdekt die me zeer aanspreekt. Op deze plaats wil ik al mijn begeleiders bedanken voor de goede raad, opbouwende kritiek en flexibiliteit tijdens mijn RSI periode.

Edwin Schut
Utrecht, juni 2005

Samenvatting

Het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (AGV) heeft halverwege de jaren negentig een convenant gesloten met verschillende partijen, die bij het beheer van waterkwaliteit en kwantiteit van de rivier de Vecht betrokken zijn. In dit convenant is een restauratieplan voor de Vecht is beschreven. In het kader van dit restauratieplan zijn sinds 1997 ruim 12 km natuurvriendelijke oevers aangelegd. AGV beoogt hiermee de water- en oevervegetatie beter tot ontwikkeling te laten komen.

Het restauratieplan is er onder andere op gericht om ondergedoken waterplanten weer terug te krijgen in het natuurlijke beeld van de rivier. Tijdens de laatste monitoring bleek echter dat de ontwikkeling van de onderwatervegetatie sterk achterbleef bij de verwachting. Het gewenste ecologische resultaat, 30 procent bedekking door ondergedoken waterplanten in de oeverzone, is nog niet gerealiseerd. AGV heeft een voorstudie gedaan naar de mogelijke oorzaken van het achterblijven van de groei van deze waterplanten. Oorzaken die genoemd worden in deze voorstudies zijn het matige lichtklimaat, de slechte waterkwaliteit, de slechte waterbodembodemkwaliteit en de intensieve gemotoriseerde recreatievaart.

In dit onderzoek voor AGV is uitgezocht welke ecologische oorzaak of combinatie van oorzaken de belangrijke hindernissen vormen voor de ontwikkeling van de ondergedoken waterplanten. Voortvloeiend uit de resultaten zijn er aanbevelingen die getroffen kunnen worden om ondergedoken waterplanten weer terug te krijgen in de ecologische structuur van de rivier de Vecht.

Dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van analyses met een model. Voor het modelwerk is gebruik gemaakt van een Decision Support System (DSS). Het DSS is een programma waarmee scenario's kunnen worden doorberekend. Een scenario is een verzameling van relevante parameters die elk een eigen vaste waarde hebben. Door deze relevante parameters te variëren binnen gestelde grenzen kunnen scenario's onderling vergeleken worden.

Elke willekeurige plek in rivier de Vecht moet aan drie voorwaarden voldoen om als goede habitat te dienen voor ondergedoken waterplanten. Ten eerste is er een toevoer nodig van zaden of vegetatieve delen. Zonder startmateriaal is er geen groei mogelijk. Dit startmateriaal moet de gelegenheid krijgen, dus de juiste omstandigheden, om te ontkiemen of bij vegetatieve delen wortel te schieten. Als laatste is van belang dat een ontkiemend plantje het overleeft. De drie voorwaarden zijn dus: verspreiding, ontkieming en overleving. Dat we amper waterplanten aantreffen in rivier de Vecht wordt veroorzaakt doordat er aan één of meer voorwaarden niet wordt voldaan.

Uit bodemproeven blijkt dat het sediment van de Vecht geschikt is voor groei van waterplanten. Dit wordt onderstreept door de proeven die AGV dit jaar heeft uitgevoerd in rivier de Vecht.

Het groeimodel laat duidelijk zien dat groei van ondergedoken waterplanten goed mogelijk is, maar in het model alleen geremd wordt door locale omstandigheden als vraat, golfslag en lichtconcurrentie. De verzamelde gegevens tonen via het model aan dat in de ondiepere gedeeltes van de Vecht waterplanten zeker kunnen groeien.

Doordat ontkieming en groei plaats vinden ligt de problematiek bij de verspreiding van zaden en vegetatieve delen. De rivier de Vecht heeft op dit moment geen interne bronnen waaruit een populatie ondergedoken waterplanten zich verder kan ontwikkelen. Aanvoer vanuit externe bronnen wordt op verschillende momenten geremd. In de polders zelf is verspreiding lastig door het vaak vertakkende waternet. De ligging van de polders ten opzichten van de rivier, èèn a twee meter lager, zorgt voor een duidelijke fysieke barrière. Mocht de aanvoer vanuit externe bronnen de rivier bereiken, dan vormt bij de natuurvriendelijke oevers de palenrij met gevlochten twijgen een fysieke barrière. De veronderstelling dat de Vecht goed gevoed wordt met zaden en vegetatieve delen vanuit het IJmeer en de omliggende polders is in hoge mate onzeker. Een duidelijke inventarisatie van de verspreidingsmogelijkheden en hun doeltreffendheid is belangrijk.

De belangrijkste aanbeveling die volgt uit de resultaten van dit onderzoek is het verbeteren van de verspreiding van zaden en vegetatieve delen in rivier de Vecht. Het aanleggen van broedkamers, die kunnen dienen als startbron voor vegetatieve delen, is een goede mogelijkheid. Deze broedkamers kunnen het beste in het zuiden gebouwd worden en beschermt worden tegen golfslag en vraat. Ook is het belangrijk om andere soorten te weren van deze plekken om lichtconcurrentie te voorkomen. Een andere oplossing is om materiaal uit omliggende poldersloten in de rivier te "storten". Hierbij dienen de omliggende polders als broedkamer. Ook de opzet van de natuurvriendelijke oevers kan verbeterd worden. Door de huidige constructie zijn de oevers nauwelijks toegankelijk voor vegetatieve delen en zaden.

Door de verspreiding van ondergedoken waterplanten op deze manier te bevorderen moet binnen een aantal jaar een positief effect te zien zijn en komt het restauratieplan voor de Vecht weer een stukje dichterbij zijn implementatie.

Inleiding

1.1 kader van het onderzoek

Al vanaf de negende eeuw heeft de Vecht grote invloed op het omringende landschap in de provincies Utrecht en Noord-Holland. Tot in de vorige eeuw was er een grote diversiteit aan macrofauna aanwezig. De visfauna was veelzijdig met brakwatersoorten, standvissen uit het zoete water en trekvisen. Hierdoor waren er veel visetende vogels in grote kolonies langs de Vecht te vinden. Deze biodiversiteit werd aan de oevers voortgezet met een verscheidenheid aan vegetatie die weer een goede habitat vormde voor insecten. Een zeer grote verscheidenheid aan waterplanten was ook aanwezig. In de Middeleeuwen had de rivier nog een vrije loop met een hoge stroomsnelheid maar hier kwam rond 1600 een einde aan. De natuurlijke loop bij Utrecht en Maarssen werd verlegd naar een gegraven bedding. Ook werd in de Middeleeuwen de Weerdsuis aangelegd. Hierdoor veranderde er veel in het ecologische beeld [During and Schreurs, 1991].

De biodiversiteit rond en in de rivier de Vecht is in de vorige eeuw duidelijk afgenomen. Door industrialisatie en verstedelijking nam de vervuiling ernstige vormen aan. De Weerdsuis, het startpunt van de Vecht, werd jarenlang gebruikt om 's nachts de grachten van Utrecht door te spoelen.

Door inzet van zuiveringstechnieken bij bedrijven aan rivier de Vecht was er 30 jaar geleden eindelijk een verbetering te zien van de waterkwaliteit. Maar ondanks dit resultaat nam de biodiversiteit nog steeds af. Alleen verbetering van de waterkwaliteit bleek niet voldoende voor het herstel van een ecosysteem. Dat dit herstel zeer gewenst was bleek wel uit de grote interesse van meerdere natuurinstanties, gemeentes en bewonersgroepen. Er werd op aangedrongen om de Vecht weer op zijn oude ecologische peil te brengen.

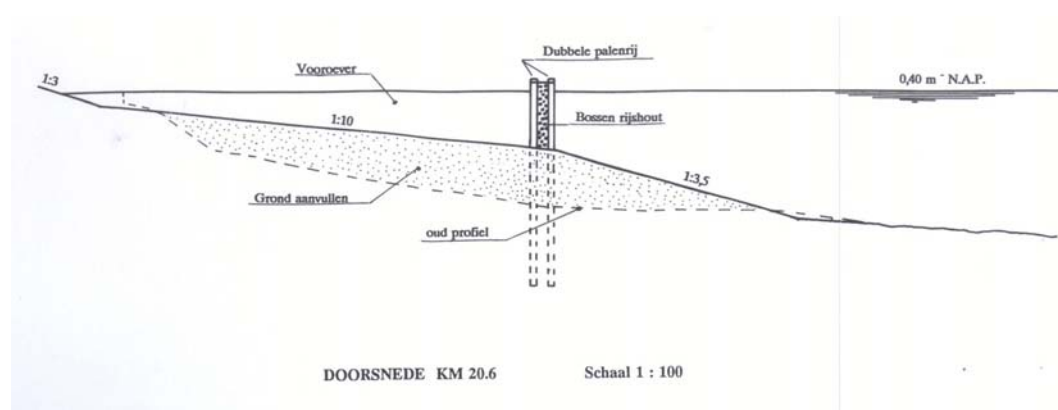
Om het ecosysteem weer terug te brengen naar de ecologische kwaliteit van voor de industrialisatie is een integrale aanpak nodig van het hele watersysteem. Deze integrale aanpak is in de afgelopen jaren vertaald naar een restauratieplan voor rivier de Vecht (Figuur 1.1). Het heeft als doel de historische ecologische waarde van de rivier de Vecht te herstellen. Vijftien betrokken partijen hebben hun handen ineen geslagen om dit streven tot een goed einde te brengen [Rooy, 1996].



Figuur 1.1
Omslag van het rapport van restauratieplan voor rivier de Vecht.

Aan dit restauratieplan hebben waterbeheerders, gemeentes, provincies en natuur- en milieuorganisaties deel genomen. In het restauratieplan worden drie fases onderscheiden: de inrichting, de verbetering van de waterkwaliteit en de sanering van de waterbodem. De inrichtingsfase is grotendeels afgerond, fase twee is onlangs (2003) opgestart en met fase drie wordt pas begonnen als de waterkwaliteit zo goed is dat er geen verontreinigde waterbodem gevormd wordt.

Voor verbeteringen van de inrichting zijn er natuurvriendelijke oevers aangelegd. Deze oevers hebben een nieuw gestorte bodem en een afbakening met de rest van de rivier de Vecht door een palenrij met gevlochten twijgen (Figuur 1.2). Op deze wijze zijn er nieuwe vooroevers gecreëerd die nu 12 km vertegenwoordigen van de in totaal 40 km oever. Ze hebben als doel om de water- en oevervegetatie te verbeteren.



Figuur 1.2
Doorsnede van een natuurvriendelijke oever in de Vecht

In de jaren vijftig waren er nog volop ondergedoken waterplanten aanwezig. Tijdens de laatste monitoring bleek echter dat de ontwikkeling van de onderwatervegetatie sterk achterbleef bij de

verwachting. Het gewenste ecologische resultaat, 30 procent bedekking door ondergedoken waterplanten in de oeverzone, is nog niet gerealiseerd. De inrichtingsfase bij onderwatervegetatie heeft nog niet geleid tot het gewenste resultaat [Pot, 2001].

Hoogheemraadschap Amstel Gooi & Vecht, beheerder van de rivier, heeft een voorstudie gedaan naar de mogelijke oorzaken van het achterblijven van de groei van waterplanten. Oorzaken die genoemd worden in deze voorstudies zijn het matige lichtklimaat, de slechte waterkwaliteit, de slechte waterbodemkwaliteit en de intensieve gemotoriseerde recreatievaart. Het matige lichtklimaat wordt weer veroorzaakt door het geringe zicht, het steile oeverprofiel (zodat er weinig ondiepe plekken zijn), de hoogopgaande begroeiing langs de oevers, de grote hoeveelheid woonschepen en de concurrentie met gele plomp, die door het vormen van drijfbladeren het licht wegneemt. Een andere factor die mogelijk verantwoordelijk is voor het ontbreken van ondergedoken waterplanten in de noordelijke Vecht is de inlaat van het sulfaatrijkere IJmeerwater. Het sulfaat kan in anaërobe bodems omgezet worden in het giftige sulfide. Als laatste kan de vraat door watervogels genoemd worden. Deze vogels profiteren van aangelegde natuurvriendelijke oevers en zijn plaatselijk massaal aanwezig [Vermaat, 1993].

Het is uit de voorstudie nog niet duidelijk in welke mate deze oorzaken een rol spelen en of er nog meer oorzaken zijn aan te wijzen. Hoogheemraadschap AGV heeft dan ook aan de Wetenschapswinkel Biologie van de Universiteit Utrecht gevraagd te onderzoeken in welke mate de genoemde oorzaken, of andere over het hoofd geziene oorzaken, een rol spelen in het wegblijven van ondergedoken waterplanten. Hoogheemraadschap AGV wil de resultaten van dit onderzoek gebruiken om een beter inzicht te krijgen in de problematiek rond ondergedoken waterplanten. Ook zullen de aanbevelingen uit het onderzoek gebruikt worden als ondersteuning voor beleidskeuzes.

1.2 doelstelling

Als leidraad voor het onderzoek staan de volgende twee vragen centraal:

Welke ecologische oorzaak, of combinatie van oorzaken vormen belangrijke hindernissen voor de ontwikkeling van de ondergedoken waterplanten in de Vecht?

Door welke maatregelen kunnen ondergedoken waterplanten weer veelvuldig terug gebracht worden in de ecologische structuur van de rivier de Vecht?

1.3 werkwijze

Dit onderzoek wordt uitgevoerd met behulp van analyses met een model. Voor het modelwerk is gebruik gemaakt van een Decision Support System (DSS), een programma waarmee scenario's kunnen worden doorberekend. Een scenario is een verzameling van relevante parameters die elk een eigen vaste waarde hebben. Door deze relevante parameters te variëren binnen gestelde grenzen kunnen scenario's onderling vergeleken worden. Dit kan duidelijkheid geven over de effecten en/of gevolgen van de ingestelde parameters. De verschillende scenario's laten een overzicht zien van de gevolgen van verschillende parameters op het voorkomen van ondergedoken waterplanten. Door deze scenario's worden

mogelijk betrokken oorzaken onderling vergeleken en kan de mate van effect van elke oorzaak worden vastgesteld. De resultaten van de modelstudie en de literatuurstudie zijn gebruikt om AGV te adviseren welke maatregelen getroffen moeten worden om de ondergedoken waterplanten in de Vecht terug te krijgen. Het model bevat gegevens uit de literatuur, onderzoek en/of meetgegevens bij rivier de Vecht en interpretaties van al deze gegevens. Het modelleer- en analyseprogramma Berkeley Madonna is gebruikt voor het model vanwege de aanwezige ervaring met deze programmatuur.

1.4 afbakening

De problematiek zal vooral vanuit een ecologisch perspectief worden belicht. Gezien de aard van het onderzoek en gewenste aanbevelingen voor het beheer zal ook aandacht besteed worden aan niet-ecologische factoren zoals b.v. bootverkeer.

De opdrachtgever heeft de volgende soorten waterplanten als doelsoorten aangeven. Het zijn soorten die weinig eisen stellen aan hun milieu en daarom algemeen voorkomen. Deze vier soorten kwamen ook vroeger veel voor in de Vecht.

<i>Potamogeton pectinatus</i>	(Schedefonteinkruid)
<i>Callitriche obtusangula</i>	(Stomphoekig sterrenkroos)
<i>Elodea nuttallii</i>	(Smalbladige waterpest)
<i>Ceratophyllum demersum</i>	(Gedoornd hoornblad)

Er bleek helaas al snel dat alleen van *Potamogeton pectinatus* (Figuur 1.3) genoeg data beschikbaar zijn om het model te kalibreren. Het model is dan ook enkel gebaseerd op data van deze doelsoort. In de discussie wordt hier verder op in gegaan en zal ook de toepasbaarheid van het model voor andere doelsoorten besproken worden.



Figuur 1.3
Foto van *Potamogeton pectinatus*.

1.5 deelvragen

In het vooronderzoek bleek uit de beschikbare data dat in de Vecht niet of nauwelijks ondergedoken waterplanten voorkomen. Ook in de ondiepere zones, bij de natuurvriendelijke oevers, worden ze niet aangetroffen, ondanks dat deze plekken meer beschermd zijn tegen golfslag, er goed zicht is en de bodem nieuw gestort en dus niet verontreinigd is. In deze bodem komen geen zaadvoorraden van ondergedoken waterplanten voor. Alleen door verspreiding van zaden en vegetatieve delen kunnen op deze plekken waterplanten gaan groeien. In de overige gedeelten van de Vecht kunnen zaadbanken aanwezig zijn omdat rond 1950 nog volop ondergedoken waterplanten aanwezig waren. Echter, door de diepte van de Vecht en de verontreinigde bodem kan zaadkieming lokaal geremd worden [Bie, 1989; During and Schreurs, 1991].

Na deze korte inventarisatie van de huidige problematiek zijn de volgende deelvragen geformuleerd:

1. Waar zijn mogelijke zaadbronnen in de rivier de Vecht?
2. Welke verspreidingsmechanismen hebben deze zaadbronnen?
3. Waar zijn goede vestigingsplaatsen voor zaden in de Vecht?
- 3 Wat zijn de (fysische) ontkiemingvoorwaarden voor ondergedoken waterplanten en in het bijzonder de doelsoorten?
- 4 Welke omstandigheden hebben invloed op de kieming en beginnende groei van ondergedoken waterplanten?
- 5 Wat is de huidige situatie in de Vecht met betrekking tot de fysisch (-chemische) parameters genoemd in vraag 4 en 5?

Het eindproduct van deze studie is tweeledig. Er wordt een model ontwikkeld waarmee verschillende scenario's berekend kunnen worden. Dit model wordt eigendom van AGV en kan naar eigen inzicht aangepast en/of uitgebreid worden. Daarnaast zijn de uitkomsten van het model gebruikt als basis voor de adviezen aan AGV.

1.6 leeswijzer

In hoofdstuk twee wordt een beschrijving gegeven van het ontwikkelde model met de bijbehorende onderbouwing. In hoofdstuk drie, resultaten, zijn de uitkomsten beschreven van de verschillende scenario's die met het model zijn geanalyseerd. In het laatste gedeelte staan de conclusie en discussie. Hier zijn kritische aantekeningen bij het model evenals de aanbevelingen terug te vinden die gedaan zijn aan Hoogheemraadschap AGV.

Het model

2.1 inleiding

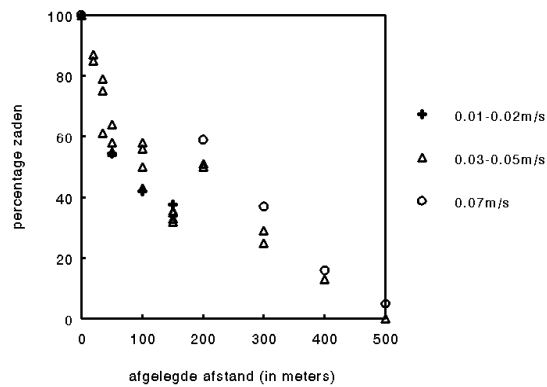
Een beschrijving van een wiskundig model kan niet zonder de uitleg van de bijbehorende wiskundige formules. Door middel van de getoonde figuren is getracht een zo duidelijk mogelijk beeld gegeven van het model. Het model dat hier beschreven is ligt ten grondslag aan de aanbevelingen die worden gegeven. Het model is binnen deze studie dan ook zeer belangrijk maar blijft nog wel altijd een instrument om tot de aanbevelingen te komen. Voordat het model stapsgewijs beschreven gaat worden, wordt eerst de opzet van het model uitgelegd.

2.2 kader van het model

Elke willekeurige plek in rivier de Vecht moet aan drie voorwaarden voldoen om als goede habitat te dienen voor ondergedoken waterplanten. Ten eerste is er een toevoer nodig van zaden of vegetatieve delen. Zonder startmateriaal is er geen groei mogelijk. Dit startmateriaal moet de gelegenheid krijgen, dus de juiste omstandigheden, om te ontkiemen of het moet door vegetatieve delen wortelschieten. Als laatste is van belang dat een ontkiemend plantje overleeft. De drie voorwaarden zijn dus: verspreiding, ontkieming en overleving. Dat we amper waterplanten aantreffen in rivier de Vecht wordt veroorzaakt doordat er aan een of meer voorwaarden niet wordt voldaan.

Uit bodemproeven blijkt dat het sediment van de Vecht geschikt is voor groei van waterplanten [Vermaat, 1993]. Uit dat onderzoek komt duidelijk naar voren dat ontkieming van de vegetatieve delen van *Potamogeton pectinatus* geen probleem moet zijn. De ontkiemingvoorwaarde is dus niet het probleem. Nu blijven verspreiding en overleving over.

Voor beide voorwaarden is een model te ontwerpen, maar binnen dit onderzoek kon maar slechts een model gemaakt worden. De kwaliteit van dit model is afhankelijk van de gevonden data. De hoeveelheid data dat beschikbaar is voor een model voor overleving was beduidend groter dan die voor verspreiding en goed onderbouwd. Hiervan kan een betrouwbaar model gemaakt worden. Over de verspreiding van zaden waren maar enkele referenties voorhanden.

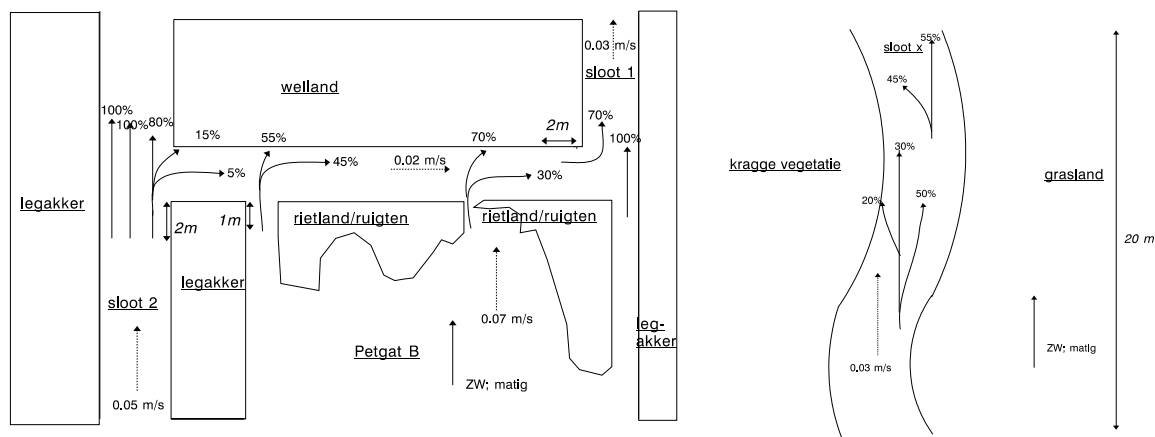


Figuur 2.1

Grafiek waarin de afstand (m) die zaden (%) in water afleggen wordt weergegeven [Beltman, 2005]

Uit Figuur 2.1 valt af te lezen dat de verspreiding van vegetatieve delen en/of zaden over water gering is. De maximale afstand bij verschillende stromingssnelheden is niet meer dan 500 meter. Ook hebben bochten en smalle doorgangen een duidelijk negatief effect op de verspreiding blijkt uit Figuur 2.1 [Beltman, 2005].

In Figuur 2.2 staan twee schematische tekeningen van een polder. Aangeven is de hoeveelheid zaad in procenten die zich verspreidt onder verschillende omstandigheden. Een bocht of vernauwing zorgt er voor dat tussen de 40 en 70 procent van het zaad niet verder vervoerd wordt. De verspreiding van de doelsoorten kan alleen vanuit de omliggende polders plaatsvinden. Deze omliggende polders bevatten veel langgerekte en bochtige sloten waardoor de kans daarop zeer laag is. De voorstudie geeft dus aan dat verspreiding een probleem kan zijn in de rivier de Vecht.



Figuur 2.2

Schematische weergave van zaadverspreiding van ondergedoken waterplanten door water bij verschillende lokale omstandigheden. Percentages geven aan hoe groot de fractie is op dat punt van een hoeveelheid zaden [Beltman, 2005]

Het model moet wetenschappelijk goed onderbouwd worden en ook antwoord geven op de vragen van de opdrachtgever. Als voorbeelden voor de vragen zijn te noemen: wat is het effect van

bootverkeer op het voorkomen van waterplanten? Of wat is het effect van vraat van vogels op het voorkomen van waterplanten? Veel van deze vragen zijn te beantwoorden met een model voor de voorwaarde "overleving". Indien er genoeg data aanwezig zijn en bij een positief resultaat, er kunnen ondergedoken waterplanten groeien, kan er ook over verspreiding conclusies getrokken worden. Om deze redenen is voor een overleving model gekozen. Hierbij wordt er van uit gegaan dat er verspreiding en kieming plaatsvinden. Het model begint op het moment dat een vegetatief deel ontkiemd is.

Het model moet aangeven of er overleving mogelijk is op een willekeurige locatie in de rivier de Vecht. De parameters voor het model zijn afhankelijk van de omstandigheden op die locatie. Een locatie heeft een oppervlakte van een vierkante meter. Deze orde van grootte komt overeen met meerdere onderzoeken waaruit data zijn gebruikt voor dit model. De mate van bodembedekking van waterplanten op een locatie is gebruikt voor de mate van overleving. Deze mate van bedekking geeft aan wat de bodembedekking is van waterplanten, uitgedrukt in procenten. Die bedekking hangt ook samen met het voorkomen van vegetatie onder water. Er kan b.v. bij 50 procent grondbedekking, vegetatie aanwezig zijn waarbij de helft van de vierkante meter tot het wateroppervlakte is begroeid. Maar het kan ook betekenen dat de hele vierkante meter bedekt is tot de helft van de diepte op die plek.

2.2 opbouw van het model

In deze volgende subparagrafen wordt de opbouw van het model besproken. Per paragraaf wordt een bepaald onderwerp van het model besproken. In de tekst staan tussen haakjes cursief gedrukte parameters. Dit zijn de parameters zoals ze geïmplementeerd zijn in de modelcode. Het model zelf is onderverdeeld in acht secties. In bijlage twee is een overzicht van alle parameters gesorteerd per sectie te vinden. In bijlage drie is de modelcode van het model te terug te vinden.

2.2.1 model instellingen

Het model begint met een aantal vaste gegevens. Waaronder de starttijd (*starttime*) en stoptijd (*stoptime*) van het model. Het model begint bij $t=0$ en heeft een looptijd van tien jaar. De tijdstap die gebruikt wordt is 1/24 dag. Een tijdstap komt dus overeen met 1 uur. Deze gegevens zijn terug te vinden in sectie 1 van de modelcode.

2.2.2 biomassa dichtheid per m3

Het model rekent per vierkante meter water. Om iets te kunnen zeggen over het bedekkingspercentage is het maximale aantal planten per vierkante meter (*max_density*) en de dichtheid per kubieke meter (*Max_biomass*) belangrijk. Voor de doelsoort *Potamogeton pectinatus* is het maximale aantal planten 300 en de dichtheid 480 gram/m³ [Herb and Stefan, 2003]. Een meter plantstengel weegt 1.2 gram (*stem_Weight_m*). Het percentage bedekking per vierkante meter wordt gegeven door:

$$\text{Percent} = (\text{biomass}/(\text{stem_Weight_m} * \text{depth}) / \text{Max_density}) * 100$$

De hoogte van de ondergedoken waterplanten op de vierkante meter is:

$$\text{Height} = \text{depth} * (\text{Percent} / 100)$$

$$\text{Limit Height} < \text{Depth}$$

Hierbij wordt de hoogte van de ondergedoken waterplanten beperkt (*limit height*) tot aan het wateroppervlak. Deze gegevens zijn terug te vinden in sectie twee van de modelcode.

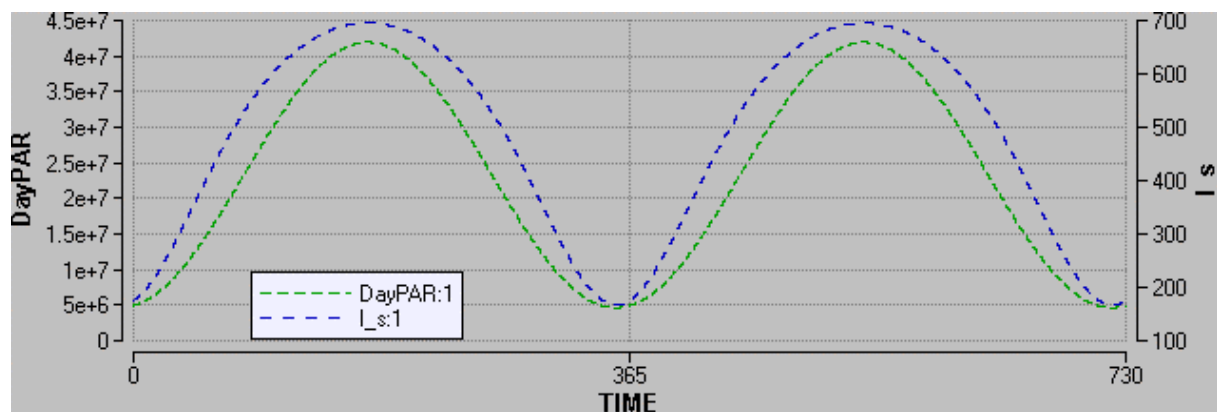
2.2.3 lichtintensiteit boven en onder water.

lichtintensiteit boven water

Als uit vegetatieve delen of zaden een jonge plant groeit, heeft deze direct behoefte aan licht. De hoeveelheid licht die het jonge plantje en later de plant kan bereiken is afhankelijk van factoren als:

- Wolkenvelden
- Weerkaatsing wateroppervlak
- Chlorofylgehalte water
- Diepte van het water
- Lichtconcurrentie van andere planten
- Schaduw

De invalshoek tot de zon en de hoeveelheid wolken bepalen de hoeveelheid licht op een plek op de aarde. In figuur 2.3 wordt de hoeveelheid licht door het jaar heen voor Nederland aangegeven. Hierbij worden de maximale (*daylengthmax*) en minimale (*daylengthmin*) daglengte meegenomen evenals de gemiddelde bedekking door wolkenvelden om zodoende aan een specifieke uitkomst voor Nederland te komen [van Vierssen et al., 1994].



Figuur 2.3

De dagelijkse bestraling (dayPAR) per vierkante meter aardoppervlak in Nederland ($\mu\text{mol d}^{-1} \text{m}^{-1}$) en van de bestraling per seconde (I_s) per vierkante meter aardoppervlak in Nederland ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-1}$).

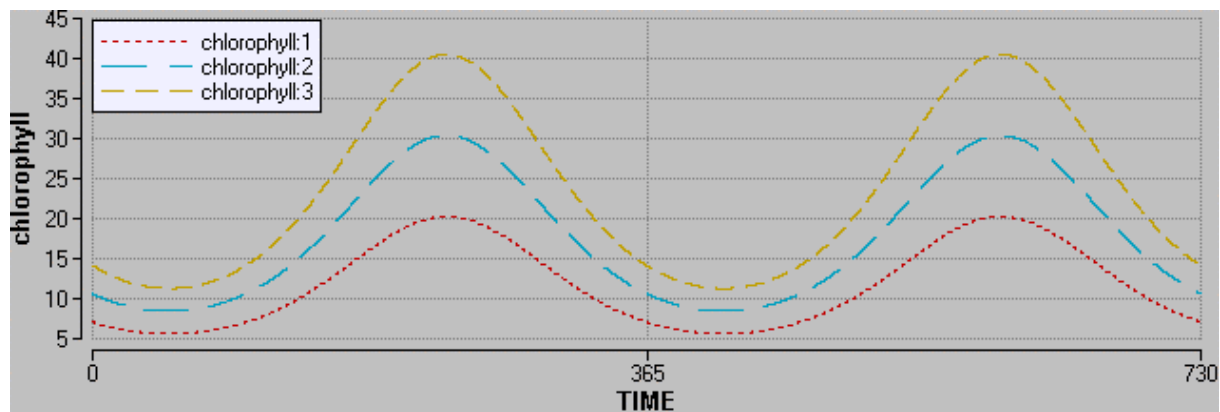
Als eenheid voor lichtintensiteit wordt PAR(*Photosynthetic Active Range*) gebruikt. Dit staat voor fotosynthetisch actief bereik, het lichtbereik van 300 tot 700 nm. Per dag (*DayPAR*) komt er maximaal $4.5 \cdot 10^7 \mu\text{mol}$ op een vierkante meter aardoppervlak in Nederland terecht. Per seconde (I_s) loopt het bereik van 300 tot 700 μmol per vierkante meter aardoppervlak. Er is dus op elke vierkante meter per seconde een hoeveel bestraling die wordt aangegeven in μmol [van Vierssen et al., 1994].

lichtintensiteit onder water

Als de bestraling het wateroppervlak bereikt, wordt 0.087 procent weerkaatst (r) [van Vierssen et al., 1994]. De bestraling neemt hierna af per diepte eenheid en Chlorophyl-a gehalte van dit water. De afname per meter wordt gegeven door de onderstaande formule [RIZA, 1999].

$$K_{wt} = 0.016 * \text{Chlorophyl-a gehalte} + 1.3 / (\text{secchdiepte}^5).$$

Het Chlorophyl-a gehalte is herleid uit niet-gepubliceerde metingen van Hoogheemraadschap AGV [AGV, 1996-2003]. Uit deze metingen blijkt dat er drie duidelijke regio's zijn te onderscheiden in rivier de Vecht (figuur 2.4). In het zuiden is de maximale concentratie laag (20 mg/l), in het midden gemiddeld (30 mg/l) en in het noorden hoog (40 mg/l).



Figuur 2.4

Chlorophyl-a gehalte (mg/ml) over 2 jaar (d) in 3 verschillende regio's; Noord=bovenste lijn, Midden=middelste lijn en Zuid= onderste lijn.

De secchi-diepte (*secchidepth*) is een maat voor een bepaald type zichtmeting. De secchiplaat is een witte plaat die onder water wordt gehouden. Er wordt gekeken op welke diepte de plaat niet meer te zien is. Deze diepte wordt genoteerd en ook de diepte waarop de plaat weer zichtbaar wordt. Het gemiddelde van deze twee waarden is de Secchi-diepte [RIZA, 1999].

Door de groei van de waterplanten vindt er een beschaduwing plaats van de eigen bladeren onder aan de plant. Daar tegen over staat een hogere bestraling aan de top door groei naar het licht toe. De gemiddelde bestraling is dan ook het gemiddelde van de bestraling op de bodem en de bestraling op de top van de plant [Herb and Stefan, 2003]. De hoeveelheid bestraling op de bodem is gelijk aan:

$$I_d = I_w * \text{EXP}(-K_{wt} * \text{depth} - (k_m * \text{biomass}))$$

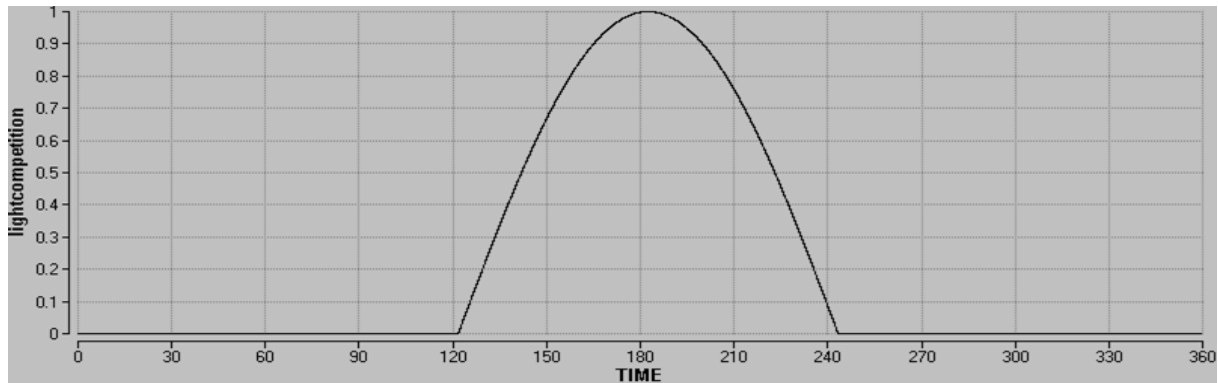
De hoeveel bestraling op de top van de plant is gelijk aan:

$$I_m = I_w * \text{EXP}(-K_{wt} * (\text{diepte} - \text{hoogte}))$$

De gemiddelde hoeveelheid bestraling die op de plant valt wordt gegeven door:

$$\text{Meanlight} = (I_d + I_m)/2$$

Op elke willekeurige plek kan er concurrentie voor licht zijn door andere planten. Deze concurrentie is in het model gebouwd door middel van een aan-uitschakelaar. Als er concurrentie aanwezig is dan is er een afname van het beschikbare licht door het jaar heen volgens onderstaande figuur 2.5.



Figuur 2. 5

Lichtcompetitie van 0 tot 1 (1 = totale verduistering door concurrenten), Tijd in dagen.

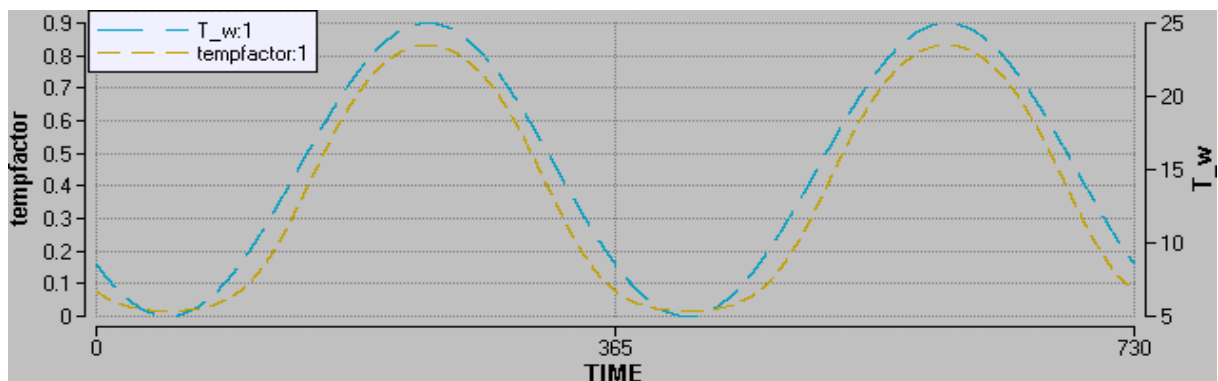
In de parameter *meanlight* vallen dus alle factoren samen die van invloed zijn op de lichtbeschikbaarheid en intensiteit:

$$\text{Meanlight} = (I_d + I_m)/2 * (1 - \text{lightcompetition})$$

Deze gegevens zijn terug te vinden in sectie 3, 4 en 5 van de modelcode.

2.2.4 groei biomassa

De ondergedoken waterplant groeit door productie van biomassa. Deze productie is van meerdere factoren afhankelijk. Al deze factoren hebben een invloed op de maximale biomassaproductie. Volgens [Pilon, 2002] wordt er per minuut maximaal 37,6 ug zuurstof per droog gewicht gram geproduceerd. Dit komt overeen met 0,039 gram per gram biomassa per dag (*maxphoto*) (zie bijlage 1 voor berekening).



Figuur 2.6

De temperatuurfactor (fractie) en de watertemperatuur (C) over de tijd (dagen).

Deze maximale productie (*growthfactor*) is afhankelijk van de watertemperatuur en de hoeveelheid licht.

$$\text{Growthfactor} = \text{maxphoto} * \text{lightfactor} * \text{tempfactor}$$

De temperatuurfactor (*tempfactor*) wordt gegeven door onderstaande figuur (2.6). Deze factor volgt het verloop van de temperatuur van het water [Carr et al., 1997; van Vierssen et al., 1994].

De lichtfactor is afhankelijk van het gemiddelde licht dat de biomassa bereikt (*meanlight*). Onder $10 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (*level*) is er geen productie mogelijk. Bij $52 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ (*K_{ps}*) wordt de helft van de maximale fotosynthese gehaald [Carr et al., 1997]. Hieruit volgt:

$$\text{Lightfactor} = (\text{meanlight} - \text{level}) / ((\text{K}_{\text{ps}} - \text{level}) + (\text{meanlight} - \text{level}))$$

De sterfte van de waterplanten (*deadfactor*) is in het model afhankelijk van twee directe factoren: het sterftesnelheid en de respiratiesnelheid.

$$\text{Deadfactor} = \text{respirationrate} + \text{mortalityrate}$$

De sterftesnelheid (*mortalityrate*) is gelijk aan 0.008. Dit komt overeen met een levensduur van 120 dagen [van Vierssen et al., 1994]. De respiratiesnelheid (*respirationrate*) is al verwerkt in de maximale fotosynthese [Pilon, 2002].

Naast deze directe factoren kan er op een locatie ook sprake zijn van golfslag schade (*wavedamage*).

$$\text{Wavedamage} = \text{off_on_wavedamage} * \text{Max_wavedamage} * (\text{K_damage}^4) / (\text{K_damage}^4 + (\text{depth} - \text{height})^4)$$

De schade is afhankelijk van de hoogte van de plant t.o.v. ten opzichten van de diepte van het water. Hoe dichter een plant bij het wateroppervlakte is des te meer schade deze ondervindt door golven [Nes et al., 2003].

De groeisnelheid van de biomassa komt overeen met:

$$d/dt(\text{biomass}) = \text{biomass} * \text{growthfactor} * \text{Deadfactor}$$

Voor *Potamogeton pectinatus* is berekend dat er per vierkante meter maximaal 300 planten groeien (*Max_density*) en is de maximale biomassa per kubieke meter 480 gram is (*Max_biomass*). Hierdoor weegt *Potamogeton pectinatus* per meter 1.2 gram (*stem_weight_m*). Het bedekkingspercentage (*percent*) op een vierkante meter in de rivier de Vecht is geven in de volgende formule .

$$\text{Percent} = (\text{biomass} / (\text{stem_Weight_m} * \text{depth}) / \text{Max_density}) * 100$$

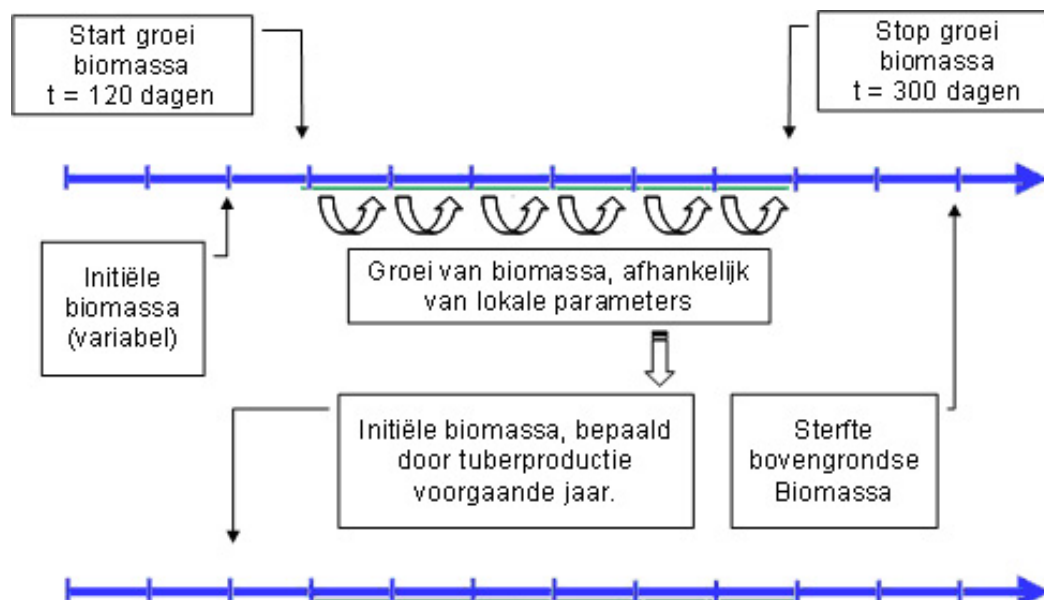
Deze gegevens zijn terug te vinden in sectie zes van de modelcode.

2.2.5 groei tubers

De doelsoort *Potamogeton pectinatus* produceert tubers. Dit zijn de vegetatieve overlevingsorganen van de plant, te vergelijken met knollen die landplanten maken. De tubers worden ondergronds opgeslagen om zodoende de winter te overleven. De productie van tubers komt op gang als de groeifactor groter is dan de sterftefactor en als de bestraling (*mean_light*) boven de $24 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-1}$ ligt. De dagelijkse tuberproductie bedraagt vijf procent (*fraction_tubers*) van de dagelijkse biomassa productie. De productie per dag, dat minder kan zijn dan de net genoemde 5 procent, is gelijk aan de hoeveelheid biomassa in de wortels (5,5 procent van totale biomassa) * 100 tubers (*max_tuber_count*) per dag van 0.035 gram. (*max_tuber_weight*). De biomassa die gebruikt wordt voor de productie van de tubers kan niet meer gebruikt worden voor groei van de waterplant [van Vierssen et al., 1994]. De ondergrondse biomassa, de tubers, groeien zelf ook met een snelheid van 0,08 per dag.

De overlevingskans van deze tubers om de winter te overleven is afhankelijk van stratificatie. Stratificatie is een koude periode van aangesloten dagen waardoor de kiemingskans van de tubers verhoogd worden. Als er geen stratificatie plaatsvindt, overleeft 40 procent van de tubers, bij succesvolle stratificatie overleeft 80 procent van de tubers. In het model is stratificatie toegevoegd als een aan-uitschakelaar (*Stratification_tubers*) [Wijk, 1989]. Deze gegevens zijn terug te vinden in sectie zeven van de modelcode.

2.7 tijdsverloop



Figuur 2.7
Tijdsverloop van het model.

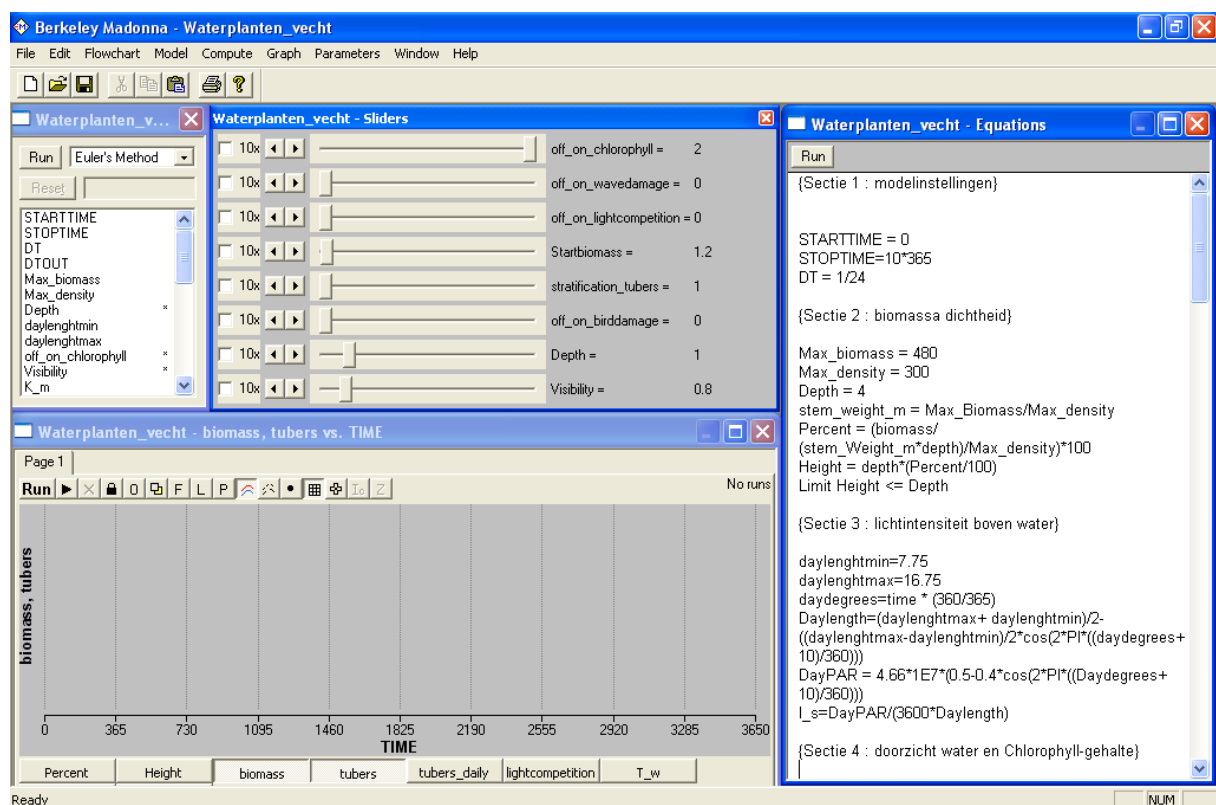
In Figuur 2.7 is in een tijdbalk aangegeven hoe de groei van *Potamogeton pectinatus* in de tijd verloopt. Op tijdstip $t=120$ dagen ontkiemen er vegetatieve delen. Deze biomassa begint met groeien als de omstandigheden goed zijn en produceert in de groeiperiode tubers. Op tijdstip $t=300$ dagen stop de groeiperiode. In de winter sterft de bovengrondse biomassa af doordat het te koud wordt (*cold_damage*). In jaar twee wordt de initiële biomassa bepaald door de tubergroei het jaar daarvoor. Er is dus geen aanvoer van vegetatieve delen van buitenaf. De gebeurtenissen van jaar een herhalen zich dan in jaar twee en de jaren daarna. Het model heeft een looptijd van tien jaar(*stoptime*). Elke tijdstap (*DT*) komt overeen met een uur. Deze gegevens zijn terug te vinden in alle secties van de modelcode.

In het model is gebruik gemaakt van een tijdlus om alle gebeurtenissen elk jaar opnieuw te laten plaats vinden. In het model zijn deze genoemd als tijdlus en zijn terug te vinden in sectie vijf, zes en zeven.

Resultaten

3.1 model

Met het model zijn verschillende scenario's geanalyseerd. In de onderstaande afbeelding is een overzicht te zien van Berkeley Madonna met het gemaakt model.



Figuur 3.1

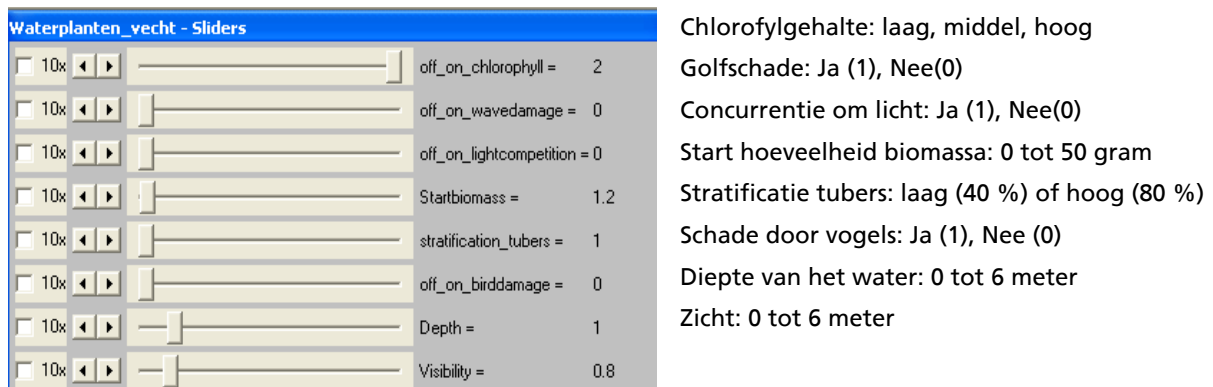
Afbeelding van Berkeley Madonna met het model.

Tabel 3.1

Overzicht van de geanalyseerde scenario's.

Scenario	Figuur	Diepte	Zicht	StartBiomassa	Stratificatie	Chlorophyll	Golfschade	Licht concurrentie	Vogelschade
3.2 Effect bij verschillende dieptes	3.3	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.3	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.3	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
3.3. Effect van stratificatie bij tubers	3.4	0.3	0.3	2.4	Ja/Nee	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.4	0.8	0.8	2.4	Ja/Nee	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.4	1.3	1.3	2.4	Ja/Nee	Midden	Nee	Nee	Nee
3.3 Effect van Chlorophyll-gehalte	3.5	0.3	0.3	2.4	Ja	Laag/Midden/hoog	Nee	Nee	Nee
	3.5	0.8	0.8	2.4	Ja	Laag/Midden/hoog	Nee	Nee	Nee
	3.5	1.3	1.3	2.4	Ja	Laag/Midden/hoog	Nee	Nee	Nee
3.5 Scenario's bij 30 cm diepte Vogelschade Lichtconcurrentie Golfschade Golfschade & Vogelschade	3.6	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.7	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Ja
	3.8	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Ja	Nee
	3.9	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Nee
	3.10	0.3	0.3	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Ja
3.6 Scenario's bij 80 cm diepte Vogelschade Lichtconcurrentie Golfschade Golfschade & Vogelschade	3.11	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.12	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Ja
	3.13	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Nee	Ja	Nee
	3.14	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Nee
	3.15	0.8	0.8	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Ja
3.7 Scenario's bij 130 cm diepte Vogelschade Lichtconcurrentie Golfschade Golfschade & Vogelschade	3.16	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Nee
	3.17	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Nee	Ja
	3.18	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Nee	Ja	Nee
	3.19	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Nee
	3.20	1.3	1.3	2.4	Ja	Midden	Ja	Nee	Ja

Aan de rechterkant van het scherm zijn de vergelijkingen te zien waar het model op gebaseerd is. In de linker bovenhoek staat het parameter scherm. Dit zijn de verschillende parameters met de daarbij horende waarden waarop het model draait. Naast het parameter scherm staat het *slider* scherm. Deze sliders worden gebruikt om input aan het model te geven. Hiermee zijn verschillende scenario's in te stellen. In Figuur 3.2 is een vergroting te zien van het *slider* scherm. Naast figuur 3.2 is het bereik weergegeven van de verschillende parameters.



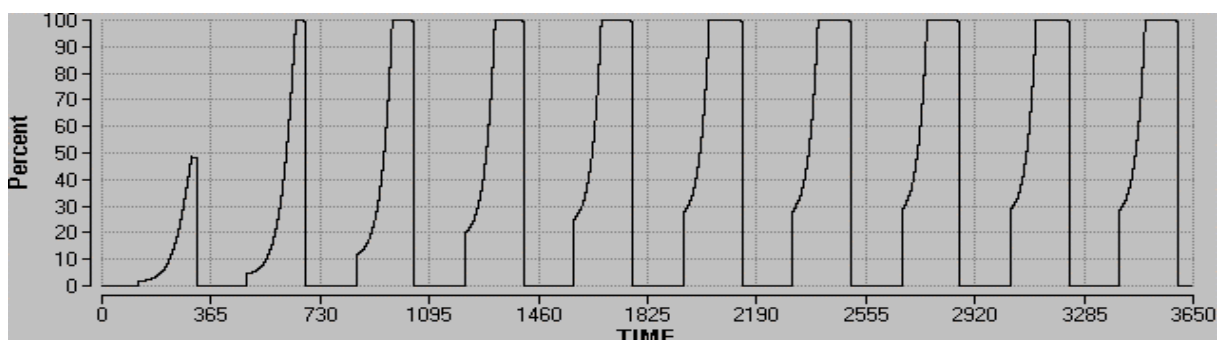
Figuur 3.2
 Afbeelding van het slider-scherm

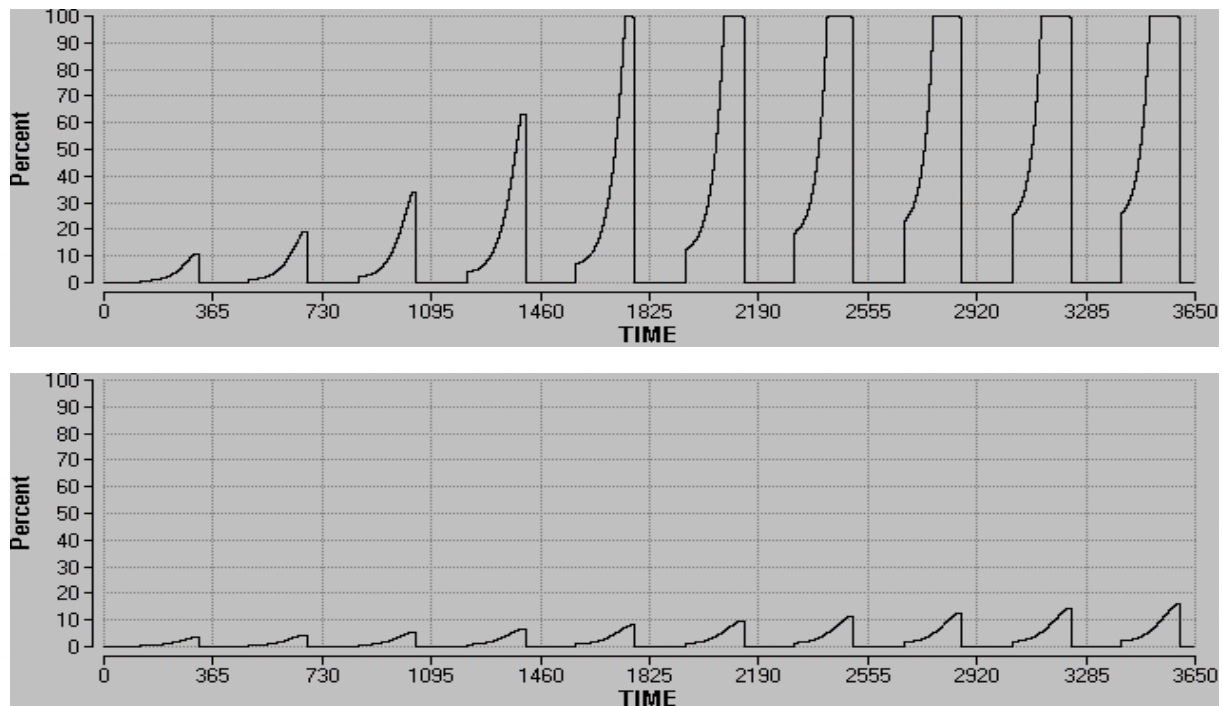
Door deze sliders kunnen dus verschillende scenario's worden doorlopen. Het resultaat van deze scenario's. wordt zichtbaar gemaakt in de vorm van een grafiek (linksonder op het scherm).

In tabel 3.1 staat een overzicht van scenario's met de ingestelde parameters die in de komende paragrafen besproken gaan worden.

Bij de eerste serie resultaten(paragraaf 3.2 t/m 3.3) zijn golfschade, lichtcompetitie en schade door vogels uitgeschakeld. Als start hoeveelheid biomassa is 2,4 gram gebruikt. Voor het chlorophyll-a gehalte is uitgegaan van een gemiddelde concentratie. Vanaf paragraaf 3.5 wordt er bij een vaste diepte gekeken naar de effecten van locale parameters. Deze scenario's zijn slechts een selectie van de mogelijkheden van het model.

3.2 scenario : effect bij verschillende dieptes





Figuur 3.3

Grafieken op verschillende dieptes: 30 cm, 80 cm, 130 cm.. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

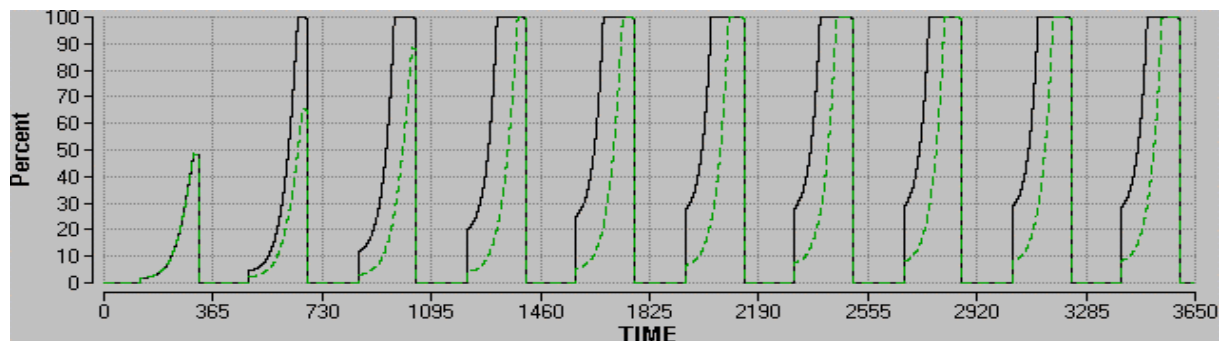
Beschrijving resultaten

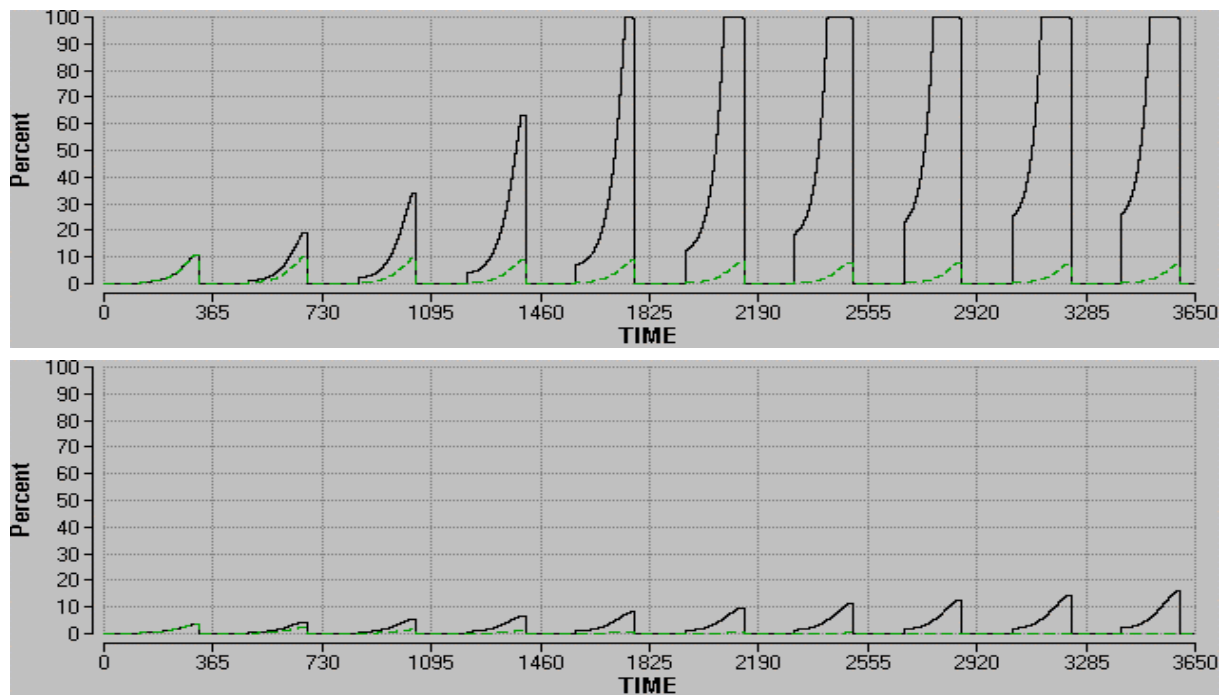
Duidelijk is te zien dat de percentagebedekking afneemt naarmate het dieper wordt. Bij testen van het model kwam duidelijk naar voren dat deze dieptes een overzichtelijk beeld geven bij alle scenario's.

3.3 effect van stratificatie

beschrijving resultaten

Bij diepere gedeeltes van de Vecht heeft stratificatie een groter effect op de bedekkingsgraad dan bij de ondiepere gedeeltes. Bij 30 cm is er een kleine vertraging om maximale bedekking te bereiken. Bij 80 cm is stratificatie het verschil tussen maximale bedekking en minimale groei. Bij 130 cm is er zonder stratificatie geen bedekking mogelijk.

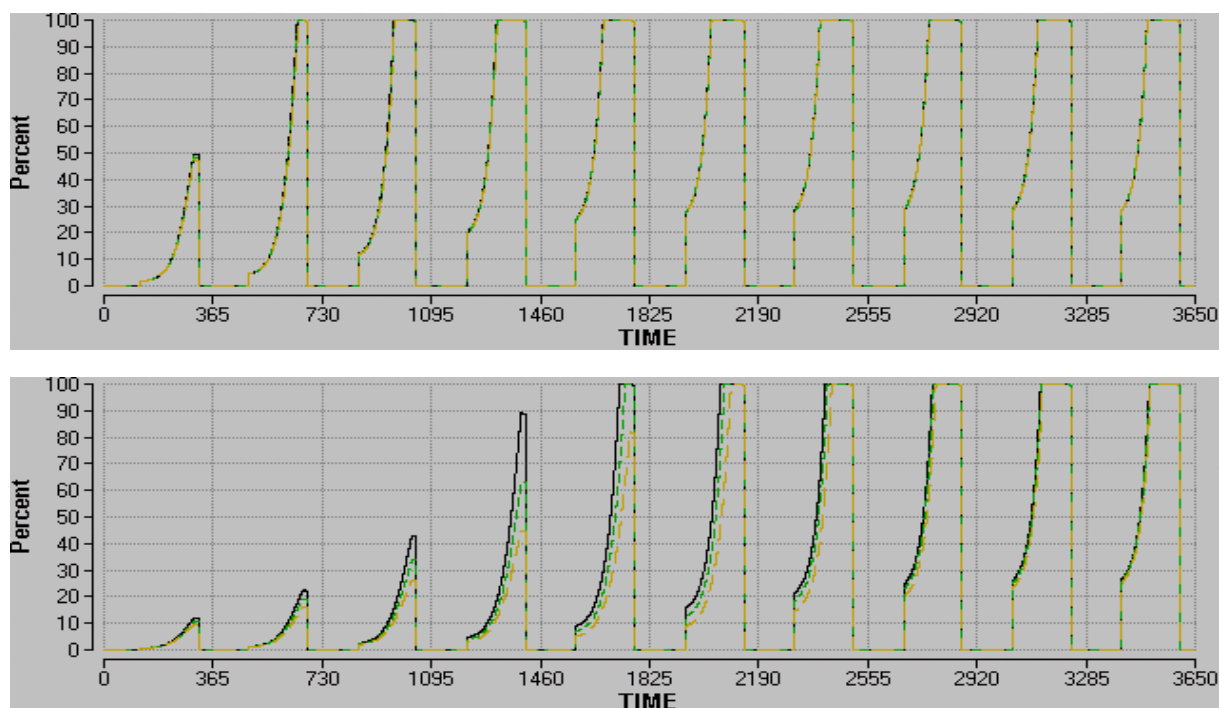


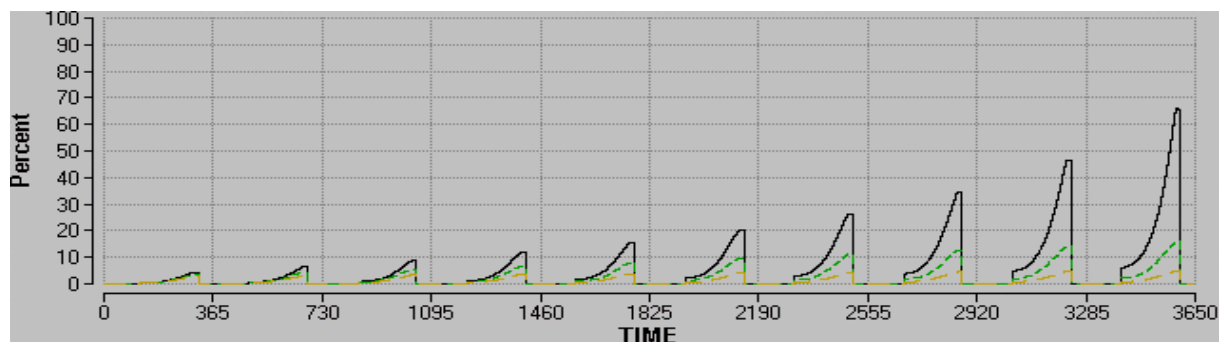


Figuur 3.4

Scenario grafieken voor stratificatie effect op verschillende dieptes: 30 cm, 80 cm, 130 cm. De Doorgetrokken lijn is zonder stratificatie, de onderbroken lijn is met stratificatie. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

3.4 scenario : effect van chlorofylgehalte





Figuur 3.5

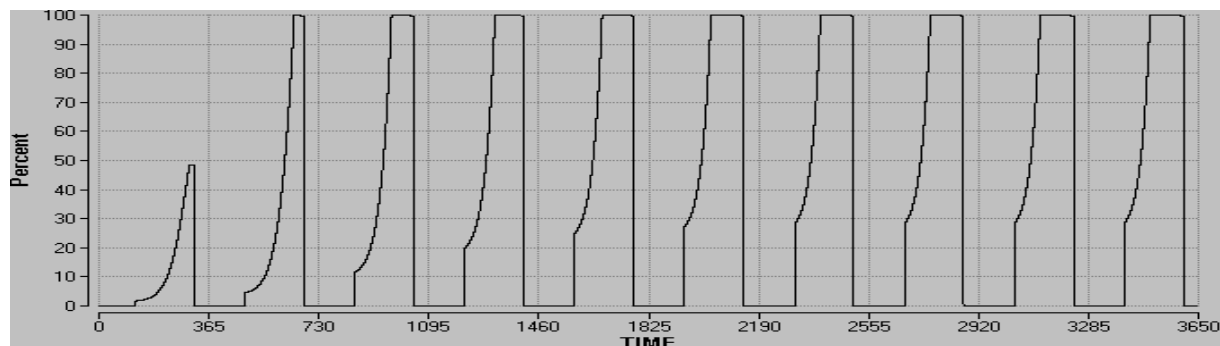
Scenario grafieken voor chlorofylgehalte effect op verschillende dieptes: 30 cm, 80 cm, 130 cm. Met een lage concentratie(-- --), gemiddelde concentratie (- - -) en hoge concentratie Chlorophyl-a (----). Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

beschrijving resultaten

Bij een diepte van 30 cm is er geen effect van de verschillende concentraties van Chlorophylgehalte. Op grotere diepte gaat de concentratie van het chlorofyl een rol spelen. Bij 130 cm is in het zuiden een bedekking van 65 % mogelijk terwijl verder naar het noorden dit 5 % is.

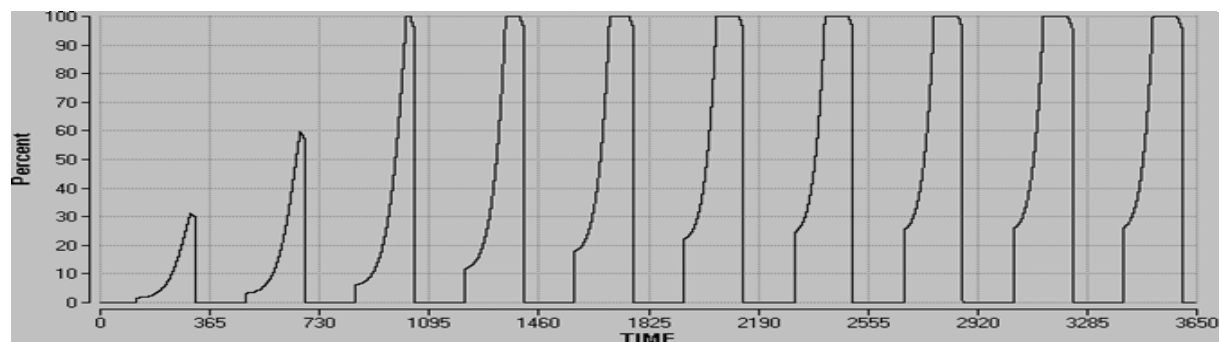
3.5 scenario : diepte 30 cm

Hieronder zijn de resultaten zichtbaar van de bedekking bij een diepte op 30 cm waarbij telkens een of meerdere lokale parameters worden veranderd.



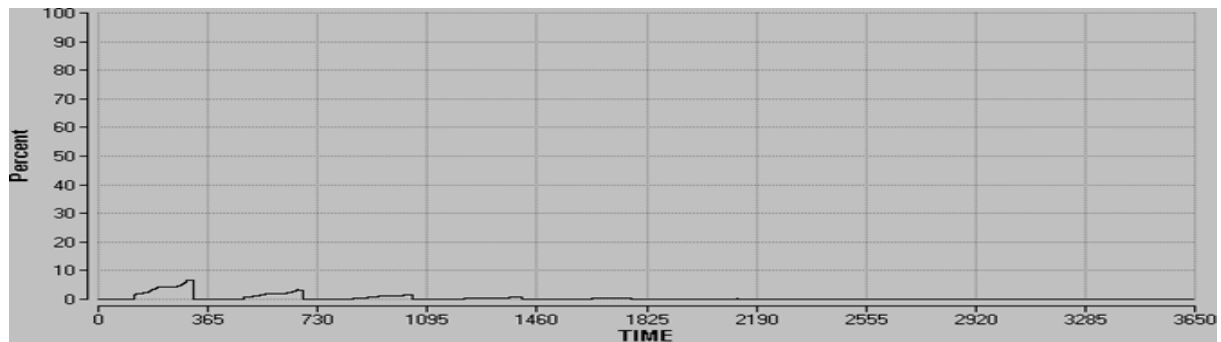
Figuur 3.6

Standaard situatie als in 3.3 bij 30 cm. De tijd is in dagen, percent geeft de maat van bedekking weer van een willekeurige vierkante meter in rivier de Vecht



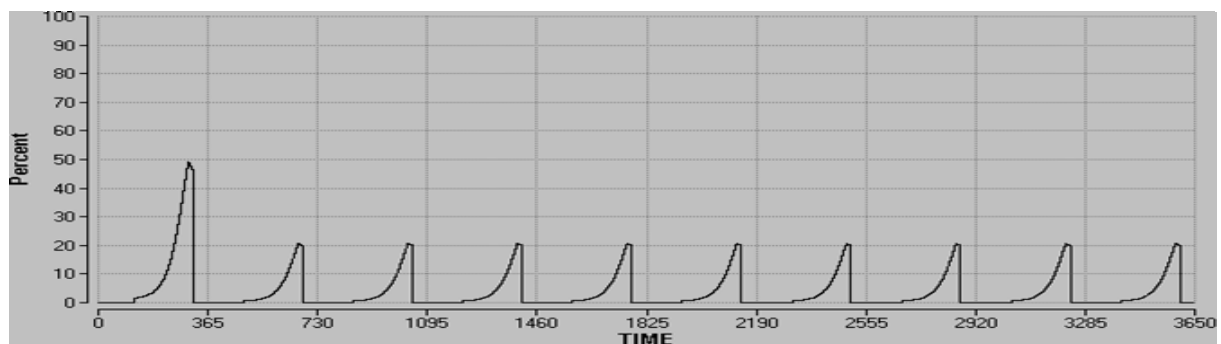
Figuur 3.7

Schade door vraat van vogels bij 30 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



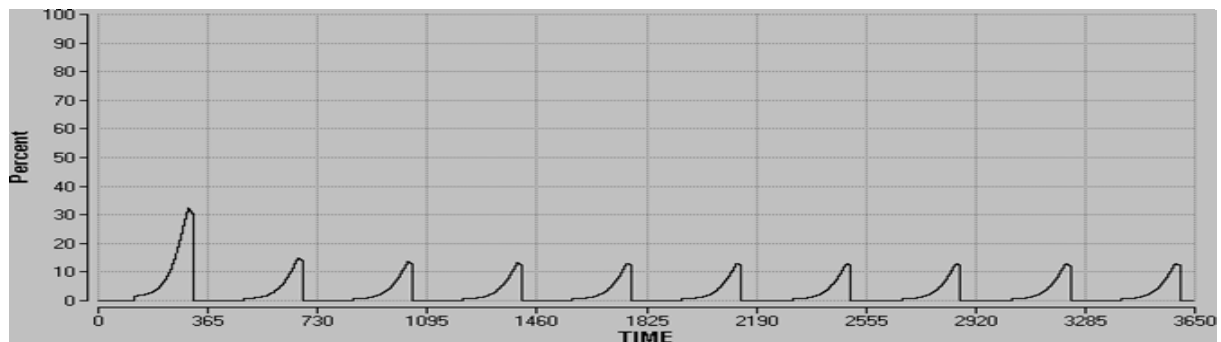
Figuur 3.8

Lichtconcurrentie bij 30 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.9

Golfschade bij 30 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.10

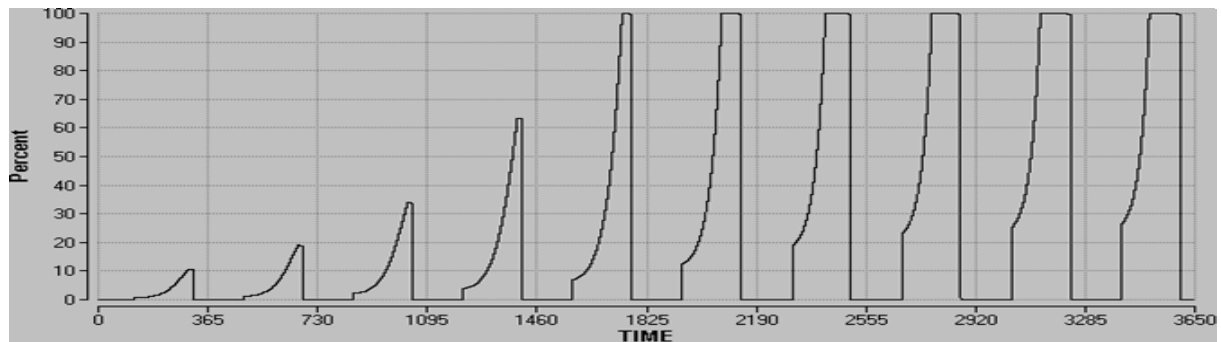
Golfschade en vraat door vogels bij 30 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

beschrijving resultaten

Vraat door vogels heeft een vertragend effect op de mate van bedekking. Lichtconcurrentie zorgt er bij een diepte van 30 cm al voor dat er amper bedekking optreedt. Golfschade heeft een duidelijk effect bij 30 cm, maar een bedekking van 20 procent wordt nog wel gehaald. Wordt deze golfschade gecombineerd met vraat dan wordt de bedekking niet hoger dan 10 procent.

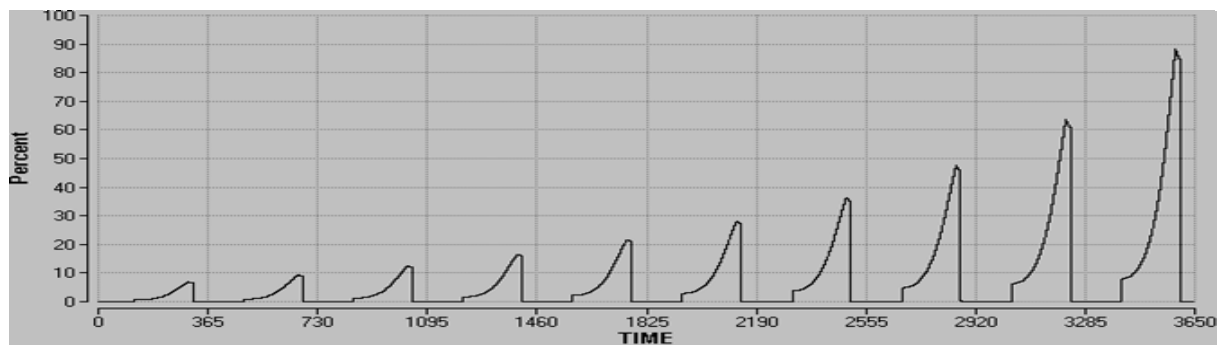
3.6 scenario : diepte 80 cm

Hieronder zijn de resultaten zichtbaar op 80 cm waarbij telkens elke lokale parameters worden veranderd.



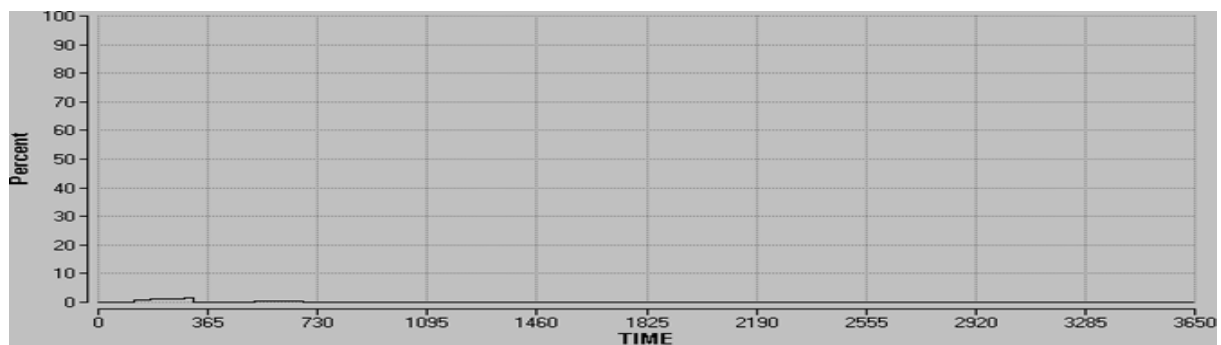
Figuur 3.11

Standaard situatie als in 3.3 bij 80 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



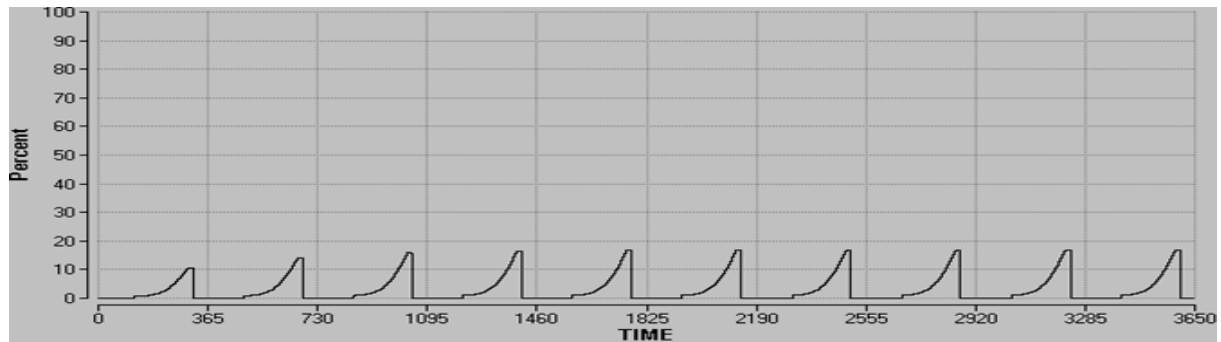
Figuur 3.12

Schade door vraat van vogels bij 30 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen).



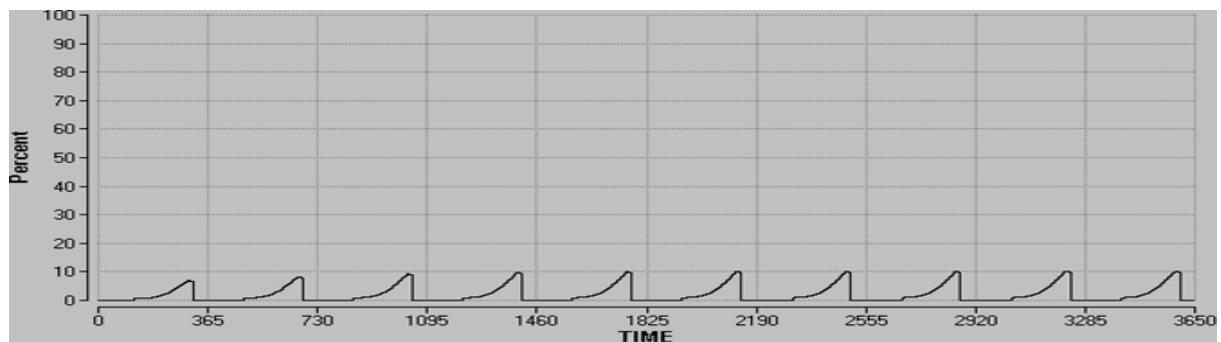
Figuur 3.13

Lichtconcurrentie bij 80 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.14

Golfschade bij 80 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.15

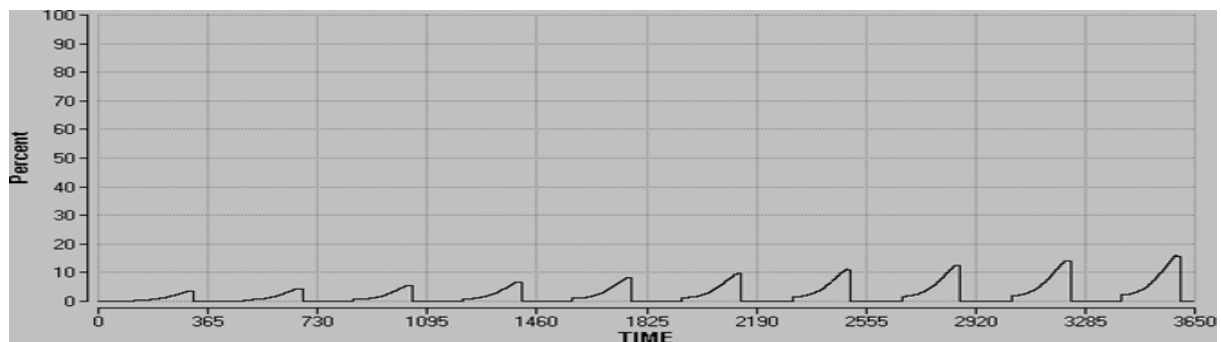
Golfschade en vraat door vogels bij 80 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

beschrijving resultaten

Bij 80 cm diepte zorgt vraat ervoor dat er pas vijf jaar later een maximale groei bereikt wordt. Lichtconcurrentie zorgt er snel voor dat er totaal geen bedekking mogelijk is. Golfschade zorgt ervoor dat er maar 18 procent bedekking mogelijk is. Als er ook nog vraat optreedt, komt de bedekking niet boven de 10 procent uit.

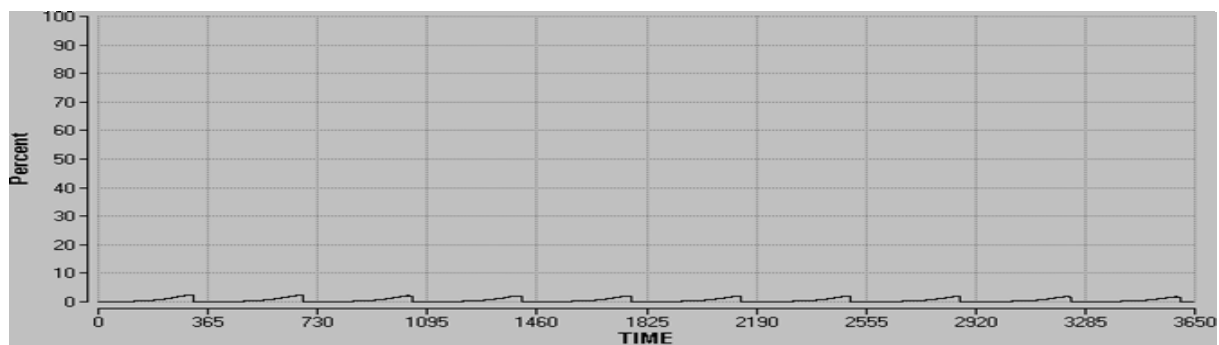
3.7 scenario : diepte 130 cm

Hieronder zijn de resultaten zichtbaar op 130 cm waarbij telkens elke lokale parameters worden veranderd.



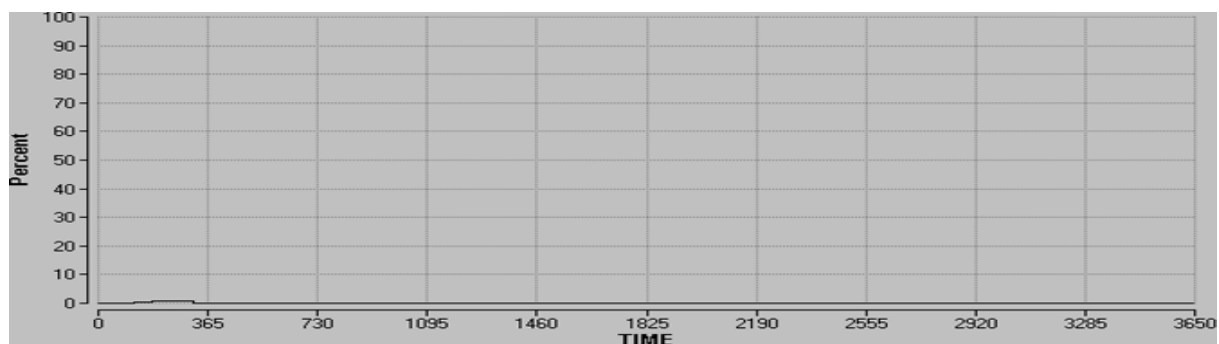
Figuur 3.16

Standaard situatie als in 3.3 bij 130 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



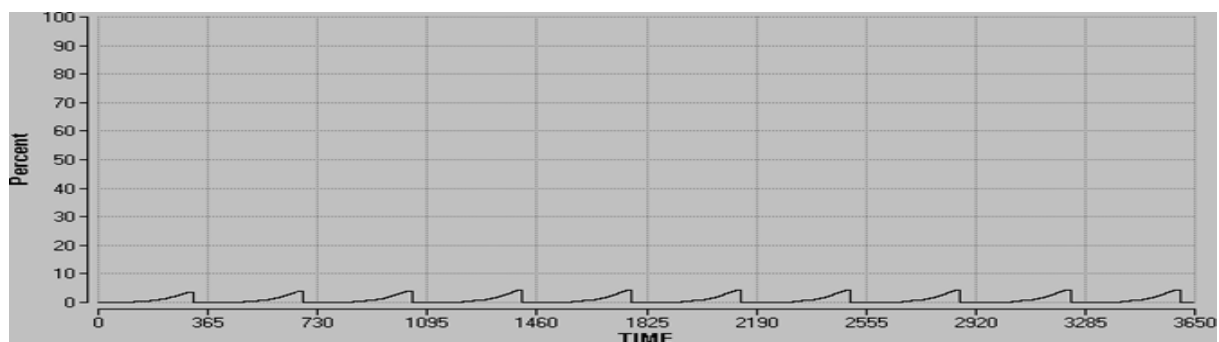
Figuur 3.17

Schade door vraat van vogels bij 130 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



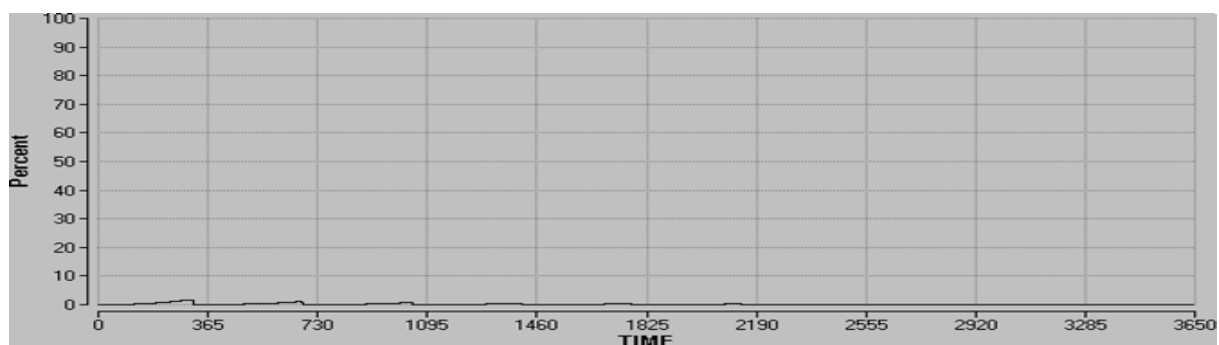
Figuur 3.18

Lichtconcurrentie bij 130 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.19

Golfschade bij 130 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)



Figuur 3.20

Golfschade en vraat door vogels bij 130 cm. Percentage bedekking (%) uitgezet tegen de tijd (dagen)

beschrijving resultaten

Doordat bij een ideaal scenario bij 130 cm nog amper bedekking optreedt, is met enkele negatieve effecten niet veel meer bedekking te verwachten. Dit komt duidelijk naar voren bij de grafieken. Bij golfschade is nog een beetje bedekking te zien. Ook bij vraat van vogels is er een lichte bedekking. Maar als deze twee gecombineerd worden is er geen bedekking mogelijk.

Discussie

4.1 model

Dit rapport is het werk van zes maanden onderzoek. Binnen dit tijdsbestek is maar geringe tijd weggelegd om een model te bouwen, maar nog belangrijker, te onderbouwen. De onderbouwing is gestoeld op de literatuurstudie. Alleen de doelsoort, *Potamogeton pectinatus*, bleek in voldoende mate onderzocht te zijn. Om het model te vergelijken met soortgelijke onderzoeken is helaas niet mogelijk. Tijdens de literatuurstudie is geen ander model naar boven gekomen met dezelfde doelen. Enkele vergelijkingen uit eerder modelwerk zijn wel verwerkt in dit model en hun betrouwbaarheid wordt verderop besproken.

4.2 betrouwbaarheid

4.2.1 proeven in de Vecht

In de loop van het onderzoek bleek al snel dat er te weinig locale data aanwezig was. Dit was een bevestiging voor de opdrachtgever om proeven uit te gaan voeren in rivier de Vecht met betrekking tot ondergedoken waterplanten. AGV heeft op twee verschillende locaties in de Vecht waterplanten uitgezet. Het betreft per locatie een veld van twee bij vier meter, dat afgezet is met gaas en een ernaast liggend even groot veld dat niet is afgedekt. Begin juni 2004 zijn 20 waterplanten per veld uitgezet. Voor de uitzetting zijn verschillende plantensoorten gebruikt (Smalle waterpest, Schedefonteinkruid en Grof hoornblad). In augustus heeft een inventarisatie plaatsgevonden van de doelsoorten. Bij deze inventarisatie zijn bij het afgedekte veld volop waterplanten aangetroffen. In de eerste locatie is voornamelijk Schedefonteinkruid aanwezig. Bij de tweede locatie zijn door het mindere zicht de soorten lastiger te onderscheiden. Bij het niet afgedekte veld zijn geen ondergedoken waterplanten aangetroffen.

De gevonden resultaten ondersteunen het model op een zeer belangrijk punt: ondergedoken waterplanten kunnen onder de huidige omstandigheden groeien in de rivier de Vecht. Deze groei is afhankelijk van de locale parameters. Duidelijk is ook dat door de afdekking met gaas de negatieve locale parameters worden geremd. Door het gaas is vraat door vogels niet mogelijk en is het een extra barrière voor golven. Uit het model komt ook naar voren dat vogelvraat en golfschade niet een dergelijk groot effect hebben als de proeven aantonen. Dit kan verklaard worden door het volgende: in het model start de biomassa productie begin april. Dit is twee maanden eerder dan bij de proefopstelling. Een langere periode

voor de ondergedoken waterplanten om te settelen zorgt voor een grotere kans op overleving. Het gaas zorgt er ook voor dat er geen vissen bij de jonge planten kunnen komen. Deze locale parameter is nog niet meegenomen in het model.

Deze veldproeven onderstrepen nog een keer dat groei van ondergedoken waterplanten goed mogelijk is in de Vecht als de juiste omstandigheden worden gecreëerd.

4.2.2 model instellingen

De keuze om de tijdstap op een uur te zetten werkte goed in het model. Vele metingen met betrekking tot biomassa productie zijn in deze tijdstappen uitgevoerd.

4.2.3 biomassa dichtheid in m^3

In dit gedeelte van de modelcode wordt er gebruik gemaakt van het "limit" commando. Dit commando geeft aan dat de betreffende waarde niet meer mag worden dan het "limit" aangeeft. De hoogte van de plant mag dan ook niet meer worden dan de diepte van de locatie. Hierbij is geen rekening gehouden met groei boven water van een doelsoort. Bij groei boven water kan er, in sporadische gevallen, seksuele voorplanting optreden. Dit kan weer bijdragen tot verspreiding van de doelsoorten naar andere gebieden. Deze verspreiding was geen onderdeel voor dit onderzoek. Daarom is groei van de doelsoorten boven water niet verwerkt in het model.

4.2.4 lichtintensiteit boven en onder water

De waardes van de chlorofylgehalten zijn afkomstig uit de Vecht. De metingen zijn in verschillende maanden over meerdere jaren uitgevoerd. Uit de metingen kwamen duidelijk drie verschillende regio's naar voren: zuid, midden en noord. Met behulp van de trial & error methode is er een groeicurve gemaakt voor deze drie regio's in de rivier de Vecht. De metingen zijn dus betrouwbaar maar geven alleen een grove scheiding van de rivier.

De lichtintensiteit onder water wordt berekend volgens de formules in artikel van Herb en Stefan [Herb and Stefan, 2003]. De orde grootte van de waardes komen overeen met lichtmetingen in Nederlandse wateren. De lichtcompetitie is verwerkt als een alles-of-niets competitie. Als competitie zijn waterplanten beschouwd die snel naar boven groeien en op het oppervlakte biomassa vormen. Deze biomassa, vaak in de vorm van grote uitgestrekte bladeren, vangt al het licht weg voor de ondergedoken planten. Als voorbeeld is Gele plomp te noemen die veelvuldig voorkomt in de rivier de Vecht. Voor deze vorm van competitie is het model betrouwbaar. Competitie tussen ondergedoken waterplanten en in het bijzonder tussen de verschillende doelsoorten is niet verwerkt in het model.

4.2.5 groei biomassa

De groei van biomassa is een belangrijk gedeelte van het model. Goede metingen van de biomassa productie onder verschillende lichtomstandigheden waren lastig te vinden. De gebruikte waardes komen dan ook uit één onderzoek. Deze waardes worden niet ondersteund door andere literatuurbronnen. Wel is de orde van grootte van de biomassa productie gelijk aan de resultaten in van Vierssen [1994]. In deze sectie wordt ook gebruik gemaakt van het commando "limit". Het commando zorgt er hier voor dat de maximale biomassa per vierkante meter niet overschreden wordt. Mocht er wel meer biomassa geproduceerd worden dan verdwijnt deze biomassa. Het idee hierachter is dat bij groei van biomassa in de praktijk, de ondergedoken waterplanten niet keurig in een vierkante meter groeien. Er is groei naar alle

kanten mogelijk. Aangezien het model geen verspreidingmodel is, is er geen rekening gehouden met invoer van vegetatieve delen en/of biomassa vanuit aangrenzende gebieden. De overtollige biomassa “verdwijnt” uit de locatie.

In deze sectie vinden we ook de schade door kou, vraat en golven. De schade door kou zorgt ervoor dat er geen enkele bovengrondse biomassa overleeft. Hierdoor is het voortbestaan van de doelsoort geheel afhankelijk van de ondergrondse tubers die de winter overleven. In een gebied waar er weinig druk is op de vegetatie met daarbij een zachte winter kan ook bovengrondse biomassa bijdragen aan het voortbestaan van de doelsoort.

Vraat aan onze doelsoort door vogels is alleen in Engeland onderzocht [Perrow et. al., 1993]. Hieruit kwam duidelijk naar voren dat een vogelkolonie voornamelijk aan het einde van het seizoen een druk legt op de onderwatervegetatie. In het begin van het jaar, wanneer groei cruciaal is met weinig biomassa, is de druk nog laag. In het artikel is alleen een gemiddelde vraat genoemd, welke dan ook gebruikt is in het model. Doordat in de winter vele mensen rond de Vecht de vogels bijvoederen is er grote kans dat de lokale druk groter is. Verder onderzoek, het liefst lokaal, moet uitwijzen welke druk een vogelstand legt op ondergedoken waterplanten en in welke mate deze druk verspreid is over het jaar.

Informatie over de pleziervaart en de gevolgen voor ondergedoken waterplanten is niet beschikbaar. Er is wel enig onderzoek gedaan naar de gevolgen van golfslag in het algemeen op de groei van ondergedoken waterplanten. Hierbij is rekening gehouden dat in de diepere gedeeltes golven minder invloed hebben. De schade is het grootst in de ondiepere gedeeltes. Schade door overvarende boten is ook beperkt tot het bovenste gedeelte van het water.

4.2.6 tuberproductie

De tuberproductie formules komen uit van Vierssen [1994]. De voorwaardes om tubers te laten groeien zijn alleen aangepast. Er moet een minimale hoeveelheid licht aanwezig zijn voor de productie van tubers. Onder deze lichtdrempel gebruikt de plant de energie voor overleving. Ook moet de biomassa productie positief uitvallen.

4.3 toepasbaarheid

Het model is makkelijk op andere plekken in Nederland te gebruiken. De volgende parameters zijn locatie specifiek:

Tabel 4. 1

Overzicht parameter die locatie-specifiek zijn.

daylengthmin	Minimale duur van een dag
daylengthmax	Maximale duur van een dag
T_w	Watertemperatuur
chlorophyl	Chlorofylgehalte
K_wt	Lichtafname in water per meter
stratification tubers	Effect van stratificatie op de tubers
wavedamage	Schade veroorzaakt door golven
birddamage	Schade veroorzaakt door vraat van vogels

Ook de aanpassing voor andere doelsoorten vergt weinig tijd als de juiste data aanwezig zijn. De volgende parameters zijn soortspecifiek:

Tabel 4.2

Overzicht parameters die soortspecifiek zijn.

max_biomass	Maximale biomassa dichtheid per vierkante meter (g)
max_density	Maximale dichtheid per vierkante meter(..)
K_m	Halfwaardetijd bij eigen beschaduwing
maxphoto	De maximale fotosynthese, nog wel afhankelijk van de temperatuur
K_ps	Waarde waarbij de helft van de maximale fotosynthese wordt gehaald
level	Onder deze waarde geen fotosynthese mogelijk
productionperiod	Periode waarin er productie plaats vindt
mortality	Sterftecijfer
tempfactor	De temperatuur factor waar de maximale fotosynthese van afhangt
lightfactor	De licht factor waar de maximale fotosynthese van af hangt
stratification tubers	Effect van stratificatie op de tubers
wavedamage	Schade veroorzaakt door golven
birddamage	Schade veroorzaakt door vraat van vogels
tubers_daily	dagelijkse productie tubers door bovengrondse biomassa
Max_tuber_weight	Maximale gewicht van 1 tuber

Het model is aangepast aan de doelsoort *Potamogeton pectinatus*, en kan geschikt gemaakt worden voor andere doelsoorten. Het model geeft hierdoor een algemeen beeld van de effecten van locale parameters op ondergedoken waterplanten. Het model is te gebruiken in Nederland en is niet specifiek voor de Vecht.

De aanbevelingen die gedaan zijn gelden alleen voor de rivier de Vecht en niet voor andere gebieden in Nederland of in het buitenland. Bij de aanbeveling in hoofdstuk 5 zijn, naast het model, ook andere specifieke plaatselijke gegevens zijn meegenomen.

4.4 uitbreiding

Het model heeft zeker nog enkele uitbreidingen nodig:

1. Frequentie van het bootverkeer. In de Vecht vindt veelvuldig gemotoriseerde pleziervaart plaats.
2. Bedekking met algen. De planten worden bedekt met algen waardoor er minder licht de planten kan bereiken dan nu het geval is in het model.
3. Uitbreiding voor meerdere doelsoorten. Het doel van het restauratieplan is om meerdere ondergedoken waterplanten terug te krijgen in de Vecht. Bij de andere doelsoorten is verspreiding van vegetatieve delen naar verwachting een groot probleem. De effecten van de locale parameters daarentegen kunnen voor grote verschillen zorgen.

Naast dit model is een verspreidingsmodel ook interessant. Een verspreidingsmodel kan een goed beeld geven van welke plekken geschikt zijn voor de uitzetting van vegetatieve delen.

Conclusie en aanbevelingen

5.1 conclusie

De rivier de Vecht is geschikt voor ondergedoken waterplanten. De groei is alleen wel gebonden aan bepaalde regio's. Maar momenteel vinden we over de gehele Vecht veel minder ondergedoken waterplanten dan je zou verwachten op basis van de uitgevoerde maatregelen.

Doordat ontkieming en groei wel plaats vinden ligt de problematiek bij een beperkte verspreiding van zaden en vegetatieve delen. De rivier de Vecht heeft op dit moment geen interne bronnen waaruit een populatie ondergedoken waterplanten zich verder kan ontwikkelen. Aanvoer vanuit externe bronnen wordt op verschillende momenten geremd. In de polders zelf is verspreiding lastig door het vaak vertakkende waternet. De ligging van de polders ten opzichten van de rivier, één a twee meter lager, zorgt voor een duidelijke fysieke barrière. Mocht de aanvoer vanuit externe bronnen de rivier bereiken dan vormt bij de natuurvriendelijke oevers de palenrij met gevlochten twijgen voor een tweede fysieke barrière. De veronderstelling dat de Vecht goed gevoed wordt vanuit het IJmeer en de omliggende polders is zeker twijfelachtig. Een duidelijke inventarisatie van de verspreidingsmogelijkheden en hun doeltreffendheid is belangrijk.

Uit de resultaten van het model komt naar voren dat bij een diepte van 1,50 meter of meer er onder de huidige omstandigheden geen ondergedoken waterplanten kunnen groeien. Dit wordt veroorzaakt doordat te weinig licht de bodem kan bereiken. Bij dieptes kleiner dan 1,50 meter is door het model aangetoond dat groei van ondergedoken waterplanten in de Vecht mogelijk is.

In het zuiden is de groei van ondergedoken waterplanten het meest gemakkelijk te bevorderen omdat hier de chlorofylgehaltes het laagst zijn. Hierdoor kunnen de natuurvriendelijke oevers in zijn geheel benut worden. Bij 1,30 meter diepte bereikt in het zuiden van de Vecht meer licht de bodem dan in de noordelijke regio's. Op deze diepte zijn ondergedoken waterplanten ook meer beschermd tegen golfslag.

Lichtconcurrentie zorgt ervoor dat er geen ondergedoken waterplanten voorkomen. Vooral drijvende waterplanten vangen veel licht weg met hun bladeren. Deze planten groeien ook snel naar het oppervlak, waardoor ondergedoken waterplanten geen tijd krijgen om zich te vestigen.

De chlorofylgehalten in de Vecht zijn over de hele breedte lager dan de landelijke norm. Dit wil nog niet aangeven dat het chlorofyl gehalte geen belangrijke rol speelt bij de groei van ondergedoken waterplanten. Duidelijk blijkt uit het model dat in de regio met de laagste chlorofyl concentratie de het bedekkingspercentage beduidend toeneemt.

5.2 deelvragen

Met behulp van het model zijn de meeste deelvragen te beantwoorden. Voor enkele vragen zijn er nog geen antwoorden te vinden door gebrek aan data.

Waar zijn mogelijke zaadbronnen in de rivier de Vecht?

In paragraaf 2.2 wordt er gesproken over de drie belangrijke voorwaarden voor het voorkomen van ondergedoken waterplanten in de rivier de Vecht. Dit zijn verspreiding, ontkieming en overleving. Uit de literatuur over de Vecht blijkt dat ontkieming in de Vecht goed mogelijk is. De resultaten van het model laten zien dat overleving van ondergedoken waterplanten mogelijk is in de ondiepere gedeeltes van de Vecht. Op dit moment vinden we echter geen ondergedoken waterplanten in de rivier de Vecht. De conclusie is dan ook dat er geen grote zaadbronnen voor ondergedoken waterplanten aanwezig zijn in de Vecht.

Welke verspreidingsmechanismen hebben deze zaadbronnen?

Binnen deze stage was het helaas niet meer mogelijk om een verspreidingsmodel te maken voor vegetatieve delen. Omdat er geen zaadbronnen aanwezig zijn in de rivier de Vecht moet de rivier zijn vegetatieve delen van buitenaf krijgen. Deze verspreiding is al lastig doordat het poldergebied er omheen bochtig is. Ook liggen de poldergebieden twee meter lager dan de rivier zelf. De rivier wordt kunstmatig hoog gehouden door gemalen. Dit is een fysieke barrière voor de verspreiding van vegetatieve delen waar nog weinig over bekend is.

Waar zijn goede vestigingsplaatsen voor zaden in de Vecht?

De aangelegde natuurvriendelijke oevers zijn goede vestigingsplekken. Ze zijn ondiep, houden golfslag tegen en hebben een schone bodem. In het zuiden van de Vecht is het chlorofyl gehalte laag waardoor hier de beste oevers zijn aan te wijzen. Als enig nadeel zorgt de afbakening er wel voor dat er minder vegetatieve delen de oeverzone kunnen bereiken.

Wat zijn de (fysische) ontkiemingsvoorwaarden voor ondergedoken waterplanten en in het bijzonder de doelsoorten?

Tijdens de literatuurstudie is er geen data gevonden over de ontkiemingsvoorwaarde. Er zijn alleen experimenten aanwezig waarbij het effect van stratificatie gemeten is. Bij een kouperiode van vier graden gedurende een maand verdubbelt de kans op ontkieming bij *Potamogeton pectinatus*. Uit proeven blijkt ook dat het sediment van de rivier de Vecht geschikt is voor ontkieming van ondergedoken waterplanten. Er is in de literatuurstudie geen data gevonden aan welke voorwaarde er voldaan moet worden voor ontkieming maar er is dus wel ontkieming mogelijk in de rivier de Vecht.

Welke omstandigheden hebben invloed op de kieming en beginnende groei van ondergedoken waterplanten?

Er is geen data voor ontkieming beschikbaar; voor de groei is licht onontbeerlijk. Daarnaast hebben de locale parameters invloed op de groei. Duidelijk is uit de resultaten dat binnen dit model vraat, golfslag en stratificatie allemaal een rol spelen bij de groei van ondergedoken waterplanten.

Wat is de huidige situatie in de Vecht met betrekking tot de fysisch (-chemische) parameters genoemd in bovenstaande vragen?

Er was binnen dit onderzoek te weinig tijd om een inventarisatie te maken van de locale parameter van de heel de rivier de Vecht. Binnen het model kunnen deze parameters naar eigen inzicht veranderd worden om zo een algemeen beeld te krijgen van de situatie.

5.3 aanbevelingen

Vanuit het model en de daarbij horende conclusies volgen enkele aanbevelingen aan de opdrachtgever. Door deze aanbevelingen toe te passen in het beleid rond de rivier de Vecht wordt de terugkeer van de ondergedoken waterplanten gestimuleerd.

1. Verbeter de verspreiding van vegetatieve delen in de Vecht.

Om dit moment zijn er geen interne zaadbronnen aanwezig in rivier de Vecht. De toevoer vanuit externe bronnen gebeurt in zeer beperkte mate. Het aanleggen van broedkamers, die kunnen dienen als startbron voor vegetatieve delen, is zeker aan te bevelen. Deze broedkamers kunnen het beste in het zuiden gebouwd worden en beschermd worden van golfslag en vraat. Ook is het belangrijk om andere soorten dan de doelsoorten te weren van deze plekken om lichtconcurrentie te voorkomen. Een andere oplossing is om materiaal uit omliggende poldersloten in de rivier te "storten". Hierbij dienen de omliggende polders als broedkamer. Wel kunnen andere soorten dan makkelijk meeliften.

Om een natuurlijke vorm van verspreiding mogelijk te maken is een onderzoek naar de verschillende verspreidingsmogelijkheden en hun doeltreffendheid een noodzaak. Er moet gekeken worden naar de effectiviteit van de externe bronnen en naar de opzet van de natuurvriendelijke oevers. Door de huidige constructie zijn de oevers nauwelijks toegankelijk voor vegetatieve delen en zaden.

2. Verbeter de waterkwaliteit.

Een verbetering van de waterkwaliteit zorgt voor meer licht onder water. Het verschil tussen het zuiden van de rivier en het noorden qua chlorofylgehalte is duidelijk. Een lage concentratie van chlorofyl over de hele rivier is zeer goed voor ondergedoken waterplanten. Nader onderzoek naar de effecten van waterplanten op de helderheid van het rivier water is ook nuttig. Vaak worden waterplanten in deze context gebruikt in watermanagement.

3. Verder onderzoek naar de effecten van locale parameters op de groei van ondergedoken waterplanten.

Een indirecte maatregel is de verbetering van het model. De gebruikte data komen voornamelijk uit onderzoek in Europa. Betere regio gebonden waarnemingen zullen het model beter betrouwbaar maken. Ook data van meerdere doelsoorten en hun onderlinge relatie moet onderzocht worden.

5.4 slotconclusie

Door de proeven die afgelopen jaar door AGV zijn uitgevoerd blijkt wel degelijk dat ondergedoken waterplanten kunnen groeien in rivier de Vecht. Deze conclusie wordt door het onderzoek in dit rapport onderbouwd. Uit de proeven komt eveneens naar voren dat de groei van ondergedoken waterplanten wordt geremd door lokale omstandigheden die ook aanwezig zijn in het model. Deze conclusie wordt door dit onderzoek onderbouwd.

Het onderzoek dat gedaan is voor Hoogheemraadschap AGV geeft een goed en betrouwbaar beeld van de huidige situatie voor ondergedoken waterplanten in de Vecht. De aanbevelingen die gedaan zijn tijdens het onderzoek zijn al ten dele uitgevoerd. De eerste aanbeveling, het uitzetten van vegetatieve delen in de rivier de Vecht, is de belangrijkste. Deze aanbeveling is ook zeer makkelijk toe te passen. Door de verspreiding van ondergedoken waterplanten op deze manier te bevorderen moet binnen een aantal jaren een positief effect te zien zijn en komt het restauratieplan voor de Vecht weer een stukje dichterbij zijn implementatie.

Literatuurlijst

AGV, Hoogheemraadschap (1996-2003)

Metingen op diverse locaties in rivier de Vecht, Hoogheemraadschap AGV, Hilversum.

Beltman, B. (2005)

Ongepubliceerde data, Disciplinarygroep Landschapsecologie, Faculteit Biologie, Utrecht.

Berg, M. S. van den (2003)

A Statistical model predicting the occurrence and dynamics of submerged macrophytes in shallow lakes in the Netherlands, *HydroBiologica* 2003: 611 - 623.

Bie, M. van der (1989)

De Oevers van de Vecht. Inventarisatie van morfologie en vegetatie, Disciplinarygroep Milieukunde, Faculteit Biologie, Utrecht.

Carr, G. M., H.C. Duthie and W.D. Taylor (1997)

Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth, *Aquatic Botany* 59: 195-215.

During, R. and W. H. Schreurs (1991)

De natuurlijke historie van de utrechtse-noordhollandse Vecht, Instituut voor Ruimtelijke organisatie TNO, Delft.

Herb, W. R. and H. G. Stefan (2003)

Integral growth of submerged macrophytes in varying light regimes, *Ecological modelling* 168: 77-100.

Muensch, W.C. (1936)

The Germination of seeds of *Potamogeton*, *Annals of Botany* 1936 (October): 805 - 821.

Nes, E. H. van, M. Scheffer, M.S. van den Berg and H. Coops (2003)

Charisma: a spatial explicit simulation model of submerged macrophytes, *Ecological modelling* 159: 103 - 116.

Perrow, R.M., J.H. Schutten, J.R. Howes, T. Holzer, F.J. Madgwick and A.D. Jowitt (1997)

Interactions between coot (*Fulica atra*) and submerged macrophytes: the role of birds in the restoration process, *Hydrobiologia* 342/343: 241-255.

Pilon, J. (2002)

Fennel Pondweed: a world citizen. Geographic variation in life-cycle characteristics of the clonal water plant *Potamogeton pectinatus* L., The Netherlands Institute of Ecology, Nieuwersluis.

Pot, R. (2001)

Verslag van veldbezoek op 22 juni 2001 en advies over vervolging van de monitoring, AGV, Hilversum.

RIZA (1999)

Stoneworts: valuable for water management, RIZA, Lelystad.

Rooy, P. van (1996)

Restauratieplan Vecht 1996 -2015, DHV Facilities BV, Hilversum.

Vermaat, J.E. (1993)

Factors limiting the distribution of submerged waterplants in the lowland River Vecht (The Netherlands), *Freshwater Biology* 30: 147-157.

Vierssen, W. van, M.J.M. Hootsman and J. Vermaat (1994)

Lake Veluwe, a Macrophyte-dominated System under Eutrophication Stress, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.

Wijk, R.J. van (1988)

Ecological Studies on *Potamogeton pectinatus* L. III. Reproductive strategies and germination ecology, *Aquatic Botany* (33): 271-299.

Bijlage 1

Berekening biomassa productie

Omrekening fotosynthese

uit [Pilon, 2002]	49,3	ug O ₂	g DW	min	
	35,6	ug O ₂	g DW	min	
	38	ug O ₂	g DW	min	
	27,8	ug O ₂	g DW	min	
Gemiddeld	37,675	ug O ₂	g DW	min	
omrekenen	37,675	ug O ₂	g DW	min	
	33,154	ug O ₂	g AFDW	min	
	3,315E-05	g O ₂	g AFDW	min	
	2,719E-05	g	g	min	
	0,0016	g	g	hour	
	0,0391	g	g	day	netto
Omreken parameters	0,88	g DW	=	1	g AFDW
	0,82	g AFDW	=	1	g O ₂

Bijlage 2

parameter overzicht

Parameter	Beschrijving	Waarde	Eenheid	Referentie
Sectie 1 : modelinstellingen				
starttime	De starttijd van het model	0 jaar		modelmaker
stoptime	De stoptijd van het model	10 jaar		modelmaker
DT	De grootte van de de tijdstap	1/24 dag		modelmaker
Sectie 2 : Biomassa dichtheid				
Max_biomass	maximale biomassa dichtheid per vierkante meter	480 g		[Herb and Stefan 2003]
Max_density	maximale dichtheid per vierkante meter	300 stuks		[Herb and Stefan 2003]
Depth	Diepte van het water	0-6 m		Input
Stem_weight_m	gewicht van plant per meter	480/300 g		modelmaker
percent	Percentage bedekking per vierkante meter	Formule %		modelmaker
Height	Hoogte van de biomassa per vierkante meter (m)	Formule m		modelmaker
Limit Height	Bepaald het limiet voor Height	Depth m		modelmaker
Sectie 3 : Lichtintensiteit boven water				
Daylengthmin	Minimale duur van een dag	7,75 uur		[Vierssen, et al. 1994]
Daylengthmax	Maximale duur van een dag	16,75 uur		[Vierssen, et al. 1994]
daydegrees	Lengte van een dag in graden	Formule graden		[Vierssen, et al. 1994]
Daylength	Lengte van een dag	Formule uur		[Vierssen, et al. 1994]
DayPAR	Dagelijkse hoeveelheid straling	Formule umol d-1 m-		[Vierssen, et al. 1994]
I_s	Bestraling op het aardoppervlak	Formule umol s-1 m-1		[Vierssen, et al. 1994]
Sectie 4 : doorzicht water en Chlorophyll-gehalte				
T_w	Watertemperatuur	formule graden		[Geider, et al. 1998]
off_on_chlorophyll	Schakelaar voor chlorophyll concentratie	1 / 1,5 / 2 mg/l		Input
Visibility	Extra parameter om slider mogelijk te maken	0-6 m		Input
secchidepth	Mate voor zicht	Visibility m		modelmaker
limit secchidepth	Limiet voor de secchidepth	secchidepth m		modelmaker
growthratechl	Groeicurve voor het chlorophyllgehalte	formule mg/ml		[Geider, et al. 1998]
chlorophyll	Chlorophyllgehalte	formule mg/ml		[Geider, et al. 1998]
K_wt	Lichtafname in water per meter	Formule m-1		[RIZA 1999]

Parameter	Beschrijving	Waarde	Eenheid	Referentie
Sectie 5 : lichtintensiteit onder water				
K_m	Halfwaardetijd bij eigen beschaduwing	0.02	fractie	[Herb and Stefan 2003]
r	Fractie van het licht wat reflecteerd door het water	0.087	fractie	[Herb and Stefan 2003]
I_w	Bestraling onder het wateroppervlak	Formule	umol s-1 m-1	[Herb and Stefan 2003]
I_m	Bestraling op de top van de plant	Formule	umol s-1 m-1	[Herb and Stefan 2003]
I_d	Bestraling op de bodem	Formule	umol s-1 m-1	[Herb and Stefan 2003]
Meanlight	Gemiddeld bestraling plant	Formule	umol s-1 m-1	[Herb and Stefan 2003]

Sectie 6: groei biomassa

d/dt (biomass)		formule	gram	modelmaker
Startbiomass	start hoeveelheid biomassa aan het begin van de productieperiode in jaar 1	0.1-100	gram	input
init biomass	Starthoeveelheid voor de biomassa op t=0 in jaar 1	0	gram	modelmaker
limit biomass	Limiet voor de hoeveelheid biomassa	formule	gram	modelmaker
stratification tubers	Effect van stratificatie op de tubers	1/2	nvt	[Wijk 1989]
maxphoto	De maximale fotosynthese, nog wel afhankelijk van de temperatuur	0.039	gram g-1 d-1	[Pilon 2002]
limit maxphoto	Limiet voor de maximale fotosynthese	=>0	Limiet	modelmaker
tempfactor	De temperatuur factor waar de maximale fotosynthese van af hangt	formule	fractie	[pilon 2002]
lightfactor	De licht factor waar de maximale fotosynthese van af hangt	formule	fractie	[Nes, et al. 2003]
limit lightfactor	Limiet voor de lichtfactor	0	fractie	modelmaker
K_ps	Waarde waarbij de helft van de maximale fotosynthese wordt gehaald	52	umol s-1 m-1	[Nes, et al. 2003]
level	Onder deze waarde geen fotosynthese mogelijk	10	umol s-1 m-1	[Nes, et al. 2003]
growthfactor	Maximale productie die mogelijk is per tijdseenheid	formule	gram g-1 d-1	modelmaker
beginbiomass_switch	Schakelaar voor het uitkomen van de start hoeveelheid biomassa	0/1	nvt	modelmaker
productionperiod	Periode waarin er productie plaats vindt	120-300	dagen	modelmaker
d/dt (Productionstart)	Teller voor de productieperiode	formule	dagen	modelmaker
d/dt (Productionstop)	Teller voor de productieperiode	formule	dagen	modelmaker
init Productionstart	Start tijd voor de productie in jaar 1	120	dagen	[Vierssen, et al. 1994]
init Productionstop	Stop tijd voor de productie in jaar 1	300	dagen	[Vierssen, et al. 1994]
pulse_productionstart	Pulse voor de teller d/dt (Productionstart)	(365,680,365)	dagen	modelmaker
pulse_productionstop	Pulse voor de teller d/dt (Productionstop)	(365,680,365)	dagen	modelmaker
deadfactor	Factor waar alle sterfte in samen valt	formule	fractie	modelmaker
respirationrate	respiratie snelheid	0	fractie	modelmaker
mortality	sterftecijfer	0,008	fractie	[Vierssen, et al. 1994]

Sectie 6b/c/d/ : golfschade, kou schade, vraat schade

wavedamage	Schade veroorzaakt door golven	formule	fractie	[Nes, et al. 2003]
off_on_wavedamage	Schakelaar voor aanwezigheid golfschade	1/0	nvt	input
max_wavedamage	Maximale schade per tijdstap veroorzaakt door golven	0.1	fractie	modelmaker
k_damage	Halfwaarde voor schade door golven	0.15	fractie	[Nes, et al. 2003]
colddamage	Schade veroorzaakt door kou	formule	fractie	modelmaker
d/dt (colddamagestart)	Teller voor de kou schade	formule	dagen	modelmaker
d/dt (colddamagestop)	Teller voor de kou schade	formule	dagen	modelmaker
init colddamagestart	Starttijd voor de kou schade in jaar 1	315	dagen	modelmaker
init colddamagestop	Stoptijd voor de kou schade in jaar 2	316	dagen	modelmaker
pulse_colddamagestart	Pulse voor de teller d/dt (colddamagestart)	(365,680,365)	dagen	modelmaker
pulse_colddamagestop	Pulse voor de teller d/dt (colddamagestop)	(365,680,365)	dagen	modelmaker
birddamage	Schade veroorzaakt door vraat van vogels	0.06	fractie	[Perrow, et al. 1997]
off_on_birddamage	Schakelaar voor aanwezigheid vogelschade	0/1	nvt	modelmaker

Parameter	Beschrijving	Waarde	Eenheid	Referentie
Sectie 7 : groei tubers				
d/dt (tubers)	groei van tubers	formule	gram	modelmaker
tubers_daily	dagelijkse productie tubers door bovengrondse biomassa	formule	gram	modelmaker
tuber_growthswitch	voorwaarde schakelaar voor groei van tubers	0/1	nvt	modelmaker
Fractiontubers	fractie bovengrondse biomassa voor dagelijkse tuber productie	0.05		[Vierssen, et al. 1994]
limit tubers_daily	Limiet bovengrens tubers_daily	formule	gram	[Vierssen, et al. 1994]
limit tubers	Limiet ondergrens d/dt (tubers)	=>0	gram	[Vierssen, et al. 1994]
Max_tuber_weight	Maximale gewicht van 1 tuber	0.055	gram	[Vierssen, et al. 1994]
tubers_switch	Schakelaar voor het uitkomen van de tubers	0/1	nvt	modelmaker
d/dt (tubers_start)	Teller voor het uitkomen van de tubers	formule	dagen	modelmaker
d/dt (tubers_stop)	Teller voor het uitkomen van de tubers	formule	dagen	modelmaker
init tubers_start	Starttijd voor het uitkomen van de tubers	119	dagen	modelmaker
init tubers_stop	Stoptijd voor het uitkomen van de tubers	119	dagen	modelmaker
pulse_tubers_start	Pulse voor de teller d/dt (tubers_start)	(365,464,365)	dagen	modelmaker
pulse_tubers_stop	Pulse voor de teller d/dt (tubers_stop)	(365,464,365)	dagen	modelmaker
init tubers	Starthoeveelheid voor d/dt (tubers)	0	gram	modelmaker

Bijlage 3

modelcode

{Sectie 1 : modelinstellingen}

```
STARTTIME = 0  
STOPTIME=10*365  
DT = 1/24
```

{Sectie 2 : biomassa dichtheid}

```
Max_biomass = 480  
Max_density = 300  
Depth = 4  
stem_weight_m = Max_Biomass/Max_density  
Percent = (biomass/(stem_Weight_m*depth)/Max_density)*100  
Height = depth*(Percent/100)  
Limit Height <= Depth
```

{Sectie 3 : lichtintensiteit boven water}

```
daylenghtmin=7.75  
daylenghtmax=16.75  
daydegrees=time * (360/365)  
Daylength=(daylenghtmax+ daylenghtmin)/2-((daylenghtmax-  
daylenghtmin)/2*cos(2*PI*((daydegrees+10)/360)))  
DayPAR = 4.66*1E7*(0.5-0.4*cos(2*PI*((Daydegrees+10)/360)))  
I_s=DayPAR/(3600*Daylength)
```

{Sectie 4 : doorzicht water en Chlorophyl-gehalte}

```
T_w= 15+10*COS((2*PI*((time)-233))/365)  
off_on_chlorophyl=1  
Visibility=4  
secchidepth = Visibility  
limit secchidepth <= Depth  
growthrateChl= log10(2)*0.0851*(1.066^(T_w))  
chlorophyl=off_on_chlorophyl*160* growthrateChl  
K_wt = 0.016*chlorophyl+1.3/(secchidepth^0.5)
```

{Sectie 5 : lichtintensiteit onder water}

```

K_m = 0.02
r = 0.087
I_w = I_s*(1-r)
I_m = (I_w)*EXP(-K_wt*(Depth-Height))
I_d =I_w*EXP(-K_wt*Depth-(K_m*Biomass))
meanlight=((I_d)+(I_m))/2*(1-lightcompetition)

    lightcompetition = off_on_lightcompetition*cos(((2*PI)*( (time)/365)-2.3 ))
    off_on_lightcompetition =0
    limit lightcompetition >=0

```

{Sectie 6 : groei biomassa}

```

d/dt (biomass) =
+ (productionperiod*biomass*growthfactor-deadfactor*biomass*dt)
- (tubers_daily)
+ (tubers_switch*(tubers*(1/DT))*(stratification_tubers*0.4))
+ (beginbiomass_switch*startbiomass*(0.5/DT))
- (colddamage*biomass)
- (Birddamage*biomass*dt)

```

```

    Startbiomass=10
    init biomass =0
    limit biomass >=0
    limit biomass <=Max_biomass*Depth
    stratification_tubers=1

```

growthfactor=productionperiod*maxphoto*lightfactor

```

    maxphoto= 0.039*tempfactor
    limit maxphoto >=0
    tempfactor=1.4*T_w^3/(T_w^3+22^3)

```

```

    lightfactor=((meanlight-level)/((K_ps-level)+(meanlight-level)))
    limit lightfactor >= 0
    K_ps=52
    level = 15

```

{tijdplus start}

```

productionperiod=IF time>productionstart AND time<productionstop THEN 1 ELSE 0
    d/dt (Productionstart)=+pulse_productionstart
    d/dt (Productionstop)=+pulse_productionstop
    init Productionstart=120
    init Productionstop=300
    pulse_productionstart=pulse(365,485,365)
    pulse_productionstop=pulse(365,485,365)

```

{tijdplus stop}

deadfactor=respirationrate+mortality+wavedamage

```

    respirationrate=0
    mortality=0.008

```

{Sectie 6b : golf schade }

```

        wavedamage =off_on_wavedamage* Max_wavedamage* (K_damage
^4)/(K_damage^4+(depth-height)^4)
        off_on_wavedamage =1
        max_wavedamage=0.10
        k_damage=0.15

```

{ Sectie 6c : kou schade }

```

{tijdplus start}
colddamage=IF time>colddamagelstart AND time<colddamagelstop THEN 10 ELSE 0
d/dt (colddamagelstart)=+pulse_colddamagelstart
d/dt (colddamagelstop)=+pulse_colddamagelstop
init colddamagelstart=315
init colddamagelstop=316
pulse_colddamagelstart=pulse(365,680,365)
pulse_colddamagelstop=pulse(365,680,365)
{tijdplus stop}

```

{Sectie 6d : vraat schade}

```

birddamage=If biomass>0 and off_on_birddamage=1 then 0.06 else 0
off_on_birddamage=0

```

{Sectie 7 : Groei tubers}

```

d/dt ( tubers) = +(productionperiod*tuber_growthswitch*0.08*tubers*dt)+tubers_daily-
(tubers_switch*tubers*1/DT)

```

```

tubers_daily=(productionperiod*tuber_growthswitch*fractiontubers*biomass*dt)
limit tubers_daily <=root_biomass*100*Max_tuber_weight

```

```

tuber_growthswitch=IF growthfactor-deadfactor>=0 AND meanlight>24 THEN 1 ELSE 0
limit tubers >=0

```

```

Fractiontubers=0.05
Max_tuber_weight=0.035
root_biomass=0.055*biomass

```

```

Beginbiomass_switch= IF time>119-DT AND time<119+DT THEN 1 ELSE 0

```

```

{tijdplus start}
tubers_switch= IF time>tubers_start-DT AND time<tubers_stop+DT THEN 1 ELSE 0
d/dt (tubers_start)=+pulse_tubers_start
d/dt (tubers_stop)=+pulse_tubers_stop
init tubers_stop=119
init tubers_start=119
pulse_tubers_start=pulse(365,464,365)
pulse_tubers_stop=pulse(365,464,365)
init tubers=0
{tijdplus stop}

```

Wetenschapswinkel Biologie, Padualaan 8 / Z 402, 3584 CH Utrecht, (030) 253 73 63

