

Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos

**2. Modelmatige benadering
van de kroosontwikkeling en
beoordeling van beheersbaarheid**

Ontstaan en bestrijden van deklagen van Kroos



Modelmatige benadering
van de kroosontwikkeling en
beoordeling van beheersbaarheid

92-10

STOWA
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 8090
3503 RB Utrecht
tel. 030-321199
fax 030-321766

Publikaties en het publikatieoverzicht
kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Verpakkers BV
Postbus 281
2700 AC Zoetermeer
tel. 079-611188
fax 079-613927
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en
een duidelijk afleveradres.

INHOUD

BLZ.

Inhoud I

Ten geleide II

DEELRAPPORT 1: HOOFDRAPPORT

DEELRAPPORT 2: AARD EN OMVANG VAN DE KROOSPROBLEMATIEK IN NEDERLAND

DEELRAPPORT 3: VELDONDERZOEK NAAR GROEI EN VERSPREIDING VAN KROOS

DEELRAPPORT 4: MODELBESCHRIJVING

Begrippenlijst

Ten geleide

Kroosdekken veroorzaken in een aanzienlijk deel van het Nederlandse oppervlaktewater een verslechtering van de waterkwaliteit, enerzijds omdat deze vegetatie lichttoevoer en zuurstofdiffusie naar het water sterk remt en anderzijds omdat de afbraak van afgestorven kroos continu zuurstof verbruikt.

Maatregelen tegen kroosdekken en het ontstaan ervan waren derhalve gewenst, doch tot dusver ontbrak voldoende inzicht in de mechanismen achter de kroosdekvorming om met voldoende zekerheid maatregelen voor te kunnen stellen.

Om inzicht te krijgen in het totale proces van groei en verspreiding van kroos en in mogelijke aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen is de literatuur bijeengebracht over eigenschappen, groeifactoren en migratie van kroos, en is aandacht geschonken aan beheersmaatregelen, veldonderzoek en de ontwikkeling van een model voor groei en verspreiding van kroos.

Het literatuuronderzoek is apart gepubliceerd als STOWA-rapport 1992 - 09. Het thans voorliggende rapport gaat in op de omvang van de Nederlandse kroosproblematiek, de groei en verspreiding van kroos in poldersloten op basis van veldonderzoek en mathematische modellering, en op potentiële beheersmaatregelen.

Het onderzoek werd in 1990, op advies van de Onderzoekadviescommissie (OAC), door het bestuur van de STOWA opgedragen aan BKH Adviesbureau (projectteam bestaande uit drs. J. Blok, ir. J.N.J. Buijs en drs. P.L.G.M. Heslen) en namens de STOWA begeleid door een commissie bestaande uit drs. J. van der Does (voorzitter), mw. drs. G. Bolier, drs. J.H. Boeijen en drs. M. Schreijer.

Utrecht, december 1992

De directeur van de STOWA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

- De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit:
prof.ir. J.H. Kop (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en ir. J. Boschloo, dr. ir. J.A. Don, ir. R. den Engelse, ir. A.E. van Giffen, prof.dr.ir. J.J. Heijnen, dr.ir. P.J. Huiswaard, ir. C. Kerstens, dr. S.P. Klapwijk, ir. K.F. de Korte, ir. J.M.J. Leenen, ir. A.B. van Luin, ir. G. Martijnse, ir. Tj. Meijer en ir. M. Tiessens (leden).

DEELRAPPORT 1

HOOFRAPPORT

INHOUD VAN DEELRAPPORT 1

BLZ.

| | | |
|-------|---|----|
| | Inhoud | I |
| 1 | SAMENVATTING | 1 |
| 2 | INLEIDING | 4 |
| 2.1 | Achtergrond | 4 |
| 2.2 | Doelstelling en aanpak van de studie | 5 |
| 3 | SYSTEEMANALYSE EN MODELONTWIKKELING | 8 |
| 3.1 | Modelmatige aanpak | 8 |
| 3.2 | Deelprocessen | 9 |
| 3.2.1 | <i>zuurstofverbruik door afstervend kroos</i> | 11 |
| 3.3 | Kiemen | 12 |
| 3.4 | Groei en afsterving | 12 |
| 3.4.1 | <i>groeisnelheid</i> | 12 |
| 3.4.2 | <i>nutriënten</i> | 14 |
| 3.4.3 | <i>licht</i> | 15 |
| 3.4.4 | <i>temperatuur</i> | 17 |
| 3.4.5 | <i>afsterving</i> | 18 |
| 3.5 | Migratie | 19 |
| 3.5.1 | <i>wind</i> | 20 |
| 3.5.2 | <i>waterbeweging</i> | 21 |
| 3.5.3 | <i>obstructies en het effect van schoning</i> | 23 |
| 3.6 | Mathematisch model | 23 |
| 3.6.1 | <i>modelformulering</i> | 23 |
| 3.6.2 | <i>parameterkeuze</i> | 24 |
| 3.6.3 | <i>modelvalidatie</i> | 24 |
| 3.6.4 | <i>beperkingen van het model</i> | 28 |
| 4 | IDENTIFICATIE EN BEOORDELING VAN BEHEERSMAATREGELEN | 29 |
| 4.1 | Methodiek voor identificatie van aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen | 29 |
| 4.2 | Kwantificering van de referentiesituaties | 31 |
| 4.2.1 | <i>kiemen</i> | 32 |
| 4.2.2 | <i>groei</i> | 32 |
| 4.2.3 | <i>migratie</i> | 33 |
| 4.3 | Resultaten van de modelberekeningen | 33 |
| 4.4 | Beheersmaatregelen | 35 |
| 4.4.1 | <i>limitatie van de groei</i> | 36 |
| 4.4.2 | <i>reductie van het aantal kiemen</i> | 37 |
| 4.4.3 | <i>beïnvloeding van de migratie</i> | 38 |
| 4.4.4 | <i>verwijderen van kroos</i> | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.5 | <i>Beoordeling van beheersmaatregelen</i> | 40 |
| 4.5 | Waarneming en beoordeling van de groeisnelheid in het veld | 40 |
| 4.6 | Beheerstrategie | 43 |
| 5 | DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 46 |
| 5.1 | Discussie | 46 |
| 5.2 | Conclusies | 47 |
| 5.3 | Aanbevelingen | 48 |
| 6 | LITERATUUR | 50 |

Kroos veroorzaakt in een aanzienlijk deel van het Nederlandse oppervlaktewater een verslechtering van de waterkwaliteit. Kroos is namelijk vaak aanwezig in de vorm van dichte dekken, die het wateroppervlak volledig afsluiten. Hierdoor wordt de zuurstofvoorziening en de lichtinval in het onderstaande water belemmerd. Ook het massaal afsterven van kroosdekken in het najaar, veroorzaakt zuurstofgebrek in het water.

De waterkwaliteitsbeheerders zien zich voor de taak gesteld de vorming van de gesloten krooslagen terug te dringen. Tot dusver ontbrak echter voldoende kennis over de wijze waarop kroosdekken ontstaan, waardoor onzekerheid bestond over de te treffen maatregelen.

Deze studie is gericht op het verkrijgen van inzicht in de ontwikkeling van kroosbedekking op poldersloten, teneinde aanknopingspunten te vinden voor effectieve beheersmaatregelen.

Om een beeld te krijgen van de aard en omvang van het probleem is een enquête gehouden onder de waterbeheerders in Nederland. Hieruit bleek dat kroosproblemen incidenteel in het hele land voorkomen, maar op omvangrijke schaal in Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht, oostelijk Noord-Brabant en het rivierengebied van Gelderland.

Groei en verspreiding van kroos zijn geanalyseerd op basis van een uitgebreid literatuuronderzoek. Met deze kennis is vervolgens een computermodel opgesteld waarmee de ontwikkeling van de biomassa en de ruimtelijke verdeling van een kroospopulatie in een poldersloot wordt gesimuleerd. Aanvoer van kroos uit de rest van de polder naar de poldersloot is niet opgenomen in het model; afvoer van kroos uit de poldersloot wel. Voor nadere studie naar enkele parameters van het computermodel en voor validatie van het model is veldonderzoek verricht.

Het model werd toegepast voor de analyse van aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen. Dit resulteerde in een beoordeling van maatregelen waarvan het resultaat is opgenomen in tabel 1. Op basis van deze beoordeling is een beheerstrategie opgesteld. Het bleek nuttig om hierbij een onderscheid te maken tussen kroosproblemen in de poldersloten en kroosproblemen op de grotere wateren, zoals de boezem. Kroosproblemen in de poldersloten zijn het gevolg van overmatige groei; kroosproblemen in grotere wateren zijn vooral het gevolg van aanvoer van kroos uit poldersloten.

De overmatige groei van kroos in poldersloten blijkt alleen tegengaan te kunnen worden door beperking van de toevoer van nutriënten naar poldersloten. Beleid gericht op beperking van stikstof lijkt in dit verband vaak het meeste perspectief te bieden. Uit veldonderzoek is namelijk gebleken dat tijdens de zomer de stikstofconcentratie in poldersloten vaak zeer laag is. In polders waar het fosfaatgehalte laag zijn kan echter een beleid gericht op fosfaatbeperking beter haalbaar blijken. Analyse van de specifieke situatie is in dit verband noodzakelijk.

| maatregel | score | toelichting |
|--|-------|--|
| <u>brongericht</u> | | |
| beperking van nutriënten | +++ | . heeft prioriteit bij niet-gelimiterde groei |
| <u>effectgericht</u> | | |
| schonen op kroos | ++ | . vooral aantrekkelijk indien het gerealiseerd kan worden door aanpassing van de apparatuur; . mogelijk ook effect door reductie van het aantal kiemen (zie: schonen op kiemen); . verdient nadere uitwerking voor wat betreft methode en tijdstip |
| verwijderen van kroos op gemalen | ++ | . vereist aanpassing van de bestaande voorzieningen |
| uitdiepen van sloten | + | . beperkt effect mogelijk via verlaging van watertemperatuur en bevordering van concurrentie |
| schonen op kiemen | + | . alleen effectief bij gelimiteerde groei; . verdient nader uitwerking voor wat betreft methode en tijdstip; . zie ook: schonen op kroos |
| beperking van toevoer van kiemen uit infectiehaarden | + | . alleen relevant bij gelimiteerde groei als aanvulling op andere maatregelen die kiemen reduceren; . praktische uitwerking hangt af van de lokale situatie |
| slootschonen verschuiven naar de winter | + | . beperkt de afvoer van kroos naar de grotere wateren; . beperkt toepasbaar; . onzekerheid t.a.v. haalbaarheid |
| kroosbalken plaatsen/barrières wegnemen | + | . wenselijkheid is afhankelijk van de situatie |
| verwijderen van kroosdekken op grote wateren | + | . noodmaatregel |

Tabel 1. Beoordeling van maatregelen tegen kroosdekken

- +++ meest gewenste maatregel
- ++ gunstige maatregel
- + ondersteunende gunstige maatregel (op zich zelf onvoldoende)

Zolang beperking van stikstof of fosfaat niet ver genoeg doorgevoerd is, vormt 'effectbestrijding' de enige mogelijke maatregel. Hierbij wordt gedacht aan het zodanig aanpassen van het slootschonen op het eind van de zomer, dat hierbij ook het kroos verwijderd wordt. Zodra de toevoer van stikstof of fosfaat zodanig gereduceerd is dat aanzienlijke groeilimitatie van kroos optreedt, kan een verdere beperking worden bereikt van de door kroos veroorzaakte problemen door de volgende ondersteunende maatregelen:

- reductie van het aantal kiemen (kroospopulatie aan het begin van het groeiseizoen) door aangepaste schoningstechnieken of specifiek schonen op kroos, waarbij ook aandacht besteed wordt aan het voorkomen van de toevoer van kiemen uit de infectiebronnen;
- slootschonen verschuiven naar de winter;
- sloten op diepte houden.

De hierboven genoemde maatregelen tegen overmatige groei van kroos in poldersloten zullen de toevoer vanuit de poldersloten naar de grotere wateren reduceren. Indien blijkt dat dit niet voldoende effectief is, kan de vorming van kroosdekken op de grotere wateren het best beperkt worden door een meer effectieve verwijdering van kroos bij de gemalen. Verder wordt aanbevolen eventuele obstructies te verwijderen uit de hoofdwatgangen, voorzover deze de afvoer van kroos naar de gemalen verhinderen

De hiervoor beschreven strategie is het resultaat van theoretische beschouwingen en modelberekeningen. Aanbevolen wordt om de praktische toepassing nader uit te werken en de haalbaarheid van de voorgestelde maatregelen te onderzoeken.

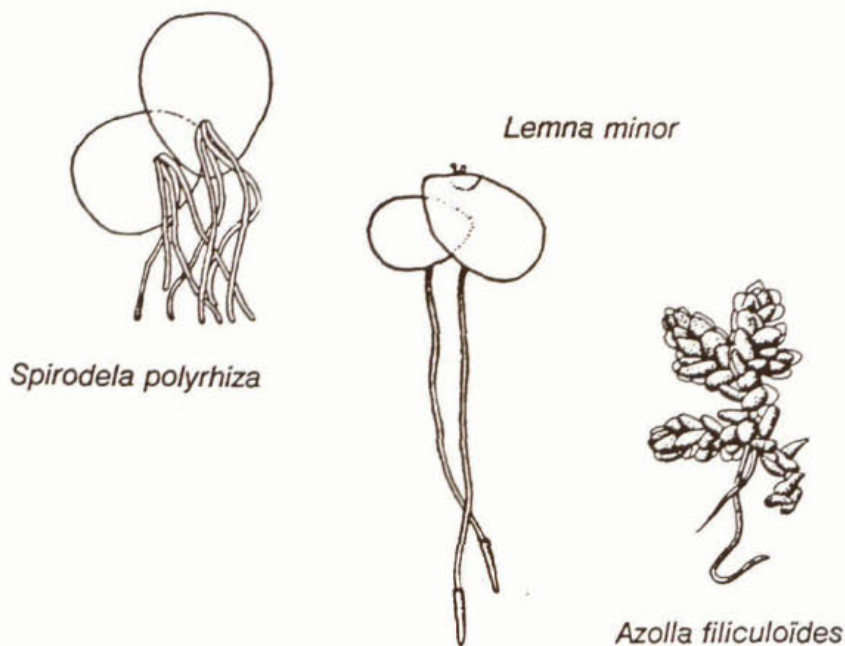
2 INLEIDING

2.1 Achtergrond

Kroos is een verzamelnaam voor twee families van drijvende waterplanten, de Lemnaceae (Eendekroos) en de Azollaceae (Kroosvaren). Algemeen in Nederland voorkomende soorten van deze twee families zijn onder meer *Lemna minor*, *Lemna gibba*, *Spirodela polyrhiza* en *Azolla filiculoides* (zie figuur 1).

Kroos komt vaak voor in de vorm dekken, die met name in de periode mei-oktober worden aangetroffen op ondiep, rustig water met een hoge nutriëntenaanvoer (sloten, vaarten en vijvers). Krooslagen worden in Nederland meestal gedomineerd door één of twee van de bovengenoemde soorten.

De aanwezigheid van een kroosdek veroorzaakt zuurstofgebrek in het water. Enerzijds omdat in het water onder de vegetatie continu zuurstof wordt verbruikt bij de afbraak van afgestorven kroos en anderzijds omdat de zuurstofdiffusie vanuit de atmosfeer naar het water sterke remming ondervindt door het dek. Verder neemt de krooslaag vrijwel al het licht weg in het onderstaande water zodat andere - zuurstofproducerende - waterplanten nauwelijks tot ontwikkeling kunnen komen en sprake is van een soortenarm ecosysteem. Gebrek aan zuurstof vormt een bedreiging voor zuurstofverbruikende organismen in het water, zoals vissen, weekdieren en insecten. Verder kunnen onder zuurstofloze omstandigheden verbindingen ontstaan die kunnen leiden tot stank en negatieve effecten op het plantaardige en dierlijke leven (o.a. sulfides).



Figuur 1. Belangrijke kroossoorten van in Nederland voorkomende kroosdekken¹

Het zuurstofgebrek is vooral acuut in het najaar, wanneer het kroos in korte tijd massaal afsterft. Deze afsterving kan plaatsvinden op de plaats waar het kroos tot ontwikkeling is gekomen, met name in poldersloten (schei- of kavelsloten), of de plaats waar het kroos door verplaatsing terecht is gekomen. In dit laatste geval kan men denken aan kroos dat via het uitslaan van polderwater naar de boezem is getransporteerd.

Ter illustratie van de zuurstofconsumptie door afstervend kroos is op basis van onderzoek in Zuid-Holland² een schatting gemaakt van de BZV-belasting in een poldergebied van 157 km². Tijdens een afsterfperiode van 30 dagen veroorzaken de kroosdekken hier een zuurstofvraag van circa 1000 vervuilingseenheden per km² (1 v.e. = 135 gram O₂.dag⁻¹). De waarde van 1000 v.e. komt overeen met een BZV-belasting van het ongezuiverde rioolwater van een klein dorp. De berekening is gebaseerd op een mineralisatie van 60% van het kroos in 30 dagen.

Afgezien van zuurstofgebrek in het water kan kroos ook verstopping veroorzaken bij pompen en gemalen, wanneer het zich daar in grote hoeveelheid ophoopt. Dit probleem is echter van gering belang.

Uit een enquête onder waterkwaliteitsbeheerders in Nederland blijkt dat de geschetste problemen incidenteel in het hele land voorkomen, maar op omvangrijke schaal in Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht, oostelijk Noord-Brabant en het rivierengebied van Gelderland (deelrapport 2).

2.2 Doelstelling en aanpak van de studie

Ter voorkoming van zuurstofgebrek in het water dient men met behulp van beheersmaatregelen de vorming van kroosdekken zoveel mogelijk te voorkomen. Deze beheersmaatregelen kunnen alleen geformuleerd worden op basis van inzicht in de ontwikkeling van de kroospopulatie.

De studie diende daarom een tweeledig doel:

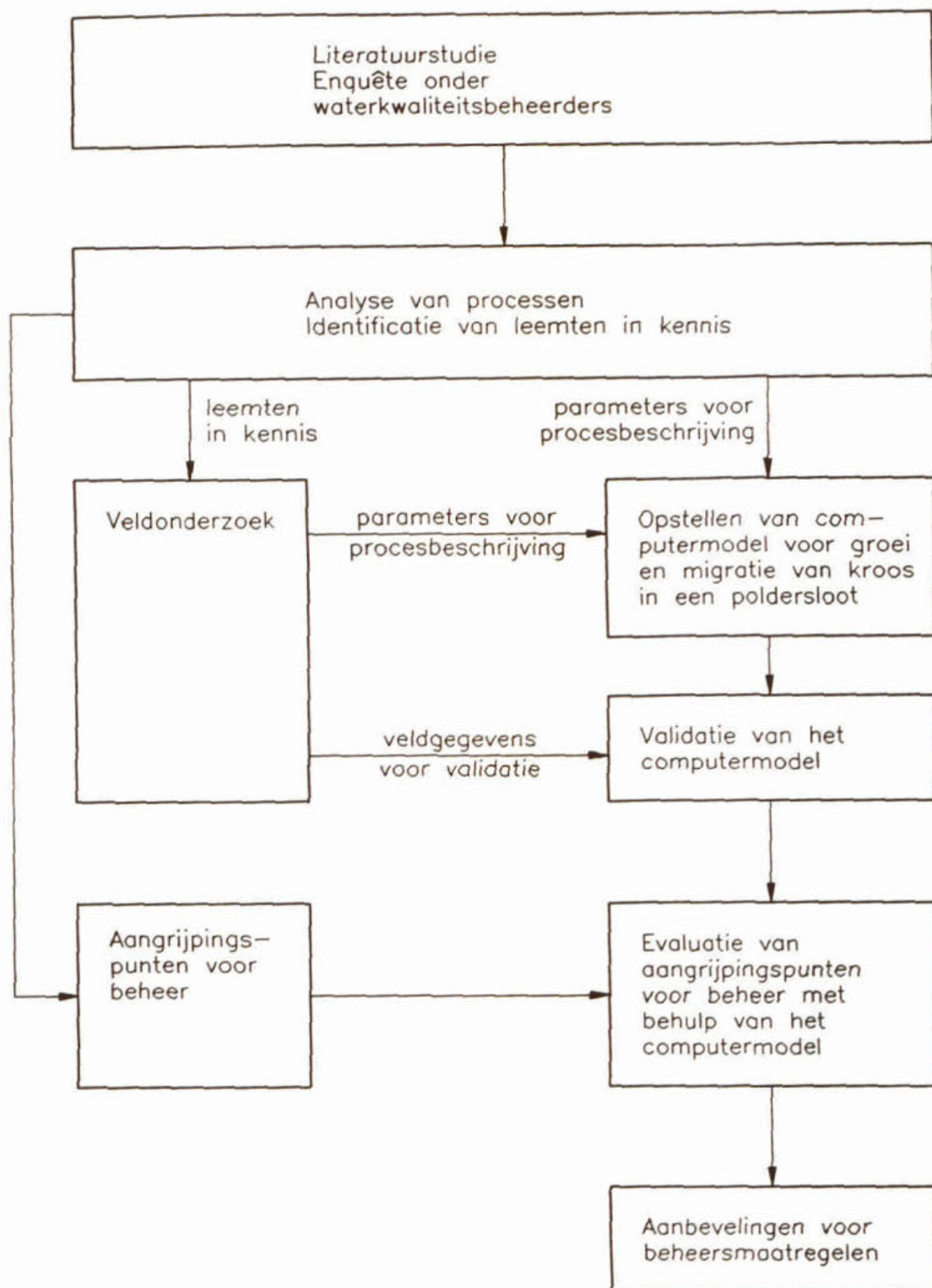
- inzicht krijgen in het proces van groei en verspreiding van kroos, zowel voor wat betreft de fysisch-chemische als biologische factoren.
- aangrijpingspunten in dit proces aangeven voor beheersmaatregelen gericht op beperking van de kroosdekvorming.

De aanpak van de studie is schematisch weergegeven in figuur 2.

Om goed inzicht te krijgen in het proces van groei en verspreiding van kroos is een uitgebreid literatuuronderzoek³ verricht.

Via een enquête onder waterkwaliteitsbeheerders in verschillende regio's van het land is onderzocht of de registratie van het voorkomen van kroos aanknopingspunten biedt voor beheer. Er werd geïnformeerd naar de mate waarin kroos voorkomt, het type water waar kroosdekken worden aangetroffen en de soortensamenstelling van de kroosdekken (deelrapport 2).

De waarnemingen van de waterkwaliteitsbeheerders bleken alleen bruikbaar om een idee te krijgen van de omvang van het probleem in Nederland. Het leggen van relaties tussen - chemische - waterkwaliteit of type water en het voorkomen van kroos was niet mogelijk



Figuur 2. Aanpak van de studie naar aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen tegen de overmatige groei en verspreiding van kroos

omdat bij de observaties geen rekening is gehouden met de migratie van kroos. De waarneming beperkte zich namelijk tot een klein deel van het oppervlaktewater waardoor het bijvoorbeeld kon gebeuren dat geen kroos geregistreerd werd, terwijl het een eind verderop in omvangrijke mate aanwezig was. Eigenlijk zou de aanwezigheid van kroos geregistreerd moeten worden voor de totale waterhuishoudkundige eenheid waarbinnen migratie optreedt.

Na analyse van het probleem en de optredende processen (hoofdstuk 2) op basis van de literatuurstudie naar kroos is gekozen voor een modelmatige aanpak. Voor de simulatie van groei en verspreiding van kroos is daarom een model opgesteld. Dit model is beperkt tot de situatie in een poldersloot, dat wil zeggen schei- of kavelsloot, voor de periode waarin het kroos sterk groeit (lente en zomer).

Het proces van groei en verspreiding van kroos is vrij complex en er komen onderdelen in voor die alleen met hulp van een computer doorgerekend kunnen worden. Als hulpmiddel bij het zoeken naar oplossingsrichtingen voor het kroosprobleem is daarom het model voor groei en verspreiding van kroos opgesteld in de vorm van een computerprogramma. Dit computermodel wordt in het kort beschreven in hoofdstuk 3; een uitgebreide toelichting staat in deelrapport 4.

Over sommige parameters in het model was weinig of geen informatie gevonden in de literatuur, dus was een veldonderzoek noodzakelijk om ze verder te bestuderen. Ook waren gegevens uit het veld nodig voor modelvalidatie, dat wil zeggen het toetsen of de resultaten van de modelberekening overeenkomen met de werkelijke situatie. In het kader van het veldonderzoek werden in twee polders in Zuid-Holland waarnemingen gedaan naar kieming, groei en migratie van kroos. Het verslag van dit veldonderzoek is opgenomen in deelrapport 3.

Nadat op basis van de waarnemingen in het veld één parameter was bepaald, is het model gevalideerd met behulp van gegevens uit het veldonderzoek en de literatuur (hoofdstuk 3). Deze validatie werd uitgevoerd in een andere situatie dan die gebruikt is voor de aanpassing van genoemde parameter. De validatie was beperkt omdat alleen de berekende groei van kroos getoetst kon worden en niet de migratie. In het veld trad namelijk nauwelijks migratie van kroos op vanwege de obstructie die werd veroorzaakt door grote hoeveelheden flab (draadalg) in de sloten. Bruikbare veldinformatie over migratie bleek ook niet beschikbaar in de literatuur.

Met behulp van het model is gezocht naar de beste aangrijpingspunten voor maatregelen (hoofdstuk 4). Hiertoe werd de biomassa in het najaar berekend voor situaties die verschillen in groei, aantal kiemen en migratie. De resultaten van deze berekening zijn gebruikt om mogelijke beheersmaatregelen te beoordelen op hun effectiviteit. Op basis van deze beoordeling is een beslisschema opgesteld waarmee een strategie (hoofddlijnen van maatregelen) geformuleerd kan worden voor de bestrijding van kroosdekken.

Hoofdstuk 5 omvat de discussie en conclusies van de studie. Verder worden er aanbevelingen gedaan voor verdere werkzaamheden.

3 SYSTEEMANALYSE EN MODELONTWIKKELING

In dit hoofdstuk wordt met behulp van gegevens uit de literatuurstudie³ en het veldonderzoek (deelrapport 3) een analyse gegeven van het systeem van groei en verspreiding van kroos. Op basis van de systeemanalyse is een mathematisch model opgesteld voor de ontwikkeling van kroos in een poldersloot.

Een mathematisch model bestaat uit een aantal reken- en beslisregels waarmee het gedrag van een systeem beschreven kan worden. Hierbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen enerzijds de formules die de reken- en beslisregels beschrijven en anderzijds de parameterwaarden in deze formules. Het type probleem bepaalt de formules terwijl de parameterwaarden afhankelijk zijn van het specifieke geval.

In het kader van dit hoofdstuk wordt volstaan met het aangeven van de belangrijkste karakteristieken van het model, het beschrijven van de manier waarop de parameters geschat zijn en het geven van de resultaten van de validatie. Tenslotte wordt ingegaan op de beperkingen van het model. De toepassing van het model komt aan de orde in hoofdstuk 4. Een uitgebreide beschrijving van het model is opgenomen in deelrapport 4.

3.1 Modelmatige aanpak

Bij de modelmatige aanpak is het nuttig een onderscheid te maken tussen de volgende activiteiten: systeemanalyse, modelformulering, parameterkeuze en calibratie, modelvalidatie en modeltoepassing. Deze termen worden hierna gedefinieerd en toegelicht.

De systeemanalyse is een analyse van een systeem met als doel vast te stellen wat de relevante mechanismen zijn voor het op te lossen probleem. Beschrijving en kwantificering van ordegrootten en tijdschalen van processen zijn onderdeel van deze analyse. De analyse resulteert o.a. in een afbakening van de te modelleren processen. De afbakening komt tot uiting in de beperkingen van het model.

De modelformulering is de formulering van de reken- en beslisregels op basis van de systeemanalyse en op basis van numeriek wiskundige analyse. Karakteristiek voor de modelformulering is dat een gecompliceerde realiteit geschematiseerd wordt. In deze studie worden groei en verspreiding van kroos beschreven met behulp van differentiaalvergelijkingen, die alleen op te lossen zijn met behulp van numeriek wiskundige technieken. Daarom wordt voor het uitvoeren van berekeningen gebruik gemaakt van een computer. De modelformulering omvat in dit geval dan ook het maken van het computerprogramma.

Parameterkeuze en calibratie resulteren in een vaststelling van de parameters in het model. De calibratie is een fijnregeling van de parameters welke in eerste instantie bepaald worden uit bijvoorbeeld literatuurgegevens of handmatige berekeningen. Doorgaans wordt een model gecalibreerd door parameterwaarden zodanig te variëren, binnen redelijke grenzen, dat uitkomsten van modelberekeningen zo goed mogelijk corresponderen met de veldwaarnemingen.

In deze studie heeft calibratie van het model voor één of enkele specifieke sloten weinig zin omdat het in deze studie gaat om kroosproblemen in poldersloten in het algemeen. De gebruikte parameters dienen in dit geval representatief te zijn voor poldersloten in het algemeen en niet voor één specifieke sloot. De parameters zijn daarom zoveel mogelijk afgeleid uit de literatuur en er is geen calibratie uitgevoerd.

Modelvalidatie is de toetsing van een model (reken- en beslisregels in combinatie met parameterwaarden) door voor één of meerdere situaties modeluitkomsten te vergelijken met waarnemingen in het werkelijke systeem. Deze situaties mogen niet gebruikt zijn voor de modelcalibratie. De validatie geeft een beeld van de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen. Hiervan kan o.a. gebruik gemaakt worden bij de interpretatie van de resultaten van het model.

De modeltoepassing is het gebruik van een model, in dit geval ten behoeve van de beoordeling van aangrijpingspunten voor beheer.

3.2 Deelprocessen

De ontwikkeling van kroos en de vorming van gesloten kroosdekken is een proces dat drie hoofdcomponenten heeft:

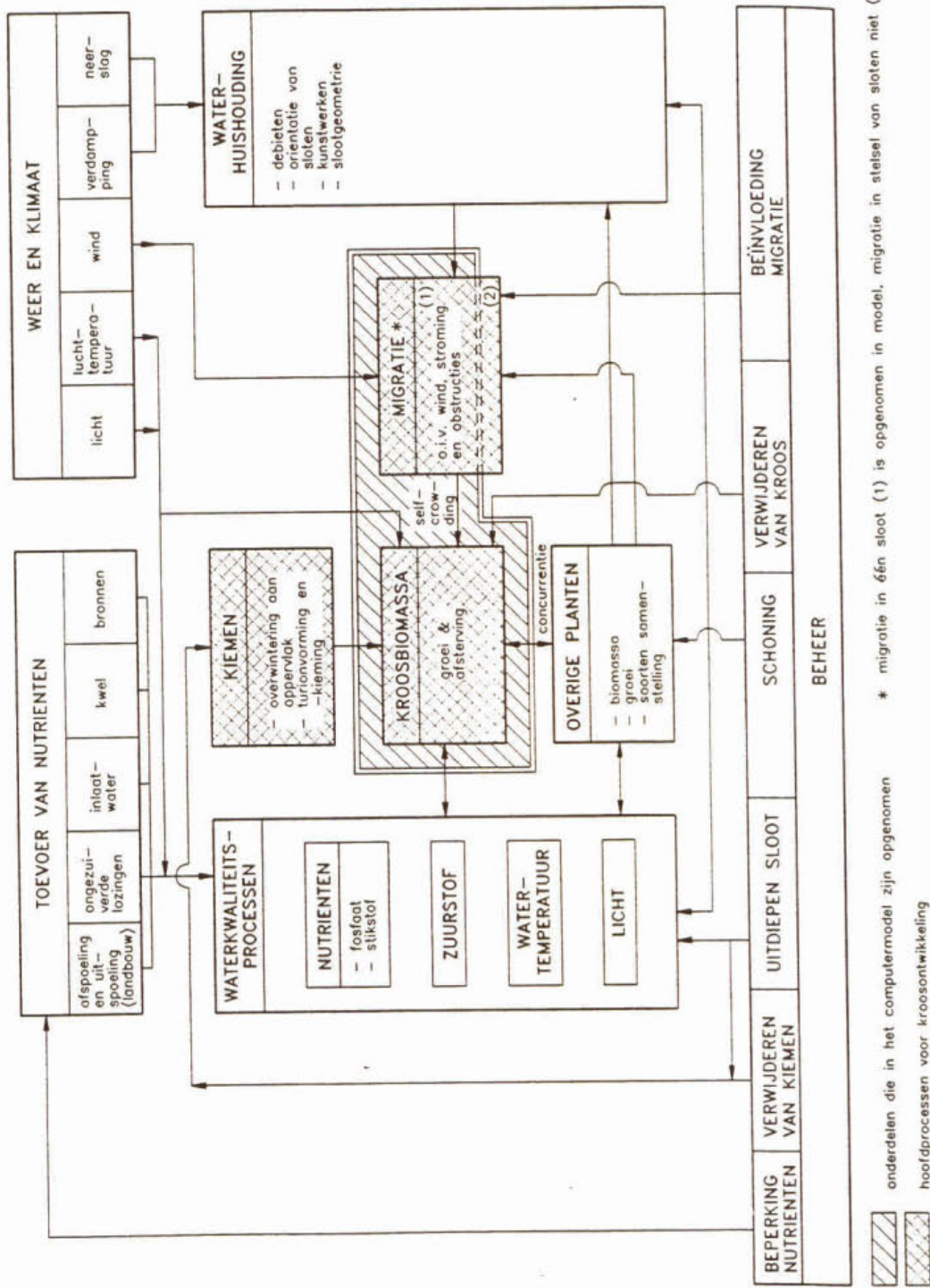
- kieming van turionen en overwintering van fronds: bepalend voor de biomassa die bij de aanvang van het groeiseizoen aanwezig is;
- groei en afsterving van kroos: resulterend in toe- of afname van de biomassa;
- migratie: verplaatsing van kroos door wind en waterstroming, die de ruimtelijke verdeling van kroos beïnvloedt.

De hoofdcomponenten van het proces worden op hun beurt beïnvloed door een aantal factoren (zie figuur 3):

1. weer en klimaat (licht, luchttemperatuur, wind, verdamping, neerslag);
2. de waterhuishouding, welke onder invloed staat van 'weer en klimaat' en 'beheer';
3. de waterkwaliteitsprocessen, die beïnvloed worden door de 'toevoer van nutriënten', 'weer en klimaat', de 'waterhuishouding', het beheer (baggeren) en door kroos en andere planten;
4. de ontwikkeling van overige waterplanten, welke beïnvloed wordt door de 'waterkwaliteitsprocessen' en het 'beheer';
5. beheer en inrichting.

De manier waarop de onder 1 tot en met 4 genoemde factoren invloed uitoefenen op kieming, groei, afsterving en migratie zal in de volgende paragrafen nader worden geanalyseerd. De vier factoren worden op zich ook weer beïnvloed door allerlei processen. Daar is echter geen aandacht aan besteed. Dit houdt in dat processen zoals nutriëntenhuishouding en concurrentie om nutriënten niet nader uitgewerkt worden.

Een van de waterkwaliteitsproblemen die veroorzaakt worden door kroosdekken, namelijk zuurstofgebrek door afsterving, wordt uitgewerkt om de aard en omvang ervan aan te geven (paragraaf 3.2.1).



Figuur 3. Relatie tussen kroosontwikkeling en de factoren die hierop van invloed zijn

Beheer en inrichting kunnen ingrijpen op de kroosontwikkeling door:

- beperking van nutriënten;
- verwijdering van kiemen aan het oppervlak;
- uitdiepen van sloten, waardoor turionen verwijderd worden, concurrentie met andere planten veranderd en de waterkwaliteit wordt beïnvloed (nutriënten, zuurstof, temperatuur)
- schoningsbeheer;
- verwijdering van kroos, waardoor de migratie wordt beïnvloed.

Effecten van beheer worden nader geanalyseerd in het hoofdstuk 4.

3.2.1 zuurstofverbruik door afstervend kroos

Bij het afsterven gebruikt kroos zuurstof. Het zuurstofverbruik is 0,2 g O₂ per g d.s. per 5 dagen, bij een temperatuur van 20°C². Het temperatuureffect wordt bij benadering beschreven met⁴:

$$K_{B,T} = K_{B,20} (1,04)^{T-20} \quad \text{waarin:}$$
$$K_{B,T} = \text{afbraaksnelheid van zuurstofbindend materiaal bij temperatuur T}$$
$$T = \text{temperatuur in } ^\circ\text{C}$$

Op basis hiervan wordt de zuurstofvraag per dag bij 12°C gesteld op 0,03 g per g d.s. Bij een gesloten kroosdek met een biomassa van 30 g d.s..m⁻² ontstaat bij het afsterven een biologisch zuurstof verbruik (BZV) van ongeveer 0,9 g O₂.m⁻².dag⁻¹.

De re-aëratie (mg O₂.m⁻²) kan geschat worden als K_L (C_s-C) waarbij

$$K_L = \text{constante (m.dag}^{-1}\text{);}$$
$$C_s \text{ en } C = \text{zuurstofconcentratie, respectievelijk bij verzadiging en actueel (g.m}^{-3}\text{).}$$

Voor het verzadigingsdeficiet kan een waarde van 5 g O₂.m⁻³ geaccepteerd worden. Bij sloten wordt K_L voornamelijk bepaald door de wind. Als bovengrens kan de K_L genomen worden die in de praktijk is bepaald; voor grote wateroppervlakken geldt⁴:

$$K_L = 0,728 W^{\frac{1}{2}} - 0,317 W + 0,0372 W^2 \quad \text{waarin:}$$

W = windsnelheid

W is gemiddeld 5 m³.s⁻¹ ⁵, waarbij een K_L hoort van 1 m.dag⁻¹. De re-aëratie bedraagt dan 5 g O₂.m⁻². Dit is een orde groter dan wat benodigd is voor de afbraak van afgestorven kroos.

Indien een gesloten kroosdek optreedt, kan de re-aëratie teruglopen tot bijna nul. In zo'n geval en in andere omstandigheden met lage re-aëratie kan wel zuurstofloosheid optreden.

De vergelijking van de biomassa van kroos met de biomassa van andere waterplanten kan tot inzicht leiden in het relatieve belang van kroosbiomassa ten opzichte van de biomassa van andere planten. In de

literatuur⁶ worden voor dominante taxa de volgende drogestofgehaltenes gevonden in een poldersloot:

draadalgen : 378 g.m^{-2}
schedefonteinkruid: 638 g.m^{-2}

Deze biomassa's zijn een orde groter dan de biomassa van een enkelvoudig gesloten kroosdek.

Het voorgaande ondersteunt de conclusie dat de kroosbiomassa vooral een probleem is voor de zuurstofhuishouding indien gesloten kroosdekken ontstaan, hetzij door groei ter plaatse hetzij door migratie.

3.3 Kiemen

Fronds die hebben overwinterd om in het volgende groeiseizoen het begin te kunnen vormen van een nieuwe populatie worden in deze studie 'kiemen' genoemd. Overwintering van fronds kan plaatsvinden aan het wateroppervlak of in de waterbodem.

Overwintering van fronds aan het wateroppervlak geschiedt alleen daar waar stroming en wind niet resulteren in de afvoer van kroos, bijvoorbeeld in doodlopende slooteinden, tussen begroeiing en in hoeken bij duikers en andere kunstwerken. Voor de inactieve fronds die aan het wateroppervlak overwinteren wordt ook wel de term 'rustfronds' gebruikt.

Ter overbrugging van ongunstige perioden, b.v. de winter, kunnen fronds lange tijd verblijven in de waterbodem. Dit bijzonder type frond, dat is aangepast aan het milieu van de waterbodem, wordt turion genoemd. De turionen die zich in het vroege voorjaar uit de bodem naar het wateroppervlak verplaatsen, vormen de kiemen voor de nieuwe kroospopulatie.

Bij het literatuuronderzoek werd onvoldoende kwantitatieve informatie gevonden over de biomassa van kroos dat had overwinterd en het aantal kiemende turionen (zowel in voorjaar als de rest van het groeiseizoen). Daarom werd hiernaar studie verricht tijdens het veldonderzoek.

De in het veld waargenomen biomassa's van kroos in het voorjaar variëren van 0 tot ca. $0,3 \text{ g.m}^{-2}$ (laatstgenoemde komt overeen met één meter volledig bedekt per 100 m sloot). De geobserveerde turionenkíeming ligt in de orde van $0,007 \text{ g.m}^{-2} \text{ dag}^{-1}$, dit is 60 turionen per m^2 per dag. Hieruit volgt, dat bij geringe groeisnelheid en lage aanvangsdichtheid de turionenkíeming van overheersend belang is in de beginfase van een kroospopulatie. Op het relatieve belang van turionenkíeming en de biomassa van overwinterend kroos wordt nader ingegaan in paragraaf 3.4.5.

3.4 Groei en afsterving

3.4.1 *groeisnelheid*

De groeisnelheid is de snelheid waarmee nieuwe biomassa (dN) gevormd wordt per tijdseenheid (dt), gedeeld door de aanwezige biomassa (N).

De groeisnelheid, die specifiek is voor de soort, luidt in formulevorm:

$$\mu = \frac{\left(\frac{dN}{dt}\right)}{(N)} \quad \text{waarin:}$$

$\frac{dN}{dt}$ = de toename in biomassa in g d.s..m⁻².dag⁻¹

μ = groeisnelheid, uitgedrukt in de eenheid dag⁻¹

(een identieke definitie van μ is: $\frac{\ln N_t - \ln N_0}{t}$)

waarbij N_t en N_0 de biomassa is op tijdstip t en nul, uitgedrukt in g d.s..m⁻²; de tijd t wordt uitgedrukt in dagen)

De groeisnelheid hangt overwegend af van beschikbaarheid van nutriënten, temperatuur, licht, concurrentie, self-crowding (limitatie van de groei door ophoping van fronds), en chloridegehalte. Onder laboratoriumomstandigheden kan μ waarden bereiken van maximaal 0,28 dag⁻¹ voor *L. minor*, 0,30 dag⁻¹ voor *L. gibba* en 0,38 dag⁻¹ voor *S. polyrhiza*.

Concurrentie tussen kroos en andere planten kan de vorm hebben van concurrentie om ruimte, licht en nutriënten. Ook kan allelopathie optreden, dat wil zeggen groeiremming door chemische stoffen welke afgescheiden worden door concurrenten. Uit het literatuuronderzoek³ werd geen informatie verkregen over allelopathie of concurrentie om licht.

Bedekking van het wateroppervlak door andere planten betekent dat minder ruimte beschikbaar is voor kroos. Dit leidt ertoe dat eerder self-crowding optreedt. Bij het veldonderzoek bleek een aanzienlijk deel van het oppervlak van een aantal sloten ingenomen te worden door andere planten, met name door draadalgen (flab) en darmwier. In andere sloten was het slootoppervlak bijna uitsluitend bedekt met kroos.

Concurrentie om licht speelt een geringe rol in de poldersloten die tijdens het veldonderzoek werden bestudeerd. De bedekkingsgraad van planten welke boven het wateroppervlak groeien en dus licht kunnen wegnemen is namelijk gering. Rekening houdend met de geringe lichtbehoefte van kroos (paragraaf 3.4.3) wordt geconcludeerd dat concurrentie om licht hier een te verwaarlozen rol speelt.

Allelopathie, de groeiremming van planten door stoffen afkomstig van andere plantensoorten, was geen onderwerp van het veldonderzoek. Vermeldenswaard is echter wel de observatie dat kroos slecht groeit boven het flab dat tot aan het wateroppervlak groeit. Of hier sprake is van allelopathie is onbekend.

Self-crowding is de groeilimitatie welke optreedt indien fronds in meerdere lagen opeengestapeld raken, waardoor een deel van het kroos onder ongunstige groeiomstandigheden terecht komt.

Hoge chloridegehaltenes van het oppervlaktewater leiden tot groeirem-
ming. Bij L. minor treden effecten op vanaf $2120 \text{ mg Cl.l}^{-1}$ en bij S.
polyrhiza vanaf 350 mg Cl.l^{-1} ³.

De invloed van nutriënten, temperatuur en licht op de groei van
kroos kan worden beschreven met de formule:

$$\mu = \mu_s \cdot FT \cdot FL \cdot F_{Nu} \quad \text{waarin:}$$

μ_s = de specifieke groeisnelheid: de (soortafhankelijke)
groeisnelheid bij 25°C en bij optimale voorziening
van licht en nutriënten (dag^{-1});
FT = een correctiefunctie voor temperatuur;
FL = een correctiefunctie voor licht;
F_{Nu} = een correctiefunctie voor nutriënten.

Deze vorm van de vergelijking is een gebruikelijke. Zij is eerder
toegepast voor kroos⁷ en in diverse algenbloei modellen⁸.

3.4.2 nutriënten

Voor de beschrijving van het effect van de concentratie van nutri-
enten op de groeisnelheid wordt gebruik gemaakt van Liebig's princi-
pe. Volgens dit principe bepaalt de factor welke in het minimum is
de groei. Verder wordt ervan uitgegaan dat fosfaat of stikstof
beperkend zijn en dat alle andere noodzakelijke stoffen in voldoende
mate aanwezig zijn. Deze aanname is gebaseerd op onderzoek van de
provincie Zuid-Holland⁹ waaruit blijkt dat er een goede relatie is
tussen fosfaat- en stikstofgehalte enerzijds en het voorkomen van
kroos anderzijds.

Wanneer overigens in dit rapport gesproken wordt over fosfaat, dan
wordt daarmee bedoeld: ortho-fosfaat (reactief fosfaat, direct
opneembaar voor planten).

Liebig's principe kan hier beschreven worden als:

$$F_{Nu} = \text{Min} (F_N, F_P) \quad \text{waarin:}$$

Min = functie waarvan de waarde gelijk is aan de kleinste
waarde van de variabelen tussen haakjes;
F_N = de correctiefunctie voor de invloed van het stikstof-
gehalte op de groei, indien fosfaat niet beperkend
is;
F_P = de correctiefunctie voor de invloed van het fosfaat-
gehalte op de groei, indien stikstof niet beperkend
is.

Bij algen blijkt Liebig's principe een beter resultaat te geven dan
het vermenigvuldigingsprincipe¹⁰ :

$$F_{Nu} = F_N \cdot F_P$$

Aangenomen is dat dit ook het geval is voor kroos.

In de literatuur⁷ wordt ook gebruik gemaakt van groeimodellen voor
kroos, waarbij nutriënten worden opgenomen in een 'intern reser-

voir', terwijl de groei afhankelijk is van de nutriëntvoorraad in het interne reservoir. Dit mechanisme wordt in dit verband van ondergeschikt belang geacht omdat de groei tijdens een volledig groeiseizoen wordt bekeken en niet wordt uitgegaan van kortdurende concentratiepieken.

De correctiefuncties F_N en F_P kunnen bij benadering berekend worden met een Monodvergelijking:

$$F_N = \frac{[N]}{K_N + [N]}$$

$$F_P = \frac{[P]}{K_P + [P]}$$

waarin:

$[N], [P]$ = de concentraties van respectievelijk stikstof (als NO_3^- of NH_4^+) en van ortho-fosfaat, uitgedrukt in respectievelijk mg N.l^{-1} en mg P.l^{-1} ;

K_N, K_P = de halfverzadigingsconstante voor respectievelijk stikstof en fosfaat. De waarden van K_N en K_P zijn gegeven in tabel 2.

| kroossoort | K_P (mg P.l^{-1}) | K_N (mg N.l^{-1}) |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| L. minor | 0,005 | 0,04 |
| L. gibba | 0,015 | 0,07 |
| S. polyrhiza | 0,013 | 0,14 |

Tabel 2. Halfverzadigingsconstanten van verschillende kroossoorten

Uit tabel 2 blijkt dat 50% van de maximale groei optreedt bij stikstofgehalten van 0,04 tot 0,14 mg N.l^{-1} ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) en bij fosfaatgehalten van 0,005 tot 0,013 mg P.l^{-1} . L. minor is blijkbaar beter in staat om bij lage concentraties stikstof te groeien dan L. gibba en S. polyrhiza.

Waarschijnlijk is in een deel van de sloten welke onderzocht zijn bij het veldonderzoek groeilimitatie van kroos opgetreden door stikstofgebrek. De waargenomen groeisnelheden waren namelijk gering en een deel van de gemeten stikstofgehalten lag beneden de detectiegrens.

De concentraties aan nutriënten in het water worden beïnvloed door de aanvoer van nutriënten uit diverse bronnen, processen die in de waterkolom en de waterbodem optreden, alsmede de opname van nutriënten door kroos en andere waterplanten. Deze interacties zijn in grote lijnen in figuur 3 weergegeven.

3.4.3 Licht

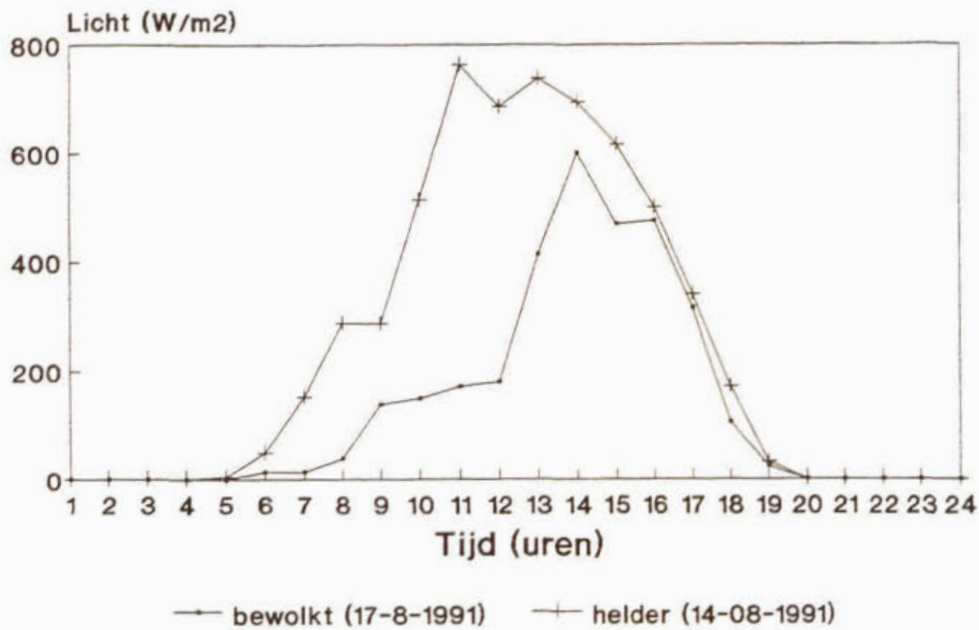
De invloed van licht kan worden beschreven met een Monodvergelijking:

$$FL = \frac{I_z}{(K_1 + I_z)}$$

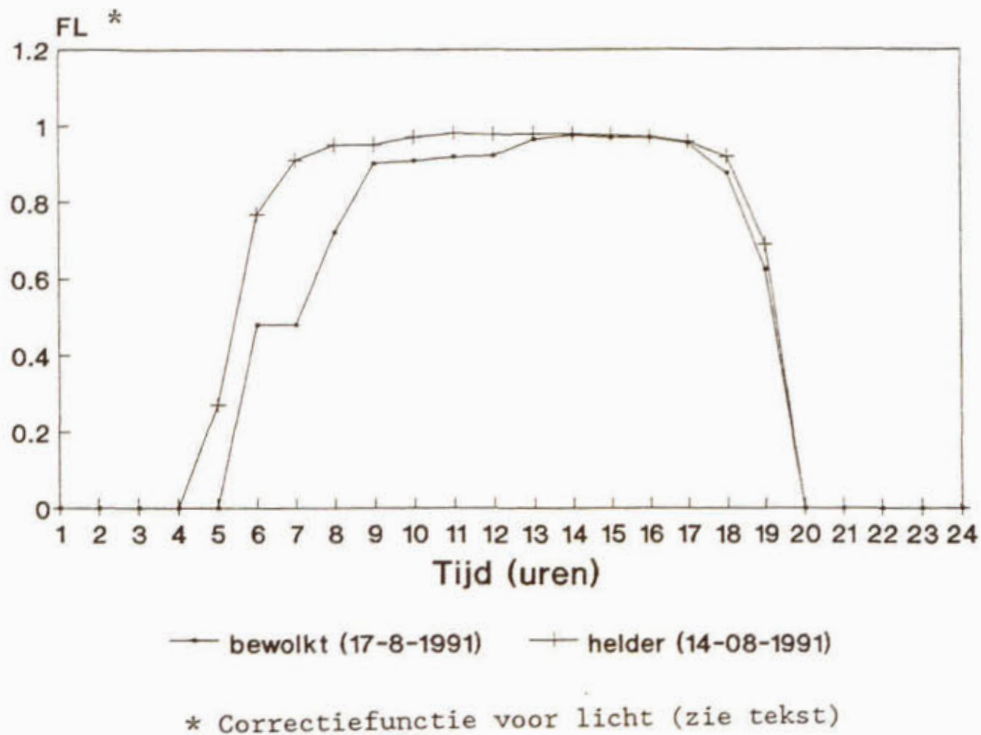
waarin:

I_z = de lichtintensiteit;

K_1 = de halfverzadigingswaarde voor licht



Figuur 4. Lichtinstraling op een heldere en een bewolkte dag¹²



Figuur 5. Correctiefunctie voor licht op een heldere en een bewolkte dag (zie tekst voor toelichting)

Voor K_1 wordt op basis van het literatuuronderzoek een waarde aangehouden van 1500 lux, overeenkomend met circa 15 W.m^{-2} ¹¹. Gedurende de dag is de lichtintensiteit vrijwel steeds veel meer dan 15 W.m^{-2} . Het effect van de bewolking op de groei is daarom vrij gering (zie figuur 4 en 5). De daglengte varieert in de periode van mei tot en met september tussen de 15 en 17 uur¹². Dit is een verschil van 12,5% tussen maximum en minimum daglengte. Door verschillen in daglengte en bewolking kan tijdens de periode mei-september de groei per dag in totaal met circa 25% variëren.

3.4.4 temperatuur

De temperatuur heeft een belangrijke invloed op de groei. De minimale temperatuur waarbij groei van kroos is waargenomen varieert van 4 tot 20°C, afhankelijk van de soort en de kloon. *L. minor* en *L. gibba* beginnen te groeien bij circa 5°C, verschillende klonen van *S. polyrhiza* bij 9 à 20°C. De optimale temperatuur voor de meeste soorten is ongeveer 28°C. Voor *L. minor* en *L. gibba* stijgt de groeisnelheid met circa 5% per °C, binnen het traject van 5 tot 25°C.

De temperatuur aan het oppervlak van de sloot is afhankelijk van de instraling en de afgifte van warmte. De slootdiepte is hierbij van belang, want naarmate een sloot dieper is, wordt deze langzamer opgewarmd en langzamer afgekoeld door de grotere warmtecapaciteit per oppervlakte-eenheid. Bij opwarming bestaat een tendens tot stratificatie, waardoor de bovenlaag relatief snel in temperatuur stijgt ten opzichte van de onderlaag. Echter, door de invloed van de wind kunnen waterlagen gemengd worden, waardoor het slootwater een vrij homogene temperatuur krijgt. Menging van gestratificeerde waterlichamen treedt ook 's nachts op, wanneer de bovenlaag afkoelt, een hogere dichtheid krijgt en naar beneden zakt. Aanwezigheid van watervegetatie aan het oppervlak remt menging van water en bevordert zodoende de stratificatie.

Bij het veldonderzoek is overdag de watertemperatuur gemeten in open stukken sloot van circa 0,5 meter diep en tussen drijvend flab. Het maximale verschil tussen deze twee situaties is 5°C, het gemiddelde verschil ligt rond 2,5°C.

Een redelijke benadering van de temperatuur aan het wateroppervlak is de waargenomen luchttemperatuur (zie deelrapport 3). Uit de waarnemingen van het KNMI (zie figuur 6) blijkt dat de gemiddelde etmaaltemperatuur in de periode van april tot en met september varieerde van 7 tot 17°C. De momentane temperatuur varieerde van beneden 5°C tot boven 30°C. De groeisnelheid in deze periode zal ten gevolge van het temperatuurverloop dus variëren van nihil tot maximaal, binnen de beperkingen als gevolg van de overige condities. Het verloop van de temperatuur verklaart voor een belangrijk deel de jaarlijkse cyclus in de groei van kroos. Grote verschillen in kroosgroei tussen verschillende sloten kunnen er niet door verklaard worden.

3.4.5 *afsterving*

De meeste fronds hebben een levensduur van 5 tot 10 weken. De levensduur van de verschillende soorten en klonen is afhankelijk van de temperatuur (een frond leeft 1,8x zo lang bij 20°C als bij 30°C)³. Mogelijk zijn ook de nutriëntenvoorziening en de daglengte van invloed. De lichtintensiteit speelt meestal geen rol, daar deze vrijwel nooit limiterend is. In het algemeen is de levensduur langer bij geringere groeisnelheid. Wanneer de nutriëntenvoorziening beneden een bepaald minimum komt, vindt echter versnelde afsterving van de fronds plaats. Onder normale omstandigheden is de gemiddelde levensduur van een frond in de veldsituatie ongeveer 6 weken³.

Bij de schatting van het effect van de levensduur op de berekende ontwikkeling van de kroosbiomassa wordt onderscheid gemaakt tussen stationaire, sterk toenemende en sterk afnemende populaties.

Voor een stationaire situatie is aangroei gelijk aan afsterving: elke dag komt er evenveel jong kroos bij als er aan oud kroos afsterft. Bij een vereenvoudigde aanname van een uniforme levensduur l sterft per dag een fractie $\lambda = l^{-1}$ af:

$$\frac{dN}{dt} = (\mu - \lambda) N$$

In de stationaire fase geldt:

$$\frac{dN}{dt} = 0$$

Dus:

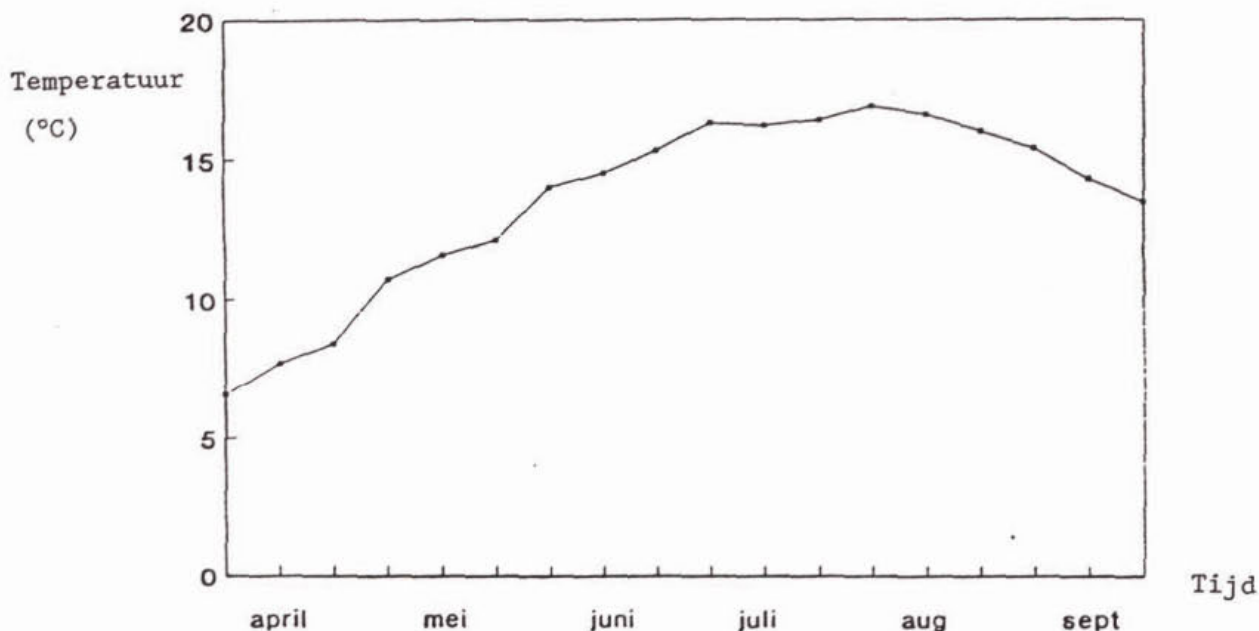
$$\mu = \lambda = l^{-1};$$

Voor kroos is l ongeveer 42 dagen, dat wil zeggen $\lambda \approx 0,023 \text{ dag}^{-1}$. Een stationaire situatie treedt dus op bij zeer lage groeisnelheid.

Bij een sterk toenemende kroospopulatie (bijvoorbeeld $\mu = 0,28 \text{ dag}^{-1}$) hebben jonge fronds een relatief groot aandeel in de totale biomassa. De afsterving bedraagt dan veel minder dan λN (met $\lambda = l^{-1}$). Indien l ongeveer 42 dagen is en λ dus $0,023 \text{ dag}^{-1}$ dan is λN zeer klein ten opzichte van μN . Een fout in λ of l heeft dan weinig effect op de berekende snelheid waarmee de biomassa toeneemt.

Bij een afnemende kroospopulatie, zoals deze optreedt in het najaar, is de afsterving groter dan λN . Bij een dergelijke verouderende populatie is λN groter dan μN en het is dus belangrijk λ goed te kennen. Hierbij dient men wel te bedenken dat zich in het najaar in verband met overwintering processen afspelen die de levensduur beïnvloeden (verlengen).

Uit het voorgaande wordt geconcludeerd dat afsterving en levensduur alleen van doorslaggevend belang zijn voor de totale biomassa bij zeer lage groeisnelheid, dat wil zeggen in de winter (lage temperatuur) en bij andere voor de groei ongunstige omstandigheden, b.v. gebrek aan nutriënten.



Figuur 6. Decade-normalen van de temperatuur in °C, 1951-1980, te Valkenburg (ZH)¹³

3.5 Migratie

Onder migratie wordt in deze studie de passieve verplaatsing van kroos verstaan. Dit in tegenstelling tot de actieve verplaatsing van kroos, waarbij men bijvoorbeeld kan denken aan het opstijgen van turionen uit de waterbodem naar het wateroppervlak.

Migratie wordt veroorzaakt door wind en waterstroming en afgeremd of compleet belemmerd door andere vegetatie, kunstwerken, slooteinden en andere obstructies. Ook luwte, bijvoorbeeld bij gebouwen, reduceert de migratie.

Migratie leidt tot verspreiding van kroos over praktisch alle watergangen van West-Nederland. In situaties waar wind en waterstroming duidelijke invloed hebben (en voldoende kroos aanwezig is) zorgt migratie vaak voor de vorming van plaatselijke kroosdekken, waarin self-crowding en verhoogde afsterving optreden. Bij geringe invloed van wind en waterstroming is vooral de sterke groei van kroos de oorzaak van kroosdekken.

Kroosfronds beïnvloeden elkaar in hun beweging zodra een voldoende bedekking bereikt is. Windtunnelproeven die beschreven zijn in de literatuurstudie³, laten zien dat kroos weerstand biedt tegen opeenpakking. Uit de proeven blijkt, dat de pakkingsdichtheid toeneemt met de windkracht en afneemt met afnemende windkracht. Waarnemingen in het veld maken het aannemelijk, dat een soortgelijke relatie ook

bestaat tussen waterstroming en opeenpakking van kroos. In het model is dit effect beschreven als een dispersieproces, dat is een proces dat gradiënten afvlakt. In dit geval dus een gradiënt in bedekking door kroos. De dispersie is afhankelijk gesteld van de biomassa per oppervlakte-eenheid. Deze dispersie is in deelrapport 4 gekwantificeerd op basis van de gegevens uit de literatuurstudie³.

3.5.1 wind

De verplaatsingssnelheid van kroos door wind bij afwezigheid van obstructies in de sloot kan worden beschreven met:

$$v_k = \alpha W \cos \theta \quad \text{waarin:}$$

v_k = de snelheid van kroos ten gevolge van de wind (m.s^{-1})
 α = windfactor, de verhouding tussen de windsnelheid en de verplaatsingssnelheid van kroos
 W = windsnelheid op 10 m hoogte
 θ = hoek van de wind met de sloot (deze is 180° groter dan de door het KNMI opgegeven windrichting omdat traditioneel de windrichting gegeven wordt als de richting waaruit de wind komt in plaats van de richting waarheen de wind gaat)

Voor α is bij laboratoriumproeven in een windgoot een waarde gevonden van $0,009^5$ en van $0,0012$ in het veldonderzoek (deelrapport 2). In het onderzoek met de windgoot was de windrichting parallel aan de goot, terwijl in het veldonderzoek de wind uit diverse richtingen kwam.

In het veld lag het waterniveau in de sloot onder het maaiveld, waardoor de verminderde blootstelling aan de wind plaatsvond. Waarschijnlijk spelen ook de windrichting en de slootbreedte een rol bij de blootstelling. Tijdens het veldonderzoek is aan deze factoren geen aandacht geschonken.

Gedurende het veldonderzoek is waargenomen dat de beweging van kroos door wind sterk beïnvloed kan worden door de stroming van de zeer dunne toplaag ('film') van het water, die zich onderscheidt van de rest van het slootwater voor wat betreft fysische en chemische eigenschappen. De stroming van de oppervlaktefilm, die wordt veroorzaakt door wind, blijkt te kunnen voorkomen dat kroos vastraakt in vegetatie van de oever. Het kroos wordt door de film namelijk om dergelijke obstructies heen geleid. Door de stroming van de oppervlaktefilm wordt dus de invloed van de oever en overige vegetatie op de migratie gereduceerd.

Figuur 7 geeft de cumulatieve frequentieverdeling van de wind per sector van 30° weer, uitgedrukt als percentage voor alle waarnemingen. Uit deze figuur kan worden afgeleid, dat er voor elke windrichting een redelijke kans bestaat op een windsnelheid van meer dan 3 m.s^{-1} . Deze kans bedraagt tenminste 8% per sector van 90° . Dit komt overeen met een gemiddelde duur van 2,4 dag per maand.

Binnen de sector van 45° links en rechts van de sloot varieert $\cos \theta$ van 1 tot 0,71. Indien men een α van 0,0012 aanhoudt en rekening houdt met de variaties van $\cos \theta$, komt de genoemde windsnelheid van

3 m.s⁻¹ overeen met een verplaatsing van 300 m.dag⁻¹ of 700 m per 2,4 dag, hetgeen in de orde is van de lengte van een poldersloot. Het is dus waarschijnlijk dat tenminste één keer per maand een aanzienlijk deel van het kroos wegwaait uit een poldersloot als er geen obstructies zijn die dit verhinderen. De mogelijke obstructies komen ter sprake in paragraaf 3.5.3.

3.5.2 waterbeweging

Waterbeweging in een sloot is vooral het gevolg van drainage en afvoer van overtollige neerslag en van aanvoer en infiltratie van water ter aanvulling van het neerslagtekort. Over het algemeen is er een neerslagtekort in de zomermaanden en een neerslagoverschot gedurende de rest van het jaar. Tabel 3 geeft een indicatie van de grootte van de gemiddelde aan- en afvoer per etmaal in de polders van het Hoogheemraadschap van Delfland (berekend op basis van de netto afvoer vanuit de boezem naar het hoofdwatersysteem).

| maand | netto aanvoer vanuit polders naar boezem (gemiddeld aantal mm per etmaal) |
|-----------|--|
| april | + 0,2 |
| mei | - 0,5 |
| juni | + 0,0 |
| juli | - 0,4 |
| augustus | - 0,2 |
| september | + 0,6 |

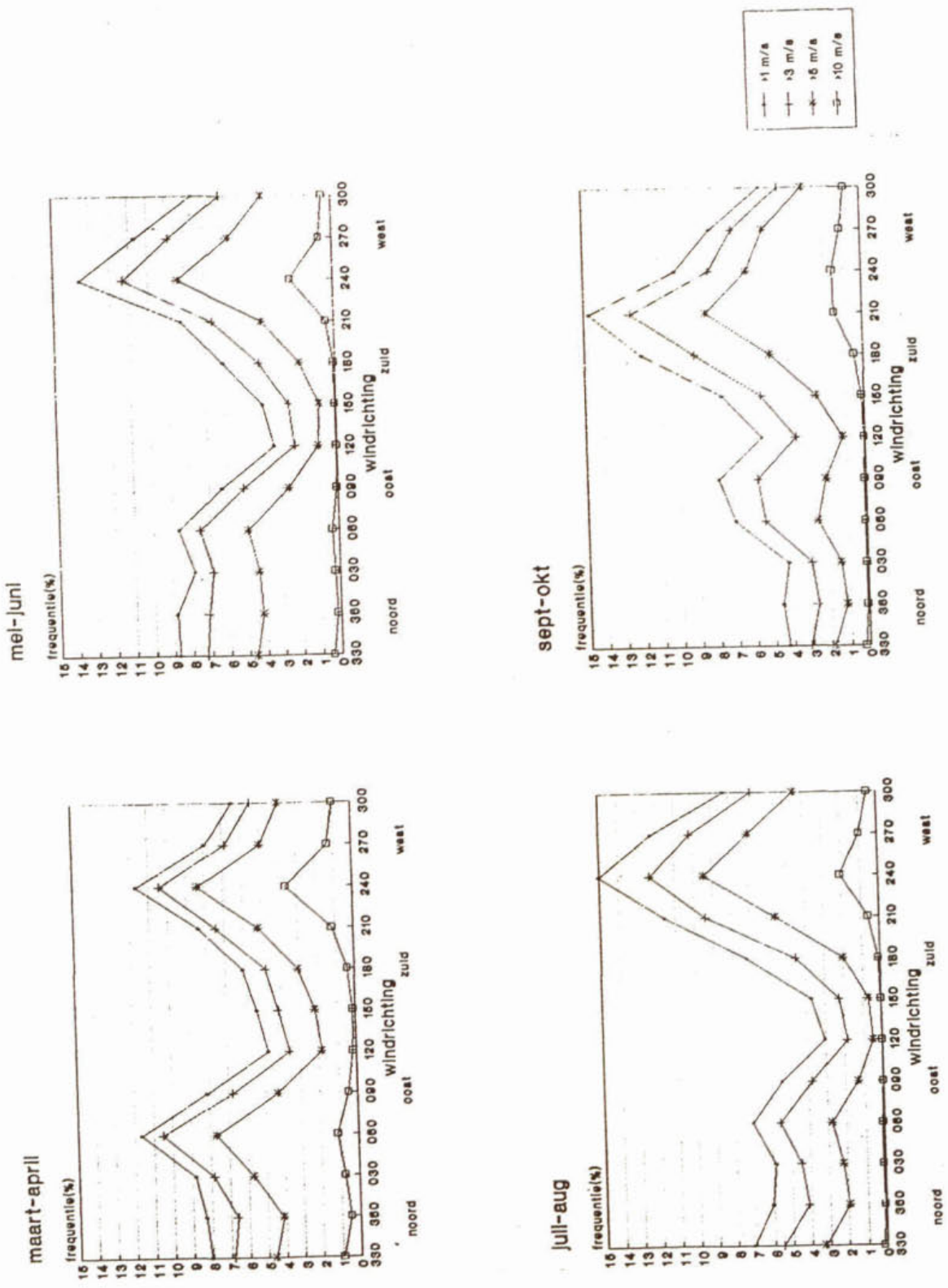
Tabel 3. Netto aanvoer vanuit polders naar de boezem van Delfland in 1990¹⁴

Ter illustratie van de stroomsnelheid in een poldersloot wordt de situatie in een standaard poldersloot beschouwd, welke aan één einde doodloopt en aan het andere einde in verbinding staat met een hoofdwatgang. Aangenomen wordt dat deze sloot 2,5 m breed is, 0,3 m diep en 600 m lang. De onderlinge afstand tussen de sloten wordt gesteld op 40 m. Dit betekent per sloot een 'stroomgebied' van 24.000 m² (aan beide zijden een strook van 20 meter breed en 600 meter lang).

Een gemiddelde aan- of afvoer van 0,5 mm per etmaal betekent aan het einde van de sloot die uitkomt op de grotere watgang een gemiddelde stroomsnelheid van 0,0002 m.s⁻¹. Deze waarde komt tot stand door het totale volume getransporteerd water van het 'stroomgebied' (24.000 m² x 0,5 mm per etmaal = 12 m³ per etmaal) te delen door de dwarsdoorsnede van de sloot (0,75 m²) en het aantal seconden van een etmaal (86.400). De stroomsnelheid aan het doodlopende einde van de sloot is gelijk aan nul.

Over een periode van een etmaal geeft 0,0002 m.s⁻¹ een geringe verplaatsing: circa 16 m. Over een maand is dit echter een verplaatsing van 480 m, hetgeen wel van belang is.

Bij een hevige bui in een natte periode kan een grotere afvoer optreden. De maatgevende neerslag voor zo'n bui is 14 mm.dag⁻¹ ¹⁶. Bij de standaard sloot correspondeert dat met relatief grote watersnelheid, namelijk ongeveer 500 m per etmaal.



Figuur 7. Cumulatieve frequentieverdeling van wind in Nederland¹⁵

In de hoofdwatgangen is de stroomsnelheid aanzienlijk groter dan in de poldersloten door een groter achterliggend oppervlak bij een minder dan evenredige toename van de slootdoorsnede. De migratie in de hoofdwatgangen zal daardoor groter zijn dan in de poldersloten. Verder ondervindt de migratie in de hoofdwatgangen weinig belemmeringen door vegetatie omdat daar vaak geschoond worden.

Uit het voorgaande wordt geconcludeerd dat, bij afwezigheid van obstructies, de waterbeweging een significante invloed heeft op de migratie van kroos. Deze invloed treedt vooral op in het sloottraject dicht bij de hoofdwatgang en niet bij doodlopende einden van sloten. De migratie zal doorgaans op langere termijn (in de orde van weken) merkbaar zijn. De richting van de migratie wordt in het groeiseizoen meestal bepaald door waterinlaat. Tijdens het najaar en hevige buien in de zomer is ten gevolge van de afvoer van overtollige neerslag de migratie gericht naar de plaatsen waar geloosd wordt op de boezem (gemalen).

3.5.3 *obstructies en het effect van schoning*

Migratie wordt beperkt door obstructies en door luwte, welke veroorzaakt worden door kunstwerken, gebouwen, begroeiing op de oever, begroeiing in de sloot, kroosbalken e.d. Het effect van kunstwerken hangt af van het ontwerp van het kunstwerk en de plaatselijke situatie. Zo vormt een onder water gelegen duiker een barrière, terwijl een duiker die gedeeltelijk boven water ligt slechts een vermindering van de migratie tot gevolg heeft. Gemalen met een diepe inlaat zullen weinig kroos afvoeren, vijzelgemalen zullen daarentegen gemakkelijk kroos afvoeren. Bruggen creëren plaatselijk luwte hetgeen de migratie door wind beperkt of compleet stillet.

Andere slootvegetatie dan kroos kan de migratie volledig stoppen. De massa van de overige vegetatie neemt meestal toe gedurende het groeiseizoen en daarmee neemt ook de invloed ervan op de migratie toe. Bij het schonen van de sloten wordt de overige vegetatie praktisch geheel verwijderd, waardoor de migratie van kroos plaatselijk sterk toeneemt.

Schonen vindt plaats op het eind van de zomer en het begin van het najaar wanneer er veel kroos is en de afvoer van overtollige neerslag de migratie van kroos uit de sloten naar hoofdwatgangen en boezem bevordert. Geconcludeerd wordt dat schonen op dit tijdstip daarom een belangrijke bijdrage levert aan het ontstaan van gesloten kroosdekken op hoofdwatgangen en boezem.

3.6 Mathematisch model

3.6.1 *modelformulering*

Op basis van de systeemanalyse is een mathematisch model opgesteld voor het berekenen van de groei en migratie van kroos in een poldersloot. Met nadruk wordt er op gewezen dat het model niet toegepast kan worden voor een netwerk van poldersloten.

Het model legt een relatie tussen de beïnvloedende variabelen en de biomassa van kroos. De beïnvloedende variabelen zijn: temperatuur, zonlicht, nutriëntconcentraties, windsnelheid, stroomsnelheid,

turionenkieming, belemmering van migratie van de initieel aanwezige biomassa. De kroosbiomassa wordt beschouwd als variabel in tijd en in plaats (lengte-as van de sloot).

Door het model wordt de kroosontwikkeling berekend in termen van een hoeveelheid droge stof per strekkende meter sloot. De verdeling van kroos over het dwarsprofiel van de sloot blijft dus buiten beschouwing. Deelrapport 4 geeft een uitgebreide beschrijving van het model.

3.6.2 parameterkeuze

De relatie tussen de onafhankelijke variabelen en de kroosbiomassa wordt bepaald door parameters zoals de groeisnelheid en de windfactor. Alle parameters zijn afgeleid uit het literatuuronderzoek³. Een uitzondering is de windfactor: de verhouding tussen de windsnelheid en de verplaatsingsnelheid van kroos. De windfactor is afgeleid uit de resultaten van het veldonderzoek (deelrapport 3). Een overzicht van de modelparameters en de onafhankelijke variabelen en de wijze waarop zij bepaald zijn wordt gegeven in deelrapport 4.

De waarden van de modelparameters zijn bij de modeltoetsing zoveel mogelijk gelijk gehouden aan die van de modelvalidatie. Afwijkende waarden zijn gehanteerd voor slootlengte, -breedte en -oriëntatie. Bij de validatie werden hiervoor de veldgegevens genomen, bij de modeltoepassing de waarden voor de standaardsloot (paragraaf 3.5.2).

Bij de modelvalidatie voor de halfverzadigingswaarde van stikstof (K_N) en fosfaat (K_P) werd het gemiddelde genomen van de K_N -, respectievelijk K_P -waarden voor *L. minor* en *L. gibba*. In de sloten die gebruikt zijn voor modelvalidatie kwamen deze twee kroossoorten in dezelfde mate voor. Andere soorten, zoals *S. polyrhiza* en *A. filiculoides*, waren hier nauwelijks aanwezig.

Voor de standaard groeisnelheid μ_s (bij 25°C en verder optimale omstandigheden) werd een waarde aangehouden van 0,24 per dag (bij 16 uur licht per dag). Deze waarde werd lager gekozen dan de maximum waarde die gemeten wordt bij laboratoriumproeven³. Op deze wijze wordt gecorrigeerd voor de factoren die in het veld voor groeiremming zorgen, maar niet in het model zijn opgenomen. Ter vergelijking: bij laboratoriumproeven werd een maximum groeisnelheid gevonden van 0,28 per dag voor *L. minor* en 0,32 per dag voor *L. gibba*³.

Bij de modeltoepassing worden de berekeningen gemaakt met groeisnelheden van respectievelijk 0,9; 0,5 en 0,1 maal de standaard groeisnelheid. Bij de interpretatie van de resultaten (paragraaf 4.4.1) worden deze snelheden vertaald naar nutriëntenconcentraties met behulp van halfverzadigingswaarden. Bij deze vertaling wordt rekening gehouden met het onderscheid tussen de kroossoorten.

3.6.3 modelvalidatie

Het model werd gevalideerd aan de hand van veldmetingen in twee sloten, de proefsloten A en C. De gegevens van deze sloten zijn niet gebruikt voor het schatten van de modelparameters. In deze sloten

werd de biomassa opgenomen als functie van tijd en plaats. Hierbij bleek dat in deze proefsloten vrijwel geen verplaatsing van kroos optrad vanwege de obstructie door flab. Uit de literatuur was ook geen veldinformatie bekend welke bruikbaar is voor modelvalidatie, zodat het model voor migratie van kroos niet op de veldomstandigheden getoetst kon worden. Derhalve is sprake van een beperkte toetsing (alleen op groei).

Voor de uitvoering van de berekeningen zijn de waarden nodig van nitraat- en ammoniumgehalten. Voor een aantal tijdstippen zijn deze niet beschikbaar omdat ze beneden de detectiegrens lagen. Om het model te laten rekenen dienen voor deze nutriënten wel waarden ingevoerd te worden. Daarom werden in plaats van de gehalten beneden de detectiegrens vervangende waarden genomen, waarbij drie alternatieven werden gehanteerd:

- alternatief hoog : bij gehalten beneden de detectiegrens wordt de waarde van de detectiegrens ingevoerd;
- alternatief middel: bij gehalten beneden de detectiegrens wordt de helft van de waarde van de detectiegrens ingevoerd;
- alternatief laag : bij gehalten beneden de detectiegrens wordt de concentratie op nul gesteld.

De hoeveelheid beschikbare stikstof in de proefsloten (zie figuur 8) bleek grote invloed te hebben op de berekende biomassa's. Deze zijn weergegeven in figuur 9, tezamen met de waargenomen biomassa's.

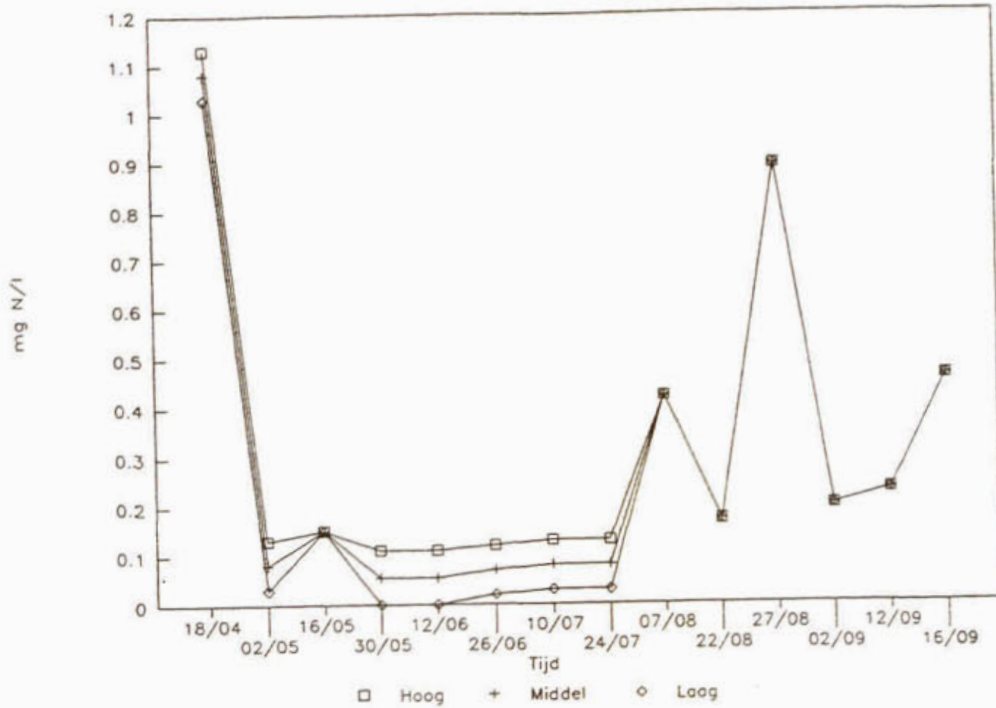
Voor proefslot A kan het model de orde van grootte van de kroosbiomassa goed voorspellen voor de eerste twee maanden. Voor dag 70 tot 100 berekent het model een veel grotere toename van biomassa dan wordt waargenomen. In die periode was in de sloot veel flab aanwezig, hetgeen nadelig kan zijn geweest voor de groei van kroos vanwege concurrentie om nutriënten of allelopathie. Met deze factoren wordt in het model echter geen rekening gehouden.

Voor proefslot C liggen de gemeten biomassa's gedurende de hele meetperiode in dezelfde orde als de berekende waarden. Hierbij speelt waarschijnlijk een rol dat de waarnemingen in proefslot C eerder gestopt zijn en daardoor de geremde groei die bij A optrad, niet is waargenomen.

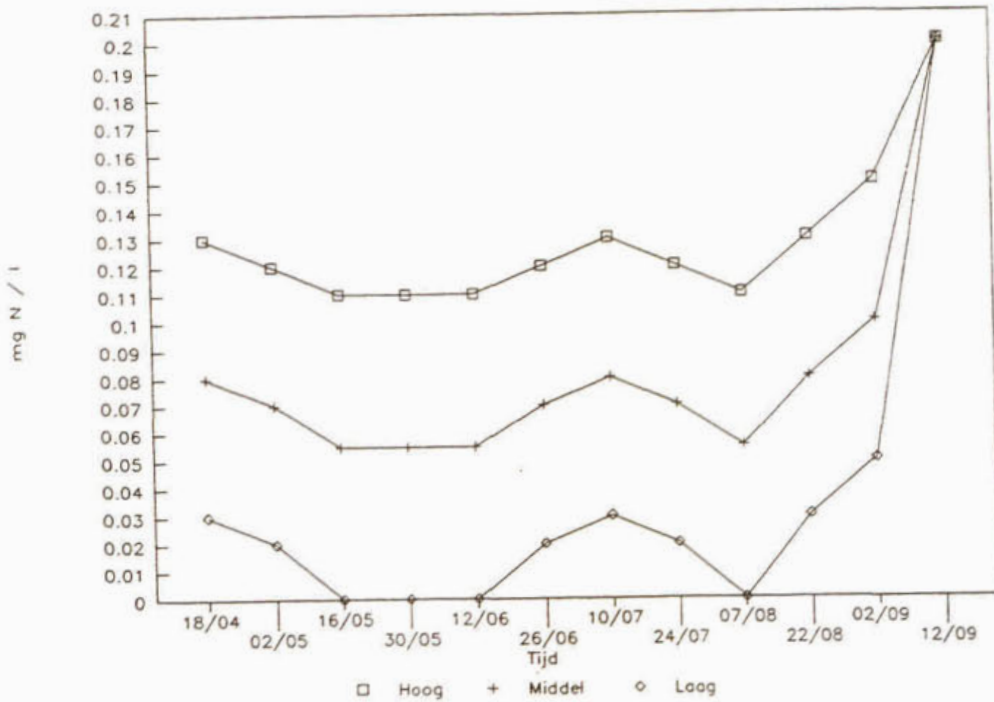
Geconcludeerd wordt, dat het model voor de kroosbiomassa te hoge waarden kan berekenen wanneer groeiremmende factoren, die niet in het model zijn opgenomen, van grote invloed zijn. Het lijkt onwaarschijnlijk dat berekende biomassa's te laag zullen uitkomen.

De self-crowding van kroos, een van de bepalende factoren voor groei, is apart getoetst met behulp van informatie uit de literatuur. Voor deze toetsing zijn laboratoriumexperimenten gesimuleerd met het model.

Sloot A

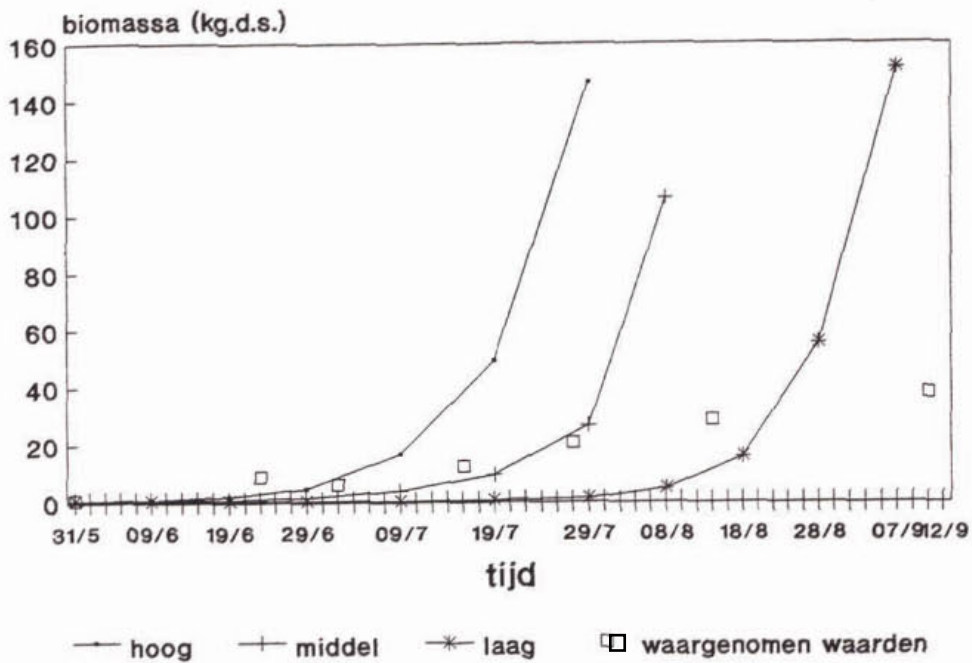


Sloot C

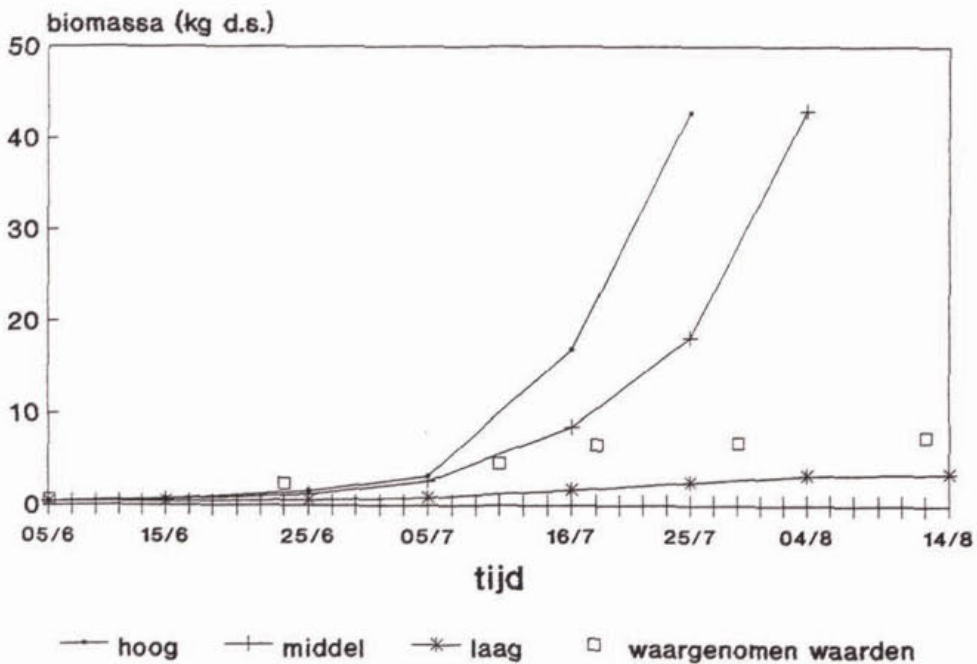


Figuur 8. Beschikbaar stikstof (nitraat en ammonium) in twee proef-sloten bij verschillende aannamen voor concentratie beneden de detectiegrens

Sloot A



Sloot C



Figuur 9. Berekende en gemeten biomassa van kroos in twee proefsloten bij verschillende aannamen voor stikstofconcentraties beneden de detectiegrens

Bij de laboratoriumproeven op het gebied van self-crowding wordt kroos onder gecontroleerde omstandigheden gekweekt in een bekerglas. Nadat het wateroppervlak in het bekerglas volledig bedekt is met kroos gaat de exponentiële toename van de biomassa van kroos over in een lineaire toename. Vervolgens ontstaat na verloop van tijd een stationaire situatie met constante biomassa per oppervlakte-eenheid. Het model berekende voor *L. minor* in de stationaire toestand een biomassa $494 \text{ g d.s. m}^{-2}$, in het laboratorium werd hiervoor een waarde gevonden van $630 \text{ g d.s. m}^{-2}$. Voor *L. gibba* waren deze getallen respectievelijk 403 en $355 \text{ g d.s. m}^{-2}$. Dit is een vrij goede overeenstemming tussen de resultaten van het model en laboratoriumproeven. Nadere details worden gegeven in deelrapport 4.

3.6.4 *beperkingen van het model*

Het ontwikkelde model heeft een aantal beperkingen. Deze zijn:

- het mechanisme van concurrentie is niet ingebouwd in het model en de effecten van concurrentie kunnen slechts als een grove benadering worden verdisconteerd via de invoergegevens;
- de invloed van de kroosontwikkeling op het milieu (nutriëntgehalten, zuurstofgehalten) ontbreekt in het model (terugkoppelingsmechanismen);
- het model simuleert de kroosontwikkeling voor lente en zomer (groeiseizoen) hetgeen inhoudt dat de wijze waarop fronds overwinteren ontbreekt in het model;
- het model beschrijft de ontwikkeling in een poldersloot, hierbij wordt wel emigratie, maar geen immigratie berekend;
- het effect van 'overige vegetatie' op de kroosmigratie wordt in het model ingebracht via een parameter waarmee de kroosmigratie gereduceerd wordt. Deze parameter is alleen bekend als er praktisch geen overige vegetatie is of als de overige vegetatie de kroosmigratie volledig blokkeert. Dit maakt het model alleen toepasbaar voor deze twee extreme situaties;
- het model kan alleen toegepast worden voor sloten met zoet en zwak brak water. Bij een chloridegehalte hoger dan 2000 mg.l^{-1} treedt namelijk groeiremming op, waarvoor in het model niet wordt gecorrigeerd;
- het model rekent met één set kenmerken van kroos, terwijl in het veld meerdere soorten naast elkaar voorkomen, met verschillende groeisnelheden en een variabel aandeel in de totale kroosvegetatie;
- de groei en verspreiding van *Azolla* is niet in het model opgenomen.
- computerberekeningen voor situaties met migratie vergen veel rekentijd, hetgeen vooral een beperking is bij eventuele modelontwikkeling voor een stelsel van waterlopen.

4 IDENTIFICATIE EN BEOORDELING VAN BEHEERSMAATREGELEN

4.1 Methodiek voor identificatie van aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen

Uit de systeemanalyse blijkt dat een aantal factoren die de groei en verspreiding van kroos bepalen aangrijpingspunten kunnen zijn voor beheersmaatregelen. Deze factoren kunnen tot drie clusters worden gerangschikt, namelijk:

- kiemen;
- groei;
- migratie.

Tabel 4 geeft een overzicht van de belangrijkste factoren en de indeling naar clusters.

| factor | invloed op cluster | | |
|---|--------------------|----------------|----------|
| | kiemen | groei-snelheid | migratie |
| <u>in het model</u> | | | |
| overwinterde rustfronds | x | | |
| turionenkieming | x | | |
| watertemperatuur | | x | |
| nutriëntengehalte in water | | x | |
| licht | | x | |
| wind | | | x |
| slootoriëntatie | | | x |
| luwte | | | x |
| obstructie aan begin en eind van sloot | | | x |
| stroomsnelheid | | | x |
| overige vegetatie | | | x |
| <u>niet in het model</u> | | | |
| overige vegetatie | | x | |
| verbindingen tussen sloten in een stelsel | | | x |

Tabel 4. Belangrijkste beïnvloedende factoren voor de ontwikkeling van kroosdekken

Bij de identificatie van mogelijke aangrijpingspunten is het in eerste instantie voldoende om de invloed van de clusters te bepalen op de vorming van kroosbiomassa (paragraaf 4.3). Bij het formuleren van de beheersmaatregelen worden de afzonderlijke factoren in beschouwing genomen (paragraaf 4.4).

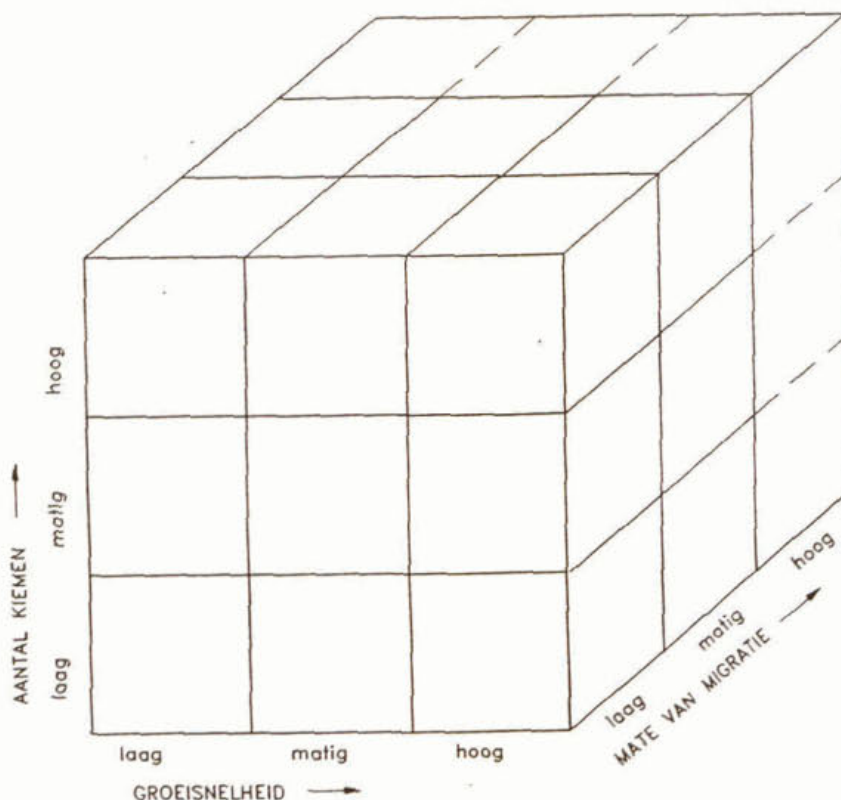
De invloed van elk van de clusters kan worden bepaald door met het model berekeningen uit te voeren voor verschillende situaties,

waarbij binnen de clusters drie niveaus worden onderscheiden:

- veel, matig of weinig kiemen;
- veel, matig of weinig migratie;
- hoge, matige of lage groeisnelheid.

Door combinatie van de drie niveaus voor de drie clusters van factoren worden 27 referentiesituaties gedefinieerd (zie figuur 10). Voor elk van deze referentiesituaties wordt, voor zover dat mogelijk is, door simulatie de biomassa voor het kroos per oppervlakte-eenheid berekend per 15 september. In september is de hoeveelheid biomassa van kroos in de poldersloten meestal maximaal, omdat daarna de groei begint te verminderen (lagere temperatuur) en de migratie sterk toeneemt. De toename van de migratie is het gevolg van het schonen van sloten, waardoor waterplanten worden weggenomen die de verplaatsing blokkeren. Tevens begint dan de periode van neerslagoverschot, hetgeen inhoudt dat water (en daarmee kroos) afgevoerd wordt uit de polder.

De maximale kroosbiomassa wordt maatgevend geacht voor de zuurstofproblemen die optreden in de poldersloten (permanent zuurstofgebrek) en in de hoofdwatergangen en boezem (incidenteel zuurstofgebrek bij vorming van dekken door aanvoer van kroos uit de polder).



Figuur 10. Definitie van referentiesituaties op basis van clusters van factoren

De situatie met hoge migratie is gedefinieerd als verplaatsing van kroos in een volledig slotenstelsel (polder), waardoor het via tochten en gemalen ook uit het systeem kan verdwijnen (zie tabel 5). Deze referentiesituaties kunnen echter niet worden gesimuleerd met het model (daarom met stippellijn aangegeven in figuur 10), omdat dit alleen berekeningen uitvoert voor één sloot en niet voor een stelsel van sloten. In plaats van de modelberekening wordt daarom een kwalitatieve beschouwing gegeven.

Uit de berekende biomassa van het kroos bij de verschillende referentiesituaties kan worden afgeleid welke clusters (kiemen, groei of migratie) de beste aangrijpingspunten bieden voor beheer. Op basis hiervan wordt een beheerstrategie geformuleerd. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen maatregelen gericht op het beperken van de vorming van kroosbiomassa in poldersloten en maatregelen gericht op het voorkomen van transport van kroos uit poldersloten naar hoofdwatergangen en boezem.

4.2 Kwantificering van de referentiesituaties

De definitie van de referentiesituaties geschiedt op basis van de drie clusters van factoren die het ontstaan van kroosdekken beïnvloeden: kiemen, groei en migratie. Voor elke cluster wordt een onderscheid gemaakt in drie klassen: laag, matig, hoog. Deze klassen zijn nader gedefinieerd in tabel 5 en worden in de volgende paragrafen verder toegelicht.

| criterium | niveau | | |
|---|--------|-----------------|-------------------|
| | laag | matig | hoog |
| <u>kiemen</u> | | | |
| aanwezig op 1 mei: (aantal.m ⁻²) | 0,1 | 10 | 1000 |
| turionenkiemen tussen 1 mei-15 sep (aantal.m ⁻² .d ⁻¹) | 0 | 1 | 100 |
| <u>groei</u> | | | |
| groei-reductie (factor) | 0,1 | 0,5 | 0,9 |
| <u>migratie</u> | | | |
| Door stroming en wind | geen | binnen sloot | binnen stelsel |

Tabel 5. Kwantificering van referentiesituaties in poldersloot

4.2.1 kiemen

De initiële biomassa van kroos (per 1 mei) en de turionenkieming kunnen worden samengevoegd. Kroosfronds met een initiële biomassa per oppervlakte-eenheid van N_0 hebben zich namelijk bij een groeisnelheid μ na verloop van een tijd t ontwikkeld tot

$$N_t = N_0 \cdot e^{\mu t}$$

Een toevoer op tijdstip t van een biomassa N_t via turionenkieming correspondeert dus met een initiële biomassa van N_0 . Indien μ varieert in de tijd dient deze vervangen te worden door de gemiddelde waarde.

Het tijdstip 1 mei is gekozen omdat veldwaarnemingen hebben uitgewezen dat over het algemeen vanaf deze datum het kroos aanzienlijk toeneemt¹⁷ (zie ook deelrapport 3).

De kwantificering van de niveaus is gebaseerd op veldwaarnemingen voor wat betreft verschillen in kroosbiomassa's aan het begin van het groeiseizoen.

Bij een laag aantal kiemen bedraagt het aantal 1 per 10 m². Bij een hoog aantal kiemen komt het aantal overeen met 0,5 m enkellaags gesloten kroosdek per 100 m strekkende sloot. Tussen de niveaus laag, matig en hoog zit steeds een factor 100. Het niveau matig komt overeen met een biomassa van 1,3 mg d.s..m⁻² kiemen op 1 mei.

Voor turionenkieming is het lage niveau op 0 gesteld en het hoge niveau op 100 m⁻².dag⁻¹. Het hoge niveau is ongeveer twee maal hoger dan wat gevonden werd in het veldonderzoek (deelrapport 3). Het niveau matig ligt een factor 100 lager dan het niveau hoog.

4.2.2 groei

Bij het cluster 'groei' is de kwantificering van de niveaus gebaseerd op de formule voor de groeisnelheid uit paragraaf 3.4.1:

$$\mu = \mu_s \cdot FNu \cdot FT \cdot FL$$

Het effect van nutriëntenconcentraties op de groeisnelheid wordt hierin weergegeven door $r \cdot FNu$ (zie paragrafen 3.4.1 en 3.4.2).

Het effect van de diepte van de sloot op de watertemperatuur kan verrekend worden via FT , de correctiefunctie voor de temperatuur. Binnen het relevante traject van watertemperaturen is FT een lineaire functie van de temperatuur. Voor L . minor en L . gibba geldt:

$$FT = 0,05 (T-25) + 1 \quad \text{waarin:}$$

$$5^\circ\text{C} < T < 28^\circ\text{C}$$

Indien bijvoorbeeld door het uitdiepen van sloten het water langzamer zou opwarmen en de gemiddelde watertemperatuur aan het oppervlak zou dalen met 3°C dan zou dit volgens deze formule een reductie van 15% in de gemiddelde groeisnelheid tot gevolg hebben

Het verloop van FT in een ondiepe sloot dient als referentietemperatuurverloop: FT_r. Onder de aanname van een constante reductie in de temperatuur met ΔT (°C) ten opzichte van het referentietemperatuurverloop, kan het daarbij behorende verloop van de functie FT worden beschreven met:

$$FT = r \cdot FT_r \quad \text{waarin:}$$

r een reductiefactor voor groei, met $r = 1 - 0,05 \Delta T$.

Aangezien μ_s een eigenschap is van kroos leent deze parameter zich niet voor beïnvloeding in het kader van het waterbeheer. Ook de factor FL leent zich niet voor beïnvloeding. Het voorgaande resulteert in de formule

$$\mu = (\mu_s \cdot FL \cdot FT_r) \cdot (r \cdot FNu)$$

of

$$\mu = \mu_{\max} \cdot (r \cdot FNu) \quad \text{waarin:}$$

$$\mu_{\max} = (\mu_s \cdot FL \cdot FT_r)$$

De parameter μ_{\max} kan nu gedefinieerd worden als de groei bij de geldende klimatologische omstandigheden onder verder optimale condities: groei in een ondiepe sloot met voldoende nutriënten, in afwezigheid van effecten als concurrentie, allelopathie en self-crowding. Het produkt (r.FNu) staat dan voor de omstandigheden welke door het beheer beïnvloed kunnen worden. Hierbij wordt opgemerkt, dat volgens het bovenstaande $\mu/\mu_{\max} = r \cdot FNu$. In het vervolg zal de uitdrukking μ/μ_{\max} en niet r.FNu gebruikt worden omdat eerstgenoemde formulering meer inzichtelijk is.

De verhouding μ/μ_{\max} kan ook iets ruimer opgevat worden als de verhouding tussen actuele en maximale groeisnelheid onder de geldende klimatologische omstandigheden. In dat geval komen ook effecten als concurrentie en allelopathie in de verhouding tot uiting. Ook de hierna gegeven resultaten van modelberekeningen kunnen in deze ruimere zin geïnterpreteerd worden.

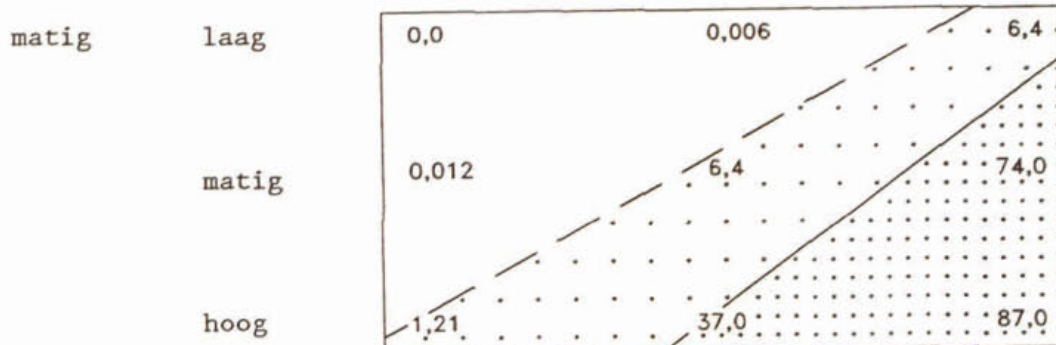
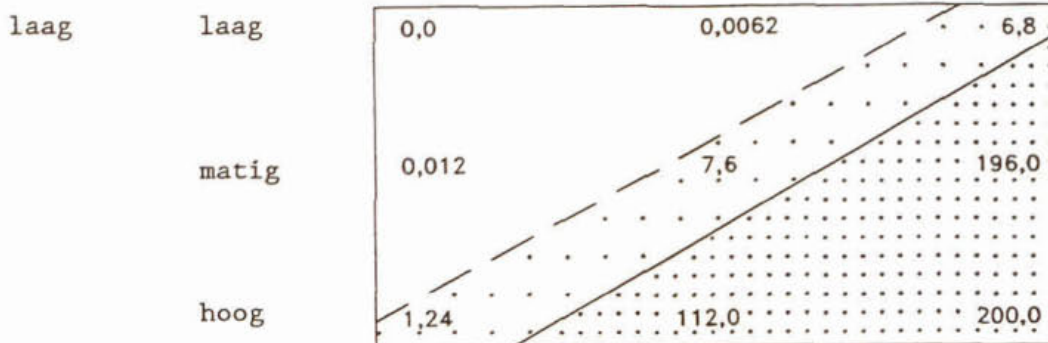
4.2.3 migratie

Voor het cluster 'migratie' zijn drie niveaus gedefinieerd. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 3.2 kunnen de referentiesituaties voor 'hoge migratie', d.w.z. migratie in een slotenstelsel, niet worden gesimuleerd met het model omdat dit alleen toegepast kan worden voor één sloot.

4.3 Resultaten van de modelberekeningen

Om aangrijpingspunten te vinden is de kroosontwikkeling in 18 referentiesituaties (lage en matige migratie) berekend met het model. De resultaten zijn vermeld in tabel 6. De kwalitatieve beschouwing voor de situatie met hoge migratie (migratie binnen een polder) wordt gegeven aan het einde van deze paragraaf.

| migratie | aantal kiemen (zie tabel 5) | biomassa (g d.s..m ⁻²) bij verschillende groeisnelheden | | |
|----------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|------------------------------------|
| | | laag ($\mu/\mu_{\max} = 0,1$) | matig ($\mu/\mu_{\max} = 0,5$) | hoog ($\mu/\mu_{\max} = 0,9$) |



hoog zie tekst op volgende bladzijde

| | | | |
|---|-------------------------|---|----------------------------|
|  | minder dan 1% bedekking |  | meer dan enkele laag kroos |
|  | 1 tot 100% bedekking | | |

Tabel 6. Kroosontwikkeling in de referentiesituaties

Bij het beoordelen van de resultaten van de berekeningen dient beseft te worden dat de resultaten indicatief zijn. Het is waarschijnlijk dat werkelijk optredende biomassa's lager zijn dan de berekende, onder meer door concurrentie of allelopathie.

Voor de interpretatie van de resultaten is het verder van belang te weten, dat de biomassa van een gesloten kroosdek, zoals gemeten tijdens het veldonderzoek, circa 32 g d.s..m⁻² bedraagt. Een biomassa van minder dan 1 g d.s..m⁻² kan dus geïnterpreteerd worden als minder dan 3% kroosbedekking en sloten met meer dan 30 g d.s..m⁻² als

gesloten kroosdek. Op basis hiervan zijn in tabel 6 lijnen ingetekend die gelijke bedekkingsgraad aangeven.

De resultaten laten zien dat het aantal kiemen aan het begin van het groeiseizoen nauwelijks effect heeft op de biomassa die later ontstaat, wanneer de groeisnelheid van het kroos hoog is. Wanneer de groeisnelheid sterk gelimiteerd is, bijvoorbeeld door geringe beschikbaarheid van nutriënten, heeft het aantal kiemen in de uitgangssituatie wel sterke invloed op de biomassa die in het najaar wordt aangetroffen.

Bij sterke kroosgroei ($\mu/\mu_{\max} > 0,5$) dienen de maatregelen dus allereerst gericht te zijn op limitatie van de groei. Indien de groei gelimiteerd is ($\mu/\mu_{\max} \leq 0,5$) is reductie van kiemen ook een aangrijpingspunt.

Indien vrije migratie in een sloot mogelijk is (d.w.z. migratie = matig) treedt een aanzienlijke remming van de biomassavorming op. Afhankelijk van wind en stroming op een bepaald moment kan dit kroos verspreid zijn over de sloot of opgestuwd zijn in een van de dode einden van de sloot.

Migratie van kroos in een netwerk van poldersloten kan zorgen voor geringe biomassa in een aantal sloten, ook wanneer de groeisnelheid en het aantal kiemen daar hoog is. Toch vormt de migratie geen goed aangrijpingspunt omdat het introduceren van hoge migratie bij gunstige groeiomstandigheden in de sloot betekent dat het probleem (de kroosbiomassa) verplaatst wordt. Dit leidt tot plaatselijk dikke kroosdekken waarvan de positie afhangt van windrichting, stroming en de lokale situatie voor wat betreft luwte en obstakels. Hierdoor ontstaat plaatselijk zuurstofgebrek. De migratie draagt bij aan groeiremming wanneer hierdoor self-crowding optreedt. Bij minder groei van kroos in de poldersloten zal ook het probleem van accumulatie van kroos op de grotere wateren minder omvangrijk zijn.

4.4 Beheersmaatregelen

In de vorige paragraaf is op basis van modelberekeningen en kwalitatieve beschouwingen een prioriteit vastgesteld in de aangrijpingspunten voor maatregelen. In het onderstaande worden de mogelijke maatregelen toegelicht.

Beheersmaatregelen kunnen gericht zijn op:

1. limitatie van de groeisnelheid;
2. reductie van het aantal kiemen;
3. beïnvloeding van de migratie;
4. verwijderen van kroos(dekken).

Bij de maatregelen wordt verder een onderscheid gemaakt tussen enerzijds maatregelen gericht op de reductie van kroosbiomassa en de vorming van kroosdekken in poldersloten en anderzijds maatregelen gericht op beperking van de toevoer van kroos naar de grotere wateren. De maatregelen 1 en 2 zijn gericht op de reductie van kroosbiomassa in poldersloten. Beïnvloeding van de migratie heeft

vooral gevolgen voor de toevoer van kroos van de poldersloten naar de grotere wateren. Verwijdering van kroos kan gebeuren in de poldersloten, de hoofdwatgangen, de boezem, of bij poldergemalen. De hierboven genoemde typen maatregelen worden in de volgende paragrafen uitgewerkt en toegelicht. Voor de beoordeling van de effectiviteit van beheersmaatregelen wordt gebruik gemaakt van de in voorgaande paragrafen beschreven referentiesituaties en de informatie uit hoofdstuk 2. De paragraaf wordt afgerond met een samenvattende beoordeling van de maatregelen in tabelvorm.

4.4.1 *limitatie van de groei*

Limitatie van de groeisnelheid is een basisvoorwaarde bij de bestrijding van kroos. De groeisnelheid kan vooral beïnvloed worden door verlaging van:

- hetzij het gehalte aan beschikbaar fosfaat (ortho-fosfaat);
- hetzij het gehalte aan beschikbare stikstof ($\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$).

Om een merkbaar effect te sorteren zal men de groeisnelheid moeten reduceren met een factor van 0,5 ten opzichte van de groeisnelheid die maximaal mogelijk is bij het heersend temperatuurverloop. Dit kan bereikt worden door het beschikbare stikstof te reduceren tot ca. $0,04 \text{ mg N.l}^{-1}$ of het ortho-fosfaatgehalte tot ca. $0,005 \text{ mg P.l}^{-1}$. Of dit mogelijk is en welke van de twee nutriënten het best aangepakt kan worden hangt af van de lokale situatie. Bij het veldonderzoek lagen de stikstofgehalten over een aanzienlijke periode beneden de detectiegrens, waaruit blijkt dat lage nutriëntgehalten wel degelijk bereikt kunnen worden.

Door allelopathie of concurrentie kan de benodigde groeilimitatie al bij hogere nutriëntgehalten dan $0,04 \text{ mg N.l}^{-1}$ of $0,005 \text{ mg P.l}^{-1}$ bereikt kunnen worden. Waarnemingen tijdens veldonderzoek¹⁸ (zie ook deelrapport 3) wekken de indruk dat de aanwezigheid van draadalg (flab) de ontwikkeling van kroos remt.

De vermelde nutriëntgehaltenes waarbij groeilimitatie optreedt gelden voor *L. minor*. Bij *L. gibba* en *S. polyrhiza* treedt groeilimitatie al op bij hogere nutriëntgehaltenes. De relatief hoge halfverzadigingswaarden van *S. polyrhiza* zouden er op kunnen wijzen dat bij het terugdringen van de eutrofiëring eerst een verschuiving in de soortensamenstelling van het kroos op zal treden (minder *S. polyrhiza*, meer *L. minor*).

Naast de nutriënten is ook de temperatuur van het wateroppervlak een bepalende factor voor kroosgroei. Deze wordt onder andere beïnvloed door de diepte van de sloot en de verticale menging. Hierop kan invloed worden uitgeoefend door het uitdiepen van sloten en door het schoningsregime. Uitdiepen van sloten zal langzamere opwarming én langzamere afkoeling tot gevolg hebben. Verwijdering van waterplanten betekent toename van de menging, dat wil zeggen snellere opwarming en afkoeling.

Eén graad temperatuurdaling heeft bij kroos 5% reductie van de groei tot gevolg (paragraaf 4.2.2). Naar schatting zal de gemiddelde temperatuurdaling van de toplaag van het slootwater, die men door

bovengenoemde maatregelen tot stand kan brengen, minder zijn dan 3°C. Dit betekent een groeireductie van minder dan 15%. Verdieping van sloten zal dus in beperkte mate kunnen bijdragen aan de bestrijding van kroos, tenzij de temperatuurverlaging een sterk effect heeft op de concurrentieverhoudingen in de sloot (flab heeft bijvoorbeeld een relatief hoge groeisnelheid bij lagere temperatuur).

4.4.2 reductie van het aantal kiemen

Onder omstandigheden waarin de groei sterk gelimiteerd is, draagt reductie van het aantal kiemen bij aan de preventie van gesloten kroosdekken. Reductie van het aantal kiemen in de sloten kan bereikt worden door een combinatie van:

- het beperken van het aantal kroosfronds dat succesvol overwintert aan het wateroppervlak;
- het beperken van het aantal kiemende turionen;
- beperking van de migratie van kiemen van de overwinteringslocaties ('infectiehaarden') naar de rest van de polder.

Om na te gaan in hoeverre vermindering van overwinterende rustfronds of turionen effectief is, zijn simulaties uitgevoerd waarbij migratie afwezig is verondersteld. In dat geval bestaat namelijk geen aanvoer van kiemen van buitenaf, die de invloed van het aantal kiemen in de beschouwde sloot kan overheersen. De resultaten zijn vermeld in tabel 7.

| aantal fronds in de beginsituatie | biomassa (g d.s..m ⁻²) ³ bij verschillende turionenkieming (aantal.m ⁻² .dag ⁻¹) | | | | | |
|-----------------------------------|--|------------|-------|------------|------|--|
| | laag | | matig | | hoog | |
| | 0 | 1 | 10 | 100 | 1000 | |
| laag (0.1) | <u>0.0062</u> ² | 7,0 | 61 | 110 | 115 | |
| matig (10) | 0,62 | <u>7.6</u> | 62 | 110 | 115 | |
| hoog (1000) | 57 | 61 | 83 | <u>110</u> | 115 | |

Tabel 7. Effect van het aantal fronds op 1 mei en het aantal kiemende turionen gedurende het groeiseizoen op de biomassa per 15 september

¹ bij 50% van maximale groeisnelheid

² onderstreepte waarden komen overeen met de middelste kolom van tabel 6

Indien in 10 dagen evenveel of meer turionen kiemen als er initieel fronds aanwezig zijn, overheerst de invloed van de turionenkieming. Indien het 100 dagen of meer duurt voor evenveel turionen ontkiemd zijn per vierkante meter als er initieel al aan fronds beschikbaar is, is de invloed van de turionenkieming niet merkbaar.

Door in winter of voorjaar mechanisch fronds te verwijderen van het slootoppervlak, zou het aantal in het gunstigste geval teruggebracht kunnen worden tot 10 per m². Om effect te sorteren dient daarnaast de turionenkieming teruggebracht te worden tot beneden het niveau van

$1.m^{-2}.dag^{-1}$. Dat dit bereikt kan worden door turionen van de bodem te verwijderen, bijvoorbeeld door middel van baggeren, is zeer onwaarschijnlijk, omdat slechts een zeer kleine hoeveelheid achter mag blijven om het gewenst niveau te halen.

Zowel de hoeveelheid kroos die aan het slootoppervlak overwintert als de hoeveelheid turionen die in de slootbodem overwintert kan beperkt worden door sloten te schonen op kroos. Hiertoe dient het kroos verwijderd te worden voordat de turionenvorming optreedt. Er zijn aanwijzingen dat deze turionenvorming vooral in het najaar plaatsvindt. Verder zorgt het schonen van de sloot voor verwijdering van waterplanten, die vaak een obstructie vormen bij de migratie van kroos uit de poldersloot.

Beperking van migratie van kiemen uit 'infectiehaarden' naar de rest van de polder kan door een aantal maatregelen bereikt worden:

- isolatie van infectiehaarden, door migratiebarrières te creëren rond de infectiehaarden (kroosbalken e.d. hebben hierbij als nadeel dat ze wel kiemen doorlaten die onder het wateroppervlak zweven);
- elimineren van infectiehaarden, door kiemen (rustfronds aan wateroppervlak) te verwijderen in de winter;
- voorkomen van infectiehaarden; het is mogelijk dat een aantal infectiehaarden ontstaat door gunstige omstandigheden voor het overwinteren, bijvoorbeeld rond boerderijen (beschutting tegen wind, hogere watertemperatuur, hogere nutriëntenconcentratie). Het wegnemen van die gunstige omstandigheden kan de groei van kroos ter plekke voorkomen of remmen;
- alle sloten op het eind van de zomer op kroos te schonen, waardoor er minder rustfronds ontstaan en in het voorjaar dus ook minder kiemen aanwezig zijn.

Van de genoemde maatregelen lijkt isolatie op korte termijn het gemakkelijkst te realiseren en het goedkoopst. De effectiviteit zou nader bekeken moeten worden.

4.4.3 *beïnvloeding van de migratie*

Bij het schonen in de periode augustus-oktober, wanneer er veel kroos is, worden de planten die het kroos op zijn plaats houden weggehaald. Het kroos zelf wordt bij het schonen nauwelijks verwijderd. Door het verdwijnen van de obstructie in de vorm van andere waterplanten wordt de migratie en daarmee de vorming van gesloten kroosdekken bevorderd, zowel in de sloot zelf als op de hoofdwatergangen of op de boezem. Deze kroosdekvorming kan voorkomen worden door ook het kroos bij het schonen te verwijderen, hetgeen aan de orde komt in paragraaf 4.4.4.

Het moment van schonen kan uitgesteld worden tot de periode januari-april, waardoor het kroos zo veel mogelijk in de poldersloten wordt vastgehouden door andere waterplanten. Hiermee wordt het afsterven en daarmee het zuurstofverbruik over een groot oppervlak (de poldersloten) verdeeld en zal lokaal minder snel zuurstofgebrek optreden. De maatregel is alleen effectief indien er voldoende overige vegeta-

tie aanwezig is in de sloot. Door het later schonen van de sloten wordt de stromingsweerstand (k-manning) in de winter hoger dan in de huidige situatie. Dit veroorzaakt een waterstandsverhoging. Voor de maatgevende bui en de standaardsloot (paragraaf 3.5.2) wordt deze verhoging geschat op minder dan 1 mm (k-manning ongeschoond: 10). Dit is gering in vergelijking met de gebruikelijke schommelingen in het waterniveau van een polder. De praktische haalbaarheid van later of minder frequent schonen zou in de praktijk onderzocht moeten worden.

Aan de uiteinden van sloten kunnen vlak voor het schonen kroosbalken worden geplaatst om de migratie van kroos naar grotere watergangen te voorkomen. Deze maatregel zal slechts bevredigend werken indien zich voor de kroosbalken geen al te grote kroosdekken kunnen vormen (vooral in korte sloten en in lange sloten met vrij weinig kroos) of wanneer de kroosdekken die voor de balken ontstaan verwijderd worden. Indien men grote kroosdekken voor de kroosbalken laat liggen, zal ter plaatse zuurstofgebrek in het water ontstaan. Het kan verder nodig zijn kroosbalken zodanig aan te passen dat kroos ook onder het wateroppervlak tegengehouden wordt.

Soms kan het wenselijk zijn om migratiebarrières te verwijderen. Bij grotere waterlopen is het gunstig als al het kroos dat er op terecht komt aan het einde bij het gemaal terecht komt, waar het verwijderd kan worden.

4.4.4 verwijderen van kroos

Bij het mechanisch verwijderen van kroos kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- het schonen van sloten op kroos met als doel zoveel mogelijk kroosbiomassa te verwijderen;
- het verwijderen van kroos uit kopse einden van sloten en bij obstructies zoals duikers, om vorming van kiemen te voorkomen;
- het verwijderen van kroos bij gemalen om te voorkomen dat zich vlak voor het gemaal of benedenstrooms van het gemaal kroosdekken vormen;
- het verwijderen van kroosdekken die zich op boezem- of hoofdwatergangen vormen als gevolg van migratie.

Het schonen van sloten gericht op verwijdering van kroosbiomassa zou moeten worden gerealiseerd bij het normale jaarlijkse slootschonen op het eind van de zomer of het begin van het najaar. Het vereist aanpassing van de schoningstechnieken of een extra schoningsronde. Mogelijk kan met zo'n maatregel ook reductie van kiemen bereikt worden.

De maatregel wordt vooral aantrekkelijk geacht indien deze gerealiseerd kan worden door aanpassing van de normale arbeidsgang voor het slootschonen, waarbij vooral gedacht wordt aan aanpassing van de gebruikte werktuigen.

Het verwijderen van kroos uit kopse einden van sloten en bij obstructies zoals duikers om vorming van kiemen te voorkomen is besproken in paragraaf 4.4.2.

Het 'afvangen' van kroos bij poldergemalen wordt een gewenste maatregel geacht. Door het gecombineerd effect van wind en stroming komt het kroos dat bij het schonen gemobiliseerd wordt bij het gemaal terecht, voor zover het niet wordt vastgehouden door duikers. Door dit kroos bij het gemaal 'af te vangen' wordt voorkomen dat de boezem belast wordt met kroos en wordt de kroosbiomassa in de polder gereduceerd.

Het verwijderen van kroosdekken die op boezem- of hoofdwatertgangen zijn gevormd zal zelden nodig blijken indien de hiervoor genoemde maatregelen getroffen worden om kroos in poldersloten te bestrijden en migratie van de polders naar de boezem te voorkomen.

4.4.5 *Beoordeling van beheersmaatregelen*

In de voorgaande paragrafen zijn de diverse beheersmaatregelen beschreven en beoordeeld. Het resultaat hiervan wordt samengevat in tabel 8.

Bij de beoordeling zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Aanpak van de oorzaak van overmatige kroosgroei, de eutrofiëring, is als het meest positief beoordeeld (3 plussen). Dit is een brongerichte maatregel, waarbij er ook rekening mee is gehouden dat terugdringing van de eutrofiëring in wijder verband gunstig is voor het ecosysteem.
- Maatregelen gericht op het voorkomen van nadelige effecten van overmatige kroosgroei zijn positief beoordeeld en gehonoreerd met twee plussen indien ze in belangrijke mate bijdragen aan de effectbestrijding.
- Maatregelen die in beperkte mate bijdragen aan het oplossen van de kroosproblemen zijn positief beoordeeld en gehonoreerd met één plus.

4.5 Waarneming en beoordeling van de groeisnelheid in het veld

Bij de selectie van de beste maatregelen voor een specifieke situatie, is het van belang te weten of de groeisnelheden gereduceerd zijn. Daarom wordt hier kort ingegaan op de wijze waarop dit kan worden vastgesteld in het veld.

De beschikbaarheid van nutriënten speelt een doorslaggevende rol bij de reductie van groeisnelheden, maar het is mogelijk dat dit effect versterkt wordt door concurrentie of allelopathie. Indien de kroosgroei gereduceerd is door gebrek aan een van de nutriënten, krijgen concurrenten een betere kans, waardoor mogelijk de groei van kroos verder gereduceerd wordt. Een 50% groeireductie van *L. minor* treedt op indien het gehalte aan beschikbaar ortho-fosfaat in het water beneden $0,005 \text{ mg P.l}^{-1}$ ligt, of het gehalte aan beschikbare stikstof lager is dan $0,04 \text{ mg N.l}^{-1}$. Bij *L. gibba* en *S. polyrhiza* treedt 50% groeireductie al op bij hogere nutriëntgehalten. De gehalten die

| maatregel | score | toelichting |
|---|-------|---|
| <u>brongericht</u> | | |
| bepierking van nutriënten | +++ | . heeft prioriteit bij niet-gelimi- teerde groei |
| <u>effectgericht</u> | | |
| schonen op kroos | ++ | . vooral aantrekkelijk indien het ge- realiseerd kan worden door aanpas- sing van de apparatuur; . mogelijk ook effect door reductie van het aantal kiemen (zie: schonen op kiemen); . verdient nadere uitwerking voor wat betreft methode en tijdstip |
| verwijderen van kroos op gemalen | ++ | . vereist aanpassing van de bestaande voorzieningen |
| uitdiepen van sloten | + | . beperkt effect mogelijk via verla- ging van watertemperatuur en bevor- dering van concurrentie |
| schonen op kiemen | + | . alleen effectief bij gelimiteerde groei; . verdient nader uitwerking voor wat betreft methode en tijdstip; . zie ook: schonen op kroos |
| bepierking van toevoer van kiemen uit infectiehaarden | + | . alleen relevant bij gelimiteerde groei als aanvulling op andere maatregelen die kiemen reduceren; . praktische uitwerking hangt af van de lokale situatie |
| slootschonen verschuiven + naar de winter | + | . beperkt de afvoer van kroos naar de grotere wateren; . beperkt toepasbaar; . onzekerheid t.a.v. haalbaarheid |
| kroosbalken plaatsen/ barrières wegnemen | + | . wenselijkheid is afhankelijk van de situatie |
| verwijderen van kroos- dekken op grote wateren | + | . noodmaatregel |

Tabel 8. Beoordeling van maatregelen tegen kroosdekken

- +++ meest gewenste maatregel
 ++ gunstige maatregel
 + ondersteunende gunstige maatregel (op zich zelf onvoldoende)

genoemd zijn voor *L. minor* liggen beneden de detectiegrens voor de gebruikelijke meetmethoden. Bovendien is het afleiden van de groeisnelheid uit nutriëntgehalte een indirecte weg, waarbij verstoring mogelijk is door bijvoorbeeld:

- fluctuaties in concentraties in de tijd (o.a. dag-nachtvariaties);
- concentratieverschillen op kleine schaal (o.a. verschillen tussen toplaag en de rest van de sloot);
- concurrentie;
- allelopathie.

Een meer praktische aanpak is daarom het meten van de groeisnelheid zelf.

De groeisnelheid kan gemeten worden door representatief geachte sloottrajecten van ca. 10 m lengte te isoleren met behulp van kroosbalken en hierin met intervallen van een week de ontwikkeling te volgen van de biomassa van een enkellagig gesloten kroosdek (in drooggewicht). De biomassa wordt bepaald op basis van een schatting van de bedekking in combinatie met het vaststellen van het drooggewicht van een klein, representatief deel van het dek (bijvoorbeeld 100 cm²). Bij geringe bedekking dient het aantal kroosfronds geschat te worden. Door weging van een bekend aantal fronds (bijvoorbeeld 100) kan hieruit vervolgens de biomassa worden berekend.

Zodra het meettraject dreigt dicht te groeien met kroos, kan men na de schatting van de bedekking de hoeveelheid kroos reduceren tot 10%. Wanneer dit slechts kan met een ernstige verstoring van de habitat in de sloot wordt in overweging gegeven de waarneming te stoppen zodra de sloot praktisch volgegroeid is.

Bepalingen van de kroosbiomassa dienen uitgevoerd te worden bij weinig wind en droog weer. Wanneer er weinig wind is zal geen opstuwning van kroos plaatsvinden. Droog weer is vereist omdat fronds door de inslagkracht van regendruppels onder het wateroppervlak terecht komen, waardoor de bedekkingsgraad niet goed kan worden geschat.

Voor de interpretatie van de waargenomen kroosgroei is het wenselijk ook een keer per twee weken watermonsters te nemen en te analyseren op ortho-fosfaat, ammonium en nitriet/nitraat.

De werkelijke groeisnelheid in het veld kan berekend worden met de formule (paragraaf 3.4.1):

$$\mu = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t} \quad \text{waarin:}$$

- μ = relatieve groeisnelheid
- N_0 en N_t = de bedekkingsgraad of biomassa aan begin en eind van het tijdsinterval
- t = lengte van het tijdsinterval

De maximale groeisnelheden bij de heersende klimatologische omstandigheden (μ_{max} , paragraaf 4.2.2) kan geschat worden met behulp van de volgende formule:

$$\mu_{max} = \mu_s \cdot FL \cdot FT \quad \text{waarin:}$$
$$\begin{aligned} \mu_s &= 0,24 \text{ dag}^{-1} \text{ (d.i. de specifieke groeisnelheid)} \\ FL &= (\text{aantal uren licht})/12 \\ FT &= 0,05 (T - 25) + 1 \text{ waarbij } T \text{ in } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

De verhouding μ/μ_{max} is de reductie van de groeisnelheid.

Een globalere maat voor groeireductie is het tijdstip waarop gesloten kroosdekken ontstaan in poldersloten met weinig migratie. Indien dit tijdstip laat valt, bijvoorbeeld half augustus, is er sprake van gereduceerde groei. In dit geval kan reductie van kiemen zinvol zijn en wordt het de moeite van het uitproberen waard gevonden.

4.6 Beheerstrategie

Kroosdekken dienen voorkomen te worden op twee typen lokaties:

- poldersloten (waar het kroos groeit);
- hoofdwatgangen en boezems (waar het kroos nauwelijks groeit en vrijwel uitsluitend via migratie terecht komt).

In de voorgaande paragraaf zijn mogelijke beheersmaatregelen geïdentificeerd en is de haalbaarheid ervan afzonderlijk beschouwd. Op basis hiervan wordt een algemene beheerstrategie voorgesteld voor de bestrijding van kroos. Deze is schematisch weergegeven in figuur 11.

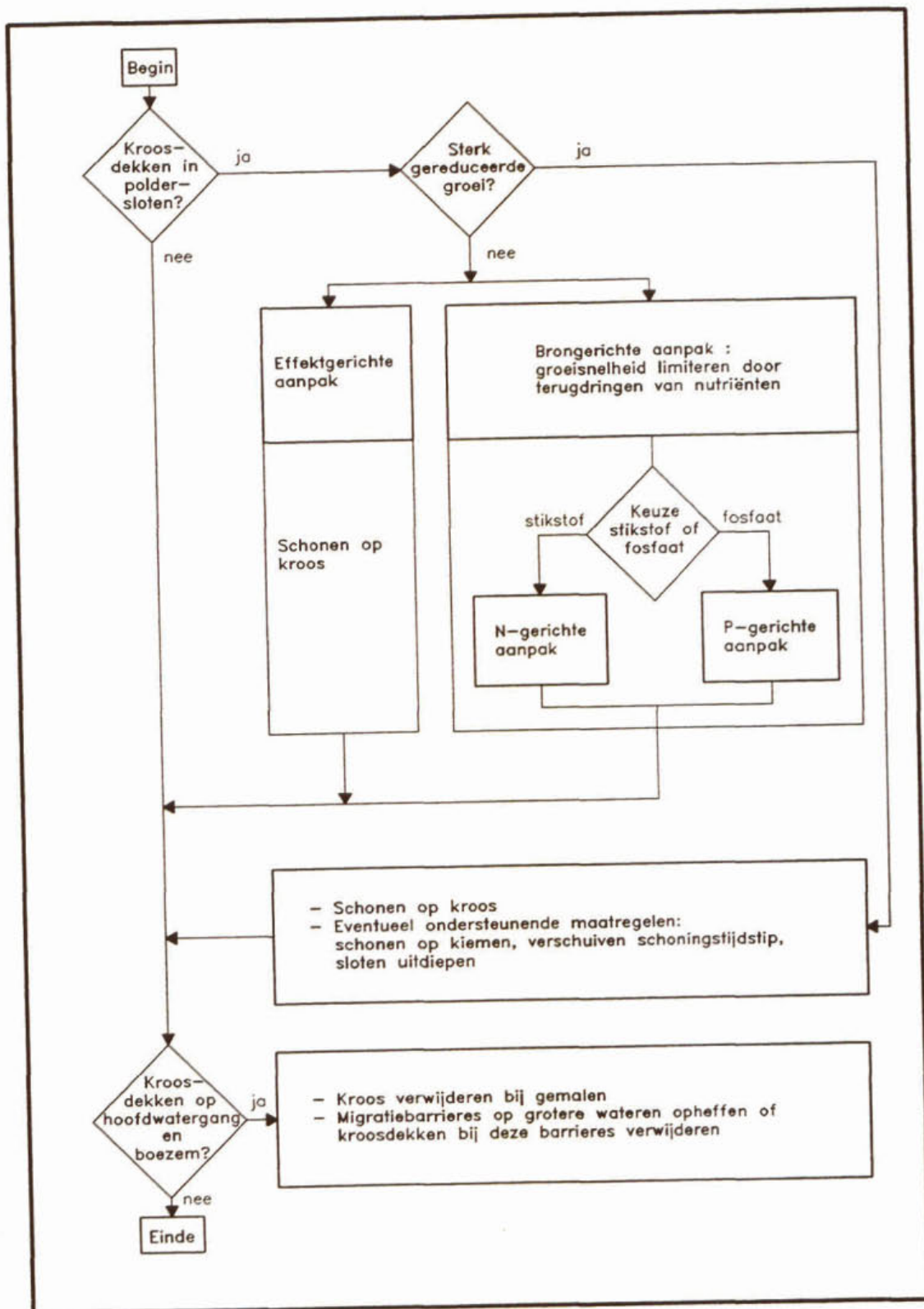
In de beheerstrategie wordt een onderscheid gemaakt tussen bestrijding van kroos in de poldersloten en bestrijding van kroos in de hoofdwatgangen en boezem. Bij de bestrijding van kroos in poldersloten dient beoordeeld te worden of de kroosgroei in de bestaande situatie reeds aanzienlijk gereduceerd is. Hierop is reeds ingegaan in de vorige paragraaf.

Indien de groei weinig gereduceerd is ($\mu/\mu_{max} > 0,5$) zijn twee soorten maatregelen mogelijk:

- reductie van de nutriëntentoevoer (brongericht);
- effectbestrijding.

Op welke van deze twee men zich richt is een beleidsbeslissing waarvoor een nadere analyse is gewenst, onder andere om inzicht te krijgen in de haalbaarheid, de tijd die gemoeid is met realisering; de kosten van deze twee soorten maatregelen, de milieu-effecten en de overige voor- en nadelen.

Bij de reductie van nutriënten is het de vraag of men zich zal richten op beperking van fosfaat of van stikstof. In de proefsloten die onderzocht zijn tijdens deze studie bleek stikstof beperkend. Het is waarschijnlijk dat stikstoflimitatie in de poldergebieden vaak beter realiseerbaar is dan fosfaatlimitatie. Hierbij speelt een rol dat via de waterbodem stikstof verdwijnt door het proces van denitrificatie terwijl fosfaat nageleverd wordt door de waterbodem.



Figuur 11. Beslisdiagram voor beheerstrategie

De keuze of men zich richt op stikstof of op fosfaat kan gemaakt worden op basis van kennis van de waterkwaliteit in de sloten, de omvang van de diverse emissies en de optredende processen. De belangrijkste processen zijn: denitrificatie in de slootbodem, fosfaatnalevering vanuit de bodem, aanvoer van nutriënten via het inlaatwater en uit- en afspoeling van nutriënten. De uit- en afspoeling spelen doorgaans in de zomer een vrij kleine rol, doordat deze periode gekenmerkt wordt door een neerslagtekort.

Bij aanzienlijk geremde kroosgroei ($\mu/\mu_{max} < 0,5$) kunnen ook de hiervoor genoemde effectgerichte maatregelen toegepast worden. Daarnaast kan de vorming van kroosbiomassa in poldersloten en de migratie daarvan naar hoofdwatertgangen en boezem verder beperkt worden door een aantal maatregelen, die 'ondersteunend' worden genoemd:

- schonen richten op reductie van het aantal kiemen, waarbij ook zorg besteed wordt aan de bestrijding van toevoer van kiemen uit infectiehaarden;
- slootschonen verschuiven naar de winter;
- sloten op diepte houden.

Over de uitvoerbaarheid, kosten en effectiviteit van de ondersteunende maatregelen is nog onvoldoende bekend om deze maatregelen aan te bevelen.

Kroosdekken op de hoofdwatertgangen en boezem dienen allereerst voorkomen te worden door bestrijding van kroos op de poldersloten zoals hiervoor besproken is. Verwacht mag worden dat ondanks de hiervoor genoemde maatregelen een hoeveelheid kroos in de poldersloten gemobiliseerd zal worden bij het slootschonen. Dit kroos kan het best worden opgevangen en verwijderd bij de gemalen voorzover het daar in de nazomer of herfst door de stroming naar toegevoerd wordt. Kroosdekken ontstaan in de hoofdwatertgangen, waar barrières de afvoer van het kroos belemmeren. Op zulke plaatsen heeft men de keus tussen barrière wegnemen of kroos voor de barrière verwijderen zodra dit problemen oplevert. De keuze zal afhangen van de situatie. Naar verwachting zullen niet of nauwelijks kroosdekken ontstaan op de boezem indien kroos effectief wordt verwijderd bij de gemalen.

5 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

5.1 Discussie

In deze paragraaf wordt ingegaan op de onzekerheden in de uitgevoerde analyse van kroosontwikkeling en de hieruit resulterende beheersstrategie. Daar de studie is gebaseerd op een modelmatige aanpak zijn onzekerheden deels het gevolg van beperkingen in het model. Het model beschrijft de ontwikkeling en verplaatsing van kroos in een poldersloot (schei- of kavelsloot) onder invloed van de omgevingsfactoren: klimaat, nutriëntconcentraties en waterhuishouding. Ook de overige vegetatie heeft op een aantal manieren invloed op kroos. Van deze invloeden is alleen het effect op de migratie opgenomen en dit nog in een zeer grove vorm. Over concurrentie en allelopathie is onvoldoende bekend. Deze verschijnselen zijn mede daarom niet expliciet opgenomen in het model; ook de noodzaak om het model niet al te ingewikkeld te maken heeft hierbij een rol gespeeld. Terugkoppeling van kroosontwikkeling naar waterkwaliteit en overige vegetatie ontbreekt in het model. Bovendien is het model slechts gevalideerd aan de hand van de waargenomen kroosontwikkeling in twee sloten, gelegen in twee verschillende polders. De verplaatsing van kroos door stroming en wind bleek nauwelijks een rol te spelen in deze sloten, doordat de overige waterplanten in deze sloten de verplaatsing van kroos belemmerden.

Een belangrijke beperking van het model is dat de nutriënthuishouding van de poldersloot niet in het model is opgenomen. Deze beperking kan het best worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld. Stel de concentratie van opneembaar stikstof in een sloot is gelijk aan de halfverzadigingswaarde van *L. minor*, dat is $0,04 \text{ mg N l}^{-1}$, en de bedekkingsgraad 50 %, dat is 16 g d.s. m^{-2} . De groeisnelheid is dan $0,12 \text{ dag}^{-1}$ en de biomassa neemt per dag toe met $1,92 \text{ g d.s. m}^{-2}$. Bij een stikstofgehalte van $40 \text{ mg N.g d.s. l}^{-1}$ is hiervoor per dag $76,8 \text{ mg N}$ nodig. In de waterkolom is bij een diepte van $0,50 \text{ m}$ en de hierboven genoemde concentratie van opneembaar stikstof een buffer aanwezig van 20 mg N . Dat betekent dat de voorraad stikstof in de sloot klein is ten opzichte van de hoeveelheid die in een dag door het groeiende kroos wordt opgenomen. Te verwachten is dat onder dit soort omstandigheden grote gradiënten in stikstofgehalten in de omgeving van het kroos zullen optreden en grote fluctuaties gedurende de dag. Onder zulke omstandigheden verliest een incidenteel gemeten concentratie aan betekenis. Het voorgaande houdt in dat het wenselijk is om ook naar nutriënt-fluxen te kijken en niet alleen naar concentraties. Verder is het waarschijnlijk dat onder dit soort omstandigheden het interne reservoir van de kroosfronds (zie paragraaf 3.4.2) een bufferende werking heeft.

In de analyse van de maatregelen wordt uitgegaan van een constante relatieve groei (μ/μ_{\max}) gedurende het groeiseizoen. Dit is in de praktijk niet het geval. Uit het veldonderzoek (deelrapport 3) bleek dat de concentraties aan opneembaar stikstof toenamen op het einde van het groeiseizoen.

In de opgestelde beheerstrategie zijn de beperkingen in model en analyse en de beperkte waarde van gemeten concentraties ondervangen

door uit te gaan van de vraag of er sprake is van gereduceerde groei, waarbij voorgesteld wordt de groei in het veld waar te nemen (paragraaf 4.5).

De beperking van het model tot het niveau van een poldersloot zorgt er voor dat de gevolgen van migratie op polderniveau en van polder naar boezem in kwalitatieve zin beschreven moesten worden. Hierdoor is de analyse van de kroosproblemen op dit niveau slechts globaal geweest.

Een verdere beperking in de studie is dat de financiële haalbaarheid van de maatregelen niet is onderzocht en dat ook de praktische realisering nadere uitwerking behoeft. Dit heeft met name als consequentie dat de keuze tussen enerzijds reductie van nutriënten en anderzijds schonen op kroos niet gemaakt kan worden op basis van deze studie. Ook kan op basis van de beschikbare gegevens geen uitspraak gedaan worden over de haalbaarheid van de in paragraaf 4.4 genoemde ondersteunende maatregelen.

5.2 Conclusies

De enquête onder de waterbeheerders in Nederland wees uit dat kroos in grote delen van het land problemen oplevert bij het beheer van waterkwaliteit (zuurstofgebrek) en waterkwantiteit (incidentele verstopping).

Uit het literatuuronderzoek³ bleek dat de ontwikkeling van een kroospopulatie tijdens het groeiseizoen, dat globaal loopt van maart tot en met oktober, afhangt van de hoeveelheid fronds die de winter hebben overleefd (de 'kiemen' voor de nieuwe populatie), de groeisnelheid en de verplaatsing (migratie) van het kroos.

Omtrent de overwintering van kroosfronds en de vorming en kieming van turionen zijn geen kwantitatieve gegevens uit literatuurstudie verkregen. Het onderzoek in het veld naar de omvang van de vorming van nieuwe kiemen uit turionen en overwinterde fronds geeft een orde van grootte aan voor de onderzochte situaties. Verdere kwantitatieve onderbouwing is echter noodzakelijk om een goed beeld te krijgen van de overwintering.

Uit berekeningen met het computermodel voor de ontwikkeling van een kroospopulatie onder een aantal verschillende situaties blijkt een hiërarchie van beïnvloedingsfactoren. In sloten waar obstructie door overige watervegetatie nauwelijks aanwezig is, blijkt de rol van migratie door wind dominant over de andere factoren die de kroosgroei beïnvloeden.

Als gevolg van de invloed van de wind kan de dichtheid van een kroospopulatie op een bepaalde plek binnen een dag variëren van 0,01 tot 200 gram droge stof per vierkante meter en kan het kroos grote afstanden afleggen (tot enkele honderden meters per dag). De windomstandigheden die dit teweeg brengen komen in Nederland regelmatig voor. In vergelijking met migratie heeft groei veel minder invloed op toename van de populatiedichtheid op een bepaalde plek. Voor de toename van de kroosdichtheid van 0,01 tot 30 gram droge stof per vierkante meter zijn in de veldsituatie namelijk minimaal enkele maanden nodig.

In een polder die bestaat uit een stelsel van vele met elkaar verbonden sloten is de ruimtelijke verdeling van het kroos dus sterk afhankelijk van de ligging van de sloten en grotere vaarten ten opzichte van de windrichting, de obstructie door de overige watervegetatie en de aanwezige obstakels in de sloten, zoals dammen en duikers.

De groeisnelheid van kroos onder invloed van nutriënten en temperatuur bepaalt de totale hoeveelheid biomassa die in een sloot of polder gedurende een groeiseizoen gevormd wordt. Licht is vrijwel nooit limiterend voor kroosgroei. Alleen bij zeer lage concentraties nutriënten, namelijk $N < 0,04-0,14 \text{ mg.l}^{-1}$ of $P < 0,005-0,013 \text{ mg.l}^{-1}$ (waarden afhankelijke van de kroossoort), wordt de groeisnelheid laag en gaat het aantal kiemen een rol spelen bij de ontwikkeling van de populatie.

Uit de nutriëntgehalten van kroos en de groeisnelheid is afgeleid, dat bij lage nutriëntconcentraties de hoeveelheid stikstof in de waterkolom klein is ten opzichte van de hoeveelheid die benodigd is voor de groei per dag. In dit soort situaties wordt de kroosgroei sterk beïnvloed door de aanvoer van nutriënten.

Uit studie in het veld (deelrapport 3) zijn er aanwijzingen, dat groeireductie door stikstoflimitatie in de praktijk voorkomt. Het is wenselijk onderzoek te doen of in het algemeen reductie van kroosgroei in sloten via stikstoflimitatie beter haalbaar is dan via fosfaatlimitatie.

Het is wenselijk om bij het bestrijden van kroosdekken een onderscheid te maken tussen het bestrijden van kroos in de poldersloten en het bestrijden van kroos in de grote wateren. Kroosproblemen in de poldersloten zijn het gevolg van overmatige groei, kroosproblemen in grote wateren zijn vooral het gevolg van de aanvoer van kroos uit poldersloten.

De bestrijding van overmatige groei van kroos in poldersloten vereist een reductie van de toevoer van stikstof of fosfaat tot een niveau waarop aanzienlijke groeireductie optreedt.

Zolang beperking van stikstof of fosfaat niet ver genoeg doorgevoerd is, vormt 'effectbestrijding' de enige mogelijke maatregel. Hierbij wordt gedacht aan het zodanig aanpassen van het slootschonen op het eind van de zomer, dat hierbij ook het kroos verwijderd wordt.

Zodra de toevoer van stikstof of fosfaat zodanig beperkt is dat aanzienlijke groeireductie van kroos optreedt, kan een verdere beperking van de door kroos veroorzaakte problemen door de volgende ondersteunende maatregelen:

- reductie van het aantal kiemen door aangepaste schoningstechnieken of specifiek schonen op kroos, waarbij ook aandacht besteed wordt aan het voorkomen van de toevoer van kiemen uit de infectiebronnen;
- slootschonen verschuiven naar de winter;
- sloten op diepte houden.

De hierboven genoemde maatregelen tegen groei van kroos in poldersloten zullen de toevoer vanuit de poldersloten naar de grote wateren reduceren. Indien blijkt dat dit niet voldoende effectief

is, kan de vorming van kroosdekken op grote wateren het best beperkt worden door een meer effectieve verwijdering van kroos bij gemalen. Verder wordt aanbevolen om eventuele obstructies te verwijderen uit de hoofdwatgangen, voor zover deze de afvoer van kroos naar de gemalen verhinderen.

Over de uitvoerbaarheid, kosten en effectiviteit van de bovengenoemde maatregelen is nog onvoldoende bekend. Deze onderwerpen vereisen nader onderzoek.

5.3 Aanbevelingen

De praktische uitvoering van de ontwikkelde aanpak voor het bestrijden van kroosdekken verdient nadere uitwerking. Aanbevolen wordt om nader onderzoek uit te voeren.

Het gewenste onderzoek ten behoeve van de praktische uitwerking van de aanpak omvat:

1. Het toetsen in het veld, en het eventueel verbeteren van de beschreven methoden voor het waarnemen van de groeisnelheid van kroos in poldersloten en het constateren en kwantificeren van groeireductie.
2. Het beoordelen van de haalbaarheid van reductie van kroosgroei door nutriëntlimitatie in praktijksituaties.
3. Onderzoek naar methoden voor beperking van het aantal kiemen en vaststelling van uitvoerbaarheid daarvan.
4. Het beoordelen van de haalbaarheid en effectiviteit van het op diepte houden van sloten in een aantal polders.
5. Onderzoek naar de praktische haalbaarheid en effectiviteit van het verschuiven van het slootschonen naar de winter.
6. Ontwikkeling van een of meerdere methoden voor het schonen van sloten op kroos. Het gaat hierbij om twee opties:
 - a. het modificeren van de bestaande schoningstechnieken,
 - b. het ontwikkelen van een techniek voor het specifiek schonen op kroos.Beide opties zijn relevant en dienen onderzocht te worden.
7. Inventarisatie en vergelijking van technieken om kroos tegen te houden bij gemalen.

Bij de praktische uitwerking van de aanpak van het kroosprobleem kunnen drie groepen onderwerpen onderscheiden worden op basis van de invalshoek::

- a) reductie van de kroosgroei door nutriëntlimitatie.
Dit onderwerp omvat de hiervoor onder 1 en 2 gewenste activiteiten.
- b) Ondersteunende maatregelen:
Dit omvat de hiervoor onder 3 en 4 genoemde maatregelen, inclusief nader onderzoek gericht op het bevorderen van alle allelopatische groeiremming door concurrenten.
- c) Schonings- en andere mechanische methoden:
Dit omvat de onder 5, 6 en 7 genoemde onderwerpen.

1. Heukels, H. en R. van der Meijden, 1983. Flora van Nederland. Wolters-Noordhoff, Groningen.
2. Does, J. van der, en Klink, F.J., (1991). Excessive growth of Lemnaceae and Azolla in ditches observed by false colour teledetection. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 2683-2688.
3. STOWA, 1992. Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos. 1. Literatuur.
4. Thomann, R.V. and J.A. Mueller, 1987. Principles of surface water quality modelling and control. Harper & Row, New York
5. Baijens, P.M., 1988. Aërodynamisch gedrag van kroos. TU-Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
6. Veeningen, R. 1985. Zuurstofhuishouding in poldersloten. Limnologisch Instituut, Nieuwersluis.
7. Koles, S.M., 1986. Modelling of duckweed (fam. Lemnaceae) biomass production and water quality improvement. Thesis. Univ. of Florida.
8. Brown, L.C. and T.O. Barnwell, Jr., 1987. The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. Env. Res. Lab., EPA, Athens, USA.
9. Provincie Zuid-Holland, 1990. Ecologische beoordeling van kleine wateren in Zuid-Holland. Provincie Zuid-Holland, Dienst Water en Milieu.
10. Groot, W.T. de, 1983. Modelling the multiple nutrient limitation of algal growth. Ecological modelling, 18 (1983), 99-119.
11. Withrow, R.B. and A.P. Withrow, 1956. Generation, control and measurement of visible and near-visible radiant energy (p. 138, p. 135). In: A. Hollander (ed.) Radiation biology, Vol III. McGraw-Hill.
12. KNMI, 1991. Klimatologische gegevens Valkenburg, verstrekt op verzoek.
13. KNMI, 1983. Klimatologische gegevens van Nederlandse stations. No. 10. Normalen en standaardafwijkingen voor het tijdvak 1951-1980. KNMI, de Bilt.
14. CHO-TNO en SAMWAT, 1990. Driemaandelijkse hydrologisch overzicht. Jrg. 13.
15. Wieringa, J., en P.J. Rijkoort, 1983. Windklimaat van Nederland, KNMI-De Bilt. Staatsuitgeverij, Den Haag.

16. Cultuurtechnische Vereniging, 1988. Cultuurtechnisch Vademe-
cum.
17. Schreijer, M., 1990. Kroos. Beknopte analyse van routine-
onderzoek 1988/1989 in het beheersgebied van Uitwaterende
Sluizen in Kennemerland en Westfriesland.
18. Boeyen, J.H., C.N. Beljaars en R. van Gerve, 1992. Vergroten
van de waterdiepte heeft een positief effect op de waterkwa-
liteit. H₂O (25): nr. 16.

DEELRAPPORT 2

AARD EN OMVANG VAN DE KROOSPROBLEMATIEK IN NEDERLAND

| | INHOUD VAN DEELRAPPORT 2 | BLZ. |
|---|--|------|
| | Inhoud | I |
| 1 | INLEIDING | 1 |
| 2 | OPZET VAN DE INVENTARISATIE EN RESPONS OP DE ENQUETE | 1 |
| 3 | RESULTATEN EN CONCLUSIES | 1 |
| | BIJLAGE | 7 |
| | 1. Enquête-formulier | 7 |

1 INLEIDING

Door middel van een schriftelijke enquête onder de regionale waterkwaliteitsbeheerders in Nederland is een inventarisatie gemaakt van het optreden van kroosdekken. Doel van de inventarisatie was een beeld te verkrijgen van:

- de aard en omvang van de problemen in het waterkwaliteits- en waterkwantiteitsbeheer als gevolg van het optreden van kroosdekken;
- de (regionale) verspreiding van de kroosproblematiek;
- de watertypen waarin kroosproblemen zich voordoen;
- de soortensamenstelling van de kroosdekken, en de veranderingen hierin in het seizoen.

De inventarisatie had daarnaast tot doel te komen tot een zekere begrenzing van de problematiek, om op basis hiervan prioriteiten van (veld)onderzoek vast te stellen. Tevens zouden de resultaten gebruikt kunnen worden bij het selecteren van lokaties voor veldonderzoek.

2 OPZET VAN DE INVENTARISATIE EN RESPONS OP DE ENQUETE

De enquête (zie bijlage 1) werd toegezonden aan de regionale waterkwaliteitsbeheerders in Nederland. Figuur 1 geeft een overzicht van deze kwaliteitsbeheerders, alsmede de situering van hun beheersgebied.

De respons op de enquête was hoog; in eerste instantie reageerden 14 kwaliteitsbeheerders (=50%). Na een schriftelijke herinnering steeg de respons tot 20 (=71%). Aanvullend werden nog 3 kwaliteitsbeheerders telefonisch benaderd, zodat in totaal van 82% van de benaderde waterkwaliteitsbeheerders informatie verkregen werd. Figuur 1 maakt duidelijk dat deze een zeer groot deel van de regionale oppervlaktewateren in beheer hebben.

3 RESULTATEN EN CONCLUSIES

In tabel 1 worden de belangrijkste resultaten van de enquête weergegeven. Tabel 2 geeft een overzicht van de aanvullende informatie die door de kwaliteitsbeheerders verstrekt werd.

De volgende conclusies kunnen worden getrokken:

- Problemen met kroosdekken doen zich in geheel Nederland voor; in een vrij groot gebied zijn deze problemen echter incidenteel van aard, en treden deze slechts op in uitzonderlijke omstandigheden (droge perioden met weinig afvoer) en op beperkte schaal (voor duikers en stuwen, in drinkpoelen, stadswateren en beken).
- Regelmatig terugkerende vorming van gesloten kroosdekken wordt als problematisch ervaren in Zuid-Holland, Noord-Holland, Utrecht en het rivierengebied van Gelderland en oostelijk Noord-Brabant.

- In de gebieden waar zich regelmatig gesloten kroosdekken vormen, treden problemen op in zowel het waterkwantiteits- als het waterkwaliteitsbeheer.
- In de gebieden waar incidenteel kroosdekken optreden, leidt dit vooral tot problemen in het waterkwaliteitsbeheer.
- De aard van de waterkwantiteitsproblemen betreft met name de ophoping van kroos voor krooshekken en gemalen en vergroting van de stromingsweerstand door het kroos. Daarnaast worden de boezemwateren met kroos belast.
De aanwezigheid van kroosdekken leidt nauwelijks tot extra onderhoud van de watergangen.
- Wat betreft de waterkwaliteit zijn met name het optreden van zuurstofloosheid en de afname van de diversiteit van het ecosysteem van belang bij het optreden van dichte kroosdekken. Ook kan vissterfte en stankvorming optreden.
Toename van het fosfaatgehalte van het water en extra slibvorming als gevolg van de aanwezigheid van kroos is van minder belang.
- In de zomer bestaan de kroosdekken hoofdzakelijk uit Lemnaceae, met weinig tot veel Azolla. In het najaar domineren de Lemnaceae nog steeds, maar is het aandeel Azolla in het algemeen hoger.
- Kroosdekken worden hoofdzakelijk aangetroffen in sloten en vaarten/weteringen. Minder frequent worden kroosdekken genoemd voor stadswateren. In drinkpoelen, beken en kanalen worden slechts incidenteel gesloten kroosdekken gevonden.

De conclusies zijn uitsluitend gebaseerd op de kennis die er bij de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders bestaat. Mogelijk zijn de waterkwantiteitsaspecten hierdoor enigzins onderbelicht. Slechts bij enkele kwaliteitsbeheerders wordt binnen het waterkwaliteitsonderzoek duidelijk aandacht besteed aan kroos, en zijn uitspraken gebaseerd op duidelijke feiten. Bij de andere beheerders betreft het meestal een globale - maar waardevolle - schatting van de problematiek op basis van incidentele, en niet gekwantificeerde waarnemingen. De conclusies hebben dan ook geen kwantitatieve basis en zijn slechts als indicatief te beschouwen.



O = Omcirkelde nummers: niet gereageerd op enquête

- | | |
|--|--|
| 1. Provinciaal bestuur van Groningen | 16. Provinciaal bestuur van Utrecht |
| 2. Provinciaal bestuur van Friesland | 17. Waterschap de Drie Ambachten |
| 3. Zuiveringsschap Drenthe | 18. Waterschap Noord- en Zuid-Beveland |
| 4. Zuiveringsschap West-Overijssel | 19. Waterschap Hulster Ambacht |
| 5. Waterschap Regge en Dinkel | 20. Waterschap Schouwen-Duiveland |
| 6. Zuiveringsschap Oostelijk-Gelderland | 21. Heemraadschap Fleverwaard |
| 7. Zuiveringsschap Rivierenland | 22. Waterschap Tholen |
| 8. Zuiveringsschap Veluwe | 23. Waterschap het Vrije van Sluis |
| 9. Zuiveringsschap Amstel en Gooiland | 24. Waterschap Walcheren |
| 10. Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland | 25. Waterschap de Aa |
| 11. Hoogheemraadschap van Delfland | 26. Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch |
| 12. Hoogheemraadschap van Rijnland | 27. Waterschap de Dommel |
| 13. Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden | 28. Hoogheemraadschap West-Brabant |
| 14. Hoogheemraadschap van Schieland | 29. Waterschap de Maaskant |
| 15. Groot-Waterschap van Woerden | 30. Waterschap Zuiveringsschap Limburg |

Figuur 1. Waterkwaliteitsbeheerders in Nederland en hun respons op de enquête

| water- kwaliteits- beheerder | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | kroosproblemen algemeen | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | alge- meen | kwali- tatief | kwali- tatief | kwali- tatief | incl- dentael | terug- kerend | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | kwantiteit | | | | | | | | |
| 1 | ? | ? | ? | ? | ? | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | ± | - | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | ± | - | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | ± | - | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | ± | ? | ? | ? | ? | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | + | ? | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | + | ? | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | + | ? | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | + | + | + | + | + | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | + | ? | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | ± | ? | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | - | ? | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | - | - | - | - | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | ± | ± | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | ± | ± | ± | ± | ± | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | ± | - | - | - | - | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | ± | - | - | - | - | + | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabel 1. Resultaten van de enquête (verklaring van de tekens staat op volgende bladzijde)

Legenda bij tabel 1

1) Waterkwaliteitsbeheerder: zie figuur 1

2) Kroosproblemen algemeen: + aanwezigheid van kroos geeft overlast
- aanwezigheid van kroos geeft geen overlast
± incidenteel kroosdekken aanwezig, overlast beperkt
? onbekend of kroosdekken optreden en overlast geven

3) Kroosproblemen specifiek:

a) kwantiteit: 1 ophoping voor krooshekken en gemalen
2 problemen met gemaalpompen
3 extra onderhoud
4 extra stromingsweerstand
5 belasting boezemwateren

b) kwaliteit: 1 zuurstofloosheid
2 vissterfte
3 stank
4 toename fosfaatvorming
5 slibvorming
6 afname diversiteit van het ecosysteem

c) samenstelling kroosdekken: L Lemnaceae 1 sloten
A Azollaceae 2 vaarten/weteringen
* altijd/meestal 3 stadswateren
+ vaak 4 drinkpoelen
. weinig/zelden 5 beken
- nooit 6 kanalen
? onbekend 7 meren en plassen
niet aangegeven

| wat.kwal.beh | kroos-onderzoek | aanvullende opmerkingen |
|--------------|-----------------|--|
| 1 | nee | |
| 2 | nee | geen structurele problemen; plaatselijk kroosdekken; omvang en freq. laag; bij verstoringen, bijv. waterinlaat in kanalen en ophoping voor stuwen en sluizen |
| 3 | nee | in laagveensloten meer Lemnaceae dan Azollaceae dan in kleislotten |
| 4 | | kroosdekken in kleinere watergangen in vlakke gebieden; vrijwel geen problemen; |
| 5 | | 2 jr. geleden problemen in kanaal Almelo-Nordhorn |
| 6 | nee | soms in kavelsloten en stadswateren; niet in tochten en vaarten |
| 7 | | |
| 8 | nee | weinig tot matig kroos in najaar in genorm. en natuurl. beken en wateringen; |
| 9 | nee | 2 jr. geleden problemen in Twentekanaal |
| 10 | nee | vaak kroosdekken in sloten; zelden in wateringen/vaarten; dan door ophoping vanuit zijsloten |
| 11 | nee | |
| 12 | ja | overlast door alle soorten in meerdere maanden in sloten en stadswateren |
| 13 | | |
| 14 | ja | |
| 15 | nee | |
| 16 | ja | |
| 17 | ja | |
| 18 | nee | geen problemen vanwege brak/zout water |
| 19 | | |
| 20 | nee | fluctuaties zoutgehalte (zoute kwal) mogelijk van belang |
| 21 | | |
| 22 | | |
| 23 | nee | |
| 24 | | |
| 25 | nee | |
| 26 | nee | geen problemen |
| 27/28/29 | nee | |
| 30 | nee | |

Tabel 2. Aanvullende opmerkingen uit de enquête

BIJLAGE 1

ENQUETE-FORMULIER

ENQUETE KROOSPROBLEMATIEK IN NEDERLAND
STORA-project 2.3.6. "Oorzaken en voorkomen van kroos"

1. Vormen zich in uw beheers/werkgebied gesloten kroosdekken toelichting
ja/nee
 zo nee, wat is volgens u de voornaamste reden voor het ontbreken van gesloten kroosdekken
 zo ja:

2. Uit welke plantensoorten bestaan deze kroosdekken

- a. In de zomer (juni-juli-augustus) watertype¹:
 Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit

 eventueel:
 - kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- b. In het najaar (september-oktober-november)
 Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
 - Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit

 eventueel:
 - kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit

¹ ● ● b. opsplitsen per watertype (zie ook vraag 3): zie hiervoor extra bijgevoegde formulieren

3. In welke watertypen treden deze kroosdekken op en wat zijn de belangrijkste karakteristieken van deze kroos-bedekte wateren.

| | vorm | omvang (ha) | breedte (m) | diepte (m) | stromings- snelheid (cm/s) | trofie graad | landgebr. omgeving |
|--------------------------|------|----------------|----------------|---------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| drinkpoelen | | | | | | | |
| stadswateren | | | | | | | |
| sloten | | | | | | | |
| weteringen en vaarten | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

4. a. Leiden de kroosdekken tot overlast bij het waterkwantiteitsbeheer? toelichting
 ja/nee
 zo nee, welke:

 zo ja, welke:
 * ophoping voor krooshekken/gemalen
 * problemen met gemaalpompen
 * problemen bij het onderhoud van de watergang
 * extra stromingsweerstand
 * belasting van het boezemwater met kroos
 *
 *
 *
- b. Leiden de kroosdekken tot overlast bij het waterkwaliteitsbeheer? toelichting
 ja/nee
 zo nee, welke:

 zo ja, welke:
 * zuurstofloosheid
 * vissterfte
 ● stank (H₂S; NH₃)
 * toename (ortho) fosfaatgehalte van het water
 *
 *
 *
- c. Leiden de kroosdekken tot een aantoonbare verslechtering van het aquatisch ecosysteem? toelichting
 ja/nee

5. a. Vormen de kroosdekken zich ieder jaar op dezelfde lokaties? toelichting
 ja/nee
 Heeft u aanwijzingen waarom dit het geval zou kunnen zijn?

- | | |
|---|--|
| <p>b. Bevinden zich in uw gebied lokaties waar het het ene jaar wel, en het andere jaar géén kroosdek ontstaat?</p> <p>Heeft u aanwijzingen waarom dit het geval zou kunnen zijn?</p> | <p>toelichting</p> <p>ja/nee</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| <p>6. a. Kunt u een opsomming en samenvatting geven van onderzoek cq. gegevens in uw beheers/werkgebied die relatie hebben met de kroosproblematiek. In welke vorm zijn deze onderzoeken/gegevens vastgelegd (rapporten; ruwe data; publicaties etc.)</p> | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| <p>b. Beschikt u over datasets (zo mogelijk van méér dan 1 jaar) waarin een mogelijke koppeling te te leggen is tussen kroosgroei(-bedekking), fysisch-chemische gegevens van het water, de waterbodem en/of omgevingskarakteristieken</p> | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| <p>c. Zijn er andere instanties binnen uw beheers? werkgebied (bijv. waterkwantiteitsbeheerders) die aanvullende informatie zouden kunnen verschaffen betreffende de kroosproblematiek</p> | <p>Instantie:</p> <p>.....</p> <p>Naam :</p> <p>.....</p> <p>tel :</p> |

Eventueel aanvullende opmerkingen:

.....

.....

.....

.....

Vervolg vraag 2

- a. In de zomer (juni-juli-augustus) watertype:
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- b. In het najaar (september-oktober-november)
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- a. In de zomer (juni-juli-augustus) watertype:
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- b. In het najaar (september-oktober-november)
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit

- a. In de zomer (juni-juli-augustus) watertype:
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- b. In het najaar (september-oktober-november)
- Lemnaceae (eendekroosfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Lemna overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Spirodela overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Wolffia overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azollaceae (kroosvarenfamilie) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- Azolla overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit
- eventueel:
- kroos (alle soorten) overal/meestal/vaak/weinig/zelden/nooit

DEELRAPPORT 3

VELDONDERZOEK NAAR GROEI EN VERSPREIDING VAN KROOS

| INHOUD VAN DEELRAPPORT 3 | BLZ. |
|--|------|
| Inhoud | I |
| 1 INLEIDING EN PROBLEEMSTELLING | 1 |
| 2 STUDIEGEBIED EN OPZET VAN HET VELDONDERZOEK | 2 |
| 2.1 Studiegebied | 2 |
| 2.1.1 gebied voor intensief onderzoek | 2 |
| 2.1.2 proefsloten | 3 |
| 2.1.3 Locaties voor aanvullend veldonderzoek | 5 |
| 2.2 Opzet van het veldonderzoek | 5 |
| 2.2.1 aanwezigheid van kroos en andere waterplanten | 6 |
| 2.2.2 migratie | 6 |
| 2.2.3 vrijkomen van turionen | 8 |
| 2.2.4 groei van kroos | 12 |
| 2.2.5 samenvatting van het meetprogramma | 16 |
| 3 RESULTATEN EN DISCUSSIE | 17 |
| 3.1 Aanwezigheid van kroos en andere waterplanten | 17 |
| 3.1.1 studiegebied | 17 |
| 3.1.2 proefsloten A en C | 18 |
| 3.1.3 locaties buiten het studiegebied | 23 |
| 3.2 Migratie | 25 |
| 3.3 Vrijkomen van turionen | 28 |
| 3.4 Groei van kroos | 30 |
| 3.4.1 temperatuur | 30 |
| 3.4.2 nutriënten | 32 |
| 3.4.3 groei-experimenten | 34 |
| LITERATUURLIJST | 35 |
| BIJLAGE | 36 |
| 1. Analyse van een aantal Rijnlandse bemonsteringspunten | 36 |

In veel Nederlandse poldersloten zijn de omstandigheden voor de groei van kroos zo gunstig dat het vegetatiematten vormt, die het wateroppervlak volledig afsluiten. Vanwege de negatieve gevolgen hiervan voor de kwaliteit van het water is het gewenst om maatregelen te treffen die de overmatige groei van kroos tegengaan.

Op grond van een literatuurstudie¹ is een computermodel opgesteld waarmee de groei en verspreiding van kroos in poldersloten wordt gesimuleerd. Dit model zal worden gebruikt om aangrijpingspunten voor beheersmaatregelen te vinden.

Voor de onderbouwing van enkele model-parameters en voor de validatie van het model is onderzoek naar de ontwikkeling van kroos in het veld noodzakelijk.

De model-parameters waarvoor het veldonderzoek verricht dient te worden, hebben betrekking op:

1. Kiemdichtheid: beginsituatie en aanvoer van kiemen uit de bodem (turionen).
2. Passieve migratie: door wind en waterstroming.

Voor de validatie worden de basisgegevens van de veldsituatie ingevoerd in het model. Op basis hiervan berekent het model voor die specifieke situatie de ontwikkeling van het kroos. Uit de vergelijking van de resultaten van de berekening en de werkelijke situatie in het veld kan worden afgeleid of het model een goede simulatie oplevert of dat het aangepast dient te worden.

De invoergegevens die nodig zijn bij de toetsing dienen een beschrijving te geven van:

1. Slootgeometrie.
2. Beginsituatie van de kroospopulatie.
3. Turionen die vrijkomen uit de bodem.
4. Factoren die de groei beïnvloeden.
5. Factoren die de migratie beïnvloeden.

Het model geeft de resultaten weer in de vorm van een hoeveelheid kroos op een bepaalde plaats in de sloot. Voor de toetsing moeten daarom in het veld voor kroos dezelfde grootheden gemeten worden: biomassa en locatie;

In het model wordt geen rekening gehouden met de concurrentie tussen kroossoorten onderling en tussen kroos en andere waterplanten. Uit het onderzoek in het veld kan worden afgeleid of het nodig is deze factoren alsnog in te bouwen.

2 STUDIEGEBIED EN OPZET VAN HET VELDONDERZOEK

2.1 Studiegebied

Voor het veldonderzoek is een gebied voor intensieve studie uitgekozen ten zuidwesten van Leiden (zie figuur 1). Als aanvulling op het veldonderzoek werden op enkele andere plaatsen waarnemingen verricht binnen het gebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland en Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden.

2.1.1 *gebied voor intensief onderzoek*

Het terrein voor veldonderzoek bestaat uit twee polders:

1. Westbroekpolder.

- ligging: tussen Zoeterwoude, Zuidbuurt en Weipoort;
- bodemgebruik: grasland voor intensieve veeteelt. Langs de rand van de polder liggen boerderijen met stallen. In het zuiden van de polder ligt het Plasdrasgebied, een terrein van circa 8 hectare waar extensieve veeteelt wordt bedreven.

2. Zwet- en Grootte Blankaartpolder.

- ligging: tussen Zoeterwoude, Zuidbuurt en Stompwijk;
- bodemgebruik: grasland voor intensieve veeteelt. Er staat weinig bebouwing op de percelen.

Waterhuishoudkundig gezien zijn beide polders zelfstandige eenheden zonder open verbinding met het omliggende gebied. De inlaat van boezemwater vindt op verschillende punten plaats met behulp van duikers. Overtollig water wordt op één punt in de polder met eenemaal op de boezem uitgeslagen.

Via het waterpeil in de poldersloten kan de grondwaterstand worden gereguleerd in verband met de agrarische activiteiten: laag slootpeil in winter en voorjaar (neerslagoverschot) en hoog slootpeil in zomer en najaar (neerslagtekort). De sloten worden regelmatig, meestal één maal per jaar, geschoond. In het studiegebied zijn alle sloten in het najaar van 1990 geschoond. Dit betekent dat de waterplanten en het bovenste laagje van de waterbodem worden verwijderd. Wanneer de sloot te ondiep is, wordt gebaggerd, hetgeen betekent dat 0,2 tot 1,0 m van de bodemlaag wordt verwijderd.

In 1985/1986 is het studiegebied voorzien van riolering, waardoor de kwaliteit van het oppervlaktewater is verbeterd. Nog bestaande bronnen van verontreiniging zijn: het spoelwater van boerderijen, overstort van riolering en mestopvang, alsmede de in het weidegebied toegepaste mest en bestrijdingsmiddelen.

Het Hoogheemraadschap van Rijnland is verantwoordelijk voor het kwantiteits- en kwaliteitsbeheer van het boezemwater en het kwaliteitsbeheer van het polderwater. Het waterkwantiteitsbeheer van het polderwater ligt in handen van het Waterschap Meer en Wouden. Het Plasdrasgebied in het zuiden van de Westbroekpolder valt onder toezicht van Staatsbosbeheer.

In overleg met de beheersinstanties zijn de bovengenoemde polders genomen als studiegebied om de volgende redenen:

- het betreft relatief kleine polders, zodat inventarisatie van het hele proefgebied niet te veel tijd kost;
- de watergangen in de polders zijn niet direct verbonden met oppervlaktewater in de omgeving. Migratie van kroos, die alleen plaatsvindt via inlaatpunten en het gemaal, zal naar verwachting relatief gering zijn;
- de oriëntatie van de sloten in de polders is verschillend. Westbroekpolder: oost-west; Zwet- en Grote Blankaartpolder: zuidoost-noordwest.
- in het recente verleden kwam in de poldersloten veel kroos voor, dus is het aannemelijk dat dit in de nabije toekomst ook zo zal zijn, wanneer de omstandigheden hetzelfde blijven;
- in de periode 1986 tot en met 1988 is in de Westbroekpolder door de faculteit Milieubiologie van de Universiteit van Leiden een onderzoek uitgevoerd naar de waterkwaliteit. De resultaten van dit onderzoek kunnen als referentie gebruikt worden.
- de polders zijn goed toegankelijk.

2.1.2 proefsloten

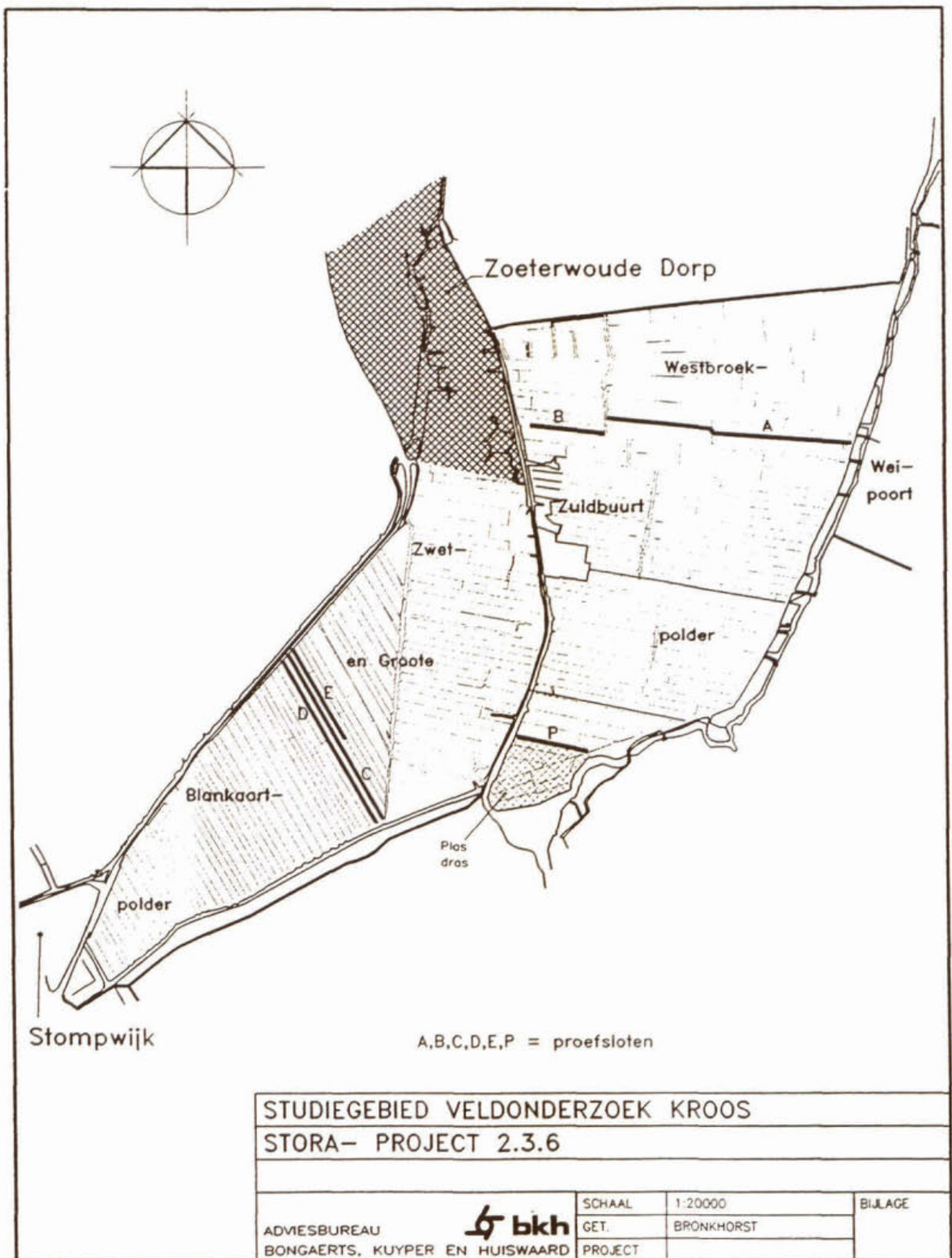
Binnen het studiegebied werden zes sloten geselecteerd voor een intensief meetprogramma en experimenteel onderzoek (zie figuur 1). Deze sloten geven een representatief beeld van de sloten in het hele onderzoeksgebied.

De proefsloten A en B liggen in de Westbroekpolder. De proefsloten C, D en E liggen in de Zwet- en Groote Blankaartpolder. Vanwege baggerwerkzaamheden zijn de experimenten uit sloot D begin augustus verplaatst naar sloot E. Om dezelfde reden is het onderzoek in sloot C eind augustus afgesloten. In het Plasdrasgebied is in één sloot (P) op beperkte schaal onderzoek uitgevoerd.

De proefsloten zijn 1 tot 6,5 meter breed en 0,2 tot 0,8 meter diep. De oevers zijn steil en begroeid met gras. De tochten in het gebied zijn 5 tot 8 meter breed en 0,4 tot 1,0 meter diep. In het Plasdrasgebied hebben de sloten een afwijkend profiel: een geleidelijk aflopende oever van ongeveer 0,75 meter met centraal een v-vormig uitgegraven sleuf met een diepte van 0,6 tot 0,8 meter. De lengte van de poldersloten varieert tussen 250 en 1000 meter.

De proefsloten hebben de volgende specifieke kenmerken:

- Proefslot A: - lengte: 1000 m;
- oriëntatie: oost-west;
- verbinding: bermsloot (oost), tocht (west).
- Proefslot B: - lengte: 500 m;
- oriëntatie: oost-west;
- verbinding: tocht (oost), doodlopend (west).
- Proefslot C: - lengte: 750 m;
- oriëntatie: zuidoost-noordwest;
- verbinding: tocht (zuidoost), doodlopend (noord-west).
- Proefslot D: - lengte 750 m;
- oriëntatie: zuidoost-noordwest;
- verbinding: tocht (zuidoost), bermsloot (noord-west).



Figuur 1. Ligging van het studiegebied en de proefsloten

- Proefsloot E: - lengte: 375 m;
 - oriëntatie: zuidoost-noordwest;
 - verbinding: doodlopend (zuidoost), bermsloot (noordwest).
- Proefsloot P: - lengte: 400 m;
 - oriëntatie: oost-west;
 - verbinding: doodlopend (oost), doodlopend (west).

2.1.3 Locaties voor aanvullend veldonderzoek

Op enkele locaties buiten het gebied voor intensieve studie werden regelmatig waarnemingen verricht om gegevens te verkrijgen over de ontwikkeling van kroos onder bijzondere omstandigheden.

Binnen het Hoogheemraadschap Rijnland werden na een inventarisatie van 20 verschillende locaties, drie punten geselecteerd, waarvan de aan- of afwezigheid niet verklaard kon worden uit de nutriëntenconcentraties (zie bijlage 1):

1. Monsterpunt ROP 41.03 ligt in de polder Groenendijk (bij Hazerswoude), in een sloot met aan één zijde een dam met duiker en aan de andere zijde een doodlopend uiteinde.
2. Monsterpunt ROP 113.3 ligt in de Oudekoop- en Negenviertalpolder (zuidoostelijk van de Reeuwijkse Plassen) in een sloot die aan één zijde doodloopt.
3. Monsterpunt ROP 138.2 ligt in de polder Stein (zuidoostelijk van de Reeuwijkse Plassen) in een hoofdwatgang.

In de polder Nieuw Lekkerland (bij het dorp Nieuw Lekkerland) wordt door het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden onderzoek uitgevoerd naar de aanwas van bagger in poldersloten. Hiervoor is de sloot in een aantal vakken verdeeld die in 1989 tot verschillende dieptes zijn uitgebaggerd (0,4m; 0,8m; 1,2m). Elk vak is aan het wateroppervlak afgesloten met balken, zodat migratie van kroos niet mogelijk is. Sinds het uitbaggeren wordt niet alleen de aanwas van het slib onderzocht, maar ook de vegetatie, de macrofauna en de waterkwaliteit. Binnen het veldonderzoek naar de ontwikkeling van kroos biedt deze locatie de mogelijkheid om sloten met verschillen in diepte en sliblaag te bestuderen.

2.2 Opzet van het veldonderzoek

Het onderzoek richtte zich op vier onderwerpen:

1. Aanwezigheid van kroos en andere waterplanten;
2. Migratie.
3. Vrijkomen van turionen.
4. Groei.

Het onderzoek werd uitgevoerd in de periode maart-september 1991. In het gebied werd in deze tijd regelmatig een globale kartering uitgevoerd van kroos en andere waterplanten. Op basis van de kartering in maart/april werd in het gebied een aantal sloten geselecteerd voor meer nauwkeurige kartering en experimenteel onderzoek naar migratie, groei en vrijkomen van turionen.

Nadat het onderzoek per onderdeel is besproken, wordt op het einde van dit hoofdstuk het volledige meetprogramma weergegeven in tabelvorm (zie tabel 2, blz. 16).

2.2.1 aanwezigheid van kroos en andere waterplanten

Voor het hele onderzoeksgebied werd elke zes weken een globale inventarisatie uitgevoerd van de slootvegetatie. Daarbij werd voor elke sloot een beschrijving van de soorten en de bedekkingsgraad opgesteld. Het doel van deze inventarisatie was het vaststellen van de situatie aan het begin van het groeiseizoen en het vinden van sloten die voor experimenteel onderzoek konden worden gebruikt, omdat ze representatief zijn voor alle sloten in de polders. Verder kon op deze wijze op grote schaal de ontwikkeling van kroos worden gevolgd.

Voor kartering van de vegetatie in de proefsloten A en C zijn deze verdeeld in trajecten van 50 meter. Elke twee weken werd voor een representatief stuk van elk traject de plantensoorten geïnterviewd en een schatting gemaakt van de bedekkingsgraad van de verschillende soorten.

De locaties buiten het studiegebied werden in de periode april-september drie à vier maal bezocht om de vegetatie op te nemen.

De bedekking met kroos werd bij kleine hoeveelheid uitgedrukt in het aantal fronds en bij grote hoeveelheid in droge stof. Om deze grootheden naar elkaar om te kunnen rekenen, werd regelmatig het gemiddelde drooggewicht bepaald van 1 frond. Dit gemiddelde drooggewicht van 1 frond werd vastgesteld door van een monster van 100 fronds, na circa 10 seconden uitlekken op filtreerpapier, het versgewicht te bepalen en, na droging gedurende 24 uur bij 105°C, het drooggewicht.

Tijdens de kartering werd de biomassa van kroos uitgedrukt in percentage bedekking van een bepaald traject van het slootoppervlak. De resultaten van de modelberekening worden echter uitgedrukt in $g\ ds.m^{-2}$. Om deze eenheden te kunnen vergelijken was het noodzakelijk de bedekkingsgraad om te rekenen naar gehalte $ds.m^{-2}$. Voor het bepalen van de omrekeningsfactor werd regelmatig het drooggewicht bepaald van 1 dm^2 kroosdek op dezelfde wijze als bij de 100 fronds. De bepaling van het vers- en drooggewicht van kroos vond plaats op het laboratorium van het Hoogheemraadschap van Rijnland.

2.2.2 migratie

De oever van een sloot heeft een vertragend effect op de verplaatsing van kroos door wind en waterstroming. Dit effect is in het model verwerkt als de parameter ϵ_1 . De mate van beschutting van het wateroppervlak, die ook van invloed is op de migratie van kroos, wordt in het model uitgedrukt in de parameter ϵ_3 .

Door meting van de verplaatsingssnelheid van fronds op verschillende plaatsen in de sloot (oeverzone, midden van de sloot, luwte) kan een beeld worden verkregen van de invloed die uitgaat van de oever en luwte. De bepaling zou worden uitgevoerd door de tijd te meten waarin (met verf) gemarkeerde fronds een bepaald traject afleggen op de verschillende plaatsen in de sloot.

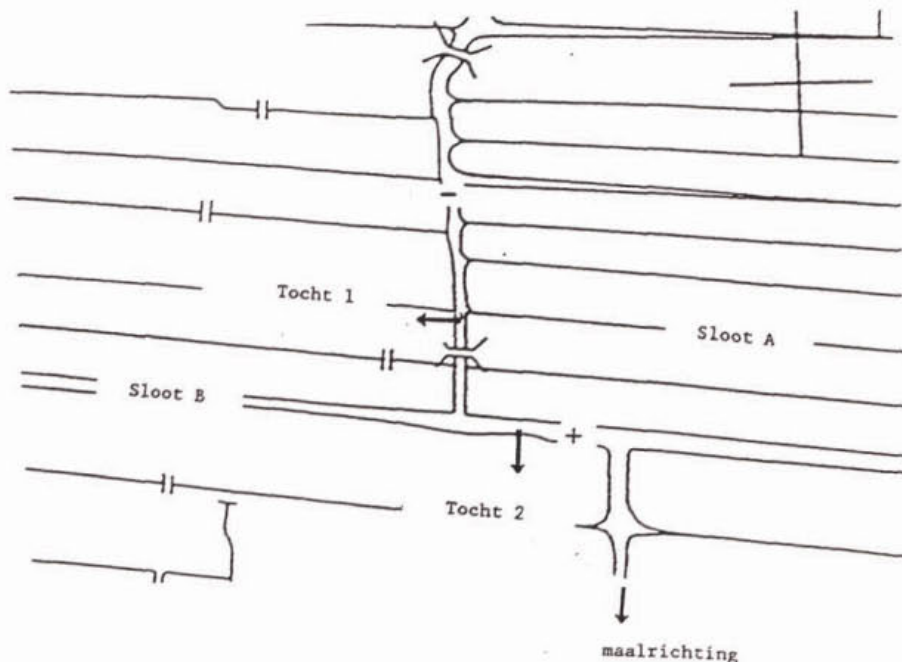
Tijdens de proefnemingen bleek dat het alleen mogelijk was om de verplaatsing van fronds te meten in een sloot zonder vegetatie aan

het oppervlak. Daarom is de bepaling uitgevoerd in twee loodrecht op elkaar georiënteerde stukken van een tocht in de Westbroekpolder, waar de waterplanten het oppervlak niet bereikten (zie figuur 2). Tocht-deel nr. 1 (Noord-zuid) was 3,5 m breed en tocht-deel nr. 2 (oost-west) 4,5 m. De waterspiegel lag in beide stukken 0,40 m beneden het maaiveld. De verplaatsingssnelheid van de fronds werd gemeten voor een traject van 10 meter in de lengterichting van de sloten op een aantal dagen in juli en augustus met verschillende windcondities.

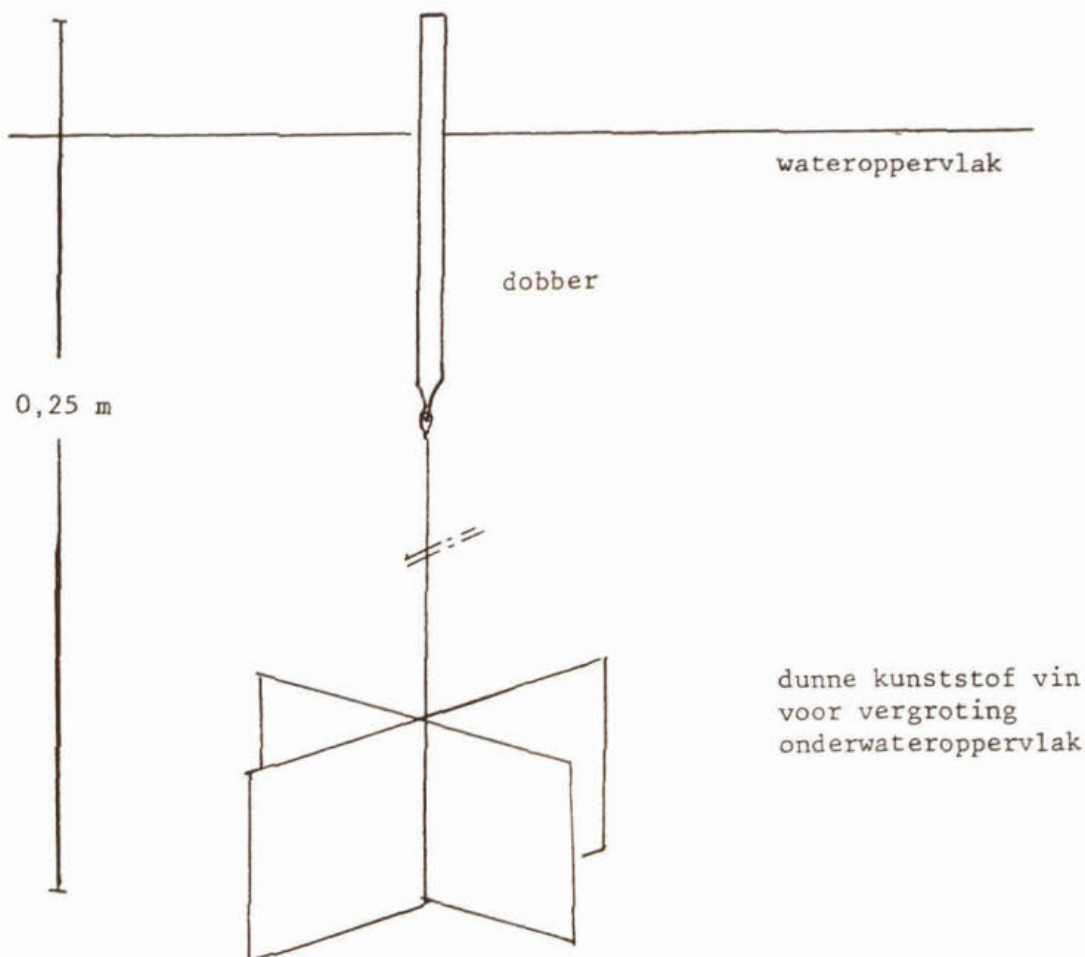
De gevonden verplaatsingssnelheden van het kroos werden gerelateerd aan de richting en sterkte van wind en waterstroming op dat moment. De gegevens over de wind werden ontvangen van het KNMI (waarnemingen van het weerstation Valkenburg). De stroomsnelheid van het water werd in het veld gemeten met een dobber, die aan de onderkant was voorzien van een weerstandslichaam. Dit weerstandslichaam bestond uit twee loodrecht op elkaar bevestigde, verticale plaatjes, die reikten tot een diepte van 0,25 m (zie figuur 3).

Voor de controle op de migratie van kroos in en uit de proefsloot werden aan de open uiteinden balken over de sloot gelegd (zie figuur 5 en 6). De kroosbalk ligt van oever tot oever over de sloot, 10 cm onder water en 10 cm boven water, zodat het water-oppervlak van de proefsloot geïsoleerd is. Proefsloot P (Plasdrasgebied) is niet met kroosbalken afgesloten.

Wanneer in de sloot te veel of te weinig kroos aanwezig was voor het experimentele onderzoek, kon dit gecorrigeerd worden door de kroosbalk tijdelijk te verwijderen en kroos in- of uit te laten. In de praktijk bleek deze correctie niet nodig.



Figuur 2. Locatie voor de bepalingen van de migratie van kroos



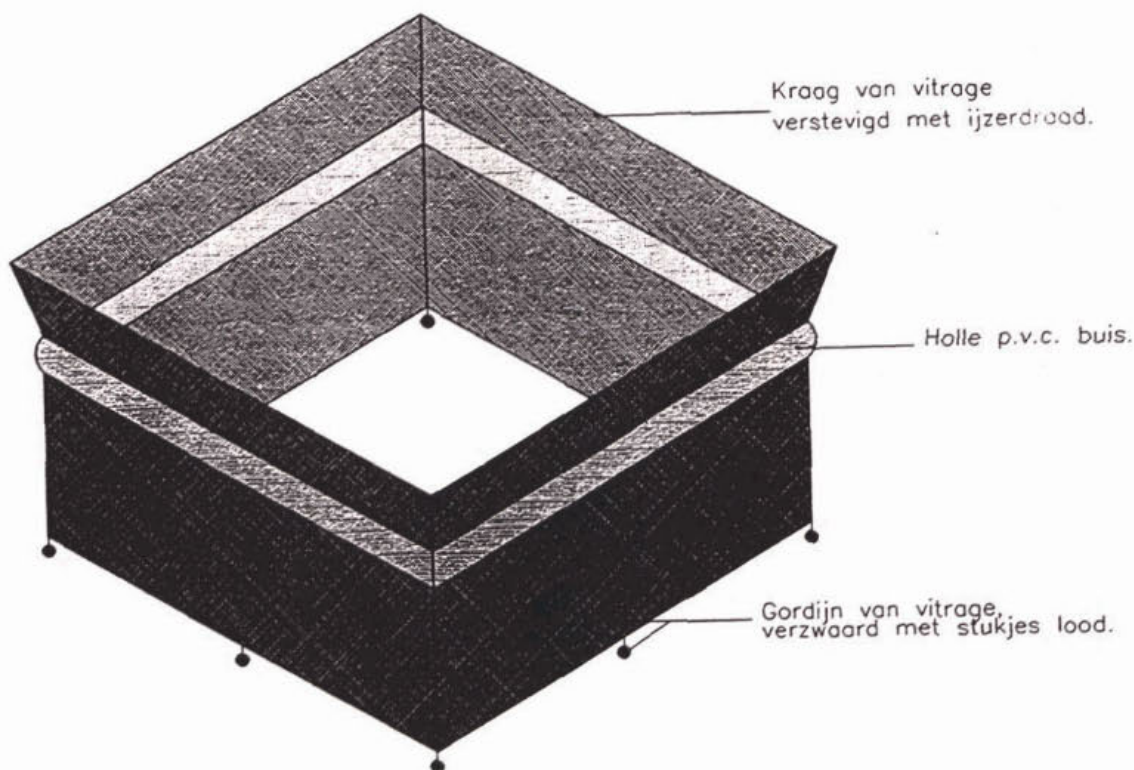
Figuur 3. Dobber voor de meting van de stroomsnelheid van water

2.2.3 vrijkomen van turionen

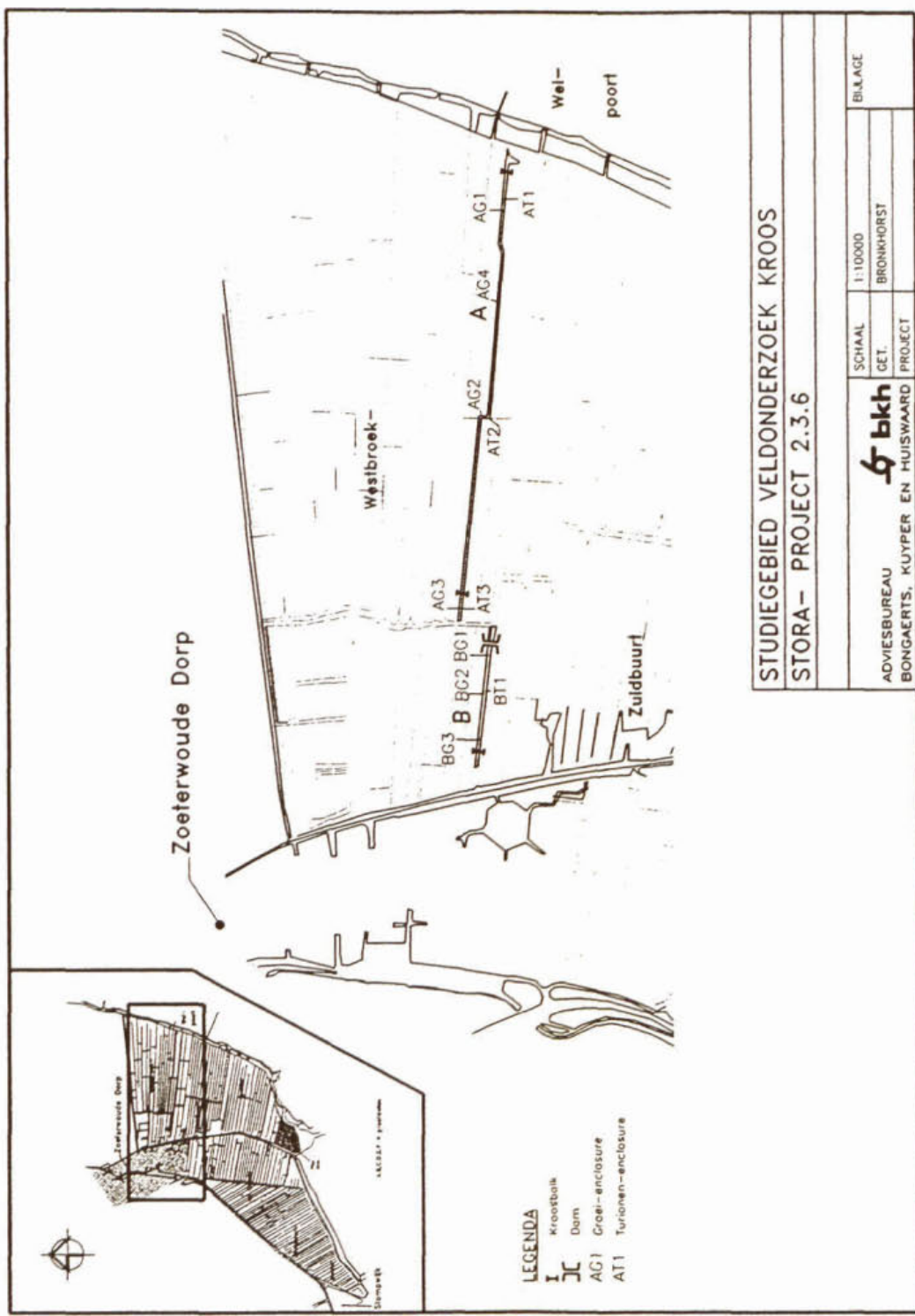
Het vrijkomen van turionen uit de bodem van de sloot werd gevolgd met turionen-enclosures (zie figuur 4). Een dergelijke enclosure bestaat uit een vierkant raam van pvc-buis (diameter 8 centimeter) dat drijft op het water. De oppervlakte die wordt ingesloten door het raam is $1,0 \text{ m}^2$. Om verplaatsing van fronds over de buis te voorkomen is het raam aan de bovenkant voorzien van een opstaande kraag van 15 centimeter, bestaande uit vitrage versterkt met ijzerdraad. Aan de onderkant van het raam is een gordijn bevestigd, dat reikt tot in de bodem om zo de kolom water onder het raam volledig af te sluiten voor fronds of turionen uit de rest van de sloot. Het gordijn bestaat uit vitrage die aan de onderkant is verzaamd met stukjes lood om het textiel in de slootbodem vast te leggen. Onder het raam is op deze wijze een stuk slootbodem van $1,0 \text{ m}^2$ geïsoleerd. Turionen die in dit stuk van de bodem kiemen, zullen binnen het raam aan het wateroppervlak komen.

In de proefsloten zijn in totaal acht turionen-enclosures geplaatst. Zie tabel 1 (pagina 14) voor verdeling van de enclosures over de sloten en figuur 5 en 6 voor de ligging. Eind mei is al het drijvende en bij het oppervlak zwevende kroos uit de enclosures verwijderd. Vervolgens werd tot en met september drie maal per week het aantal turionen geschat dat binnen de enclosure aan de oppervlakte is gekomen. De bepaling van het aantal turionen is gebaseerd op de schatting van het aantal of het oppervlak van de populatie. Op basis van het gemiddelde drooggewicht van een frond en het drooggewicht van 1 dm² eenlagig kroos kunnen aantallen in gewicht worden omgerekend en vice versa.

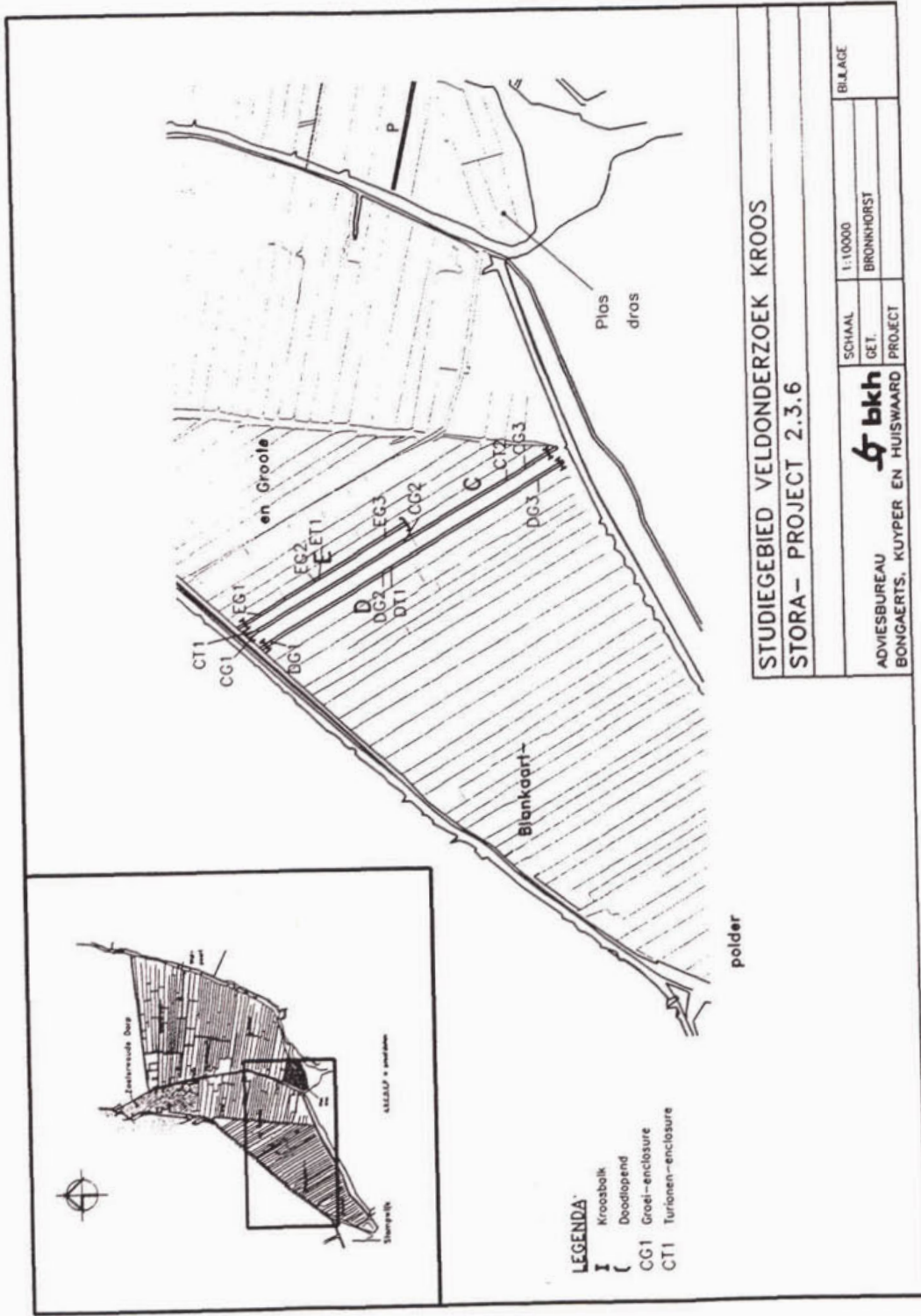
Na de schatting worden de drijvende fronds uit de enclosure verwijderd.



Figuur 4. Turionen-enclosure



Figuur 5. Ligging van enclosures en kroosbalken in proefsloten A en B



Figuur 6. Ligging van enclosures en kroosbalken in proefsloten C, D en E

2.2.4 *groei van kroos*

Voor de toetsing van het model zijn de waarden nodig van de factoren die groei beïnvloeden: temperatuur, licht en nutriënten.

Op basis van de bovengenoemde factoren berekent het model een bepaalde groeisnelheid voor het kroos, en vervolgens de hoeveelheid biomassa. Voor de toetsing van deze berekeningen zijn in het veld groei-experimenten uitgevoerd.

Tijdens de studieperiode werd het duidelijk dat het stikstofgehalte in de proefsloten zeer laag was en dat er geen gesloten kroosdekken aanwezig waren, zoals wel werd waargenomen in andere sloten in het studiegebied.

Om de veronderstelling te onderzoeken dat stikstof limiterend was voor de groeisnelheid in de proefsloten is een experiment met stikstoftoediening uitgevoerd.

temperatuur

De temperatuur van de toplaag van het slootwater werd bepaald met een (aquarium)thermometer die met het kwikbolletje circa 10 cm onder water wordt gehouden. De bepaling vond drie maal per week plaats. Op drie punten in elke proefslot werd zowel 's ochtends (10.00u) als 's middags (15.00u) de temperatuur bepaald.

Al snel was duidelijk dat er een verschil in temperatuur bestond in de toplaag boven een stuk sloot met een watervegetatie tot aan het oppervlak en de toplaag van een stuk sloot zonder vegetatie aan het oppervlak. Voor deze situaties zijn daarom aparte temperatuurmetingen uitgevoerd.

De gegevens over de luchttemperatuur in de periode april-september van het weerstation Valkenburg zijn ontvangen van de KNMI. Het betreft de gemiddelde temperatuur per blok van 6 uur vanaf middernacht en de gemiddelde etmaaltemperatuur.

licht

Van het KNMI zijn de gegevens ontvangen over de lichtinstraling in de periode april-september bij het weerstation Valkenburg.

nutriënten

Ter bepaling van de stikstof- en fosfaatconcentratie werden van de toplaag van de sloot (10 cm) watermonsters (250 ml in plastic fles) genomen in de buurt van de plekken waar *groei-experimenten* werden uitgevoerd. Per sloot waren dit drie monsterpunten. Op de dag van monsternamen werden de flessen overgebracht naar het laboratorium van het Hoogheemraadschap van Rijnland, waar het gehalte ammonium, nitraat/nitriet en ortho-fosfaat werd gemeten.

groei-experimenten

Voor het bepalen van de groeisnelheid van het kroos in de proefsloten zijn enclosures gemaakt, waarin het kroos kon groeien op het slootwater zonder dat aan- of afvoer van fronds mogelijk was.

Een groei-enclosure is vrijwel gelijk aan een turionen-enclosure. Het enige verschil is het type afscherming aan de onderkant van het raam. Bij de groei-enclosure is dit een naar beneden gerichte kraag van 15 centimeter, bestaande uit vitrage versterkt met ijzerdraad.

Er werden twaalf groei-enclosures geplaatst in de proefsloten. In tabel 1 wordt verdeling van de enclosures over de proefsloten weergegeven. Figuur 5 en 6 laten de ligging van de enclosures zien. Eind mei werd al het drijvende en aan het oppervlak zwevende kroos verwijderd. Elke enclosure is daarna beënt met 1 dm² éénlagig kroos, afkomstig uit de directe omgeving in de sloot. Deze 1 dm² kroos beslaat 1% van het oppervlak van de enclosure.

Tot en met september werd drie maal per week de groei van het kroos geschat aan de hand van het bedekkingspercentage, zodat de groeisnelheid kon worden bepaald. Wanneer de bedekkingsgraad hoger was dan 50% procent werd de bedekking teruggebracht naar 1%, om te voorkomen dat er een krooslaag ontstond van gestapelde fronds (self-crowding).

De groeisnelheid van de kroospopulatie ' μ ' werd berekend met de volgende formule:

$$\mu = \frac{\ln(N_2) - \ln(N_1)}{t_2 - t_1} \quad \text{waarin:}$$

- μ - relatieve groeisnelheid per dag
- t - tijdstip (1 of 2)
- N - bedekkingspercentage van kroospopulatie op tijdstip 1 of 2

Aan de hand van de resultaten van de het experiment met de turionen-enclosures kan de groei van de kroospopulatie in de groei-enclosures gecorrigeerd worden voor het aandeel van kiemende turionen uit de slootbodem. Voor deze correctie zou eenzelfde hoeveelheid kroos die aangetroffen werd in de turionen-enclosure (in directe omgeving of in dezelfde sloot) worden verwijderd uit de groei-enclosure. In de praktijk bleek de aanwas van de kroospopulatie ten gevolge van turionenkieming zo gering dat hiervoor niet gecorrigeerd behoefde te worden.

eutrofiërings-experiment met stikstof

Uit de analyse van de watermonsters bleek dat het gehalte stikstof in de proefsloten vanaf april tot en met juli zeer laag was (vaak beneden de detectiegrens). Daarnaast werd waargenomen dat er in de proefsloten geen gesloten kroosdekken ontstonden, terwijl deze elders in poldersloten wel werden waargenomen.

| plaats in proefslot | code | | periode |
|------------------------|--------------------|-----------------|-----------|
| | turionen-enclosure | groei-enclosure | |
| A1 | AT1 | AG1 | jun.-sep. |
| A2 | AT2 | AG2 | jun.-sep. |
| A3 | AT3 | AG3 | jun.-sep. |
| A4 | | AG4 | aug.-sep. |
| B1 | | BG1 | jun.-sep. |
| B2 | BT1 | BG2 | jun.-sep. |
| B3 | | BG3 | jun.-sep. |
| C1 | CT1 | CG1 | jun.-aug. |
| C2 | | CG2 | jun.-aug. |
| C3 | CT2 | CG3 | jun.-aug. |
| D1 | | DG1 | jun.-aug. |
| D2 | DT1 | DG1 | jun.-aug. |
| D3 | | DG1 | jun.-aug. |
| E1 | | EG1 | aug.-sep. |
| E2 | | EG2 | aug.-sep. |
| E3 | ET1 | EG3 | aug.-sep. |
| P1 | PT1 | PG1 | jun.-sep. |

Tabel 1. Verdeling van enclosures over de proefsloten en codering van enclosures

Naar aanleiding van deze waarnemingen werd besloten een eutrofi-erings-experiment met stikstof op te zetten om uit te vinden of stikstof in de proefsloten een limiterende factor was voor de groei van de kroospopulatie.

Circa 600 meter van proefslot A werd afgesloten met schotten. Binnen dit afgesloten traject werd aan het water stikstof toegevoegd in de vorm van ureum.

Er werd gekozen voor ureum als bemestingsstof omdat hiermee het voor kroos opneembaar stikstof (ammonium, nitraat/nitriet) langzaam vrijkomt. Het vrijkomen van opneembaar stikstof is afhankelijk van de snelheid waarmee bacteriën het ureum omzetten naar ammonium en het ammonium naar nitraat.

Bemesting in de vorm van ammonium of nitraat zou waarschijnlijk een relatief snelle verwijdering van het stikstof uit de sloot tot gevolg hebben gehad via het denitrificatieproces. Verder veroorzaakt ureum geen grote veranderingen van pH, terwijl dit bij ammonium of nitraat wel het geval kan zijn.

Er is aangenomen dat een gesloten kroosdek per m² 100 gram droge stof bevat. Bij een stikstofconcentratie van 5% betekent dit 5 gram stikstof per m² (gegevens uit literatuurstudie¹). Om een kroosdek te krijgen op het afgesloten stuk van de sloot (600m x 3,0 m = 1800 m²) is dus 9 kg stikstof nodig (1800 x 5 gram). De hoeveelheid ureum (46% stikstof) die toegediend moet worden is 19,5 kg, hetgeen resulteert in een stikstofconcentratie in het water van 12,5 mg.l⁻¹ (volume water is 1800 m² x 0,4 m = 720 m³). Deze concentratie ligt binnen het concentratiebereik dat voor de sloten in de Westbroek-

polder werd bepaald door de Universiteit van Leiden in de periode 1986-1988².

Het ureum werd in porties van 1,625 kg afgewogen (1/12 van de totale hoeveelheid ureum). Elke portie werd opgelost in 10 liter slootwater dat met een gieter over een traject van 50 meter (1/12 van totale lengte) onder het wateroppervlak werd toegediend. De schenktuit van de gieter was voor dit doel verlengd met een slang van 1,5 m.

Voorafgaand aan de bemesting werden bij de groei-enclosures watermonsters genomen voor de bepaling van pH en concentraties fosfaat en stikstof (ammonium en nitraat/nitriet). De pH-bepaling gebeurde in het veld, de overige metingen werden uitgevoerd door het laboratorium van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Na de bemesting werd in het afgesloten traject van de sloot elke week één watermonster genomen bij elk van de drie groei-enclosures voor de bepaling van pH en stikstof- en fosfaatgehalte.

Binnen het bemestingstraject lagen de turionen-enclosures AT1 en AT2 en de groei-enclosures AG1 en AG2. Daarnaast is binnen het traject nog een extra groei-enclosure geplaatst (AG4). Deze enclosures werden op de normale wijze bemonsterd (drie maal per week). De enclosures in sloot B en enclosure A3 dienden als blanco voor het bemestings-experiment. Voor deze punten wordt de normale bemonstering gedaan (één maal per twee weken), uitgebreid met pH-bepalingen in het veld.

2.2.5 *samenvatting van het meetprogramma*

| parameter | meetpunten | meetmethode | frequentie | meetperiode ⁴ |
|--|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| slootvegetatie | studiegebied | kartering | om 6 weken | maa.-sep. |
| slootvegetatie | elke p.s. ¹ | kartering | om 2 weken | apr.-sep. |
| slootvegetatie | 4 locaties buiten studiegebied | kartering | om 6 weken | apr.-sep. |
| slootgeometrie | alle p.s. | meetlint/ peilstok | eenmalig | apr. |
| drooggewicht frond | 2 punten in p.s. A,B,C, D,E | 100 fronds | om 3 weken geteld | jul.-sep. |
| drooggewicht 1 dm ² kroosdek | variërend in p.s. | 1 dm ² geschept | 2 maal per maand | jul.-aug. |
| verplaatsings- snelheid fronds | 2 punten in tocht | zie par. 2.2.1 | onregel- matig ² | jul.-aug. |
| verplaatsings- snelheid water | 2 punten in tocht | zie par. 2.2.1 | onregel- matig ² | jul.-aug. |
| windrichting en -snelheid | weerstation Valkenburg (KNMI) | - | continu | apr.-sep. |
| vrijkomen turionen | 9 punten in 6 p.s. | turionen- enclosures | 3 maal per week | apr.-sep. |
| water- temperatuur | 3 punten in p.s. A,B,C, D en E | thermometer toplaag van p.s. | 3x per week ochtend en middag | jun.-sep. |
| lucht- temperatuur | weerstation Valkenburg | - (KNMI) | continu | apr.-sep. |
| licht | weerstation Valkenburg | - (KNMI) | continu | apr.-sep. |
| nutriënten | 3 punten in p.s. A,B,C, D en E | zie par. 2.2.4 | om 2 weken ³ | apr.-sep. |
| groeisnelheid | 16 punten in 6 p.s. | groei- enclosures | 3 maal per week | apr.-sep. |

Tabel 2. Meetprogramma voor veldonderzoek

- ¹ p.s. proefsloot
- ² afhankelijk van de windcondities
- ³ bij eutrofiëringsexperiment in sloot A elke week
- ⁴ in het jaar 1991

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 Aanwezigheid van kroos en andere waterplanten

3.1.1 *studiegebied*

In maart werd in alle sloten van het studiegebied kroos aangetroffen, voornamelijk de soorten *L. minor* en *L. gibba*. Het bleek overigens moeilijk om in deze periode de twee soorten goed te onderscheiden. In geringere mate was *L. trisulca* aanwezig, vrijwel altijd ondergedoken en vastgehouden door vegetatie onder het wateroppervlak, met name draadalgen (flab).

De dichtheid van het kroos varieerde van enkele fronds per dm² tot kleine kroosdekken van enkele vierkante meters. Zowel in de Westbroekpolder als in de Zwet- en Groote Blankaartpolder was de kroosbedekking veruit het hoogst in de sloten aan de rand van de polder langs de weg (de bermsloten) en de eerste tientallen meters van de poldersloten die hiermee in verbinding stonden. Dit zou het gevolg kunnen zijn van een hogere temperatuur en hoger nutriëntengehalte in vergelijking met de rest van het studiegebied, die veroorzaakt werden door afvalwater afkomstig van de bebouwing langs de weg.

In het Plasdrasgebied was nauwelijks kroos aanwezig.

De meeste fronds hadden een valse donkergroene kleur. Waarschijnlijk betrof het hier plantjes die overwinterd hadden. In de relatief warme periode van eind maart en begin april begon het merendeel van de donkergroene fronds af te sterven. Her en der ontstonden echter kleine, felgroene fronds (de nieuwe generatie van het voorjaar). Tijdens dezelfde warme periode kwam flab in alle sloten sterk tot ontwikkeling. Op sommige plaatsen werd een bedekking bereikt van 80%.

Vrijwel al het kroos dat nog aanwezig was in april lag vast in het flab, dat op de meeste plaatsen tot aan het wateroppervlak was gegroeid. Het weinige kroos dat nog los dreef werd bij geringe windsterkte al naar de oever of naar luttel toe geblazen.

Door de dichte begroeiing met flab konden de waarnemingen van het ondergedoken *L. trisulca* niet meer plaatsvinden.

De situatie met veel flab en relatief weinig kroos bleef in stand gedurende de periode april-mei. Vanaf mei werd naast de al eerder vermelde kroossoorten ook *Spirodela polyrhiza* aangetroffen, vooral in de Westbroekpolder en in veel mindere mate in de Zwet- en Groote Blankaartpolder.

Tussen juli en september liep de hoeveelheid flab terug en vanaf mei nam de hoeveelheid kroos langzaam toe. In juli was het kroos overal in het studiegebied globaal in de zelfde dichtheid aanwezig. Vanaf augustus ontstonden in een aantal sloten volledig bedekkende krooslagen, vooral in het zuiden van de Zwet- en Groote Blankaartpolder.

De kroossoort *A. filiculoides* kwam enigszins tot ontwikkeling in augustus en september, de gemiddelde bedekking kwam echter niet hoger dan enkele procenten.

Verreweg het grootste deel van de vegetatie die in de poldersloten tot ontwikkeling kwam bestond uit flab en kroos. Een veel kleiner aandeel in de begroeiing werd ingenomen door soorten als *Enter-*

morpha (darmwier), *Potamogeton pectinatus* (Schedefonteinkruid), *Elodea canadensis* (Brede waterpest) en *Ceratophyllum demersum* (Gedoornd Hoornblad).

De ontwikkeling van flab en kroos gedurende de waarnemingsperiode zou verklaard kunnen worden op basis van de watertemperatuur. In de tijd dat de gemiddelde dagtemperatuur van de watertoplaag rond 15°C of lager was (maart-mei), kwam flab sterk tot ontwikkeling. Toen voor deze temperatuur continu hogere waarden dan 15°C werden gemeten, begon het aandeel van kroos in de totale vegetatie langzaam te groeien. In de periode dat de gemiddelde dagtemperatuur hoger kwam te liggen dan 20°C begon de populatie flab af te nemen.

Van *L. minor* is het bekend dat de maximale groeisnelheid ligt rond 28°C, bij 10°C wordt slechts 20% van deze maximale groeisnelheid gehaald. De maximale groeisnelheid van flab ligt waarschijnlijk bij een lagere temperatuur dan die van kroos, daarom heeft het flab in het temperatuurtraject tot 15°C een grotere concurrentiekracht dan kroos.

Uit het voorafgaande kan worden geconcludeerd dat een relatief warm voorjaar waarschijnlijk een snelle toename van de kroospopulatie tot gevolg heeft, waardoor reeds vroeg in de zomer gesloten kroosdekken kunnen ontstaan. Bij een koud voorjaar zullen de kroosdekken later in het seizoen optreden.

3.1.2 proefsloten A en C

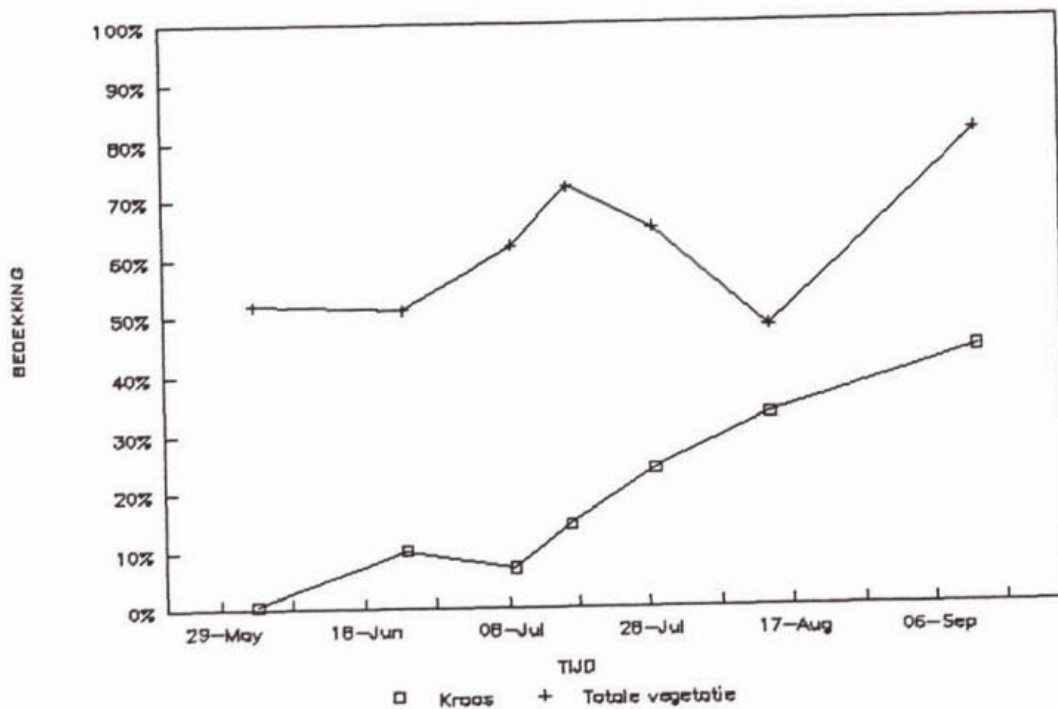
In de proefsloten A (Westbroekpolder) en C (Zwet- en Groote Blankaartpolder) verliep de ontwikkeling van de slootvegetatie op dezelfde wijze als in de andere sloten van het studiegebied.

In de periode juni-september werd regelmatig de bedekking van kroos en de totale vegetatie bepaald in beide sloten (zie figuur 7 en 8). Zowel bij proefslot A als proefslot C nam de bedekking met kroos vanaf begin juni lineair toe met de tijd.

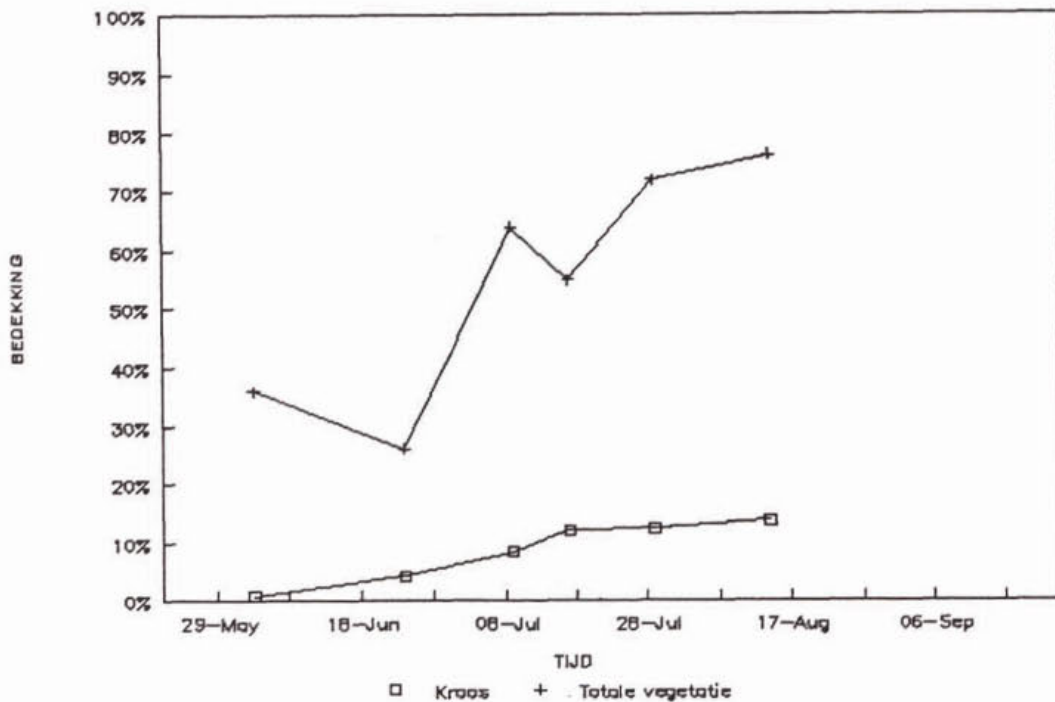
In proefslot A nam de kroosbedekking tussen 5 juni en 12 september (101 dagen) toe van 0,7 tot 44,0%. Dit betekent een biomassatoename 'k' van 0,041 dag⁻¹. De bedekking in proefslot C groeide in de periode van 5 juni tot 13 augustus (72 dagen) van 0,9 naar 13,8%. De biomassatoename is in dat geval 0,038 dag⁻¹.

De biomassatoename in de proefsloten is zeer laag (ca. 10%) in vergelijking met de maximale groeisnelheid die in andere veldproeven wordt gevonden. Bij dergelijk onderzoek in Tsjechoslowakije werd voor *L. gibba* een biomassatoename gemeten (in aanwezigheid van andere watervegetatie) die lag tussen 0,143 en 0,288 dag⁻¹ ². Blijkbaar waren de omstandigheden in de poldersloten niet zo gunstig voor het kroos. Dit kan het gevolg zijn van de concurrentiekracht van de overige slootvegetatie, die hoofdzakelijk uit flab bestond.

De bedekking van kroos en de totale vegetatie is voor proefslot A weergegeven in figuur 7. Begin juni bestond 1,3% van de totale vegetatie uit kroos, in september is dit 54%. In proefslot C (figuur 8) neemt het aandeel kroos in de totale vegetatie tussen begin juni en midden augustus toe van 2,5 tot 18,2%. De toename van kroos in beide proefsloten is vooral ten koste gegaan van de flabpopulatie, die vanaf juli begint af te nemen.



Figuur 7. De bedekking van proefsloot A met kroos en totale vegetatie in de periode juni-september



Figuur 8. De bedekking van proefsloot C met kroos en totale vegetatie in de periode juni-september

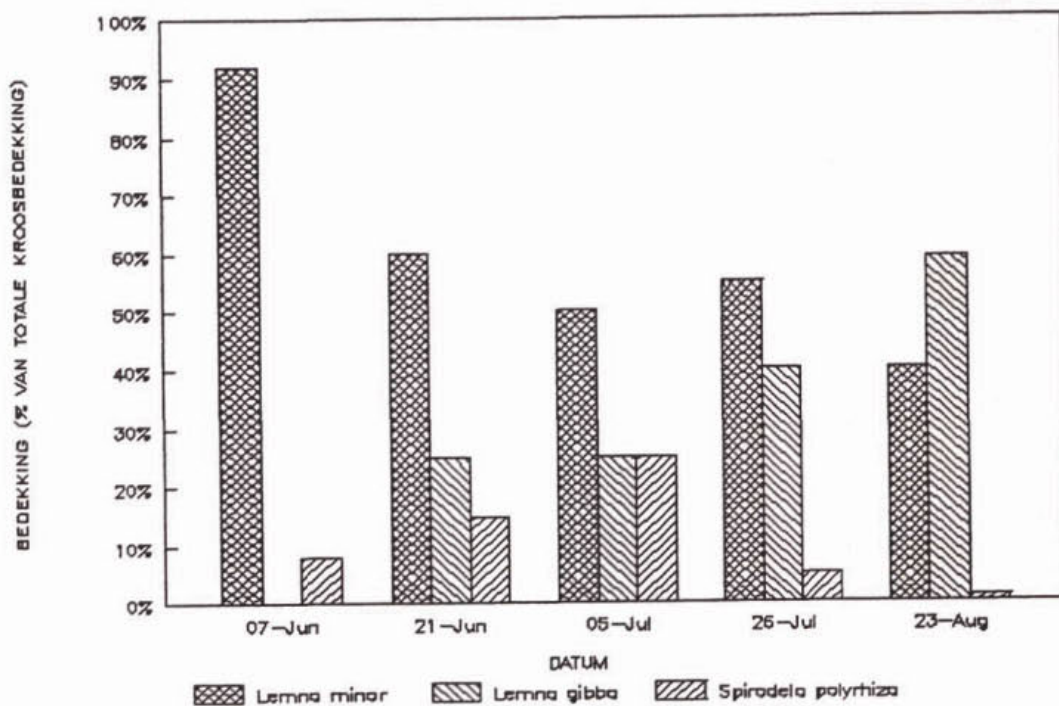
De vertegenwoordiging van de verschillende soorten in de kroospopulatie van proefsloot A en C is nogal verschillend (zie figuur 9 en 10). In sloot A nam *L. minor* vrij sterk af en *L. gibba* nam vrij sterk toe. *S. polyrhiza* kwam vooral in juni en juli voor. Laatstgenoemde soort was afwezig in proefsloot C, waar verder de afname van *L. minor* en de toename van *L. gibba* minder sterk waren dan in proefsloot A. In tegenstelling tot proefsloot A werd in proefsloot C wel *A. filiculoïdes* aangetroffen in september, zij het in geringe hoeveelheid.

Het wel of niet voorkomen van de verschillende soorten wordt veroorzaakt door een aantal factoren, waaronder watertemperatuur en nutriëntenaanbod. Zo kan *A. filiculoïdes* stikstof uit de lucht binden en komt daarom vooral voor op plaatsen waar de stikstofgehalten in het water laag zijn. In het kader van deze studie is verder geen aandacht geschonken aan de redenen voor de ontwikkeling van de verschillende soorten. In verband met het doel van het onderzoek was het voldoende te weten in welke mate de soorten voorkomen.

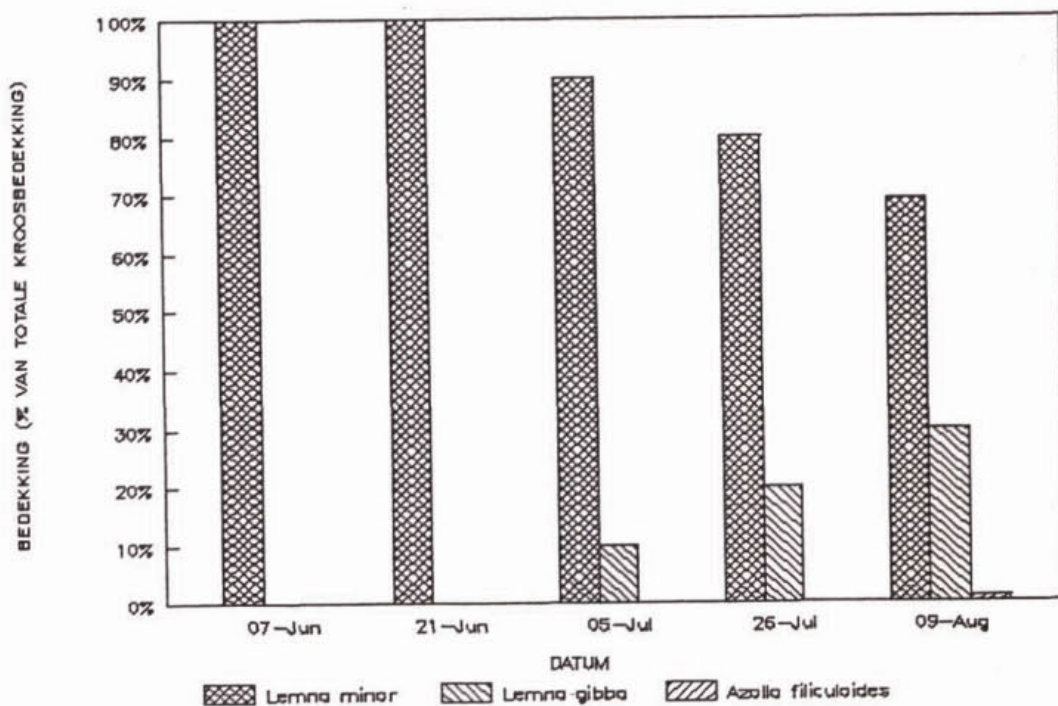
De bepaling van het drooggewicht van 1 dm² kroosdek leverde problemen op omdat het vrijwel niet mogelijk bleek het kroos te scheppen zonder de eronder groeiende vegetatie (vooral flab) mee te nemen. De drie succesvolle monsters die in juli-augustus werden genomen, leverden een gemiddeld versgewicht van 480 g.m⁻², een gemiddeld drooggewicht van 32 g.m⁻², en een gemiddelde drooggewicht-versgewichtverhouding van 6,5%. Het gehalte droge stof is vrij laag in vergelijking met andere veldmetingen in Zuid-Holland (gemiddeld 186 g.m⁻², niet gestuwd)⁴.

Het gemiddelde vers- en drooggewicht van 100 fronds is weergegeven in tabel 3. Het gemiddelde versgewicht over de hele meetperiode was 170 mg/100 fronds, het gemiddelde drooggewicht 13 mg/100 fronds en de gemiddelde verhouding drooggewicht-versgewicht 7,9%. Deze waarden vallen in het bereik van de resultaten uit andere onderzoeken¹.

Op basis van het drooggewicht van 1 frond (0,13 mg) en 1 m² kroos (32 g) is berekend dat 1 m² kroosdek (niet opgestuwd) circa 250.000 fronds bevat.



Figuur 9. De ontwikkeling van het aandeel van de verschillende soorten van de kroospopulatie in proefsloot A



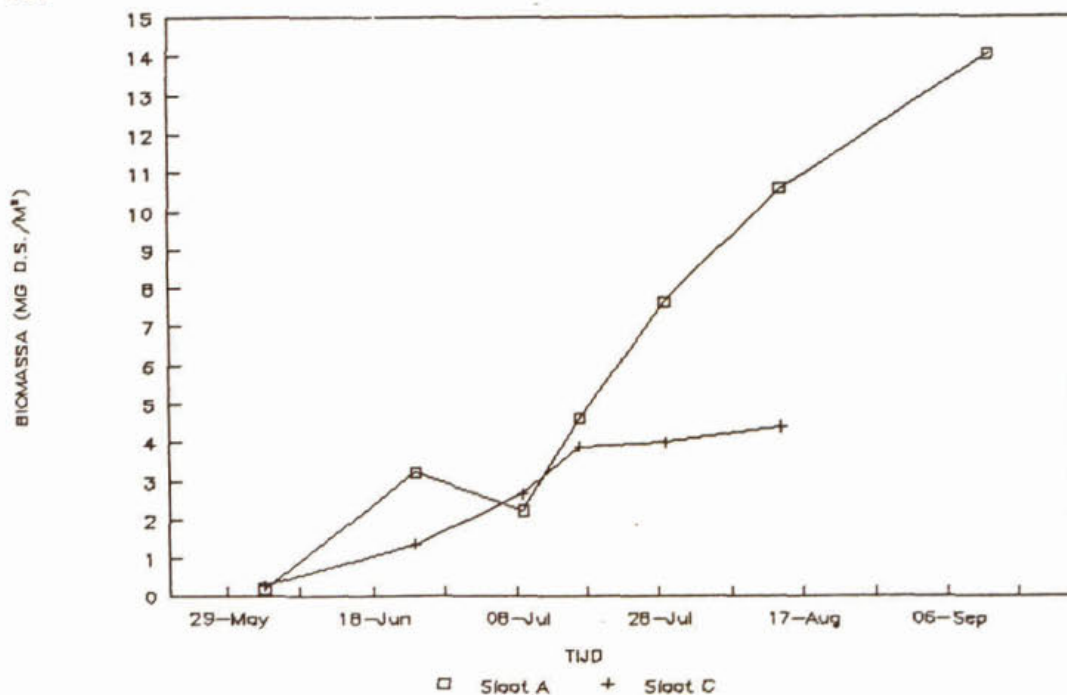
Figuur 10. De ontwikkeling van het aandeel van de verschillende soorten van de kroospopulatie in proefsloot C

| datum | gemiddeld versgewicht ¹ (mg/100 fronds) | gemiddeld drooggewicht ¹ (mg/100 fronds) | Verhouding d.g.-v.g. |
|-------|--|---|-------------------------|
| 22-4 | 137 | 13 | 9,8% |
| 1-5 | 213 | 14 | 6,5% |
| 8-5 | 173 | 15 | 8,8% |
| 16-5 | 197 | 16 | 7,9% |
| 6-6 | 201 | 14 | 6,8% |
| 13-6 | 189 | 13 | 6,8% |
| 20-6 | 144 | 12 | 8,6% |
| 27-6 | 146 | 10 | 6,7% |
| 4-7 | 162 | 13 | 8,0% |
| 11-7 | 148 | 12 | 8,3% |
| 18-7 | 211 | 15 | 6,9% |
| 25-7 | 173 | 14 | 7,8% |
| 1-8 | 152 | 13 | 8,3% |
| 8-8 | 177 | 14 | 7,8% |
| 15-8 | 123 | 12 | 9,5% |

Tabel 3. Vers- en drooggewicht van 100 fronds op verschillende tijdstippen

¹ Gemiddelde van 8 monsters (2 uit elke proefsloot)

Op basis van het drooggewicht van 1 m² en de bedekkingsgraad is voor de proefsloten A en C de ontwikkeling van de biomassa van kroos uitgedrukt in droge stof. De resultaten staan weergegeven in figuur 11.



Figuur 11. Biomassa van kroos in de proefsloten A en C

3.1.3 locaties buiten het studiegebied

monsterpunten Hoogheemraadschap van Rijnland

Monsterpunt ROP 41A.3

Begin april bevond zich aan één zijde van de sloot (bij de duiker) een kroosdek met een lengte van 2 meter. In juli was de bedekking van de eerste 20 meter vanaf de duiker 85 %. De laatste 10 meter aan de doodlopende zijde had een bedekking van bijna 100%. In het overige deel van de sloot was de kroosbedekking circa 5 %. Op een aantal plaatsen werden onder het kroosdek draadalgén aangetroffen. De soorten *L. minor*, *L. gibba* en *S. polyrhiza* kwamen in dezelfde hoeveelheden voor. *L. trisulca* werd in geringe mate aangetroffen.

In 1989 en 1990 werd bij het monsterpunt in deze sloot geen kroos aangetroffen. In 1991 blijkt kroos in een normale hoeveelheid voor te komen in de sloot, zodat niet gesproken kan worden van een bijzondere situatie.

Monsterpunt ROP 113.3

In juni werd in de brede, moerassige oeverzone van de sloot vrij veel kroos aangetroffen. Circa 75 % van dit kroos bestond uit *L. minor*, het overige uit *S. polyrhiza*. In het centrale deel van de sloot was geen vegetatie aan het oppervlak aanwezig (ook geen flab). De situatie was in augustus en september globaal hetzelfde (50 % kroos in oeverzone).

Het bijzondere van dit monsterpunt is dat in het centrale deel van de watergang geen vegetatie tot ontwikkeling komt, zelfs geen kroos. In de oeverzone heeft kroos echter een hoge bedekkingsgraad. Verder zal de migratie gering zijn omdat de sloot aan een zijde doodloopt.

Monsterpunt ROP 138.2

In april bevond zich in de oeverzone een geringe hoeveelheid kroos. De waterstroming bij dit punt was zo sterk dat een gesloten kroosdek zeker niet werd verwacht. Daarom werden aan deze locatie verder geen bezoeken gebracht.

proefsloten Polder Nieuw Lekkerland

De diepte die voor de verschillende proefvakken is vermeld, werd gemeten op 15 mei 1991 (gegevens van het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden).

Vak POA (diepte 0,41 m) had in april een lage kroosbedekking: 1-5% *L. trisulca* en een gering aantal fronds van *S. polyrhiza* en *L. minor*. Het vak was in juni voor 40% bedekt met flab. Kroos kwam toen in geringe mate voor in de oeverzone (voornamelijk *S. polyrhiza*). In juli en september was veel flab aanwezig (80-90% bedekking) en een matige hoeveelheid kroos (10-20 % bedekking).

Vak POB(diepte 0,38 m) had in april een lage kroosbedekking: 1-5% *L. trisulca* en een gering aantal fronds van *S. polyrhiza* en *L. minor*. In juni was de hoeveelheid kroos in geringe mate toegenomen, 60% van het vak was bedekt met flab. De bedekking met flab bedroeg in juli en september 90-95%, kroos bedekte toen 10-25% van het vak (ten dele boven het flab).

Vak POC(diepte 0,57 m) had in april een kroosbedekking die kleiner was dan 1 % (*L. minor*, *S. polyrhiza*, *L. trisulca*). In juni was flab enigszins tot ontwikkeling gekomen, de hoeveelheid kroos bleek nog steeds laag. De bedekking bestond in juli en september voor ca. 80% uit flab en voor 10-20% uit kroos (vooral *S. polyrhiza*).

Vak POD(diepte 0,27 m) had in april een kroosbedekking met *L. trisulca* (<1%) en een gering aantal fronds van *S. polyrhiza* en *L. minor*. In de periode juni-september was de bedekking met flab zeer hoog (90-95%). De hoeveelheid kroos groeide langzaam tot circa 15% in september.

Vak POE(diepte 0,23 m) had in april een kroosbedekking bestaande uit 1-5% *L. trisulca* en een klein aantal fronds van *S. polyrhiza* en *L. minor*. In juni, juli en september werd 90-95% flabbedekking aangetroffen. Kroos was in juni nog nauwelijks aanwezig. De kroosbedekking in juli en september bedroeg circa 10%.

Vak PQF(diepte 0,69 m) had in april een zeer lage kroosbedekking, bestaande uit een gering aantal fronds van *L. minor*, *L. trisulca* en *S. polyrhiza*. De hoeveelheid flab was hoog in de periode juni-september (95%). De kroosbedekking nam langzaam toe tot 10% in september (vooral *S. polyrhiza*).

Vak PQG(diepte 0,30 m) had in april een bedekking van 5% met *L. trisulca*, <1% *S. polyrhiza* en <1% *L. minor*. In juni was er 25% bedekking met flab, de hoeveelheid kroos was niet toegenomen. De flabbedekking was in juli en september 30%, de kroosbedekking 15-20%.

Opvallend aan de vegetatie in de proefvakken is dat het flab tot in september blijft domineren en dat het kroos niet verder komt dan een bedekking van 20%. Verder is het bijzonder dat het kroos vooral bestaat uit *S. polyrhiza*.

Ondanks het verschil in diepte bestaan tussen de vakken onderling geen grote verschillen. Alleen in vak PQG, waar niet is gebaggerd, komt het flab niet zo sterk tot ontwikkeling als in de andere vakken.

3.2 Migratie

De windsnelheid en de windrichting zijn gemeten te Valkenburg en verkregen via het KNMI. Uit de windrichting, de richting van de sloot en de windsnelheid is de component van de wind in de richting van de sloot berekend. De waarnemingen zijn gegeven in tabel 4 en 5 en weergegeven in figuur 12 en 13.

De intentie was om een correlatieberekening uit te voeren van het type

$$V_{\text{kroos}} = \alpha W_{\text{sloot}} + \beta V_{\text{water}} \quad \text{waarin:}$$

V_{kroos} = de snelheid van het kroos

W_{sloot} = de component van de wind in de slootrichting

V_{water} = de watersnelheid

α, β = constanten

De watersnelheid is echter meestal nul en werd daarom uit de correlatie weggelaten.

Door de kleinste-kwadratenmethode werd een X berekend van 0.0018. De variatie in de kroosnelheid werd voor 39% verklaard door de windsnelheid. De correlatie is significant aantoonbaar met $P < 0.001$ (F toets, 26 vrijheidsgraden).

| datum | wind- snelheid (m.s ⁻¹) | wind- richting (graden) | windsnel- heid sloot (m.s ⁻¹) ¹ | stroomsnel- heid water (m.s ⁻¹) | verplaatsings- snelheid kroos (m.s ⁻¹) |
|-------|---|-------------------------------|--|---|--|
| 17-7 | 24 | 280 | 4,2 | 0 | -0,018 |
| 19-7 | 34 | 260 | -5,9 | -0,003 | -0,004 |
| 22-7 | 10 | 270 | 0,0 | -0,01 | -0,038 |
| 24-7 | 32 | 260 | -5,6 | -0,003 | -0,002 |
| 26-7 | 18 | 300 | 9,0 | 0,009 | 0,02 |
| 31-7 | 20 | 250 | -6,8 | 0 | -0,027 |
| 2-8 | 24 | 270 | 0,0 | 0 | -0,007 |
| 5-8 | 20 | 220 | -15,3 | 0 | -0,041 |
| 7-8 | 12 | 290 | 4,1 | 0 | 0,008 |
| 9-8 | 28 | 260 | -4,9 | 0 | -0,015 |
| 13-8 | 22 | 260 | -3,8 | -0,0004 | -0,004 |
| 15-8 | 16 | 190 | -15,8 | 0 | -0,025 |
| 20-8 | 22 | 300 | 11,0 | 0,036 | 0,01 |
| 22-8 | 18 | 160 | -16,9 | 0,02 | -0,031 |
| 27-8 | 10 | 80 | 1,7 | 0 | -0,0008 |

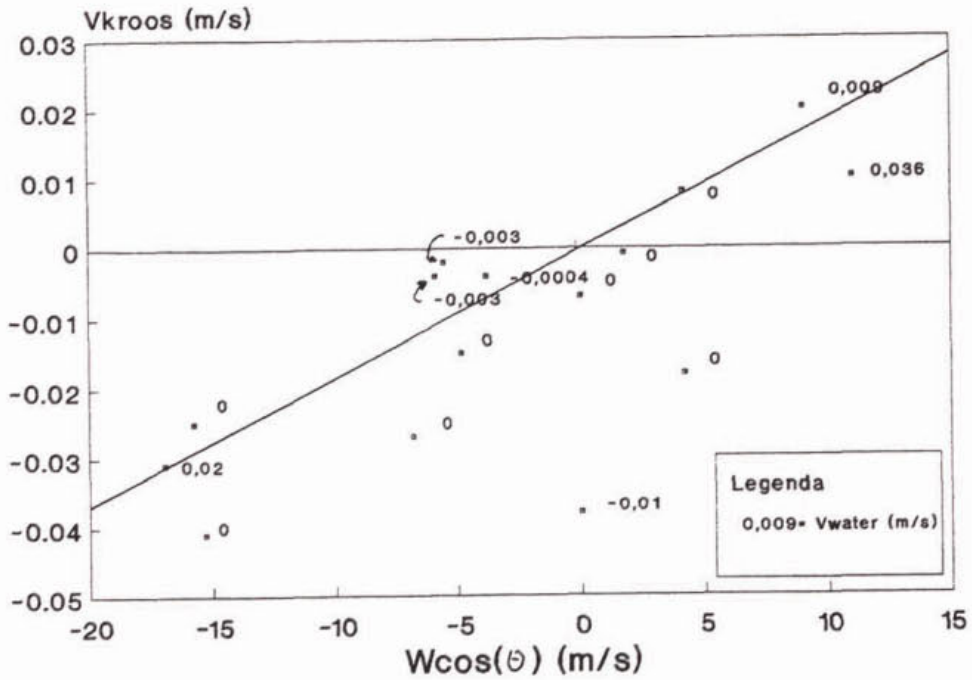
Tabel 4. Migratie van kroos in Tocht 1

¹ In de lengterichting van de sloot

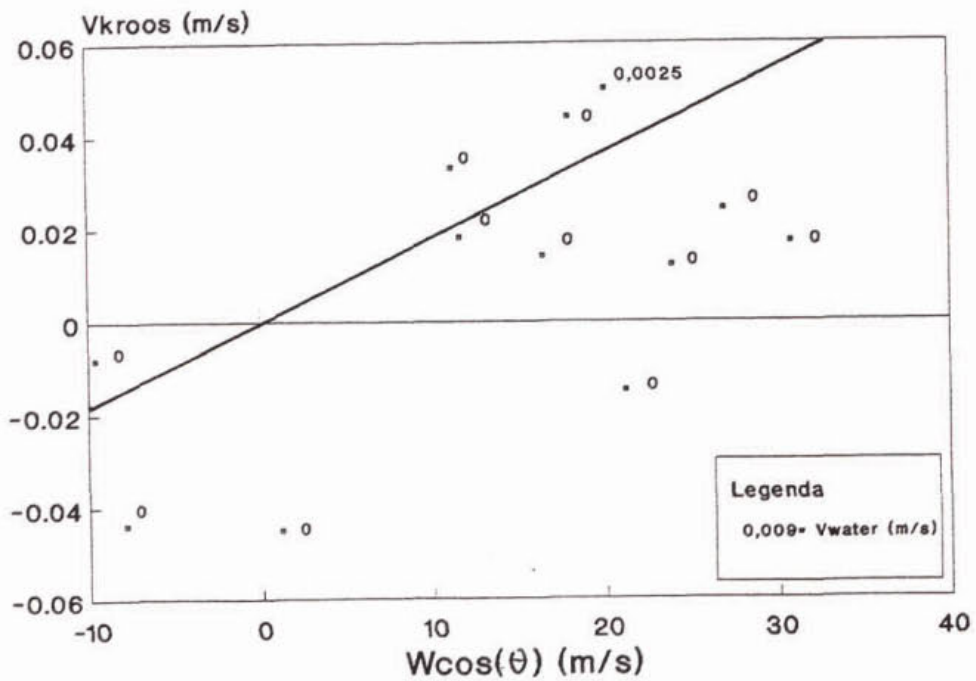
| datum | wind- snelheid (m.s ⁻¹) | wind- richting (graden) | windsnel- heid sloot (m.s ⁻¹) ¹ | stroomsnel- heid water (m.s ⁻¹) | verplaatsings- snelheid kroos (m.s ⁻¹) |
|-------|---|-------------------------------|--|---|--|
| 24-7 | 32 | 260 | 30,8 | 0 | 0,017 |
| 26-7 | 18 | 300 | 16,4 | 0 | 0,014 |
| 31-7 | 20 | 250 | 18,0 | 0 | 0,044 |
| 02-8 | 24 | 270 | 23,9 | 0 | 0,012 |
| 05-8 | 20 | 220 | 11,2 | 0 | 0,033 |
| 07-8 | 12 | 290 | 11,6 | 0 | 0,018 |
| 09-8 | 28 | 260 | 26,9 | 0 | 0,024 |
| 13-8 | 22 | 260 | 21,1 | 0 | -0,015 |
| 15-8 | 16 | 190 | 1,1 | 0 | -0,045 |
| 20-8 | 22 | 300 | 20,1 | 0,0025 | 0,05 |
| 22-8 | 18 | 160 | -7,9 | 0 | -0,044 |
| 27-8 | 10 | 80 | -9,6 | 0 | -0,008 |

Tabel 5. Migratie van kroos in Tocht 2

¹ In de lengterichting van de sloot



Figuur 12. Relatie tussen de windsnelheid en de verplaatsingssnelheid van kroos in Tocht 1



Figuur 13. Relatie tussen de windsnelheid en de verplaatsingssnelheid van kroos in Tocht 2

3.3 Vrijkomen van turionen

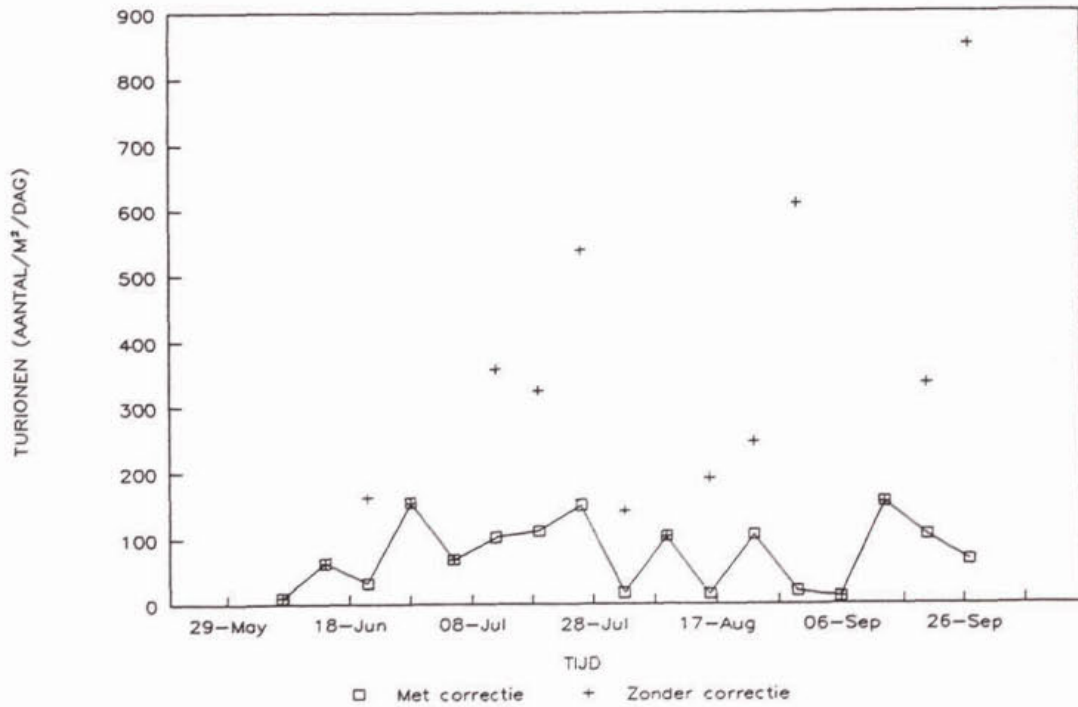
Het aantal turionen dat per dag vrijkomt in de verschillende turionenclosures vertoonde grote fluctuaties. Waarschijnlijk werd dit ten dele veroorzaakt doordat de proeven met enclosures regelmatig werden verstoord door vogels. Een aantal keren werden namelijk veren in de enclosure aangetroffen, en één maal een enclosure die gedeeltelijk onder water lag.

In figuur 14 wordt het aantal turionen weergegeven dat gemiddeld per dag vrijkomt in de acht turionenclosures. Op de resultaten is een correctie toegepast voor de verstoring. Daarvoor zijn bij de meetgegevens alle waarden hoger dan $800 \text{ fronds.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ weggelaten (15 van de 114 waarden). De waarde voor de gecorrigeerde gegevens ligt tussen 10 en $155 \text{ turionen.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ met een gemiddelde van $76 \text{ turionen.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$. Voor de niet-gecorrigeerde gegevens ligt de waarde tussen 10 en $850 \text{ turionen.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ met een gemiddelde van $254 \text{ turionen.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$.

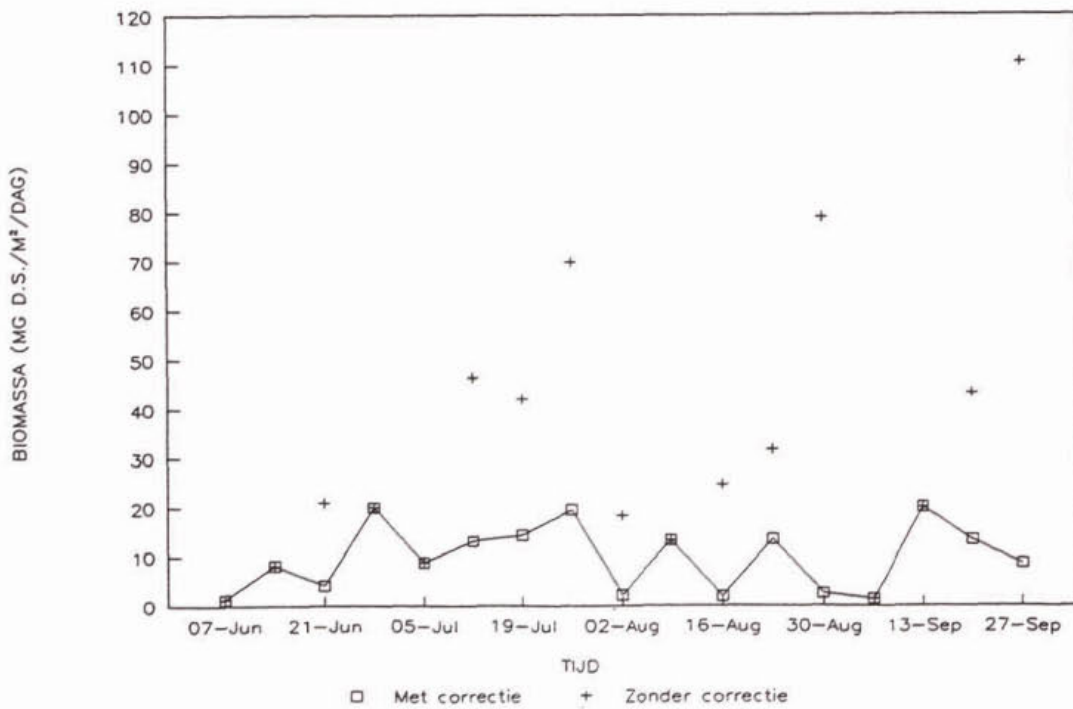
De biomassa van de vrijkomende turionen wordt weergegeven in figuur 15. Hier varieert de waarde voor de gecorrigeerde gegevens tussen $1,28$ en $20,13 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ met een gemiddelde van $9,87 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$. Voor de waarde die niet is gecorrigeerd ligt het bereik tussen $1,28 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$ en $110,5 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$. De gemiddelde waarde is in dit geval $33,02 \text{ mg.m}^{-2}.\text{dag}^{-1}$.

Bij de bovenstaande resultaten dient rekening te worden gehouden met het feit dat alleen het drijvende kroos in de enclosure wordt geteld, en dat deze telling drie maal per week plaatsvond. Onderweg van de bodem naar het oppervlak kunnen de fronds vastgehouden worden door andere vegetatie (vooral flab), en zich ter plaatse gaan vermeerderen. Verder kan het aantal fronds dat aan het oppervlak komt in de tijd tussen twee controles in beperkte mate toenemen door groei. Beide factoren kunnen er toe bijdragen dat de gemeten waarde hoger is dan de werkelijke waarde.

Ten opzichte van de toename van fronds in de groeienclosures, $250-12.000$ per dag (zie 3.4.3), is de (gecorrigeerde) productie van turionen vrij laag. Daarom werd bij de groeiexperimenten niet gecorrigeerd voor de vrijkomende turionen.



Figuur 14. Aantal vrijkomende turionen, met en zonder correctie voor verstoring



Figuur 15. Biomassa van de vrijkomende turionen, met en zonder correctie voor verstoring

3.4 Groei van kroos

De gegevens over de lichtinstraling zijn ontvangen van het KNMI. In het kader van dit onderzoek wordt daar verder geen aandacht meer aan besteed.

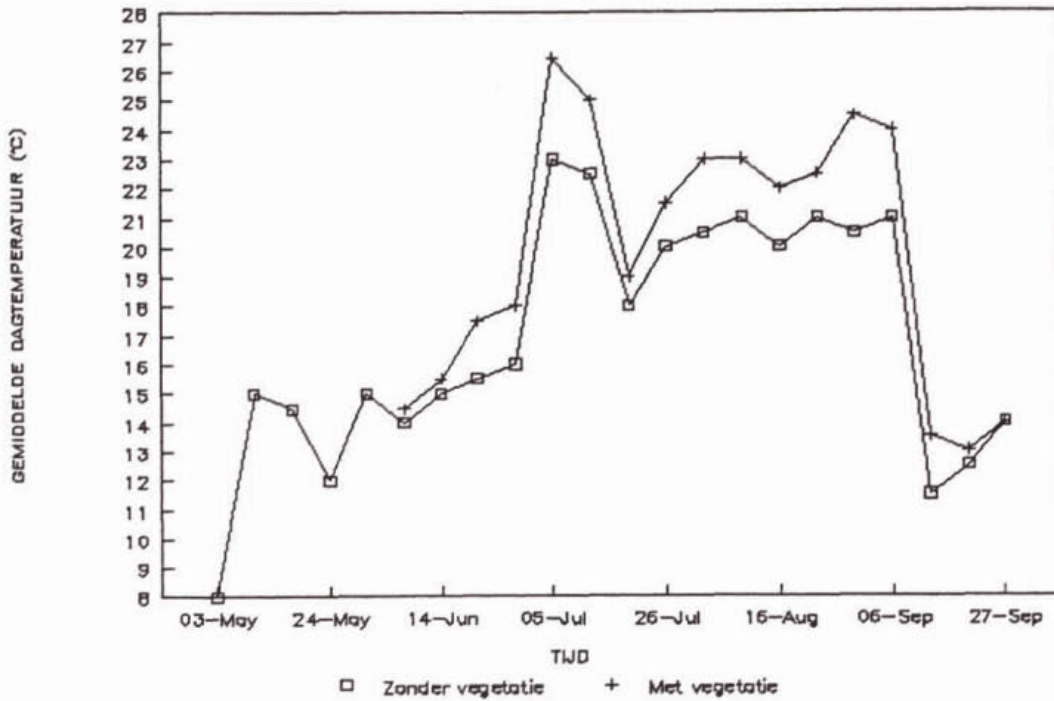
3.4.1 *temperatuur*

Bij het meten van de temperatuur in de toplaag van de sloten bleek al snel dat op plekken waar de vegetatie (vooral flab) tot aan het oppervlak kwam de temperatuur meestal enkele graden hoger lag dan in het open water. Daarom is vanaf begin juni de temperatuur voor deze twee situaties apart gemeten.

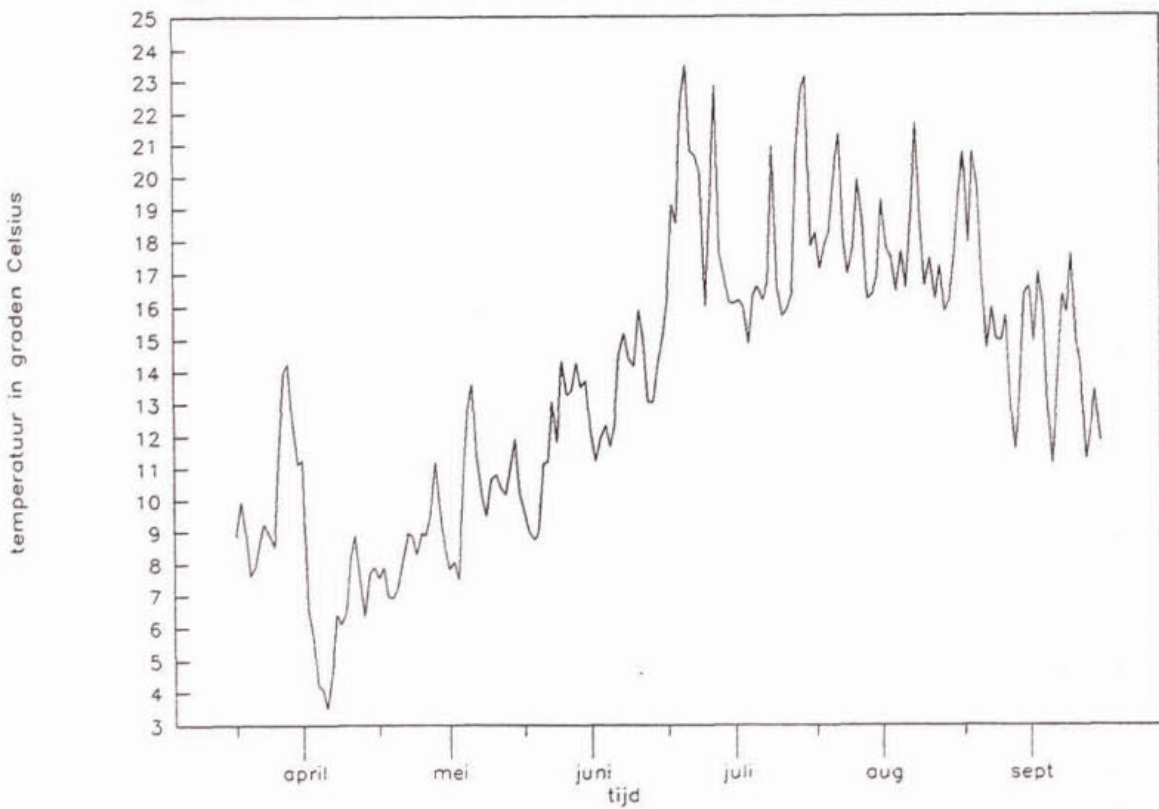
In figuur 16 wordt de gemiddelde dagtemperatuur van de toplaag van de proefsloten weergegeven. De maanden mei en juni waren relatief koud, zodat de watertemperatuur nauwelijks boven de 15°C uit kwam.

De watertemperaturen werden niet tijdens de gehele studieperiode gemeten. Daarom wordt gebruik gemaakt van de aanname dat de luchttemperatuur een redelijke benadering is van de watertemperatuur. Om een indruk te krijgen van de fout die hierbij gemaakt wordt, werden de watertemperaturen waargenomen bij veldonderzoek vergeleken met de luchttemperaturen waargenomen door het KNMI (figuur 17).

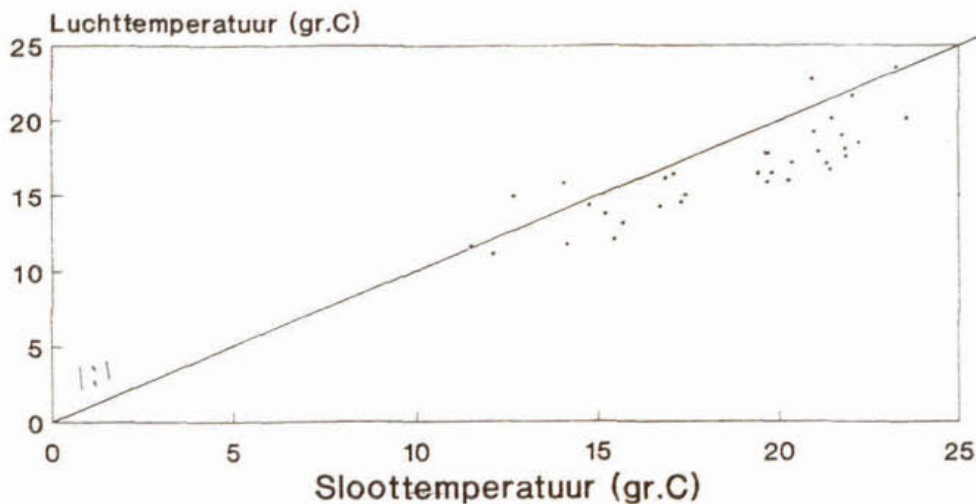
Hierbij werden voor de watertemperaturen de gemiddelden van de waarnemingen 's ochtends en 's middags gebruikt en voor de luchttemperatuur de gemiddelde etmaaltemperatuur. Uit figuur 18 blijkt dat de gemiddelde etmaaltemperatuur een redelijke indicatie geeft van de watertemperatuur. De gemiddelde fout is -2,1°C en standaardafwijking van de fout 1,8°C. Men dient hierbij wel te bedenken dat de watertemperatuur gebaseerd is op twee waarnemingen gedurende de dag, en dat de waargenomen temperatuur sterk afhangt van het al dan niet schijnen van de zon gedurende de periode vóór de waarneming.



Figuur 16. Gemiddelde dagtemperatuur van de watertoplaag in de proefsloten, met en zonder vegetatie aan het oppervlak



Figuur 17. Gemiddelde dagtemperatuur van de lucht



· Etm. gemiddelde

Figuur 18. Relatie tussen luchttemperatuur en de temperatuur van de watertoplaag

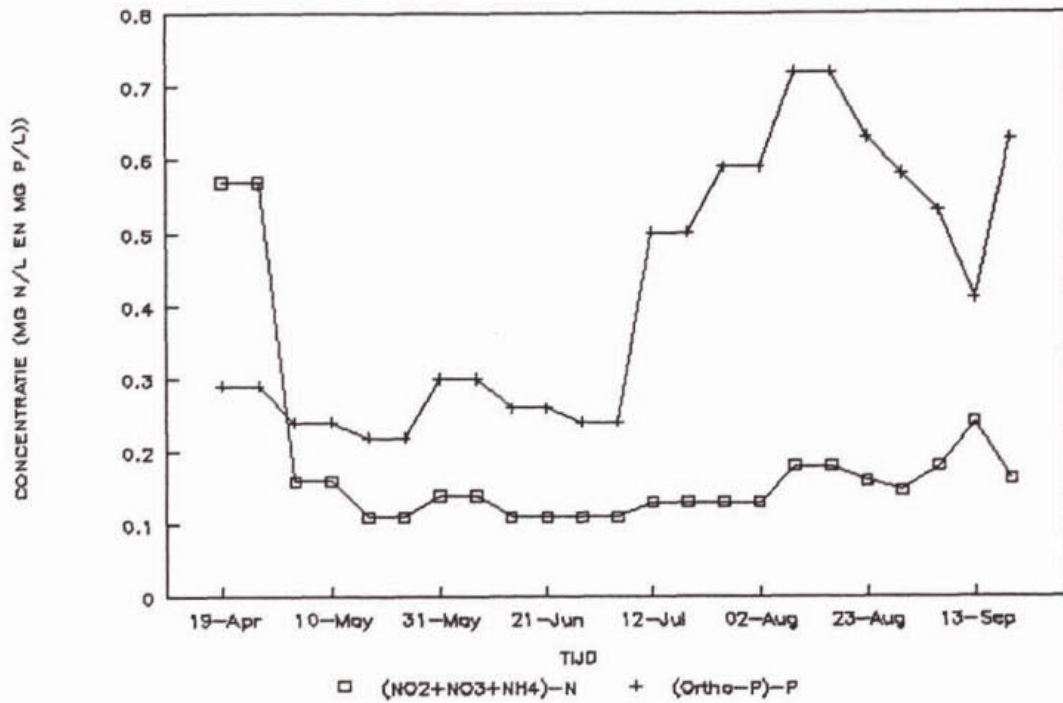
3.4.2 nutriënten

De gemeten concentraties stikstof (nitraat/nitriet en ammonium) en ortho-fosfaat staan weergegeven in figuur 19. Het stikstofgehalte was in april vrij hoog. Vanaf begin mei werden alleen lage waarden gemeten, af en toe zelfs onder de detectiegrens ($0,11 \text{ mg.l}^{-1}$). De lichte stijging begin september zou het gevolg kunnen zijn van het eutrofiëringsexperiment met stikstof.

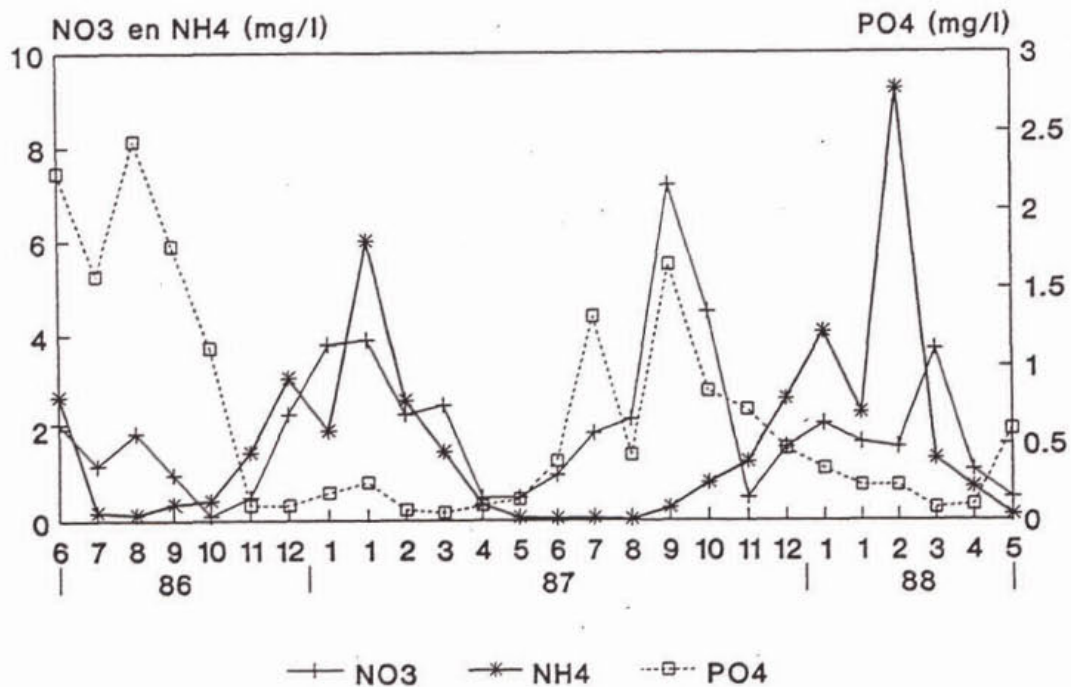
Het gehalte fosfaat lag tot en met juni rond $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$. In de periode van juli tot en met september werden waarden gemeten tussen $0,5$ en $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$. De hogere waarden in de laatstgenoemde periode kunnen het gevolg zijn van de afbraak van vegetatie (flab) of van een dalende redoxpotentiaal in de bodem, waardoor fosfaat wordt gemobiliseerd.

In vergelijking met de waarden die in de periode 1986-1988 (figuur 20) in de Westbroekpolder werden gemeten, zijn de concentraties in de proefsloten vrij laag.

Voor *L. minor* en *S. polyrhiza* wordt 50% van de maximale groeisnelheid gehaald wanneer de stikstofconcentratie $0,14 \text{ mg.l}^{-1}$ is (verder optimale omstandigheden). Voor *L. gibba* is dit $0,07 \text{ mg.l}^{-1}$. Dit betekent dat vanwege het lage stikstofgehalte de groei van het kroos in de proefsloten niet hoger zal liggen dan 50% van de maximale groeisnelheid. Fosfaat is niet limiterend voor de groei in de proefsloten. De gemeten concentraties liggen zowel voor *L. minor*, *L. gibba* als *S. polyrhiza* in het bereik waar maximale groei optreedt.



Figuur 19. Gemiddelde concentratie stikstof en fosfaat in de proefsloten



Figuur 20. Gemiddelde concentratie stikstof en fosfaat in de sloten van de Westbroek polder in de periode 1986-1988³

3.4.3 groei-experimenten

De experimenten met de groei-enclosures in proefsloten leverden nogal sterk fluctuerende resultaten op. Als een van de mogelijke oorzaken voor deze fluctuatie kan de verstoring van de proeven door vogels worden aangevoerd, hoewel daarvoor minder aanleiding is dan bij de turionen-enclosures.

De gemiddelde groeisnelheid voor alle enclosures staat voor elke week van de meetperiode weergegeven in tabel 6. De hoogste waarde is $0,166 \text{ dag}^{-1}$, de laagste $0,030 \text{ dag}^{-1}$. De gemiddelde groeisnelheid over de hele meetperiode is $0,093 \text{ dag}^{-1}$.

Het toedienen van stikstof aan een afgescheiden deel van proefslot A heeft geen merkbaar verschil opgeleverd in de groeisnelheid van het kroos. Misschien werd het ureum dat was toegediend te langzaam omgezet naar ammonium en nitraat om direct effect te hebben. Ook is het mogelijk dat de overige vegetatie (flab) beter in staat was vrijgekomen stikstof op te nemen.

| week tot | groeisnelheid k (dag^{-1}) |
|----------|---------------------------------------|
| 7-6 | 0,030 |
| 14-6 | 0,049 |
| 21-6 | 0,059 |
| 28-6 | 0,166 |
| 5-7 | 0,080 |
| 12-7 | 0,129 |
| 19-7 | 0,121 |
| 26-7 | 0,112 |
| 2-8 | 0,047 |
| 9-8 | 0,086 |
| 16-8 | 0,151 |
| 23-8 | 0,076 |
| 30-8 | 0,051 |
| 6-9 | 0,108 |
| 13-9 | 0,122 |
| 20-9 | 0,090 |
| 27-9 | 0,088 |

Tabel 6. Gemiddelde groeisnelheid van kroos voor alle enclosures

LITERATUURLIJST

1. STOWA, 1992. Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos. 1. Literatuur.
2. Rejmánkova, E., 1975. Comparison of *Lemna gibba* en *Lemna minor* from the production ecological viewpoint. *Aquat. Bot.* 1, 423-427
3. Rijksuniversiteit Leiden, 1988. Analysegegevens waterkwaliteit Westbroekpolder 1986-1989
4. Does, J. van der, en F.J. Klink, 1991. Excessive growth of Lemnaceae and *Azolla* in ditches observed by false color teledetection. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 24, 2683-2688

Bijlage 1

Analyse en evaluatie van een aantal Rijnlandse bemonsteringspunten

1 INLEIDING EN DOELSTELLING

Op een aantal bemonsteringspunten in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap van Rijnland ontbreken (dichte) kroosvegetaties terwijl op het eerste gezicht de omstandigheden optimaal zijn voor kroosontwikkeling. Om het ontbreken van kroosdekken te kunnen verklaren, zijn de beschikbare (fysisch-chemische) gegevens geanalyseerd en geëvalueerd.

2 AANPAK

Vegetatiegegevens of -schattingen van kroosbedekking zijn niet bekend. Wel is door het Hoogheemraadschap onder de noemer "wateroppervlak" ondermeer een indeling gemaakt van "weinig kroos" (6), "dicht kroosdek" (7) en "rottend kroos of waterplantendek" (8).

Voor categorie 7 is aangenomen dat massale kroosgroei op dit punt mogelijk is (in tabel 1 aangegeven met een +). Voor categorie 6 is dit minder duidelijk, daar het weinige kroos ook van elders aangevoerd kan zijn (in tabel 1 aangegeven met -?). Voor categorie 8 is aangenomen dat hier geen kroos aanwezig was, maar wel andere waterplantenvegetaties (in tabel 1 aangegeven met -).

De fysisch-chemische gegevens van de punten zijn nader beschouwd op basis van de tolerantieranges zoals deze voor een groot aantal parameters in de literatuurstudie¹ aangegeven zijn.

3 RESULTATEN VAN DE BEMONSTERING

Tabel 1 geeft een overzicht van de bemonsteringspuntcodes, het jaar van onderzoek, een schatting van de aanwezigheid van kroos op basis van eerder genoemde aannamen, alsmede de chemische parameters waarvan de gehalten zich in het zomerseizoen (mei-oktober) onder of juist boven de tolerantieranges van kroossoorten lijken te bevinden. Voor de nutriënten fosfaat en stikstof zijn hierbij de volgende grenswaarden aangehouden:

| | | |
|-------------------|------------------|-----------------------------|
| Po ↓ | = orthofosfaat | ≤ 0,1 mg P.l ⁻¹ |
| Pt ↓ | = totaal-fosfaat | ≤ 0,1 mg P.l ⁻¹ |
| NO ₃ ↓ | = nitraat | ≤ 0,05 mg N.l ⁻¹ |
| NH ₄ ↓ | = ammonium | ≤ 0,1 mg N.l ⁻¹ |

Op de drie punten waar de chemische gegevens aan- of afwezigheid van kroos niet konden verklaren, werd de situatie ook in het veld bekeken, waarbij speciaal gelet op de rol die migratie zou kunnen spelen.

4 EVALUATIE VAN DE BEMONSTERING

De veronderstelde aan- of afwezigheid van kroosdekken kan vrij goed verklaard worden op basis van de zomerwaarden voor het nutriëntgehalte van de sloten. Indien kroosdekken voorkomen, is zowel voldoende stikstof als fosfaat aanwezig. In enkele gevallen is nitraat erg laag (≤ 0,05 mg N.l⁻¹), maar is er voldoende ammonium-N aanwezig voor kroosontwikkeling. Indien kroosdekken niet (-) voorkomen of de aanwezigheid onduidelijk is (-?), bevindt zich steeds minimaal één van de parameters NO₃, NH₄, P-ortho of P-totaal in het minimum.

| nr | jaar | kroos | resultaten | analyse | opmerkingen |
|--------|------|-------|-------------------------------------|-----------|--|
| 09523 | 85 | + | | | |
| | 86 | + | | | |
| 11940 | 85 | - | NO ₃ ↓ | Po ↓ Pt ↓ | NH ₄ : 0,1-0,2 mg N.l ⁻¹ ; NO ₃ < 0,05, maar eenmalig in juni 2,1 mg NH ₄ -N.l ⁻¹ en 9,3 mg NO ₃ /N |
| | 86 | -? | NO ₃ ↑ NH ₄ ↓ | Po ↓ | |
| 041A02 | 86 | -? | NO ₃ ↓ NH ₄ ↓ | | SO ₄ eenmalig 260 mg.l ⁻¹ |
| 15006 | 86 | - | NO ₃ ↓ NH ₄ ↓ | Po ↓ Pt ↓ | Fe: < 0,2 mg.l ⁻¹ |
| | 90 | + | NO ₃ ↓ | | NH ₄ : 0,1-0,2 mg N.l ⁻¹ |
| 13805 | 89 | - | NO ₃ ↓ NH ₄ ↓ | Po ↓ Pt ↓ | K: < 1,0 mg.l ⁻¹ |
| 18055 | 88 | -? | | Po ↓ Pt ↓ | Cl: max. 1160 mg.l ⁻¹ in zomer |
| 21005 | 88 | + | NO ₃ ↓ | | NH ₄ variabel: < 0,1-0,7 |
| 01115 | 87 | + | | | |
| | 88 | + | | | |
| 11303 | 87 | + | | | |
| | 88 | - | NO ₃ ↓ | | |
| 13802 | 87 | + | | | |
| | 88 | -? | | | geen verklaring voor mo- gelijk ontbreken van kroos |
| 041A03 | 89 | - | NO ₃ ↓ NH ₄ ↓ | | |
| | 90 | -? | NO ₃ ↓ | | |
| 14003 | 89 | - | | Po ↓ | Na: 290 mg.l ⁻¹ |
| | 90 | - | | Po ↓ | |

Tabel 1. Analyse van het voorkomen van kroos bij Rijnlandse bemonsteringspunten

Mogelijk is dat ook andere parameters een te hoge waarde hebben voor goede kroosgroei (met name Na, Cl, SO₄) of te lage waarde (met name K, Fe). In al deze laatste gevallen is de aan- of afwezigheid van kroos echter ook op basis van fosfaat of stikstof te verklaren. Bij bemonsteringspuntnummers 11303 (1988) en 041A03 (1990) is nitraat in het minimum, maar is voldoende ammonium aanwezig voor kroosgroei. Op deze punten is slechts weinig kroos geconstateerd (categorie 6).

5 VELDOBSERVATIES MET BETREKKING TOT MIGRATIE

Om de mogelijkheid van migratie als verklaring voor de afwezigheid van kroos te onderzoeken werden de punten 11303, 041A03 en 13802 bezocht op 5 april 1991. Daarbij werden de volgende observaties verricht.

Punt 11303 ligt in een 70 m lang doodlopend stuk sloot dat als een wormvormig aanhangsel aan een langere watergang vast zit. Het stuk sloot waar het om gaat maakt een hoek van 70° met de noordrichting en heeft een breedte van 5 m. De oeverstrook is drassig en een halve meter breed. Migratie ten gevolge van wind zal in dit stuk sloot een

rol spelen maar men zou verwachten, dat bij overvloedige kroosgroei de bocht naar de uitgang van dit stuk sloot verstopt raakt. In de weelderig begroeide oeverstrook zaten enkele kroosplantjes: 1 per dm oever.

Punt 141A03 is een recht stuk sloot, aan één zijde doodlopend en aan de andere zijde begrensd door een dam met duiker. De bovenkant van de duiker ligt 15 cm boven de waterspiegel. De sloot loopt in zuidwestelijke richting. Migratie door wind speelt een rol. Tijdens het bezoek werd 2 m kroos aangetroffen voor de duiker. Ook hier zou men verwachten dat de sloot bij overvloedige kroosgroei vol zou raken.

Punt 13802 is gelegen in een hoofdwatgang van 7,5 m breed. Via deze hoofdwatgang wordt water uitgemalen en ingelaten. Ter plaatse van het monsterpunt loopt de sloot van west naar oost.

De oeverbegroeiing (riet) aan de zuidzijde is 40 cm breed. De kroosbedekking in deze zone was 5 fronds per dm^2 . Aan de noordoever was de begroeiing smaller (inhangend gras, 15 cm) en er was ook minder kroos, 10 fronds per strekkende meter. Dit kroos werd langzaam meegevoerd door de wind.

Geconcludeerd wordt dat:

- in punt 11303 wind waarschijnlijk een onvoldoende verklaring is voor afwezigheid van een gesloten kroosdek;
- in punt 041A03 wind waarschijnlijk een rol speelt bij de geringe waargenomen kroosbedekking, maar dat een niet-optimale groei waarschijnlijk ook een rol speelt;
- in punt 13802 migratie door waterbeweging en wind de afwezigheid van een gesloten kroosdek kunnen verklaren.

6 CONCLUSIE

Samenvattend kan gesteld worden dat de aan- en afwezigheid van dichte kroosdekken in 17 van de 20 gevallen te verklaren is op basis van de nutriëntengehaltes in de sloten gedurende de zomermaanden, in één geval is migratie waarschijnlijk de oorzaak van de afwezigheid van kroos. Voor de overige twee lokaties kan de afwezigheid niet worden verklaard.

DEELRAPPORT 4
MODELBSCHRIJVING

| INHOUD VAN DEELRAPPORT 4 | BLZ. |
|--|------|
| Inhoud | I |
| 1 INLEIDING | 1 |
| 2 MIGRATIE | 2 |
| 2.1 Transport door wind | 2 |
| 2.2 Transport door waterbeweging | 3 |
| 2.3 Transport door dispersieve processen | 4 |
| 3 GROEI | 6 |
| 3.1 De basisvergelijking voor groei | 6 |
| 3.2 Het effect van self-crowding | 6 |
| 3.3 De groeisnelheid | 7 |
| 3.4 De specifieke groeisnelheid | 7 |
| 3.5 De temperatuurfactor | 8 |
| 3.6 De lichtfactor | 8 |
| 3.7 De nutriëntfactor F _{Nu} | 8 |
| 3.8 Afsterven | 10 |
| 3.9 Het chloridegehalte en andere groeiremmers | 11 |
| 4 KIEMEN | 12 |
| 4.1 Aan het wateroppervlak overwinterend kroos | 12 |
| 4.2 Toevoer van turionen | 12 |
| 5 BALANSFORMULERING | 13 |
| 5.1 Rand- en beginvoorwaarden | 13 |
| 6 NUMERIEK-WISKUNDIGE ASPECTEN VAN HET MODEL | 14 |
| 7 BENODIGDE GEGEVENS EN RESULTATEN | 15 |
| 7.1 Benodigde gegevens | 15 |
| 7.2 Resultaten | 15 |
| 7.3 Voorbeeld van de modelresultaten | 15 |
| 8 LITERATUURLIJST | 20 |
| BIJLAGEN | 21 |
| 1. Bepaling van de dispersiefactor uit de waarnemingen van Baijens | 22 |
| 2. Ontwikkeling van de biomassa onder invloed van self-crowding | 26 |
| 3. Afleiding van de balansvergelijking | 29 |
| 4. Numeriek-wiskundige aspecten van het model | 31 |

1 INLEIDING

Dit deelrapport geeft een beschrijving van een model voor de ontwikkeling van kroos in poldersloten. Het model is gebaseerd op de systeemanalyse in het hoofdrapport (deelrapport 1). Het model beperkt zich tot de beschrijving van groei en migratie gedurende het groeiseizoen onder invloed van de omgevingsfactoren temperatuur, licht, nutriëntconcentraties in het water, wind en waterbeweging. De migratie kan worden beperkt door obstructies zoals kunstwerken en door andere vegetatie. De kroosgroei is verder afhankelijk gesteld van het soort kroos en de gemiddelde levensduur van kroos. De onderlinge beïnvloeding van kroosfronds bij migratie en via het mechanisme van self-crowding zijn eveneens opgenomen in het model. Voor toepassing van het model is het nodig dat gegevens ingevoerd worden over de initiële biomassa en de toevoer van biomassa door kiemende turionen. Indien de berekening start in het voorjaar is de initiële biomassa de biomassa van het kroos dat de winter heeft overleefd.

Niet in het model opgenomen zijn:

- concurrentie tussen kroos en overige planten;
- allelopathie;
- het effect van de nutriëntopname door kroos op de nutriëntgehalten;
- het effect van de afsterving van kroos op beschikbaarheid van nutriënten;
- overige effecten van kroos op de zuurstof- en nutriëntenhuishouding.

Verder is het model beperkt tot één sloot, waardoor wel de emigratie maar niet de immigratie berekend kan worden.

Er is gekozen voor een deterministisch model van kroosontwikkeling omdat dergelijke modellen de mogelijkheid bieden kennis van mechanismen en relaties, zoals deze uit de literatuur naar voren komen, in te bouwen in het model. Bij het alternatief een statistisch model, is dit in veel mindere mate mogelijk.

Het model berekent de gemiddelde kroosbiomassa per m^2 als functie van tijd en afstand in de lengterichting van de sloot. Ten behoeve van de presentatie en interpretatie van de resultaten worden bovendien voor elke dag de totale biomassa, de groei en de emigratie berekend.

Ter beschrijving van het model worden eerst de processen gedetailleerd besproken, waarna wordt ingegaan op de rekenmethodes. Ten slotte wordt een overzicht gegeven van de benodigde gegevens en de resultaten die uit het model komen.

2 MIGRATIE

Migratie wordt veroorzaakt door stroming in de sloot, door wind en door verschillen in dikte van het kroosdek. Deze drie oorzaken van beweging en de daaruit voortkomende migratie worden hierna besproken.

2.1 Transport door wind

Transport van kroos door wind werd door Baijens onderzocht door middel van proeven in een windtunnel¹. De proeven werden voornamelijk gedaan met veelwortelig kroos (*S. polyrhiza*), terwijl enkele proeven gedaan werden met klein kroos (*L. minor*). Bij deze proeven blies de wind in de lengterichting van de proefgoot.

Baijens' proeven laten zien, dat er een evenredigheid is tussen windsnelheid en de snelheid van kroos, bij stilstaand water:

$$v_k = \alpha U(10)$$

waarin:

v_k = de snelheid van het kroos

$U(10)$ = de windsnelheid op 10 meter hoogte

α = een evenredigheidsconstante die verder windfactor genoemd wordt

Voor α is bij de genoemde proeven een waarde gevonden van 0,009. Het veldonderzoek (deelrapport 2) leverde de waarde 0,0012 op. De windsnelheid op 10 meter hoogte wordt gebruikt, omdat dit een standaard meteorologische grootte is. Metingen op punten dicht bij het aardoppervlak zijn weinig representatief vanwege de grote invloed van de lokale ruwheid van het oppervlak op de windsnelheid⁹.

In het veld zal de windrichting doorgaans een hoek maken met de lengte-as van de sloot. De wind wordt ontbonden in een longitudinale component en een transversale component:

$$W_1 = W \cos \theta$$

$$W_2 = W \sin \theta$$

waarin:

W = windsnelheid gemeten op 10 meter hoogte ($m \cdot s^{-1}$)

θ = de hoek tussen wind en sloot

W_1 = de longitudinale component

W_2 = de transversale component

De laterale component zal verplaatsing van het kroos bewerkstelligen in de lengterichting van de sloot. De transversale component zal het kroos richting oever blazen.

Ook zal een beschutting optreden van het wateroppervlak door oevers, oeverbegroeiing, slooteinden etc. Het effect hiervan kan verdisconteerd worden met behulp van een luftefactor (ϵ_3), welke 0 is voor een volledig beschermt wateroppervlak en 1 voor een volledig onbeschermt oppervlak.

Onder invloed van de oevers ontstaan spiraalstromen. Deze bevorderen de opeenhoping van kroos in de oeverzone. De oeverzone is over het algemeen tot 10 cm breed, waardoor de hoeveelheid kroos die zich

daar kan ophopen relatief gering is. Bovendien wordt ophoping van kroos in de oeverzone tegengegaan door een film op het wateroppervlak. Dit is een laag die qua fysisch-chemische eigenschappen afwijkt van de rest van het water. Bij observaties in het veld blijkt deze laag de beweging van kroos zodanig te sturen dat kroos vaak op enige afstand blijft van vaste objecten zoals oevers en vegetatie.

Bij de windtunnelproeven¹ bleek het kroos de neiging te hebben om bij windstilte tegen de wand te gaan liggen. Verondersteld wordt dat dit deels het resultaat is van demping van turbulentie dicht bij de wand. Ook speelt een (beperkte) rol dat suikers op het oppervlak de kroosfronds enigszins aan elkaar doen kleven².

Bij verplaatsing van kroos door een sloot kan de oever door wrijving een vertragend effect hebben op het transport van kroos. Dit vertragende effect zal minder zijn naarmate de sloot breder is. Er wordt niet verwacht dat het meer of minder onregelmatig zijn van de oever grote invloed heeft op de omvang van het transport. Om vertragende effecten van oevers te kunnen verdisconteren, wordt een transportfactor ϵ_1 ingevoerd. De waarde van deze factor ligt tussen 0 en 1.

Verwacht wordt dat aanzienlijke remming alleen optreedt bij smalle slootjes (minder dan 1 meter breed) en bij lage dichtheden van het kroos, als het kroos voornamelijk dicht tegen de oever ligt. Op soortgelijke wijze zullen ook vaste waterplanten een vertragend effect hebben. Dit effect kan ook verdisconteerd worden in de transportfactor.

De hoeveelheid kroos per lengte-eenheid wordt gelijkgesteld aan bN , waarbij N de hoeveelheid kroos per oppervlakte-eenheid is (g d.s.. m^{-2}) en b de breedte in m^2 . Het transport van kroos door wind is dan gelijk aan:

$$T_w = (\alpha \epsilon_1 \epsilon_3 W b N \cos \theta) 86400 \quad \text{waarin:}$$

T_w = het transport van kroos door wind uitgedrukt als de hoeveelheid kroos die per tijdseenheid een dwarsdoorsnede van de sloot passeert (g d.s.. dag^{-1});

86400 = aantal seconden per dag, in verband met omrekening van windsnelheid in $m.s^{-1}$ naar $m.dag^{-1}$.

De overige parameters zijn reeds gedefinieerd in bovenstaande tekst.

2.2 Transport door waterbeweging

Bij afwezigheid van obstructies en wind wordt kroos door water meegenomen met de snelheid van het water aan het oppervlak. Verder is aangenomen dat verplaatsing door wind kan worden opgeteld bij de verplaatsing door water. Experimentele gegevens om dit te toetsen ontbreken.

Bij afwezigheid van remmende effecten van oevers en waterplanten is het transport ten gevolge van de waterbeweging gelijk aan:

$$T_f = u_s b N 86400 \quad \text{waarin:}$$

- T_f = transport van kroos door waterbeweging (g d.s.. dag⁻¹);
 u_s = de gemiddelde watersnelheid aan het oppervlak (m. s⁻¹);
 86400 = aantal seconden per dag.

Op dezelfde wijze als bij het transport door wind zal er een remmend effect zijn van oevers en andere waterplanten. Om voor dit effect te corrigeren wordt gebruik gemaakt van dezelfde transportfactor ϵ_1 als bij het transport door wind.

Door wrijving aan de slootbodem is de gemiddelde watersnelheid u kleiner dan de watersnelheid aan het oppervlak. Daarom wordt u_s vervangen door $\epsilon_2 u$.

Bij benadering geldt voor de verticale snelheidsverdeling in een sloot, waarin weinig waterplanten voorkomen, het logaritmischnelheidsprofiel⁶. Hiervoor kan afgeleid worden dat $\epsilon_2 \approx 1,15$. De invloed van de slootwand op de snelheidsverdeling is daarbij verwaarloosd. In een poldersloot zal ϵ_2 sterk beïnvloed worden door de waterplanten. Bij de keuze van ϵ_2 dient hiermee rekening gehouden te worden.

Met de ingevoerde correctiefactoren wordt de formule:

$$T_f = \epsilon_1 \epsilon_2 u b N 86400$$

2.3 Transport door dispersieve processen

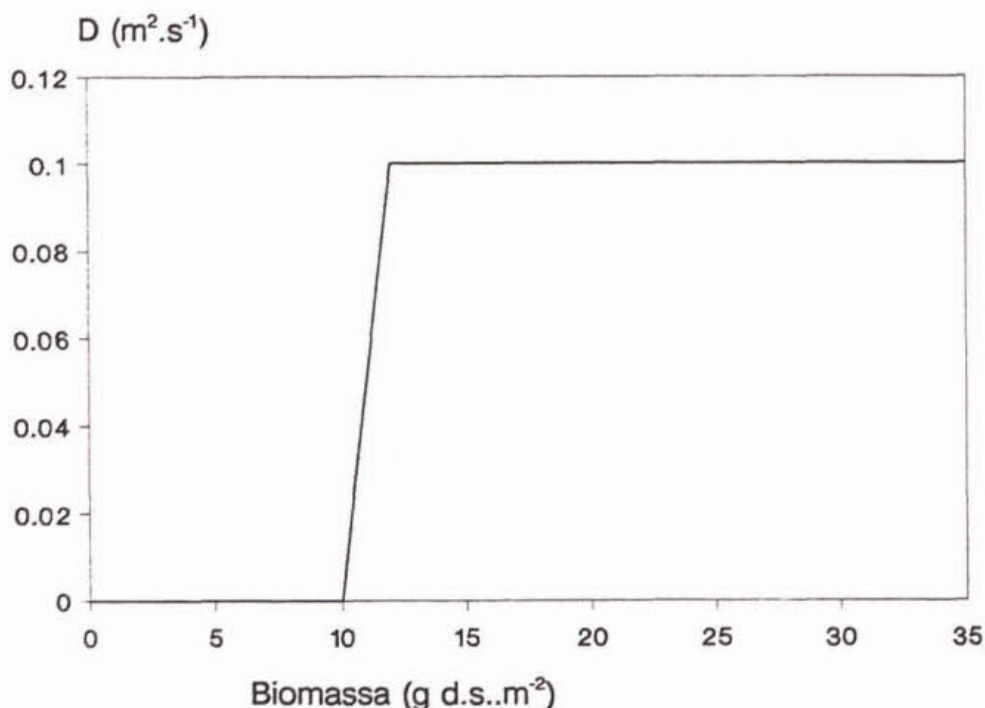
Kroos, dat door waterbeweging of wind op elkaar gestuwd is, verspreidt zich weer zodra de wind of de waterstroming afneemt. Dit blijkt uit eigen waarneming en waarnemingen van Baijens¹. Dit verschijnsel is waarschijnlijk het resultaat van een aantal mechanismen, waaronder verspreiding door turbulentie in de lucht, waardoor ook waterbeweging ontstaat. Ook speelt een rol dat opeengepakte kroosfronds onder invloed van de zwaartekracht van elkaar afglijden, waardoor horizontale krachten ontstaan die het kroosdek uiteendruwen. Ditzelfde proces beperkt ook de opstuwning van kroos door wind. Verder blijkt uit de waarnemingen van Baijens dat kroos bij een bedekking van 40% weerstand begint te bieden tegen opstuwning. Al deze processen worden beschreven als één dispersief proces. Dit houdt in dat wordt aangenomen dat het hierdoor veroorzaakt transport evenredig is met de gradiënt in de kroosbiomassa:

$$T_d = - b D(N) \frac{\partial N}{\partial x} 86400 \quad \text{waarin:}$$

- T_d = transport door dispersieve processen (g d.s.. dag⁻¹);
 $D(N)$ = dispersiefactor, afhankelijk van de biomassa per oppervlakte-eenheid (m².s⁻¹)

Met behulp van de waarnemingen door Baijens van opstuwing van kroos in een windtunnel is in bijlage 1 een berekening gemaakt van D als functie van N . Het resultaat is weergegeven in figuur 1. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van gegevens en de gecompliceerdheid van de optredende processen, is deze beschrijving van bovengenoemde processen een globale benadering.

Het geschematiseerde verloop van $D(N)$ houdt in dat kroosdekken uitdijen tot een dichtheid van $10 \text{ g d.s.}\cdot\text{m}^{-2}$ is bereikt. Niet weergegeven wordt de spreiding van kroos door turbulente luchtstroming. Ook de waargenomen hysteresis wordt niet weergegeven. Deze bestaat eruit dat de pakkingsdichtheid niet alleen afhankelijk is van de windsnelheid (en de stroming) maar ook van toe- en afname van de windsnelheid in de loop van de tijd.



Figuur 1. Dispersiefactor van kroos als functie van de biomassa per oppervlakte-eenheid

3 GROEI

3.1 De basisvergelijking voor groei

De netto toename van biomassa per oppervlakte- en tijdseenheid (in g d.s..m⁻².dag⁻¹) is gelijk aan het verschil tussen bruto groei per oppervlakte- en tijdseenheid (G_B) en de snelheid van afsterving per oppervlakte- en tijdseenheid (A_f):

$$G = G_B - A_f$$

Om de netto toename van biomassa per strekkende meter sloot per tijdseenheid (in g d.s..m⁻¹.dag⁻¹) te vinden, moet deze uitdrukking nog vermenigvuldigd worden met de slootbreedte:

$$G = (G_B - A_f) b$$

De bruto groeisnelheid kan berekend worden als produkt van de relatieve groeisnelheid en de aanwezige hoeveelheid kroos zolang er geen self-crowding optreedt:

$$G_B = \mu N$$

waarin:

G_B = de bruto toename van kroosbiomassa per oppervlakte- en tijdseenheid (g d.s..m⁻².dag⁻¹)

μ = de groeisnelheid (dag⁻¹)

N = kroosbiomassa per m² sloot (g d.s..m⁻²)

3.2 Het effect van self-crowding

De proeven met self-crowding van kroos⁸ kunnen als volgt geschematiseerd worden:

- de groei wordt niet beïnvloed door self-crowding tot een grenswaarde van de biomassa per oppervlakte-eenheid (N_{s1}) bereikt wordt;
- zodra deze grenswaarde bereikt is, treedt een constante toename op van de biomassa per oppervlakte- en tijdseenheid; deze is dan gelijk aan de grenswaarde N_{s1} vermenigvuldigd met de groeisnelheid: $G_B = \mu N_{s1}$.

N_{s1} blijkt ongeveer overeen te komen met de biomassa per oppervlakte-eenheid van een enkellaags gesloten kroosdek. Tabel 1 geeft de relevante waarden van N_{s1} welke afgeleid zijn uit het literatuuronderzoek naar kroos⁸. Doordat de groei slechts over een beperkte laagdikte optreedt, terwijl afsterving over de totale dikte van het kroosdek doorgaat, stabiliseert de biomassa van het kroosdek zich na verloop van tijd. In de literatuur genoemde maximum biomassa's van het kroosdek N_{max} zijn eveneens opgenomen in tabel 1⁸.

Proefberekeningen met het model (bijlage 2) op basis van bovengenoemde schematisaties laten zien dat de biomassa zich bij self-crowding stabiliseert op waarden welke redelijk overeenkomen met de in tabel 1 genoemde maximum biomassa's.

| soort | N_{s1} (g d.s..m ⁻²) | N_{max} (g d.s..m ⁻²) |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| L. minor | 42 | 630 |
| L. gibba | 36 | 355 |
| S. polyrhiza | 60 | 750 |

Tabel 1. Kengetallen voor self-crowding

3.3 De groeisnelheid

De groeisnelheid van kroos is een functie van:

- de kroossoort;
- de hoeveelheid licht;
- de temperatuur;
- de dikte van het kroosdek;
- de nutriëntenvoorziening;
- groeiremming, bijvoorbeeld door chloride of allelopathie.

De groeisnelheid wordt hier berekend als het produkt van een specifieke groeisnelheid en correctiefuncties voor temperatuur, hoeveelheid straling, nutriëntenvoorziening en dikte van het kroosdek:

$$\mu = \mu_s FT FL FNu$$

waarin:

μ_s = de specifieke groeisnelheid: de (soortafhankelijke) groeisnelheid bij 25°C en bij optimale voorziening van licht en nutriënten (dag⁻¹)

FT = een correctiefunctie voor temperatuur

FL = een correctiefunctie voor licht

FNu = een correctiefunctie voor nutriënten

De vorm van de vergelijking is vrij gebruikelijk. Zij is eerder gebruikt voor kroos³ en in algenbloei modellen⁴.

3.4 De specifieke groeisnelheid

De specifieke groeisnelheden van verschillende kroossoorten worden weergegeven in tabel 2. De vermelde waarden zijn daggemiddelden, waargenomen bij 25°C en 12 uur verlichting, waarvan 9 uur met 18.500 lux (185 W.m⁻²), 1½ uur geleidelijke overgang van donker naar licht en 1½ uur van licht naar donker (figuur 2). De omzetting van de daggemiddelde specifieke groeisnelheid naar een specifieke groeisnelheid over kortere perioden wordt besproken in paragraaf 3.6.

| soort | specifieke groeisnelheid (dag ⁻¹) |
|--------------|---|
| L. minor | 0,28 |
| L. gibba | 0,30 |
| S. polyrhiza | 0,38 |

Tabel 2. Specifieke groeisnelheid, gemiddeld per dag, voor drie kroossoorten¹⁰

3.5 De temperatuurfactor

Op grond van de literatuurstudie naar kroos⁸ kan een lineaire temperatuurcorrectie toegepast worden voor de in Nederland voorkomende watertemperaturen. Voor L. minor en L. gibba zijn deze gelijk verondersteld (zie tabel 3).

| soort | correctiefactor |
|----------------------|--------------------------|
| L. minor en L. gibba | FT = 0,05 (t* - 25) + 1 |
| S. polyrhiza | FT = 0,0233 (t - 25) + 1 |

Tabel 3. Correctiefunctie voor temperatuur

* t = temperatuur in °C

3.6 De lichtfactor

Voor de bepaling van de lichtfactor is gekozen voor een functie op basis van de halfverzadigingswaarde:

$$FL = I_z / (K_1 + I_z) \quad \text{waarin:}$$

I_z = de lichtintensiteit

K_1 = de halfverzadigingswaarde voor licht

Voor K_1 wordt op basis van de literatuurstudie naar kroos⁸ een waarde aangehouden van 1500 lux overeenkomend met 15 W.m^{-2} ⁷.

In het model wordt de groeisnelheid elk uur berekend. De gemiddelde specifieke groeisnelheid per dag moet dus omgezet worden naar een groeisnelheid over een uur (μ_s). In de referentiesituatie, waarvoor de specifieke groeisnelheid gedefinieerd is, dient te gelden dat totaal over de dag $\mu_s \cdot FL$ gelijk is aan de per dag gemiddelde groeisnelheid. Hierbij is μ_s constant en FL variabel. FL kan met bovenstaande formule berekend worden uit het verloop van de lichtintensiteit. Als referentiesituatie wordt gekozen voor de omstandigheden tijdens de groeiproeven die zijn uitgevoerd door Lüönd¹⁰. Het lichtverloop tijdens deze experimenten is afgebeeld in figuur 2. Het bijbehorende verloop van FL tijdens de groeiproef is eveneens in figuur 2 weergegeven. Hieruit kan μ_s berekend worden:

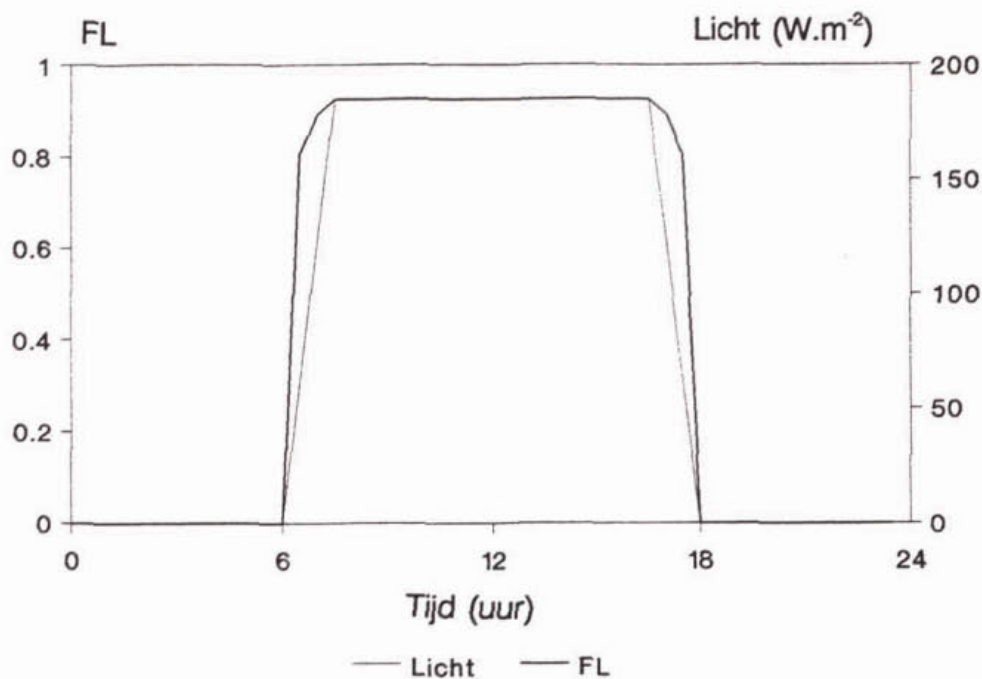
$$\text{groei in dag} = \int_0^1 \mu_s FL dt$$

of :

$$\mu_s = (\text{groei in dag}) / \int_0^1 FL dt$$

De waarde van de noemer bedraagt 0,44, zodat:

$$\mu_s = (\text{groei per dag}) / 0,44$$



Figuur 2. Verloop van licht en FL tijdens groeiproeven

3.7 De nutriëntfactor F_{Nu}

De nutriëntfactor wordt afgeleid uit de beschikbaarheid van stikstof en fosfaat. Hierbij wordt Liebig's principe toegepast:

$$F_{Nu} = \text{Min} (F_N, F_P) \quad \text{waarin:}$$

Min = functie waarvan de waarde gelijk is aan de kleinste waarde van de variabelen tussen haakjes

F_N = de correctiefunctie voor de invloed van het stikstofgehalte op de groei, indien fosfaat niet beperkend is

F_P = de correctiefunctie voor de invloed van het fosfaatgehalte op de groei, indien stikstof niet beperkend is

Bij algen blijkt Liebig's principe een beter resultaat te geven dan het vermenigvuldigingsprincipe⁵.

$$F_{Nu} = F_N F_P$$

Aangenomen is dat dit ook het geval is voor kroos.

De correctiefuncties F_N en F_P kunnen bij benadering berekend worden met een Monodvergelijking:

$$F_N = \frac{[N]}{K_N + [N]}$$

$$F_P = \frac{[P]}{K_P + [P]} \quad \text{waarin:}$$

$[N], [P]$ = de concentraties van respectievelijk stikstof (als NO_3^- of NH_4^+) en van opgelost reactief fosfaat uitgedrukt in respectievelijk mg N.l^{-1} en mg P.l^{-1}

K_N, K_P = de halfverzadigingsconstante voor respectievelijk stikstof en fosfaat. De waarden van K_N en K_P kunnen ontleend worden aan de literatuurstudie naar kroos⁸, waar zij zijn opgenomen als K_m voor N en P

De beschikbaarheid van nutriënten kan in principe op een aantal manieren in het model ingebracht worden. Een manier is simulatie van de nutriënthuishouding. Simulaties van de nutriënthuishouding zijn onder andere in gebruik voor plassen en rivieren en zijn vrij kostbaar. Bij een andere methode wordt gebruik gemaakt van waargenomen nutriëntgehalten. Deze aanpak wordt in het navolgende toegepast.

Indien men het model wil gebruiken voor de voorspelling van de effecten van beheersmaatregelen dient bij de keuze van de waarden van nutriëntgehalten rekening gehouden te worden met het effect van kroos op de nutriëntenhuishouding. Bij de beoordeling van de betrouwbaarheid van de resultaten moet men vervolgens de nauwkeurigheid waarmee dit kon gebeuren, mee laten wegen.

In de literatuur³ wordt ook gebruik gemaakt van groeimodellen voor kroos, waarbij nutriënten worden opgenomen in een "intern reservoir", terwijl de groei afhankelijk is van de nutriëntvoorraad in het interne reservoir. Dit mechanisme wordt in dit verband van secundair belang geacht voor de groeisnelheid en is daarom uit het model weggelaten.

3.8 Afsterven

Afsterving van kroos wordt als volgt berekend:

$$A_f = \lambda N \quad \text{waarin:}$$

λ = de afstervingssnelheid (dag^{-1})

De afstervingssnelheid wordt afgeleid uit een simulatie van de gemiddelde leeftijdsopbouw. Hiertoe wordt de totale kroosbiomassa in de sloot opgedeeld in leeftijdsklassen met vaste intervallen van 1 dag. De leeftijdsopbouw in de beginsituatie dient te worden ingevoerd in het model. Bij het bereiken van een nieuwe dag worden de biomassa's in de diverse leeftijdsklassen opgeschoven naar de volgende leeftijdsklassen. De leeftijdsklasse van 0 tot 1 dag wordt gevuld met de groei, welke berekend is op de hiervoor beschreven

wijze, en door de toevoer van turionen. De biomassa welke de hoogste leeftijdsklasse bereikt heeft, sterft de volgende dag af. De verhouding tussen afstervende biomassa en totale biomassa geeft voor elke dag een relatieve afstervingsnelheid (λ). Migratie uit de sloot wordt in mindering gebracht op de biomassa in de diverse leeftijdsklassen, evenredig met het aandeel van de biomassa in die leeftijdsklasse in de totale biomassa.

3.9 Het chloridegehalte en andere groeiremmers

Uit het literatuuronderzoek naar kroos⁸ blijkt dat kroos geen hoge zoutgehaltenes tolereert. De literatuurgegevens zijn echter onvoldoende specifiek om er een functie voor de reductie van kroosgroei door chloride uit af te leiden. In het opgestelde model is chloride daarom buiten beschouwing gelaten. Ook de aanwezigheid van andere groeiremmers is buiten beschouwing gelaten. Het model geldt dus alleen voor omstandigheden waarin kroosgroei niet geremd wordt door chloride of andere groeiremming.

4 KIEMEN

Groei is slechts mogelijk als er een begin is in de vorm van kiemen. Bij kroos zijn er twee soorten kiemen: kroos dat aan het oppervlak overwintert en turionen. De manier waarop deze twee vormen van kiemen in het model opgenomen zijn wordt hieronder aangegeven.

4.1 Aan het wateroppervlak overwinterend kroos

Kroos dat aan het wateroppervlak overwintert en levenskrachtig is in het voorjaar wordt als initieel aanwezige kroosbiomassa ingevoerd in het model. Hiertoe de biomassa per oppervlakte-eenheid van de sloot dient opgegeven te worden als functie van de afstand langs de slootas. Doordat de initiële biomassa wordt opgegeven als functie van de afstand is het bijvoorbeeld mogelijk om in te voeren dat in de beginsituatie de kiemen geconcentreerd zijn in de slooteinden.

4.2 Toevoer van turionen

Het veldonderzoek (deelrapport 3) laat zien dat kieming van turionen plaats vindt over periode van enkele maanden. Deze kieming is in het model opgenomen als een toevoer van biomassa per oppervlakte-eenheid sloot per dag, als functie van de tijd. In het model wordt dit omgerekend naar toevoer per lengte-eenheid van de sloot (F_{tur} in $g \cdot d.s.^{-1} \cdot m^{-1} \cdot dag^{-1}$).

5 BALANSFORMULERING

De verandering van de hoeveelheid kroos in een segment van een sloot, is het resultaat van netto groei en migratie. Deze verandering wordt berekend met behulp van een balansvergelijking. De balansvergelijking wordt opgesteld voor een korte (homogene) sectie van een waterloop. De balans per lengte en tijdseenheid luidt:

$$\begin{aligned} & (\text{de toename van de hoeveelheid kroos}) = (\text{netto aanvoer door wind}) \\ & + (\text{netto aanvoer door waterbeweging}) \\ & + (\text{netto aanvoer door dispersieve effecten}) \\ & + (\text{netto groei}) \\ & + (\text{netto toevoer door kieming van turionen}); \end{aligned}$$

waarbij alle genoemde termen positief of negatief kunnen zijn.

In formulevorm luidt de balans (bijlage 3):

$$\frac{\partial bN}{\partial t} = - \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\partial T_w}{\partial x} - \frac{\partial T_d}{\partial x} + G + F_{\text{tur}}$$

5.1 Rand- en beginvoorwaarden

De ontwikkeling van kroos in de sloot kan berekend worden uit de hiervoor geformuleerde vergelijking indien bekend zijn:

- de toestand bij het begin van de berekening (de beginvoorwaarden);
- de aan- en afvoer van kroos aan begin en eind van de sloot (randvoorwaarden).

De beginvoorwaarde kan bijvoorbeeld afgeleid worden uit veldwaarnemingen: "de nulsituatie".

De afvoer van kroos kan onder bepaalde voorwaarden berekend worden. Dit kan bijvoorbeeld als de sloot afgesloten is, de afvoer is dan nul, of als er een vrije afvoer is van kroos. In het laatste geval kan de afvoer berekend worden met de migratieformule onder de aanname dat er geen opstuwning is van kroos en de dispersieterm in de balansvergelijking te verwaarlozen is.

Aanvoer van kroos vanuit de polder naar de sloot is niet mogelijk in het model.

6 NUMERIEK-WISKUNDIGE ASPECTEN VAN HET MODEL

De geformuleerde balansvergelijking kan toegepast worden door middel van de eindige-differentie-methode. Deze methode heeft de volgende kenmerken:

- de sloot wordt opgedeeld in vakken met een lengte Δx ;
- veranderingen in de biomassa worden berekend uit de balansvergelijking voor korte tijdsintervallen (Δt);
- afgeleiden zoals:

$$\frac{\partial T_f}{\partial x}$$

worden benaderd met behulp van de veranderingen van de afhankelijke variabelen (in dit geval van T_f) over korte afstanden en korte tijdsintervallen;

- deze methode geeft alleen goede resultaten indien gerekend wordt met voldoende kleine vaklengten (Δx) en voldoende kleine tijdstappen (Δt). Het rekenwerk is hierdoor zodanig omvangrijk dat dit alleen met de computer gedaan kan worden.

De numeriek-wiskundige aspecten worden uitgewerkt in bijlage 4. Daarbij blijkt, dat de vaklengte voor veldomstandigheden kleiner dient te zijn dan 20 m en uiteraard een orde kleiner dan de lengte van de kroosdekken waarvan men het gedrag simuleert. De toegestane tijdstapgrootte is groter bij grotere vakgrootte en kleiner bij een grotere verplaatsingssnelheid van het kroos en bij een grotere dispersiefactor (D). Typische waarden van Δt variëren van enkele seconden tot 250 seconden. De tijdstapgrootte wordt door het computerprogramma zelf berekend.

7 BENODIGDE GEGEVENS EN RESULTATEN

7.1 Benodigde gegevens

Tabel 4 geeft een overzicht van de gegevens die nodig zijn voor modeltoepassing. De bronnen van deze gegevens bij modelvalidatie en bij toepassing van het model voor de analyse van beheersmaatregelen zijn aangegeven in tabel 5 en tabel 6. Tabel 6 geeft ook waarden van parameters die niet elders in de tekst vermeld staan.

7.2 Resultaten

De berekening resulteert in de dichtheid van biomassa per slootvak en per tijdstap. Deze biomassa is gemiddeld over de breedte van de sloot. De waarden voor de dichtheden worden opgeslagen in een apart bestand voor nadere analyse. Voor het eind van elke gesimuleerde dag worden de volgende gegevens ingevoerd in een bestand:

- totale biomassa in de sloot (g d.s.);
- groei (g d.s..dag⁻¹);
- turionentoevoer (g d.s..dag⁻¹);
- emigratie (g d.s..dag⁻¹).

De gegevens geven inzicht in de verandering van de kroosbiomassa.

7.3 Voorbeeld van de modelresultaten

Als toelichting op het model wordt een voorbeeld gepresenteerd van het berekend effect van wind op de verdeling van biomassa in een sloot. De gebruikte gegevens zijn dezelfde als die voor een van de referentiesituaties voor identificatie en beoordeling van beheersmaatregelen (deelrapport 1). In deze situatie zijn het aantal kiemen en de groeisnelheid hoog, en de migratie matig (vrije migratie binnen de sloot, dus geen obstructie door andere vegetatie). De lengte van de sloot is 1 km. In het voorbeeld wordt een tijdvak genomen, waarin de omstandigheden voor een illustratief beeld van migratie zorgden. Dit was een periode van 2,5 dag, beginnend op 5 juni, d.w.z. 838 uur na het startpunt van de berekening (1 mei).

Figuur 3 geeft het verloop van de windsnelheidscomponent in de slootrichting. Dit is de belangrijkste drijvende kracht voor de migratie en de meest veranderlijke. Deze windsnelheidscomponent in de slootrichting is berekend uit de waargenomen windsnelheid te Valkenburg in 1991 (KNMI). De methode die gebruikt is voor de berekening is besproken in het hoofdstuk 2.

De migratie welke veroorzaakt wordt door de wind en de geringe stroming blijkt uit figuur 4. Gedurende enige tijd voor uur 838 heeft de wind een aanzienlijke component in de slootrichting gehad. Het kroos ligt daarom vrijwel allemaal aan het eind van de sloot op km 1. In de periode 838 tot 854 neemt de windsnelheid in de slootrichting af: het kroos verspreid zich enigszins. Na uur 854 komt de wind van de andere kant en het opgestuwde kroos verplaatst zich als een vlek naar het andere einde van de sloot. Over de periode 854 tot 898 is de windsnelheid in de slootrichting gemiddeld ca. -2,5 m.s⁻¹. Dit veroorzaakt bij een windfactor van 0,001 een verplaatsing van:

$$44 \text{ (uur)} \cdot 3600 \text{ (sec.uur}^{-1}\text{)} \cdot 0,001 \cdot 2,5 \text{ (m.s}^{-1}\text{)} \approx 400 \text{ m}$$

hetgeen ook in figuur 4 af te lezen is.

1. Niet-tijdsafhankelijke parameters

1.1 Titel en sub-titel van de berekening

1.2 Parameters voor het rekenproces

- gegevens over in- en uitvoer (bestandsnamen, intervallen voor uitvoer)
- gegevens voor besturing van het rekenproces (zie bijlage 4)
- aantal vakken
- vaklengte
- beginjaar, -maand, -dag, -uur en eindjaar, -maand, -dag, -uur
n.b.: beginjaar en eindjaar dienen identiek te zijn

1.3 Slootgeometrie

- aantal slootprofielen
- per slootprofiel:
 - lokatie (afstand vanaf de oorsprong)
 - breedte
 - oriëntatie van de sloot

1.4 Parameters voor de migratie

- α - windfactor
- ϵ_2 - conversie van U naar u -oppervlak
- ϵ_3 - luftefactor voor willekeurig aantal punten; voor tussenliggende punten wordt lineair geïnterpoleerd
- D - dispersiefactor ($m^2 \cdot s^{-1}$), als functie van de biomassa per m^2

1.5 Parameters voor de groei

- μ_s maximum groeisnelheid bij $25^\circ C$ (dag^{-1})
- a_t constante voor de temperatuurcorrectie op groeisnelheid ($^\circ C$) $^{-1}$
- K_l halfverzadigingswaarde voor licht ($W \cdot m^{-2}$)
- K_N halfverzadigingswaarde voor N ($mg \cdot N \cdot l^{-1}$)
- K_P halfverzadigingswaarde voor P ($mg \cdot P \cdot l^{-1}$)
- m_l maximum levensduur van kroos (dag)
- N_{s1} constante voor self-crowding ($mg \cdot d.s. \cdot m^{-2}$)

1.6 Initiële kroosbiomassa per oppervlakte-eenheid, per vak ($g \cdot d.s. \cdot m^{-2}$)

1.7 Initiële leeftijdsopbouw in sloot

2 Tijdsafhankelijke condities

2.1 Randvoorwaarden bovenstrooms en benedenstrooms: jaar, maand, dag, uur van openen en sluiten van begin en eind van de sloot.

2.2 Watersnelheid aan begin en eind van de sloot op een willekeurig aantal tijdstippen. Voor tussenliggende tijdstippen en punten wordt lineair geïnterpoleerd. Na de laatste waarneming wordt deze aangehouden.

2.3 Windsnelheid en windrichting per uur.

2.4 Globale straling per uur ($J \cdot cm^{-2}$ over een uur, door het programma omgerekend naar $W \cdot m^{-2}$).

2.5 Watertemperatuur op een aantal willekeurige tijdstippen. Voor tussenliggende tijdstippen wordt lineair geïnterpoleerd.

2.6 Transportfactor (ϵ_1) voor een aantal willekeurige afstanden. Voor tussenliggende afstanden wordt lineair geïnterpoleerd. Er wordt niet geïnterpoleerd in de tijd. Nieuwe ϵ_1 -waarde worden van kracht op de daarbij vermelde datum.

2.7 Nutriëntgehalte (NH_4 , NO_3 , PO_4) op willekeurige tijdstippen uitgedrukt als $mg \cdot N \cdot l^{-1}$ en $mg \cdot P \cdot l^{-1}$; voor tussenliggende tijdstippen wordt lineair geïnterpoleerd. N.B. steeds worden de drie nutriëntgehalten samen ingevoerd.

2.8 Turionentoelevering in $g \cdot d.s. \cdot m^{-2}$ op willekeurige tijdstippen; voor tussenliggende tijdstippen wordt lineair geïnterpoleerd.

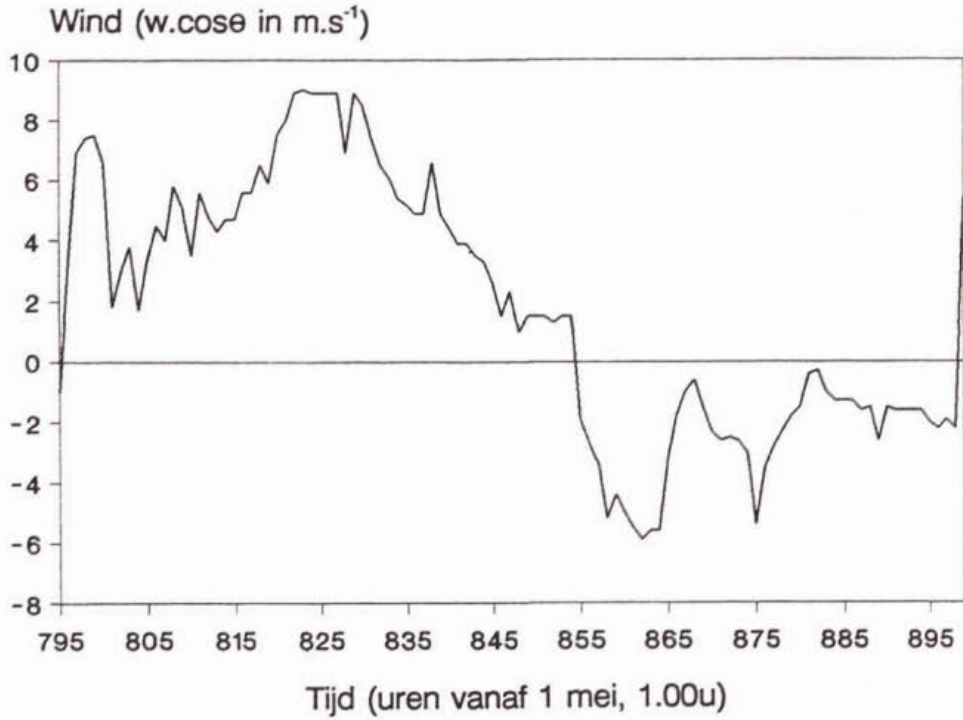
Tabel 4. Gegevensbehoefte van het simulatiemodel voor kroos

| omschrijving | bron |
|---|---|
| 1 Niet-tijdsafhankelijke parameters | |
| 1.1 Titel, subtitel | - |
| 1.2 Aantal vakken en vaklengte | Af te leiden uit numerieke en praktische overwegingen (zie bijlage 4) |
| Begindatum en -uur | Volgt uit waarnemingsperiode |
| Einddatum en -uur | Idem |
| 1.3 Aantal slootprofielen | Afhankelijk van variatie in slootbreedte |
| Voor elk profiel: | |
| - afstand | Veldwaarneming |
| - breedte | Idem |
| - oriëntatie van de sloot | Idem |
| 1.4 Windfactor (α) | Veldonderzoek (Deelrapport 3) |
| Conversiefactor (ϵ_2) | Schatting |
| Luwtefactor (ϵ_3) | Schatten in het veld |
| Dispersiefactor (D) | Afgeleiden uit observaties Baijens |
| 1.5 Specifieke groeisnelheid (μ_{max}) | Literatuuronderzoek |
| Constante voor temperatuurcorrectie op de groeisnelheid (a_f) | Literatuuronderzoek |
| Halfverzadigingswaarde voor licht (K_1) | Literatuuronderzoek |
| Halfverzadigingswaarde voor N (K_N) | Literatuuronderzoek |
| Halfverzadigingswaarde voor P (K_P) | Literatuuronderzoek |
| Maximum levensduur van kroos (m_1) | Literatuuronderzoek |
| Constante voor self-crowding (N_{s1}) | Literatuuronderzoek |
| 1.6 Initiele dichtheid van biomassa in sloot | Veldwaarnemingen |
| 1.7 Initiele leeftijdsopbouw | Schatting |
| 2 Tijdsafhankelijke condities | |
| 2.1 Randvoorwaarden begin en eind van de sloot | Veldonderzoek |
| 2.2 Stroomsnelheid | Schatting uit neerslag en hydraulische situatie |
| 2.3 Windsnelheid en -richting | KNMI |
| 2.4 Licht | KNMI |
| 2.5 Watertemperatuur | Veldwaarneming |
| 2.6 Transportfactor (ϵ_1) | Veldwaarneming |
| 2.7 Nutriëntgehalten | Veldwaarneming |
| 2.8 Turionentoelevering | Veldwaarneming |

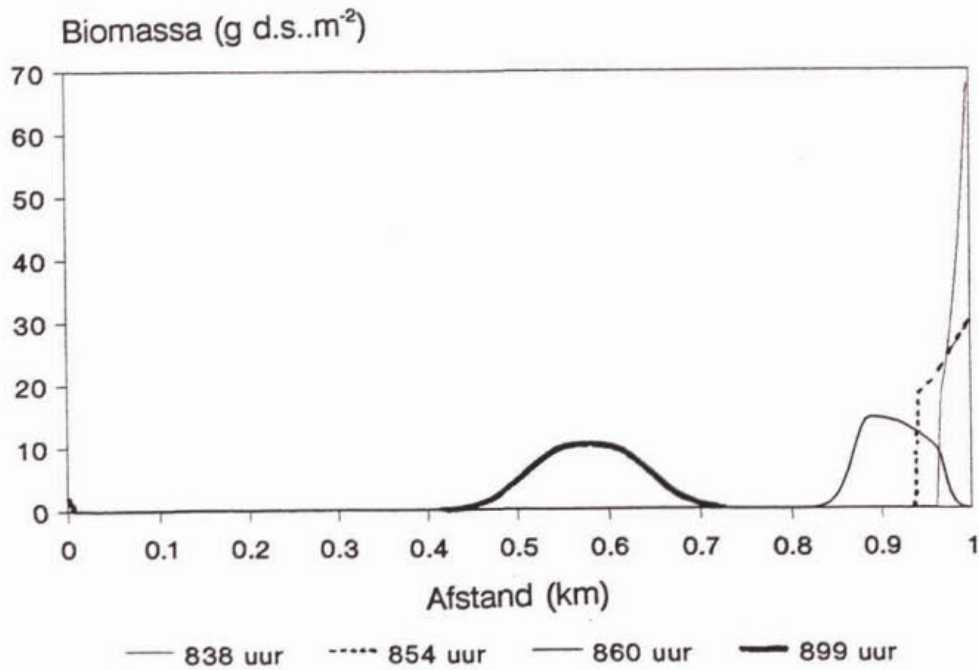
Tabel 5. Bronnen van de gebruikte gegevens bij modelvalidatie

| omschrijving | bron/parameterwaarden |
|---|---|
| 1 Niet-tijdsafhankelijke parameters | |
| 1.1 Titel, subtitel | - |
| 1.2 Aantal vakken en vaklengte | Af te leiden uit numeriek-wiskundige eisen (bijlage 4) en eis van representatieve sloot (Gekozen slootlengte: 1000 m) |
| Begin- en einddatum | Selectie van representatieve periode (1 mei tot 15 september, 1991) |
| 1.3 Slootgeometrie | Selectie van een representatieve sloot. De gekozen waarden zijn: breedte 2,5 m; oriëntatie oost-west |
| 1.4 Windfactor (α) Conversiefactor (ϵ_2) Luwtefactor | Veldonderzoek (deelrapport 3) Schatten (geschatte waarde: 1,15) Te kiezen voor representatieve situatie (keuze: 1, voor de gehele sloot) |
| Dispersiefactor | Afgeleid uit observatie van Baijens (bijlage 1) |
| 1.5 Specifieke groeisnelheid (μ_s) Constante voor temperatuurcorrectie op de groeisnelheid (a_f) Halfverzadigingswaarde voor licht (K_1) Halfverzadigingswaarde voor N (K_N) Halfverzadigingswaarde voor P (K_P) Maximum levensduur kroos Constante voor self-crowding (N_{s1}) | Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek Literatuuronderzoek |
| 1.6 Initiële biomassa in sloot | Definitie referentiesituaties (Hoofdrapport) |
| 1.7 Initiële leeftijdsopbouw | Schatting (gelijkmatige opbouw verondersteld) |
| 2 Tijdsafhankelijke condities | |
| 2.1 Randv.w. begin en eind van de sloot | Definitie referentiesituatie (aan beide zijden kan het kroos de sloot niet verlaten) |
| 2.2 Stroomsnelheid | Karakteristiek verloop in representatieve situatie (bovenstroom: 0 m.s ⁻¹ ; benedenstroom: -0,0002 m.s ⁻¹ van 1 mei tot 15 aug., +0,0002 m.s ⁻¹ op 15 sept, lineair veranderend tussen 15 aug. en 15 sep.) |
| 2.3 Windsnelheid en -richting | KNMI |
| 2.4 Licht | KNMI |
| 2.5 Watertemperatuur | Referentie-temperatuurverloop: waargenomen verloop in de proefsloten aangevuld met luchttemperatuur (KNMI, station Valkenburg). Correctie op dit referentie-temperatuurverloop is afhankelijk van de situatie (Hoofdrapport, subpar. 4.2.2) |
| 2.6 Transportfactor (ϵ_1) | 0 in situatie met lage migratie; 1 in situatie met "matige migratie" (hoofdrapport, par. 4.1 en 4.2) |
| 2.7 Nutriëntgehalten | Afhankelijk van de referentiesituatie (Hoofdrapport, par 4.2) |
| 2.8 Turionennalevering | Afhankelijk van de referentiesituatie (Hoofdrapport, par 4.2) |

Tabel 6. Bronnen van de gebruikte gegevens en enkele parameterwaarden voor evaluatie van beheersmaatregelen



Figuur 3. Het verloop van de windsnelheid in de slootrichting



Figuur 4. Lengteprofiel van kroosbiomassa bij veranderende wind-richting

1. Baijens, P.M., 1988. Aëro- en hydrodynamisch gedrag van kroos. TU-Delft, Faculteit der Civiele Techniek.
2. Does J., van der. Mondelinge mededeling.
3. Koles, S.M., 1986. Modelling of duckweed (Fam. Lemnaceae) biomass production and water quality improvement. Thesis. Univ. of Florida.
4. EPA, 1987. The enhanced stream water quality models, QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: documentation and user manual. EPA Laboratory, Athens.
5. Groot, W.T. de, 1983. Modelling the multiple nutrient limitation of algal growth. Ecological Modelling, 18 (1983), 99-119.
6. Jansen, P. Ph. (ed.), 1979. River engineering. Pitman.
7. Withrow, R.B. and A.P. Withrow, 1956. Generation, control and measurement of visible and near-visible radiant energy (p. 138, p. 135). In: A. Hollander (ed.) Radiation biology, Vol III. McGraw-Hill.
8. STOWA, 1992. Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos. I. Literatuur.
9. Wieringa, J., en P.J. Rijkoort, 1983. Windklimaat van Nederland. KNMI - De Bilt. Staatsuitgeverij, Den Haag.
10. Luond, A., 1983. Das Wachstum von Wasserlinsen (Lemnaceae) in Abhängigkeit des Nährstoffangebots, insbesondere Phosphor und Stickstoff. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stift + Rübel, Zürich, 80. Heft.

BIJLAGEN

Bijlage 1

Bepaling van de dispersiefactor uit de waarnemingen van Baijens

BEPALING VAN DE DISPERSIEFACTOR UIT DE WAARNEMINGEN VAN BAIJENS

1 Methode

Bij de proeven van Baijens is de stroming nihil en de bron termen zijn afwezig, de constanten ϵ_1 en ϵ_3 zijn op 1 te stellen. De balansvergelijking kan dan vereenvoudigd worden tot:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\alpha U \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial N}{\partial x} \quad \text{waarin:}$$

U = windsnelheid in de richting van de sloot = $W \cos \theta$ en t wordt uitgedrukt in seconden.

Voor de evenwichtssituatie is de verandering in de dichtheid van de biomassa nihil:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = 0$$

De vergelijking is dan te vereenvoudigen tot:

$$\alpha U \frac{dN}{dx} = \frac{d}{dx} D \frac{dN}{dx}$$

Een algemene oplossing hiervoor is:

$$N(x) = c_1 e^{\frac{\alpha U x}{D}} + c_2$$

Indien als eis wordt gesteld dat:

$$N \rightarrow 0 \text{ voor } x \rightarrow -\infty$$

dan geldt:

$$c_2 = 0$$

en:

$$N(x) = c_1 e^{\lambda x}$$

met:

$$\lambda = \frac{\alpha U}{D}$$

Voor praktische toepassing wordt een begin van het kroosdek gedefinieerd als $N = N_0$ en $x = x_0$. Voor het zo gedefinieerde punt geldt:

$$N_0 = c_1 e^{\lambda x_0}$$

of:

$$c_1 = N_0 e^{-\lambda x_0}$$

zodat:

$$N(x) = N_0 e^{\lambda(x-x_0)}$$

De totale hoeveelheid kroos van het begin van het kroosdek tot een obstakel op plaats z is dan gelijk aan:

$$\int_{x_0}^z N_0 e^{\lambda(x-x_0)} dx = \frac{N_0}{\lambda} e^{\lambda(z-x_0)}$$

De lengte van het kroosdek (l) kan gedefinieerd worden als:

$$l = z - x_0 ;$$

de totale biomassa per meter breedte in een kroosdek (M) wordt dan gegeven door de volgende formule:

$$M = \frac{N_0}{\lambda} (e^{\lambda l} - 1)$$

en de lengte van het kroosdek wordt gegeven door:

$$l = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{\lambda M}{N_0} + 1 \right) \quad (1)$$

met:

$$\lambda = \frac{\alpha U}{D}$$

2 Resultaten

In een aantal van de experimenten van Baijens is M bekend, de relatie tussen l en U is gemeten, α is bekend uit andere experimenten die hij gedaan heeft; voor α wordt de waarde 0,009 genomen. De waarde van λ wordt berekend uit (1), indien N_0 bekend is. Voor N_0 wordt genomen de biomassa per oppervlakte-eenheid waarbij weerstand tegen verdere opstuwing begint op te treden: 10 mg d.s..m⁻², hetgeen overeenkomt met een bedekking van 33%. De berekening is samengevat in tabel 1.

| M (g d.s.m ⁻¹) | U (m.s ⁻¹) | l (m) | D (m ² .s ⁻¹) | \bar{N} (g d.s..m ⁻²) |
|---------------------------------|-----------------------------|------------|---|--|
| 54 | 3 | 4,5 | 0,343 | 12 |
| 54 | 5 | 2,4 | 0,074 | 22,5 |
| 54 | 7 | 0,53 | 0,009 | 102 |
| 54 | 11 | 0,2 | 0,004 | 270 |
| 40,5 | 3 | 2,7 | 0,096 | 15 |
| 40,5 | 7 | 0,675 | 0,015 | 60 |
| 40,5 | 11 | 0,129 | 0,003 | 314 |

Tabel 1. Berekening van D

3. Discussie

Een relevante vraag is of er een verband bestaat tussen enerzijds de gevonden variaties in D en anderzijds de kroosbiomassa per oppervlakte-eenheid of de windsnelheid. Het lijkt aannemelijk dat er een verband bestaat tussen kroosbiomassa's per oppervlakte-eenheid en D voor vrij lage kroosbiomassa's per oppervlakte-eenheid. Immers, uit de literatuurstudie naar kroos¹ blijkt dat weerstand tegen opstuwing optreedt bij een bedekking die hoger is dan 50%. Dit betekent dat $D = 0$ voor $N < 10 \text{ g d.s.} \cdot \text{m}^{-2}$ en $D > 0$ voor $N > 10 \text{ g d.s.} \cdot \text{m}^{-2}$.

De gevonden afname van D bij hogere windsnelheden en grotere biomassa's per oppervlakte-eenheid kon niet goed verklaard worden.

De gegevens zijn beperkt tot enkele series metingen in de windgoot met weinig variatie in totale biomassa per kroosdek. De metingen worden daarom slechts als indicatief beschouwd. Het wordt slechts mogelijk geacht om uit de metingen één indicatieve waarde af te leiden voor $N > 10 \text{ mg d.s.} \cdot \text{m}^{-2}$. De D-waarden bij windsnelheden beneden de $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ zijn hierbij het meest relevant omdat deze het meest voorkomen en dus het meest bepalend zijn voor opstuwing en self-crowding. Bovendien is de expositie aan wind in poldersloten doorgaans minder dan in een windgoot, zoals onder andere blijkt uit de lagere windfactor in het veld dan in de windgoot (zie paragraaf 2.1 van deelrapport 4). Op grond hiervan is de waarde van D voor $N > 10 \text{ mg d.s.} \cdot \text{m}^{-2}$ gesteld op $1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Het resulterende verloop van D is weergegeven in figuur 1.

4. Besluit

De functie $D(N)$, welke in het voorgaande opgesteld is, wordt gebruikt voor de simulaties.

5. Literatuur

1. STOWA, 1992. Ontstaan en bestrijden van deklagen van kroos.
1. Literatuur.

Bijlage 2

Ontwikkeling van de biomassa onder invloed van self-crowding

ONTWIKKELING VAN DE BIOMASSA ONDER INVLOED VAN SELF-CROWDING

Indien variaties in de sturende factoren zoals temperatuur, licht en nutriënten worden uitgeschakeld en beperkingen en alle beperkingen behalve self-crowding worden uitgeschakeld, wordt na verloop van tijd een stationaire toestand bereikt.

In deze toestand geldt:

$$\mu N_{s1} = \lambda N_{max}$$

of:

$$N_{max} = \frac{\mu}{\lambda} N_{s1} \quad \text{waarin:}$$

$$\lambda = \frac{1}{L}$$

L = levensduur (dagen)

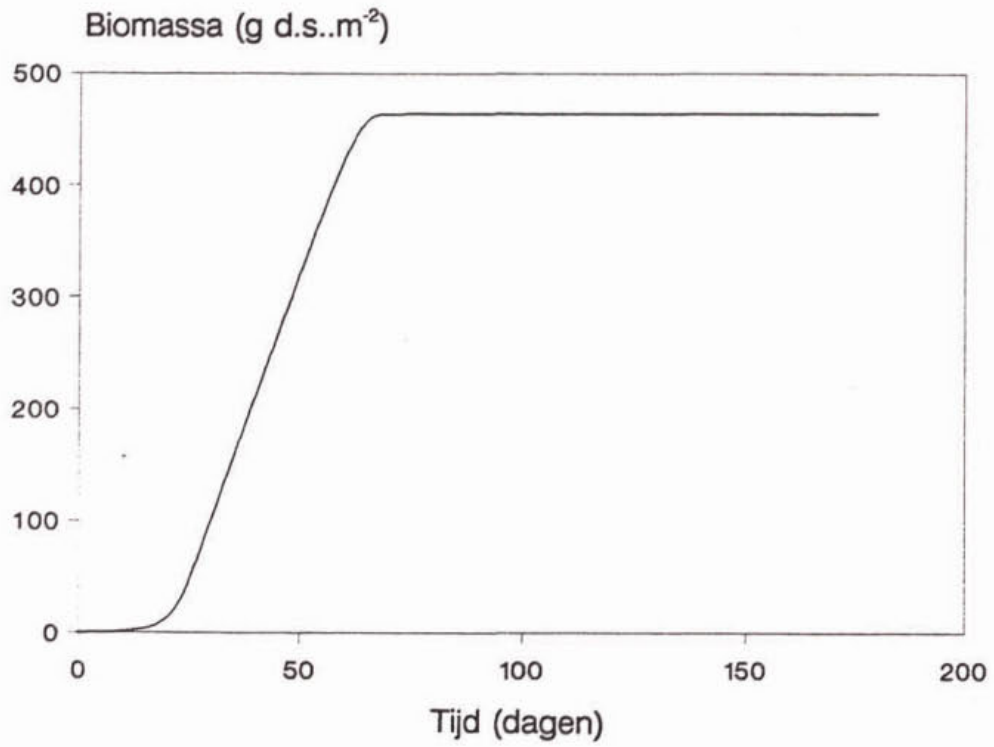
Dat wil zeggen:

$$N_{max} = \mu L N_{s1}$$

We kunnen nu N_{max} berekenen en vinden waarden die redelijk overeenstemmen met de N_{max} uit de literatuur (tabel 1). De computersimulaties geven praktisch dezelfde resultaten als de handberekening (zie figuur 1). Het verschil blijkt te worden veroorzaakt door afronding bij de omrekening van de groeisnelheid per dag naar groeisnelheid per uur.

| | L. minor | L. gibba |
|--|----------|----------|
| μ (dag ⁻¹) | 0,28 | 0,30 |
| levensduur (dagen) | 42 | 42 |
| N_{s1} (g d.s..m ⁻²) | 42 | 32 |
| N_{max} , berekend (g d.s..m ⁻²) | 494 | 403 |
| N_{max} , literatuur (g d.s..m ⁻²) | 630 | 355 |

Tabel 1. Maximale biomassa bij self-crowding



Figuur 1. Effect van self-crowding bij *L. minor* (temp. = 25 °C, 12 uur licht)

AFLEIDING VAN DE BALANSVERGELIJKING

De toename van de hoeveelheid kroos wordt beschouwd voor een slootvak tussen twee dwarsdoorsneden met een onderlinge afstand van ∂x (zie figuur 1). De toename over een interval ∂t is gelijk aan de hoeveelheid aan het eind van het tijdsinterval verminderd met de hoeveelheid aan het begin van dit interval:

$$\text{eind} \quad : \quad b(t+\partial t) N(t+\partial t) \partial x$$

$$\text{begin} \quad : \quad b(t) N(t) \partial x$$

$$\text{toename} \quad : \quad \partial(bN) \partial x$$

De toename is het resultaat van netto migratie, netto groei en turionenkieming

$$\text{In bij } x \quad : \quad (T_f(x) + T_w(x) + T_d(x)) \partial t$$

$$\text{Uit bij } x \quad : \quad (T_f(x+\partial x) + T_w(x+\partial x) + T_d(x+\partial x)) \partial t$$

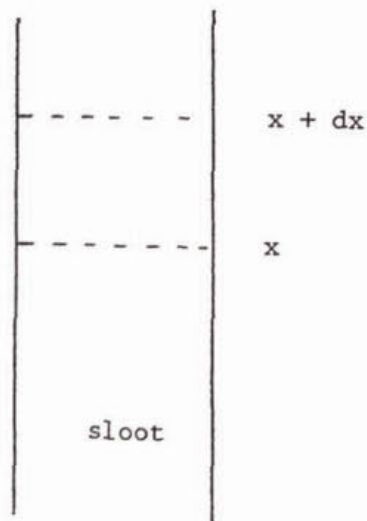
$$\text{Netto migratie} = - (\partial T_f + \partial T_w + \partial T_d) \partial t$$

De netto groei is gelijk aan $G\partial t\partial x$ waarbij G de netto groeisnelheid is, geïntegreerd over de breedte.

De toevoer aan turionen is gelijk aan F_{tur}

De balansvergelijking luidt dan:

$$\frac{\partial bN}{\partial t} = - \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\partial T_w}{\partial x} - \frac{\partial T_d}{\partial x} + G + F_t$$



Figuur 1. Definitieschets

1 NUMERIEKE OPLOSSING VAN DE BALANSVERGELIJKING

De balansvergelijking luidt:

$$\frac{\partial bN}{\partial t} = - \frac{\partial T_f}{\partial x} - \frac{\partial T_w}{\partial x} - \frac{\partial T_d}{\partial x} + G + F_{tur} \quad (1)$$

Deze vergelijking kunnen we als volgt herschrijven:

$$\frac{\partial bN}{\partial t} = \frac{\partial c}{\partial x} b N + \frac{\partial}{\partial x} (b D(N) \frac{\partial N}{\partial x}) + f(N, F_{tur}) \quad \text{waarin:}$$

$$c = (\alpha \epsilon_1 \epsilon_3 W \cos \theta + \epsilon_1 \epsilon_2 u) 86400, \text{ dit is de verplaatsingssnelheid van de kroosplantjes onder invloed van waterbeweging en wind;}$$

$$f(N, F_{tur}) = \text{een bronterm bestaande uit groei van kroos en de toevoer van biomassa via turionen.}$$

Deze convectie-dispersievergelijking met bronterm wordt opgelost met de eindige-differentie-methode waarbij gekozen is voor een eenvoudig expliciet rekenschema, conform WASP¹.

Dit resulteert in het volgende rekenschema:

$$\begin{aligned} \frac{\partial O_j N_j}{\partial t} = & - (cb)_{j,j+1} N_{j,j+1} + (cb)_{j-1,j} N_{j-1,j} \\ & + R_{j,j+1} (N_{j+1} - N_j) \\ & - R_{j-1,j} (N_j - N_{j-1}) \\ & + \Delta x (G + F_{tur}) \end{aligned} \quad \text{waarin:}$$

$$O_j = \Delta x b, \text{ dit is het oppervlak van het onbegroeide deel van vak } j$$

$$O_j N_j = \text{de biomassa van het kroos in vak } j$$

$$(cb)_{j,j+1} = \text{de waarde van } c \cdot b \text{ op de grens van vak } j \text{ en vak } j+1, \text{ deze wordt rechtstreeks berekend uit de gegevens}$$

$$(cb)_{j-1,j} = \text{idem voor de grens van vak } j-1 \text{ en vak } j$$

$$N_{j,j+1} = N_j \text{ voor } c_{j,j+1} \geq 0$$

$$= N_{j+1} \text{ voor } c_{j,j+1} < 0$$

$$N_{j-1,j} = N_{j-1} \text{ voor } c_{j-1,j} \geq 0$$

$$= N_j \text{ voor } c_{j-1,j} < 0$$

$$R_{j,j+1} = \frac{bD}{\Delta x} \text{ op de grens tussen de vakken } j \text{ en } j+1$$

$$R_{j-1,j} = \text{idem voor grens tussen de vakken } j-1 \text{ en } j$$

De toename van het kroos wordt berekend volgens het voorwaarts schema van Euler:

$$(O_j N_j)_{t+\Delta t} = (O_j N_j)_t + \frac{\partial (O_j N_j)}{\partial t} \Delta t \quad \text{waarin:}$$

$$\Delta t = \text{tijdstapgrootte is.}$$

De kroosbiomassa per oppervlakte-eenheid kan berekend worden uit:

$$(N_j)_{t+\Delta t} = (O_j N_j)_{t+\Delta t} / (O_j)_{t+\Delta t}$$

Het model heeft een optie om te voorkomen dat negatieve biomassa's berekend worden. Negatieve biomassa's zouden berekend kunnen worden bij lage biomassa's in de buurt van grote gradiënten in de x-richting. Indien een berekende verandering van de biomassa per tijdseenheid de berekende biomassa op $t+\Delta t$ negatief zou maken, houdt het programma de biomassa positief door voor de biomassa op $t+\Delta t$ de helft van de biomassa op tijdstap t te nemen. De ervaring leert dat deze procedure over het algemeen acceptabel is.

2 NAUWKEURIGHEID EN KEUZE Δx

De numerieke dispersie die bij dit schema optreedt wordt gegeven door:

$$E_{\text{num}} = \frac{c}{2} (\Delta x - c \Delta t)$$

De keuze voor Δt is zodanig, dat $c\Delta t$ kleiner is dan $0,5\Delta x$ dus, voor de bepaling van de grootte-orde van E_{num} geldt:

$$E_{\text{num}} \approx \frac{c}{2} \Delta x$$

De waarde van c wordt voornamelijk bepaald door de wind. Deze bedraagt gemiddeld circa $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Dan is, voor veldsituaties, $c \approx 0,001 \cdot 5 = 0,005 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Bij het opstellen van een nauwkeurigheidseis wordt er rekening mee gehouden dat van D alleen de orde-grootte bekend is. Daarom wordt gesteld dat $E_{\text{num}} \leq 0,5D$ met $D = 0,1 \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$, zodat de eis luidt:

$$E_{\text{num}} \leq 0,05$$

Hieruit volgt de eis:

$$\Delta x < \frac{0,05 \cdot 2}{0,005} \approx 20 \text{ m}$$

Ook is vereist dat Δx klein is ten opzichte van de lengte van het kroosdek dat men wil simuleren. Indien deze 10 m lang is mag Δx maar 1 m bedragen.

Het voorgaande houdt in dat met kleine vaklengten gewerkt moet worden.

3 RANDVOORWAARDEN

De aanpassingen van het rekenschema voor de benedenrand ($j=1$):

- (a) de convectieterm op de benedenrand is afhankelijk van het al of niet open zijn van de rand;
- (al) bij een gesloten benedenrand is de convectieterm nul;

(a2) bij een open rand wordt onderscheid gemaakt tussen instroming en uitstroming:

- instroming: de convectieterm is nul, daar aangenomen werd dat er geen kroos instroomt;
- uitstroming: de convectieterm wordt berekend met de concentratie van het eerste vak:

$$cflow_j = (cb)_{j-1,j} N_j$$

(b) voor de dispersieterm wordt de waarde nul aangenomen omdat deze niet zonder extra gegevens over de condities op de benedenrand te kwantificeren is;

De veranderingssnelheid van de biomassa in vak 1 wordt dan berekend met:

$$\begin{aligned} \frac{\partial O_j N_j}{\partial t} = & - (cb)_{j,j+1} N_{j,j+1} + cflow_j \\ & + R_{j,j+1} (N_{j+1} - N_j) - 0 \\ & + \Delta x (G + F_{tur}) \end{aligned}$$

met $j=1$

Voor de bovenrand geldt op soortgelijke wijze:

$$\begin{aligned} \frac{\partial O_n N_n}{\partial t} = & - cflow_n + (cb)_{n-1,n} N_{n-1,n} \\ & + 0 - R_{n-1,n} (N_n - N_{n-1}) \\ & + \Delta x (G + F_{tur}) \end{aligned} \quad \text{waarin:}$$

$$\begin{aligned} -cflow_n & = 0 \text{ voor instroming en voor uitstroming bij} \\ & \text{gesloten rand} \\ & = (c b)_{n,n+1} N_n \text{ voor uitstroming bij open rand} \end{aligned}$$

4 SPLITSING VAN DE BEREKENING VOOR BRONTERM EN CONVECTIETERM

Om rekentijd te besparen wordt de bijdrage van de bronterm met intervallen van een uur berekend en verrekend met de biomassa. De rest van de vergelijking wordt toegepast met een kleinere tijdstap welke berekend wordt zoals hierna is aangegeven.

5 TIJDSTAPGROOTTE EN BENODIGDE REKENTIJD

Een eis voor stabiliteit van de berekening is, dat voor elk vak de totale verandering van de biomassa ten gevolge van stroming en dispersie kleiner is dan de aanwezige biomassa¹. Dit leidt tot de eis:

$$\Delta t_{\max} = \min_j \left(\frac{O_j}{\Sigma cb + \Sigma R} \right)$$

$$\Sigma cb = (cb)_{j-1,j} - (cb)_{j,j+1}$$

$$\Sigma R = R_{j,j+1} - R_{j-1,j}$$

Delen door b levert, bij constante Δx :

$$\Delta t_{\max} = \frac{\Delta x}{\max_j(\Sigma c + \Sigma (R/b))}$$

In het computerprogramma wordt de noemer elk uur geschat met:

$$\text{noemer} = 2 \cdot \max_j(|C| + R/b) \quad \text{waarin:}$$

$$j = 2, 3, \dots, n$$

$$n = \text{aantal vakken}$$

De tijdstap Δt wordt dan berekend met:

$$\Delta t = f (\Delta x / \text{noemer})$$

De parameter f wordt ingelezen. Een waarde van $f = 0,5$ blijkt te voldoen.

Om praktische redenen wordt verder een maximum tijdstap van een uur gehanteerd. Dit werkt bevredigend.

Daar $R/b = D/\Delta x$ geldt bij kleine Δx en kleine c :

$$\text{noemer} \approx \frac{2D}{\Delta x}$$

Dat wil zeggen:

$$\Delta t \approx \frac{f (\Delta x)^2}{2D}$$

Dus voor kleine Δx neemt het rekenwerk toe met $(\Delta x)^{-3}$, voor grote Δx met $(\Delta x)^{-2}$.

6. LITERATUUR

1. Ambrose, R.B., T.A. Wool, J.P. Connolly, R.W. Schanz, 1988. WASP4, a hydrodynamic and water quality model -- model theory, user's manual and programmer's guide. EPA/600/3-87/039. US-EPA, Athens, U.S.A.

BEGRIPPENLIJST

| | |
|------------------|---|
| allelopathie | groeiremming van planten door stoffen die door andere plantesoorten worden uitgescheiden |
| beslisregel | voorschrift voor het maken van een keuze |
| denitrificatie | anaërobe, microbiële omzetting van nitraat naar stikstofgas |
| flab | verzamelnaam voor verschillende soorten draadalgen, die vaak dichte vegetatie-matten vormen |
| frond | het individuele, bladvormige lichaam van Lemnaceae |
| hoofdwaterring | sloot in polder met als hoofdfunctie afwatering (breedte en diepte over het algemeen groter dan bij polder-sloot) |
| kiemen | de eerste plantjes (fronds) van een kroospopulatie aan het begin van het groeiseizoen |
| lux | eenheid van hoeveelheid licht per m ² : bij zonlicht is 100 lux ongeveer gelijk aan 1 W.m ⁻² |
| μ | groeisnelheid, specifiek voor kroos-soort, uitgedrukt in d ⁻¹ (per dag) |
| μ_{\max} | de maximale groeisnelheid, bij bepaalde temperatuur en lichthoeveelheid |
| μ/μ_{\max} | relatieve groeisnelheid: verhouding tussen de actuele en maximale groeisnelheid onder de gegeven klimatologische omstandigheden |
| μ_s | groeisnelheid bij 25°C en verder optimale omstandigheden |
| migratie | verplaatsing van kroos onder invloed van wind en waterstroming (ook wel 'passieve' migratie genoemd) |
| model | verzameling van reken- en beslisregels waarmee het gedrag van een systeem wordt beschreven |
| modelcalibratie | fijnregeling van de parameters die voorlopig zijn vastgesteld, b.v. op basis van de literatuur of eenvoudige berekening |

| | |
|------------------|--|
| modelformulering | opstellen van een verzameling rekenen beslisregels op basis van systeemanalyse en numerieke wiskundige analyse |
| modelvalidatie | toetsing van het model voor één of meerdere situaties welke niet gebruikt zijn voor de calibratie, waarbij de uitkomsten van het model worden vergeleken met de waarnemingen in het werkelijke systeem |
| nitrificatie | aërobe, microbiële omzetting van ammonium naar nitraat |
| parameter | getal dat onderdeel vormt van een formule die de relatie tussen twee of meer variabelen karakteriseert |
| poldersloot | schei- of kavelsloot in polder, met als hoofdfunctie ontwatering |
| rekenregel | wiskundige formule |
| rustfronds | kleine, dikke, niet groeiende fronds met zetmeel die gevormd worden ter overbrugging van ongunstige omstandigheden; rustfronds blijven drijven |
| self-crowding | groeiremming binnen een kroospopulatie door ophoping van fronds |
| systeem | een als geheel te beschouwen verzameling van op elkaar inwerkende onderdelen |
| turionen | kleine, wortelloze fronds die ter overbrugging van ongunstige omstandigheden naar de bodem zinken |

