

opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, RIZA

Drijflaagmodule DBS

September 1997

T1515_sep

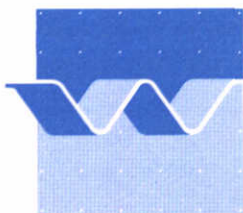
T1515

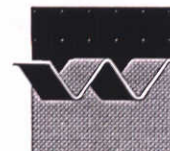
waterloopkundig laboratorium | WL

Drijfslagmodule DBS

M. Bokhorst

M. Vonk





waterlooppkundig laboratorium

KLANT	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Ministerie voor Verkeer en Waterstaat					
TITEL	Drijfslagenmodule DBS					
SAMENVATTING						
<p>In opdracht van RIZA heeft WL voor het watersysteem Markermeer-IJsselmeer een geïntegreerd modelinstrumentarium ontwikkeld waarmee diverse beheers- en inrichtingsopties kunnen worden doorgerekend. Een drijfslagmodule, een module die het voorkomen en de verspreiding van drijfslagen voorspelt, is onderdeel van dit instrumentarium (alleen voor het IJsselmeer). De module bestaat uit 3 onderdelen: een multi-species fytoplankton-model die de biomassa van drijfslagvormers in de waterkolom berekend, een model gebaseerd op Fuzzy Logic technieken die aangeeft in welke mate drijfslagvorming plaatsvindt, en een transportmodel die de verticale en horizontale concentratie mechanismen beschrijft. Vanwege grote ruimtelijke en temporele verschillen is de module gebaseerd op een fijnmazige gebiedsschematisatie van 1 x 1 km. De module is gecalibreerd voor de jaren 1988 en 1989 op basis van remote sensing beelden van de NOAA-satelliet. De reflectiebeelden zijn omgerekend naar een ruimtelijk variërende vegetatieindex die een maat is voor de drijfslagvorming in het IJsselmeer. De module is tevens toegepast voor het watersysteem Volkerak-Zoommeer</p>						
REFERENTIES :						
Contractnummer RI-1628A						
Opdracht binnen het programma "Ecosysteemanalyse IJsselmeer en Markermeer"						
REV	AUTEUR		DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1	M. Bokhorst	<i>MB</i>	1-9-97		B.F. Michielsen	<i>[Signature]</i>
	M. Vonk	<i>MV</i>	1-9-97			P.G.C Glas
TREFWOORD(EN)			INHOUD		STATUS	
Drijfslagen, Microcystis, Modelling, Fuzzy Logic, Remote Sensing			TEKST : 37 TABELLEN : 8 FIGUREN : 27 APPENDICES : -		<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF	
PROJECTNUMMER: T1515						

Inhoud

1 Inleiding	1-1
1.1 Doelstelling	1-1
1.2 Stand van zaken	1-1
1.3 Aanpak	1-3
2 Drijfslagvorming	2-1
2.1 Inleiding	2-1
2.2 Wat is Fuzzy Logic?	2-1
2.3 Structuur FUZZYSCUM.....	2-3
2.4 Parameters	2-5
2.5 Kennisregels	2-9
2.6 Voorbeeld	2-12
3 Transport van drijfslagen	3-1
3.1 Inleiding	3-1
3.2 Concentratiemechanismen.....	3-1
3.3 Implementatie MOVESCUM.....	3-1
4 Resultaten	4-1
4.1 Inleiding	4-1
4.2 Remote sensing beelden	4-1
4.3 IJsselmeer	4-2
4.4 Volkerak en Zoommeer	4-7
5 Discussie	5-1
6 Conclusies en aanbevelingen	6-1
7 Referenties	7-1

Lijst van figuren:

Figuur 2.1 Schematisatie van Fuzzy Logic procedure.	2-2
Figuur 2.2 Structuur van de module voor het verschijnen van een drijfslag.	2-4
Figuur 2.3 Structuur van de module voor het verdwijnen van een drijfslag.	2-5
Figuur 2.4 Frequentie van de gemiddelde windsnelheden per uur in de periode juni tot en met oktober in 1988 en 1989.	2-6
Figuur 2.5 De gemiddelde windsnelheid per uur (m/s) in augustus in 1988 en 1989.	2-6
Figuur 2.6 Lidmaatschapfuncties van de parameter windsnelheid verschijnen.	2-7
Figuur 2.7 Maximale cumulatieve instraling over 6 uur voor 1988 (per dag).	2-7
Figuur 2.8 Lidmaatschapfuncties van de parameter instraling.	2-8
Figuur 2.9 Lidmaatschapfuncties van de parameter tijdstip.	2-8
Figuur 2.10 Lidmaatschapfuncties van de parameters verschijnen en verdwijnen.	2-9
Figuur 2.11 Lidmaatschapfuncties van de parameter wind verdwijnt.	2-9
Figuur 2.12 Onderdeel stabiliteit van de waterkolom van de module verschijnen van drijfslagen.	2-12
Figuur 2.13 Onderdeel stabiliteit van de waterkolom van de module verschijnen van drijfslagen.	2-13
Figuur 3.1 Rekeningruid drijfslagmodule IJsselmeer (1 km bij 1 km).	3-2
Figuur 3.2 Rekeningruid drijfslagmodule Volkerak (200 bij 200 m).	3-2
Figuur 3.3 Gemodelleerde concentratiemechanismen in MOVESUM.	3-3
Figuur 3.4 Structuur drijfslagverspreidingsmodule MOVESUM.	3-4
Figuur 4.1 Het aantal beelden met en zonder drijfslagen cumulatief afgezet tegen de gemiddelde windsnelheid gedurende 3 uur voor de opname.	4-2
Figuur 4.2 Vegetatieindex op 5 september 1989 14:10, 7 september 1989 13:50 en 8 september 1989 13:40.	4-3
Figuur 4.3 Berekeningsresultaat voor de periode 4 t/m 9 september 1989.	4-4
Figuur 4.4 Berekende verspreiding op 5 september 1989 14:00 (mgC/m ²); links drijfslag, rechts waterkolom.	4-4
Figuur 4.5 Berekende verspreiding op 7 september 1989 13:00 (mgC/m ²); links drijfslag, rechts waterkolom.	4-5
Figuur 4.6 Berekende verspreiding op 8 september 1989 13:00 (mgC/m ²); links drijfslag, rechts waterkolom.	4-5
Figuur 4.7 Vegetatieindex op 27 september 1989 13:40.	4-6
Figuur 4.8 Berekeningsresultaat voor de periode 26 t/m 30 september 1989.	4-6
Figuur 4.9 Berekende verspreiding op 27 september 1989 13:00 (mgC/m ²); links drijfslag, rechts waterkolom.	4-7
Figuur 4.10 Berekeningsresultaat voor de periode 5 t/m 9 augustus 1988.	4-7

I Inleiding

Het beheer van (grote) watersystemen vraagt om een zorgvuldige analyse van de problemen, de formulering van doelstellingen en de afweging van alternatieven. Het IJsselmeer - Markermeer samen vormen het grootste zoetwatersysteem van Nederland. Binnen dit systeem doen zich een aantal problemen voor, waarvan eutrofiëring één van de belangrijkste is.

Deze problemen ontstaan door de nog steeds hoge externe nutriënten belasting op het systeem en worden mogelijk nog verergerd door de interne nalevering. Dit leidt tot de ontwikkeling van aanzienlijke hoeveelheden fytoplankton met name in het IJsselmeer. Uit satellietfoto's en meetgegevens (DONAR) blijkt dat aan het oppervlakte van dit water grote inhomogeniteiten kunnen voorkomen in het zwevend stof in het algemeen en de fytoplankton concentratie in het bijzonder. Deze hangen vooral samen met de geometrische verschillen (diepte), de intensiteit van bio-chemische processen en de voornamelijk windgedreven menging van watermassa's tussen de diverse delen van het watersysteem. Ook spelen verschillen in bodemsamenstelling, en dus verschillen in de teruglevering van nutriënten, een rol.

Anders dan in veel andere Nederlandse watersystemen zijn de jaarlijkse verschillen groot. In sommige jaren vindt een sterke ontwikkeling plaats van blauwalgen. Soms ontstaan hierbij drijfslagen van *Microcystis*, die om ecologische en esthetische redenen ongewenst zijn. Hierbij moet worden gedacht aan overlast in de vorm van stank, toxines, anaërobie en vervuiling van recreatiegebieden en havens.

Ter ondersteuning van het beheer van deze watersystemen heeft het RIZA WL opgedragen een geïntegreerd modelinstrumentarium te ontwikkelen waarmee diverse beheersopties kunnen worden doorgerekend. Hiernaast kunnen de effecten van natuurlijke variaties worden beschouwd. Vanwege de grote ruimtelijke en temporele verschillen moet dit instrumentarium gebaseerd zijn op een relatief fijnmazige schematisatie.

De twee belangrijkste onderdelen van dit instrumentarium zijn:

1. Het eutrofiëringsmodel DBS. Voor de jaren 1988, 1989 en 1993 is een schematisatie gemaakt voor het IJsselmeer en het Markermeer.
2. Een nieuw ontwikkelde module voor het ontstaan, de verspreiding en de verdwijning van drijfslagen (alleen voor het IJsselmeer).

Het onderhavige rapport beschrijft de ontwikkeling en toepassing van de drijfslagen module.

I.1 Doelstelling

Het project beoogt het ontstaan van drijfslagen, de verspreiding van drijfslagen en de verdwijning van drijfslagen te voorspellen .

I.2 Stand van zaken

In deze paragraaf worden de tijdens eerdere fases van het project uitgevoerde activiteiten en opgedane ervaringen besproken. Op basis hiervan wordt in paragraaf 1.3 de gekozen aanpak besproken.

Literatuuronderzoek

Aan het begin van het project is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Dit gaf een verbeterd theoretisch inzicht in de mechanismen die leiden tot het ontstaan en ophoping van drijflagen. Uit de studie bleek dat in de literatuur gerapporteerde modelvorming voornamelijk plaatsvindt ter ondersteuning van verdere theorievorming en vrij strikt kan worden gescheiden in een fysiologisch en een fysisch georiënteerde school.

De fysiologisch georiënteerde school gaat detail in op (aspecten van) de eco-fysiologie van cyanobacterien. De modelvorming is individu (kolonie) georiënteerd waarbij de ontwikkeling van de dichtheid van de kolonies wordt beschreven als functie van de actuele lichtinstraling, de ontvangen lichtdosis en de beschikbaarheid van nutriënten. Het transport over de verticaal door een optredend dichtheidsverschil met het omringende water wordt berekend op basis van de wet van Stokes. In de modellen worden de effecten van turbulent transport over de verticaal en horizontale transporten a.g.v. optredende windgestuurde stromingen niet meegenomen.

De fysisch georiënteerde school gaat in detail in op de transportmechanismen die samenhangen met het ontstaan en de verspreiding van drijflagen. De modellering vindt plaats op basis van de advection-diffusie vergelijking (meestal 1DH met over de verticaal twee lagen). In de modellen komt de fysiologie er bekaaid af: de stijgsnelheid van cyanobacteriën heeft een vaste waarde.

Om het ontstaan van drijflagen in ondiepe eutrofe meren als het IJsselmeer te kunnen beschrijven lijkt een meer integrale benadering noodzakelijk. Artikelen waarin modellering wordt besproken waarbij er sprake is van een redelijk vergaande integratie tussen fysiologie en fysica zijn niet gevonden.

Gegevensanalyse

Uit het literatuuronderzoek bleek tevens dat er weinig gebieds-specifieke kennis voorhanden is die de nodige handvaten zou kunnen geven om te komen tot een meer empirisch getinte modelbenadering. Er is daarom een gegevensanalyse uitgevoerd waarbij de volgende gegevens zijn beschouwd:

- *Fysische omgevingsfactoren*
 - Temperatuur
 - Instraling
 - Windsnelheid en richting
- *Chemische omgevingsfactoren*
 - Nutrientconcentraties
- *Voorkomen van drijfslagvormers*
 - Telgegevens
- *Voorkomen van drijflagen*
 - Remote sensing beelden (NOAA)
 - Waarnemingen in jachthavens

De belangrijkste conclusie van dit onderzoek luidde dat er door problemen met betrekking tot beschikbaarheid en consistentie van data geen kwantitatieve verbanden zijn gevonden tussen a-biotische factoren en het voorkomen van *Microcystis* enerzijds en het voorkomen van

drijfslagen anderzijds¹. De modellering van drijfslagvorming moet daarom sterk leunen op expertkennis en wetenschappelijke literatuur.

Analytische modellering

Er is vervolgens overgegaan tot een analytische benadering door bovenbeschreven integratie tussen fysica en fysiologie in een 1DV (kolom) model te realiseren. In dit model zijn transportmodellering (verticaal transport door turbulente wervelingen), temperatuurmodellering (demping van verticaal transport door ontstaan dichtheidsprofiel) en fytoplanktonmodellering direct gekoppeld. Er is gewerkt met een eenvoudige beschrijving van de fytoplanktondynamica en een volledige koppeling met het gedetailleerde fytoplanktonmodel BLOOM. Het model berekent gegeven de optredende windsnelheid en lichtinstraling aan het oppervlak het verticale profiel van de fytoplanktonbiomassa. Op basis hiervan kan de mate van drijfslagvorming worden vastgesteld.

Bij deze benadering werd afgestapt van de tot op heden gebruikelijke dieptegemiddelde en daggemiddelde benadering. Dit vereist een hernieuwde beschouwing van tal van procesformuleringen zoals de beschrijving van primaire productie in relatie tot groei en de beschrijving van lichtinhibitie. De consequenties hiervan waren zo groot dat moest worden geconcludeerd dat een analytische benadering dusdanig veel nader onderzoek vereist dat deze binnen het bestek van onderhavig project niet tot bruikbare resultaten zou leiden.

Toepassing DBS

Er is een DBS berekening voor het IJsselmeer - Markermeer opgezet. De berekening betreft de jaren 1988, 1989 en 1993. Het horizontale transport is ontleent aan WAQUA berekeningen (2DH).

1.3 Aanpak

Bij het ontwikkelen van de drijfslagmodule was het een probleem dat de beschikbare datasets onvolledig en onnauwkeurig zijn en dat een analytische benadering niet op korte termijn tot de gewenste resultaten zou leiden. Toch is er veel expertkennis beschikbaar over het ontstaan en verdwijnen van drijfslagen en het gedrag van *Microcystis* in de waterkolom. Deze kennis is veelal kwalitatief, beschrijvend van aard in de vorm van regels zoals:

ALS er een lange periode optreedt van middelmatige stabiliteit van de waterkolom DAN is de groei van Microcystis voldoende groot om drijfslagen te vormen

Daarom is gekozen voor een modelleertechniek die goed aansluit bij expertkennis en die met vaagheid en onzekerheden in data kan omgaan. Dit wordt geboden door Fuzzy Logic, een techniek die de mogelijkheid biedt om kwalitatieve kennis en data bij modelontwikkeling te gebruiken, deze met numerieke data te combineren en te redeneren met onzekerheden. Vergeleken met meer conventionele methoden is Fuzzy Logic daarom zeer bruikbaar voor de verwerking van vage expertkennis en onzekere en vage data (von Altrock, 1995).

¹ Nadat de analyse was afgerond zijn de NOAA remote sensing beelden opnieuw geëvalueerd op basis van een strenger criterium voor de selectie van beelden met drijfslagen. Dit gaf als resultaat een zwakke correlatie tussen de heersende windsnelheid en het voorkomen van drijfslagen. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan.

Bovendien biedt het gebruik van Fuzzy Logic het voordeel dat van de numerieke waarden geen indeling van klassen met scherpe grenzen hoeft te worden gemaakt. In een Fuzzy Logic systeem is het mogelijk dat een windsnelheid van bijv. 3 m/s voor de helft in de klasse *laag* valt en voor de helft in de klasse *midden*. Op deze manier wordt meer informatie behouden dan wanneer een strikte klassieke ('crisp') classificatie wordt gebruikt, hetgeen grote consequenties kan hebben voor de te modelleren parameters. Bovendien sluit de definitie van fuzzy klassen gewoonlijk meer aan bij de waarnemingen van de expert dan klassen met scherpe grenzen.

Voor het ontstaan, de verspreiding en het weer verdwijnen van drijfleden in het IJsselmeer en Volkerak is een model ontwikkeld dat bestaat uit de volgende onderdelen:

- **DBS**
DBS berekent de biomassa van blauwalgen.
- **FUZZYSCUM**
Een module die op uurbasis de mate van verschijnen en verdwijnen van drijfleden aangeeft.
- **MOVESUM**
Een module die op basis van de resultaten van DBS en FUZZYSCUM de verticale en horizontale verspreiding van drijfleden berekend.

De modules FUZZYSCUM en MOVESUM worden respectievelijk in hoofdstuk 2 en 3 besproken. In hoofdstuk 3 wordt eveneens de integratie tussen de drie onderdelen besproken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten besproken, gevolgd door een discussie (hoofdstuk 5) en conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 6).

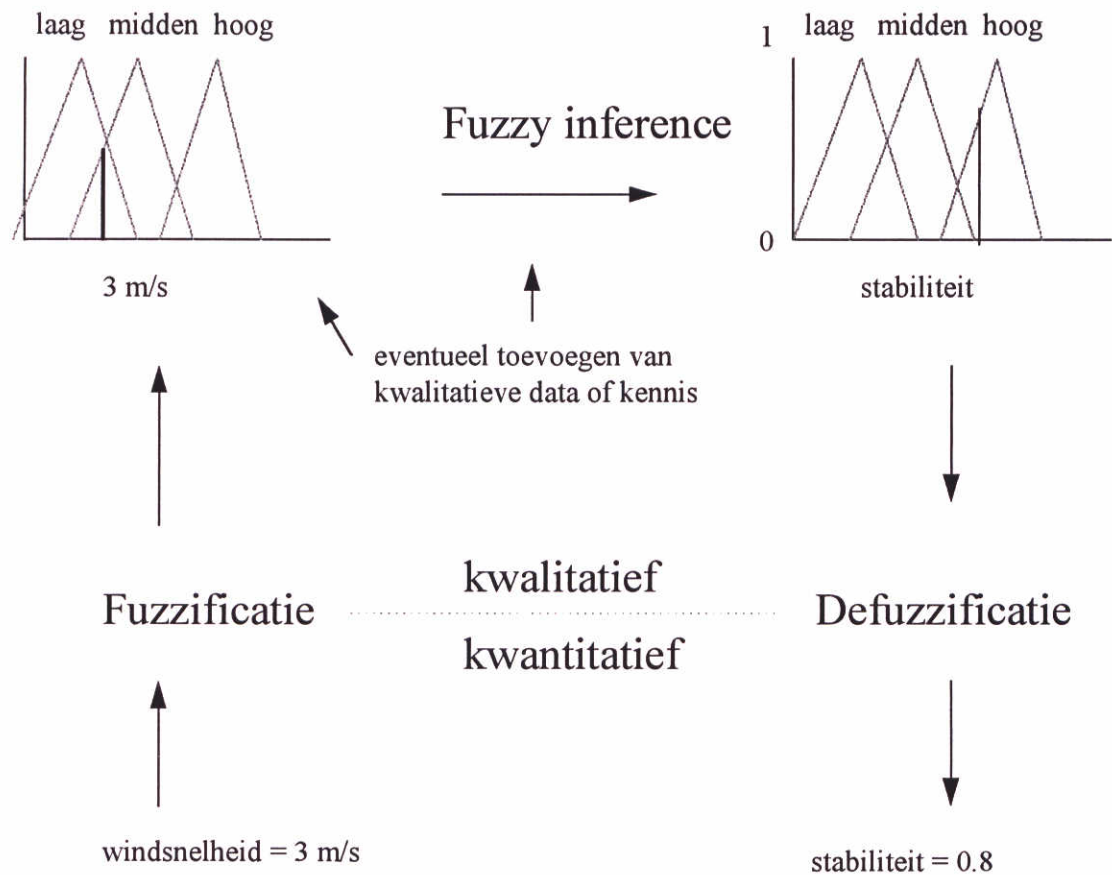
2 Drijfslagvorming

2.1 Inleiding

Voor de modellering van de vorming en verdwijning van drijfslagen is een expert-systeem ontwikkeld dat redeneert met Fuzzy Logic. In paragraaf 2.2 wordt deze techniek kort toegelicht. In de paragrafen 2.3, 2.4 en 2.5 worden respectievelijk de structuur, de parameters en de redeneerregels van de FUZZYSCUM module die in de IJsselmeer toepassing is gebruikt beschreven. In paragraaf 2.6 wordt aan de hand van een rekenvoorbeeld de werking van de fuzzy logic module verder toegelicht.

2.2 Wat is Fuzzy Logic?

Fuzzy logic is een uitbreiding van conventionele (Boolean) logica geïntroduceerd door Zadeh in 1965. De vage-verzamelingen theorie is erop gebaseerd dat elementen in bepaalde mate tot een verzameling behoren. Deze mate kan liggen tussen nul procent (zo'n element behoort niet tot de verzameling) en honderd procent (element hoort zonder twijfel tot de verzameling). Elementen van een vage verzameling gaan vergezeld van een lidmaatschapsgraad ($0 < u < 1$) waarmee ze tot die verzameling behoren. Deze vorm van verzamelingenleer sluit aan bij de wijze waarop mensen omgaan met parameters. Neem bijvoorbeeld de verzameling 'warm' en 'heet'. Dit heeft bijvoorbeeld betrekking op verschillende temperaturen, afhankelijk van de omstandigheid waarin en de persoon door wie het gebruikt wordt. In de klassieke verzamelingenleer zou warm bijvoorbeeld liggen tussen 15°C en 25°C, boven de 25°C is het heet. Het is mogelijk warm en heet te zien als vage verzamelingen waarin een temperatuur van bijv. 30°C voor de helft warm en voor de helft heet is.



Figuur 2.1 Schematisatie van Fuzzy Logic procedure.

De eerste en belangrijkste stap in het definiëren van vaag gedrag is daarom de keuze van de termen (fuzzy klassen als *laag*, *midden* en *hoog*) en bijbehorende lidmaatschapsfuncties. Het toepassen van deze lidmaatschapsfuncties op de waarde van een invoerparameter heet de fuzzificatie (Figuur 2.1): de gemeten waarden van de parameters worden op een ‘fuzzy’ wijze geclassificeerd. Zo wordt bijv. de windsnelheid in m/s, omgezet in een mate van deelname aan fuzzy waarden zoals ‘laag’ en ‘hoog’ (3 m/s = 0.5 laag, 0.5 midden en 0.0 hoog). Als alle input variabelen zijn vertaald in fuzzy linguïstische variabelen dan volgt eventueel een toevoeging van aanwezige kwalitatieve data en kennis aan het model.

De kennis van een systeem is gerepresenteerd in regels, bijvoorbeeld:

ALS de windsnelheid *laag* is EN de instraling is *hoog* DAN is de stabiliteit van de waterkolom *hoog*.

Fuzzy Inference of Approximate Reasoning is het identificeren van welke regels (en in welke mate) van toepassing zijn in de huidige situatie. Hiermee wordt de waarde van de kwalitatieve uitvoer variabele berekend. Wanneer dat gewenst is kunnen deze kwalitatieve uitvoerwaarden (stabiliteit van de waterkolom is hoog) weer omgezet worden in numerieke waarden, de zogenaamde defuzzificatie.

Het grote voordeel van Fuzzy Logic modellering is dat deze techniek met linguïstische data om kan gaan en kan redeneren met onzekerheden. De kennis in het systeem is expliciet aanwezig, een groot voordeel bij decision-support modellen. Een nadeel is dat deze kennis er voor een deel ingestopt moet worden, de lidmaatschapsfuncties en regels moeten gedefinieerd worden.

FUZZYSCUM is geschreven m.b.v. het 'programma' FIBONACI (Markus, 1992) een instrumentarium voor kwalitatief modelleren. In FIBONACI kan de gebruiker gemakkelijk (kwalitatieve) klassen, tabellen en regels definiëren. Van dit instrumentarium is een 'fuzzy versie' gemaakt voor fuzzy kwalitatief modelleren

2.3 Structuur FUZZYSCUM

De kennis voor het definiëren van de in- en uitvoervariabelen, lidmaatschapfuncties en kennisregels is verkregen uit de literatuur (Honing & Meijer 1985; KEMA 1988; Ibelings 1990; Michielsen 1995; Michielsen et al. 1995), 'experts' (B. Ibelings, RIZA) en metingen (PWN, RIZA).

De drijfslagen kunnen op een tijdschaal van enkele uren ontstaan en weer verdwijnen. Daarom is gekozen om een model te ontwikkelen dat per uur aangeeft wat de mate van verschijnen of verdwijnen van een drijfslag is.

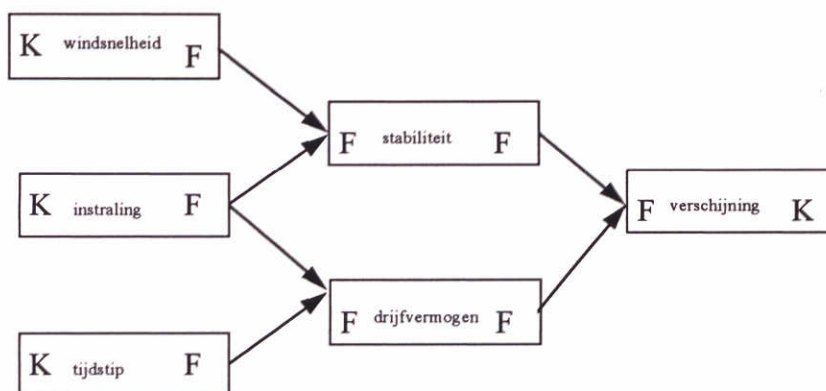
Verschijnen

Belangrijk voor het ontstaan van drijfslagen is de stabiliteit van de waterkolom. Deze stabiliteit wordt bepaald door de windsnelheid en de instraling (Sweers, 1978): de waterkolom stabiliseert middels opwarming door de zon en wordt weer gemengd door de wind.

Een andere belangrijke factor is het drijfvermogen van *Microcystis*. Bij stabiele condities drijven deze algen omhoog en concentreren hun biomassa in het licht, aan het oppervlak. Opslag van een overmaat aan fotosynthese producten, die zwaarder zijn dan water kan leiden tot een tijdelijk verlies aan drijfvermogen. Belangrijke parameters voor het drijfvermogen zijn: de instraling en tijdstip op de dag, dwz hoe hoger de instraling hoe meer fotosynthese er heeft plaatsgevonden en hoe zwaarder *Microcystis*. Aan het eind van de dag is het drijfvermogen daarom minder, in de nacht wordt het weer opgebouwd.

De structuur van de module ter bepaling van de mate van verschijnen is weergegeven in Figuur 2.2. Op basis van de gemiddelde windsnelheid in het afgelopen uur en de cumulatieve instraling in de afgelopen 6 uur wordt de stabiliteit van de waterkolom bepaald. De cumulatieve instraling van de afgelopen 6 uur en het tijdstip van de dag bepalen het drijfvermogen van *Microcystis*. De stabiliteit van de waterkolom en het drijfvermogen bepalen de mate van verschijnen van een drijfslag.

De invoerparameters windsnelheid, instraling en tijdstip van de dag worden omgezet van kwantitatieve waarden bijv. 3 m/s (K in de figuur) naar fuzzy waarden bijv. midden = 0.5 en hoog = 0.5 (F in de figuur) (zie paragraaf 2.4). Na toepassing van de kennisregels (zie paragraaf 2.5) wordt hieruit de stabiliteit van de waterkolom en het drijfvermogen bepaald (fuzzy waarden). Vervolgens worden deze twee gecombineerd tot mate van verschijnen. In eerste instantie geeft het model deze 'mate van verschijnen' aan in fuzzy waarden (de mate van verschijnen is bijvoorbeeld 0.25 laag en 0.75 midden). Deze fuzzy waarden worden omgezet in numerieke waarden (defuzzificatie)

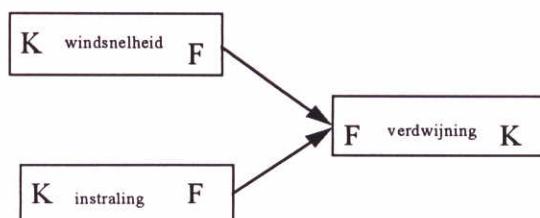


Figuur 2.2 Structuur van de module voor het verschijnen van een drijfslaag.

Verdwijnen

In de literatuur worden windsnelheden gemeld waarboven drijfslagen snel worden gedispergeerd in de waterkolom (Webster et al. 1994, Hutchinson et al., 1994). (Webster et al. 1994) vonden waarden van 2 tot 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ voor de kritische windsnelheid.

Voor het verdwijnen van de drijfslaag is ook weer de stabiliteit van de waterkolom van belang. De stabiliteit van de waterkolom wordt bepaald door de gemiddelde windsnelheid en de cumulatieve instraling in de afgelopen 6 uur (Figuur 2.3). In een verse drijfslaag vindt ten gevolge van fotolyse een versnelde afbraak van de kolonies plaats (STOWA, 1992). De mate waarin dit proces kan optreden is ondermeer afhankelijk van de lichte-historie van de cyanobacteriën en de temperatuur van de drijfslaag (Ibelings en de Winter 1994, Ibelings, 1996). In een later stadium raakt de drijfslagen geïnfecteerd door bacteriën, schimmels en/of virussen en begint de drijfslaag te rotten. Deze processen zijn niet meegenomen in het model. Een drijfslaag kan in zeer korte tijd (één á twee uur) verdwijnen, afhankelijk van de dikte van de drijfslaag.



Figuur 2.3 Structuur van de module voor het verdwijnen van een drijfslag.

2.4 Parameters

Bij de bepaling van de ‘mate van verschijnen’ worden drie invoerparameters gebruikt, de gemiddelde windsnelheid van het afgelopen uur, de cumulatieve instraling over de afgelopen 6 uur en het tijdstip van de dag. Als uitvoerparameter heeft deze module ‘mate van verschijnen’.

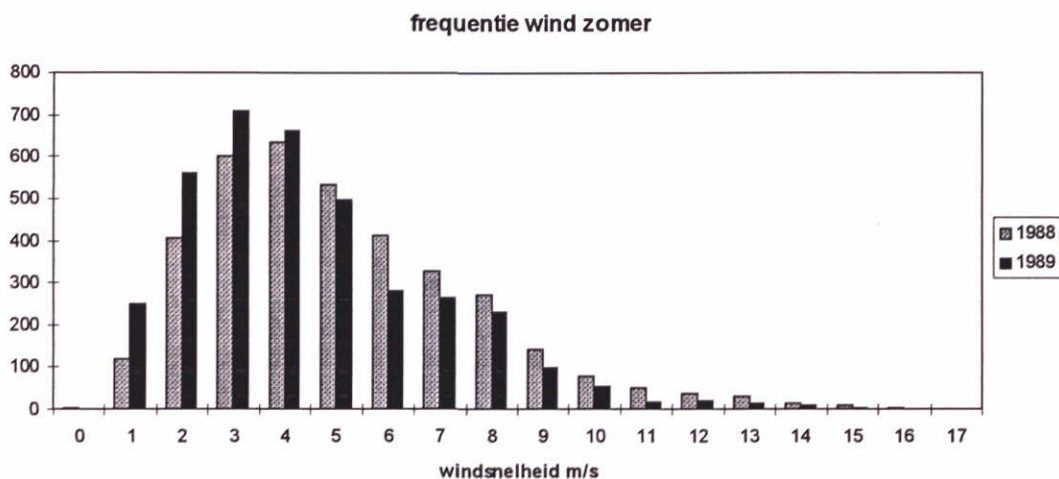
De module ‘verdwijnen’ heeft als invoerparameters de gemiddelde windsnelheid in het afgelopen uur en de cumulatieve instraling over de afgelopen 6 uur. ‘Mate van verdwijnen’ is de uitvoerparameter van deze module.

Verschijnen

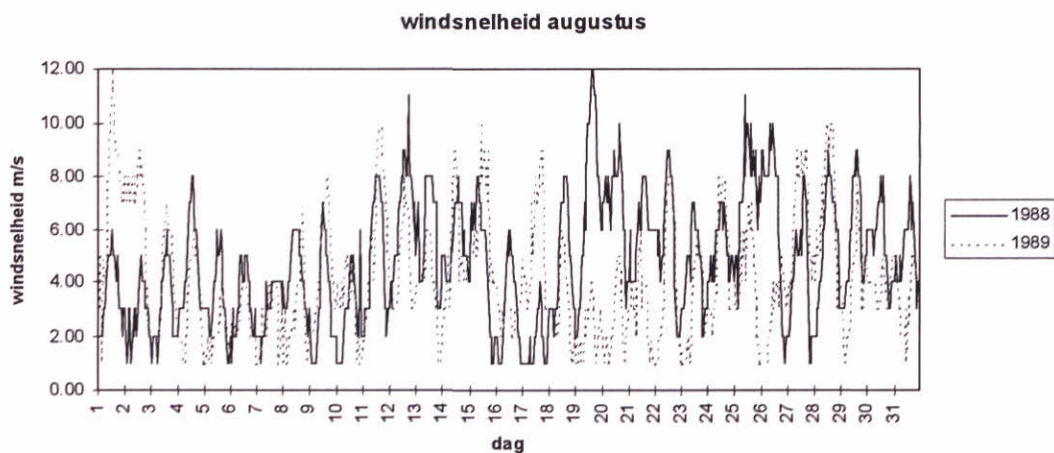
Gemiddelde windsnelheid afgelopen uur

Voor de wind gegevens zijn de metingen van weerstation Schiphol gebruikt. De windsnelheid in de zomer (juni t/m oktober) varieert ongeveer van 0 m/s tot 16 m/s (zie Figuur 2.4), windsnelheden rond de 3 m/s komen het meest voor. In 1988 waaide het harder dan in 1989.

In Figuur 2.5 is de gemiddelde windsnelheid per uur in augustus 1988 en 1989 weergegeven. Het verloop van de windsnelheid over een dag is te zien; ‘s nachts en ‘s ochtends waait het minder hard dan ‘s middags.

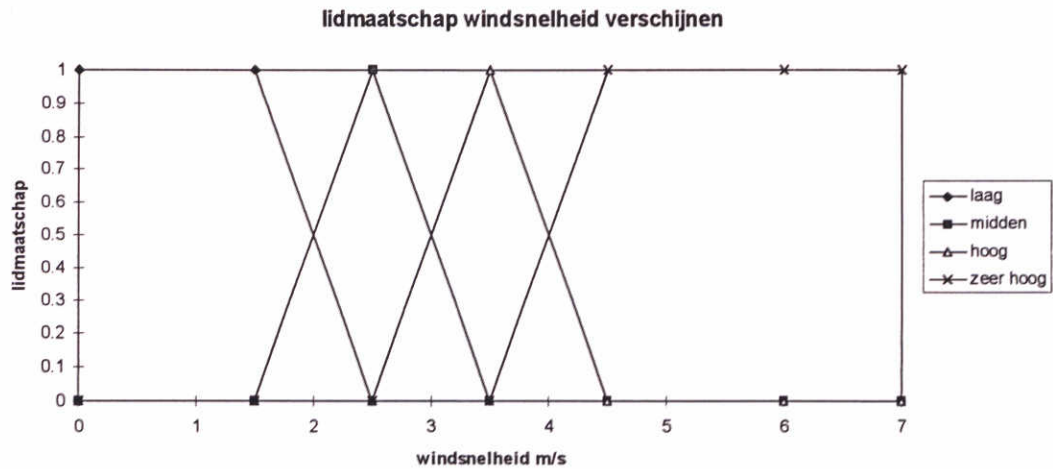


Figuur 2.4 Frequentie van de gemiddelde windsnelheden per uur in de periode juni tot en met oktober in 1988 en 1989.



Figuur 2.5 De gemiddelde windsnelheid per uur (m/s) in augustus in 1988 en 1989.

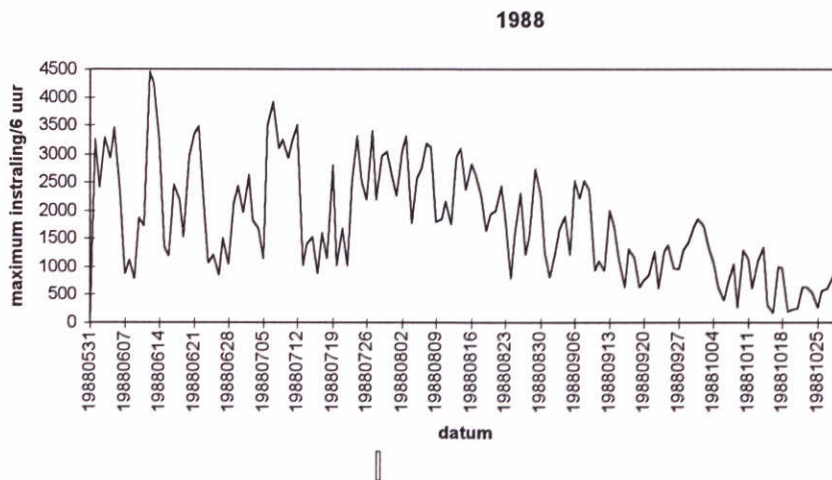
Op grond van deze windgegevens en de expertkennis, dat drijfslagen uitsluitend optreden bij zeer lage windsnelheden (Ibelings pers. com.), is een fuzzy klasse-indeling gemaakt (zie Figuur 2.6). Er zijn vier klassen onderscheiden: windsnelheid *laag*, *midden*, *hoog* en *zeer hoog*. Zo valt bijvoorbeeld een windsnelheid van 1.5 m/s volledig in de klasse *laag* en een windsnelheid van 3 m/s voor de helft in de klasse *midden* en voor de helft in de klasse *hoog*. De klassenindeling is fijner rond de lage windsnelheden.



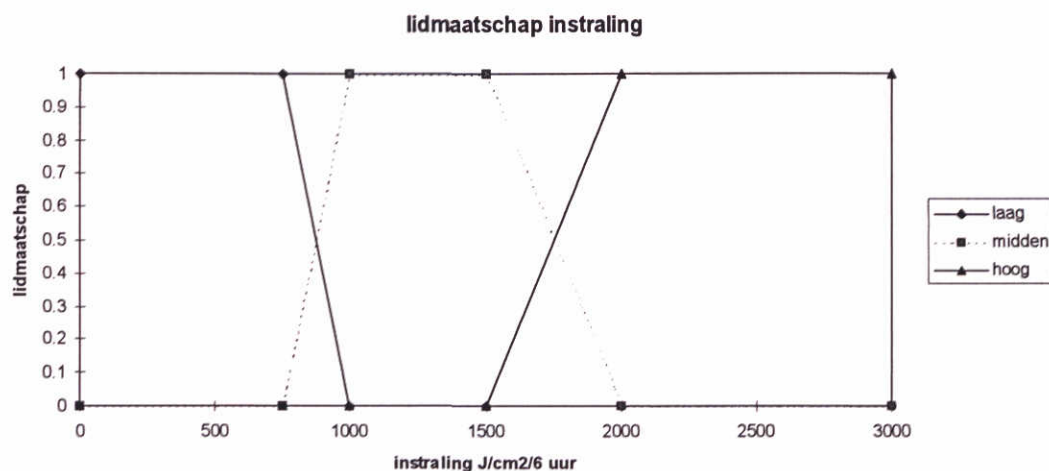
Figuur 2.6 Lidmaatschapfuncties van de parameter windsnelheid verschijnen.

Instraling

Uit cumulatieve instralings gegevens over 24 uur (de Kooij, Texel) is de cumulatieve instraling over de afgelopen 6 uur berekend door aan te nemen dat het verloop van de instraling over de dag een sinusoïde curve vertoont. Figuur 2.7 geeft de maximale cumulatieve instraling van de afgelopen 6 uur/dag in de zomer van 1988 weer (deze waarde wordt meestal aan het eind van de middag bereikt). In het begin van deze zomer komen een aantal zeer zonnige dagen voor (instraling boven de 4000 J/cm²/6 uur) aan het eind van deze zomer is de maximale instraling rond de 1000 J/cm²/6 uur. De instraling gedurende de nacht is 0 J/cm²/ uur. Op grond van deze gegevens is een fuzzy klassen indeling gemaakt (Figuur 2.8).



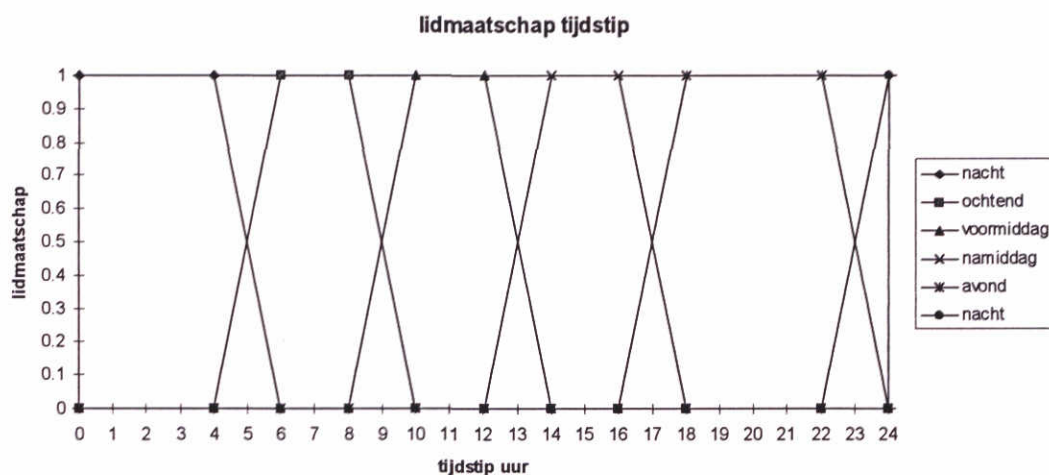
Figuur 2.7 Maximale cumulatieve instraling over 6 uur voor 1988 (per dag).



Figuur 2.8 Lidmaatschapfuncties van de parameter instraling

Tijdstip

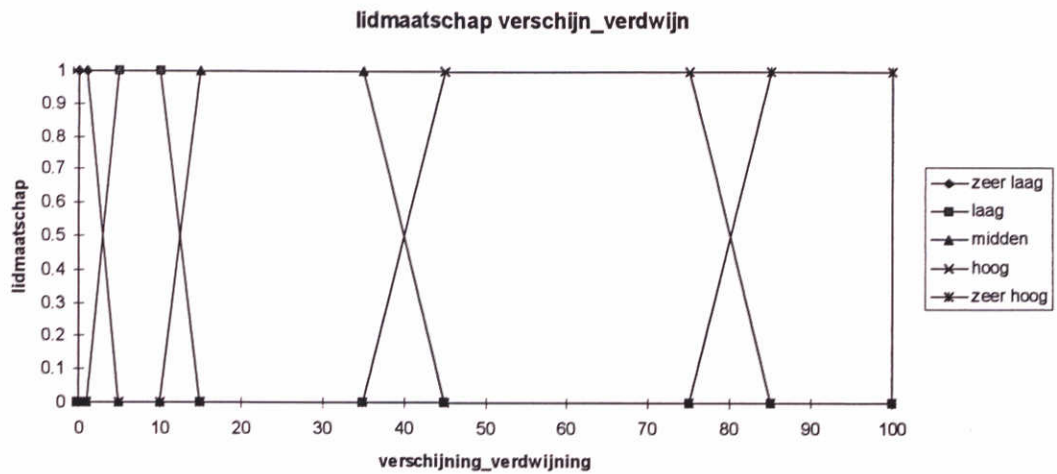
Het tijdstip van de dag bepaalt mede het drijfvermogen van *Microcystis*. De lidmaatschapfuncties van de parameter tijdstip staan in Figuur 2.9. Zo valt 13.00h voor de helft in de voormiddag en voor de helft in de namiddag.



Figuur 2.9 Lidmaatschapfuncties van de parameter tijdstip

Verschijnen

De module Verschijnen geeft voor elk uur de mate van verschijnen van een drijfslag op een schaal van 0 tot 100. In eerste instantie geeft het model deze parameter aan in fuzzy waarden (de mate van verschijnen is bijvoorbeeld 0.25 laag en 0.75 midden). Deze fuzzy waarden worden omgezet in numerieke waarden (defuzzificatie) volgens de klassenindeling van Figuur 2.10. Een mate van verschijnen van bijvoorbeeld 0.25 laag en 0.75 midden wordt dan $0.25 * 7 + 0.75 * 25 = 20.5$ op de numerieke schaal. (7 is het 'zwaartepunt' van de klasse laag en 25 is het 'zwaartepunt' van de klasse midden)

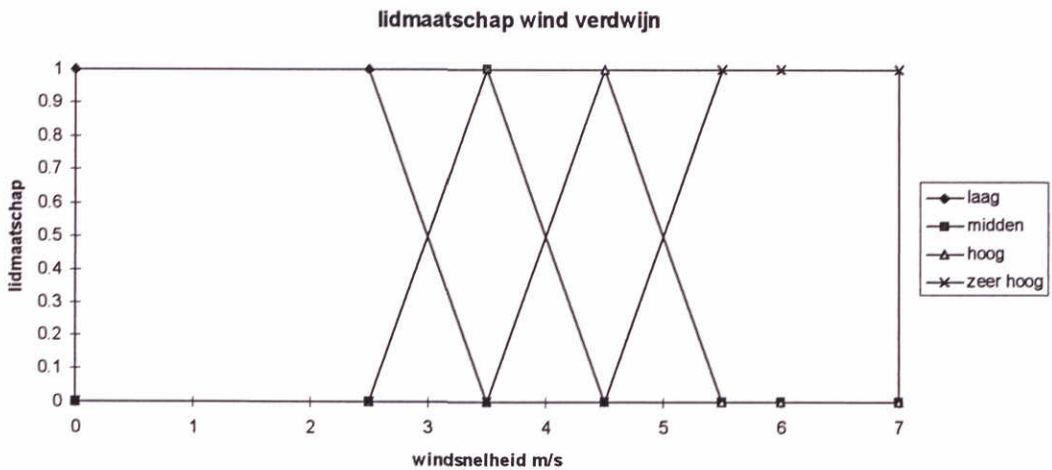


Figuur 2.10 Lidmaatschapfuncties van de parameters verschijnen en verdwijnen

Verdwijnen

Gemiddelde windsnelheid afgelopen uur:

De fuzzy klasse indeling van de windsnelheid voor het bepalen van het verdwijnen van een drijfslaag is iets verschoven tov die bij het verschijnen omdat de windsnelheid waarbij een drijfslaag verdwijnt iets hoger is dan die waarbij een drijfslaag verschijnt.



Figuur 2.11 Lidmaatschapfuncties van de parameter wind verdwijnen

Instraling

De lidmaatschapfuncties voor de instraling bij verdwijnen zijn gelijk aan die van verschijnen.

Mate van verdwijnen

De lidmaatschapfuncties voor de mate van verdwijnen zijn gelijk aan de mate van verschijnen

2.5 Kennisregels

Op grond van literatuurgegevens en expertkennis zijn er kwalitatieve kennisregels opgesteld zoals bijvoorbeeld:

Als de **windsnelheid** zeer hoog is EN de **instraling** laag DAN is de **stabiliteit** van de waterkolom laag.

Deze kennisregels zijn weergegeven in Tabel 2.1 t/m Tabel 2.4

Stabiliteit

De kennisregels voor het bepalen van de stabiliteit van de waterkolom zijn weergegeven in Tabel 2.1. Hoe lager de windsnelheid en hoe hoger de instraling hoe hoger de stabiliteit van de waterkolom. Bij zeer hoge windsnelheden heeft de instraling geen invloed.

windsnelheid	instraling	stabiliteit
zeer hoog	hoog	laag
zeer hoog	midden	laag
zeer hoog	laag	laag
hoog	hoog	midden
hoog	midden	laag
hoog	laag	laag
midden	hoog	hoog
midden	midden	midden
midden	laag	laag
laag	hoog	zeer hoog
laag	midden	zeer hoog
laag	laag	hoog

Tabel 2.1 Tabel met kennisregels ter bepaling van de stabiliteit van de waterkolom

Drijfvermogen

De kennisregels voor het bepalen van het drijfvermogen zijn weergegeven in Tabel 2.2. In de nacht en ochtend is het drijfvermogen altijd hoog (ongeacht de instraling). In de voormiddag en namiddag is het drijfvermogen minder (door aanmaak fotosyntheseproducten) nl. midden. Is de instraling hoog dan is het drijfvermogen in de namiddag zelfs laag (er zijn veel fotosyntheseproducten aangemaakt). In de avond is het drijfvermogen midden door herstel. Wanneer de instraling laag was is het drijfvermogen in de avond zelfs hoog omdat eerder herstel optrad door een geringere aanmaak van fotosyntheseproducten.

instraling	tijdstip	drijfvermogen
hoog	nacht	hoog
hoog	ochtend	hoog
hoog	voormiddag	midden
hoog	namiddag	laag
hoog	avond	midden
midden	nacht	hoog
midden	ochtend	hoog
midden	voormiddag	midden
midden	namiddag	midden
midden	avond	midden
laag	nacht	hoog
laag	ochtend	hoog
laag	voormiddag	midden
laag	namiddag	midden
laag	avond	hoog

2.2 Tabel met kennisregels ter bepaling van het drijfvermogen

Mate van verschijnen

In Tabel 2.3 staan de kennisregels voor het bepalen van de mate van verschijnen. Bij een hoge stabiliteit en een hoog drijfvermogen is de mate van verschijnen hoog.

Stabiliteit	Drijfvermogen	Verschijsning
laag	hoog	laag
laag	midden	laag
laag	laag	zeer laag
midden	hoog	midden
midden	midden	laag
midden	laag	laag
hoog	hoog	zeer hoog
hoog	midden	hoog
hoog	laag	midden
zeer hoog	hoog	zeer hoog
zeer hoog	midden	hoog
zeer hoog	laag	midden

Tabel 2.3 Tabel met kennisregels ter bepaling van de mate van verschijnen

Mate van verdwijnen

In de literatuur worden windsnelheden gemeld waarboven drijfslagen snel worden gedispergeerd in de waterkolom (Webster et al. 1994, Hutchinson et al., 1994). (Webster et al. 1994) vonden waarden van 2 tot 3 m·s⁻¹ voor de kritische windsnelheid.

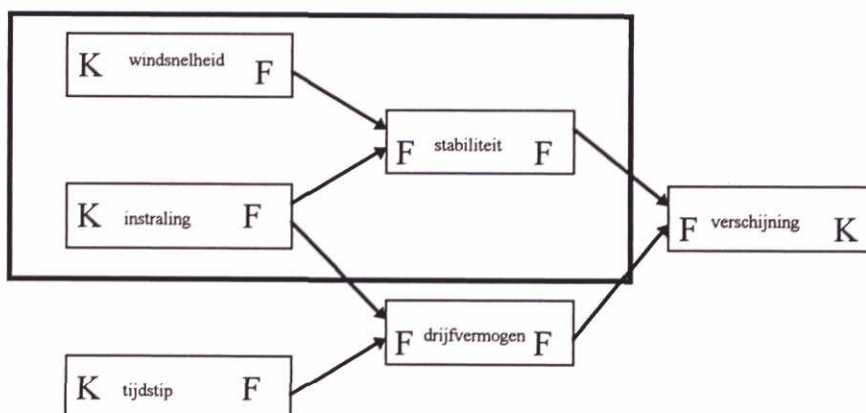
In Tabel 2.4 staan de kennisregels voor het bepalen van de mate van verdwijnen.

windsnelheid	instraling	verdwijning
zeer hoog	hoog	zeer hoog
zeer hoog	midden	zeer hoog
zeer hoog	laag	zeer hoog
hoog	hoog	hoog
hoog	midden	hoog
hoog	laag	hoog
midden	hoog	laag
midden	midden	midden
midden	laag	midden
laag	hoog	zeer laag
laag	midden	laag
laag	laag	laag

Tabel 2.4 Tabel met kennisregels ter bepaling van de mate van verdwijnen

2.6 Voorbeeld

De werking van de fuzzy logic module wordt in deze paragraaf aan de hand van een getallenvoorbeeld toegelicht. Het onderdeel “stabiliteit van de waterkolom” (zie Figuur 2.12) uit de module die de mate van verschijnen van een drijfslag bepaald wordt nader uitgewerkt



Figuur 2.12 Onderdeel stabiliteit van de waterkolom van de module verschijnen van drijfslagen.

Stel het is aan het begin van de middag: 13.00 hr, het waait niet te hard (windsnelheid = 2 m/s) en het is zonnig (globale instraling = 1875 J/cm²·hr). Wat is nu, in fuzzy termen, de stabiliteit van de waterkolom ?

Fuzzificatie

De eerste stap is fuzzificatie: de waargenomen waarden worden “fuzzy” geclassificeerd. De lidmaatschapsfunctie van de parameter “windsnelheid verschijnen” (Figuur 2.6) bepaald dat een windsnelheid van 2 m/s voor de helft lid is van de klasse “laag” en voor de helft lid is van de klasse “midden”. Evenzo voor instraling = 0.25 “midden” en 0.75 “hoog” (Figuur 2.8) en het tijdstip van de dag = 0.5 “voormiddag” en 0.5 “namiddag” (Figuur 2.9).

Toepassen kennisregels

Vervolgens wordt op basis van de kennisregels in Tabel 2.1 de stabiliteit van de waterkolom voor de verschillende combinaties vastgesteld. Zo geeft de tabel voor de combinatie wind = “laag” en instraling = “midden”, stabiliteit = “zeer hoog”.

In tabel 2.5 staan de vier regels die hier van toepassing zijn en in hoeverre de invoerparameters in de fuzzy klassen vallen.

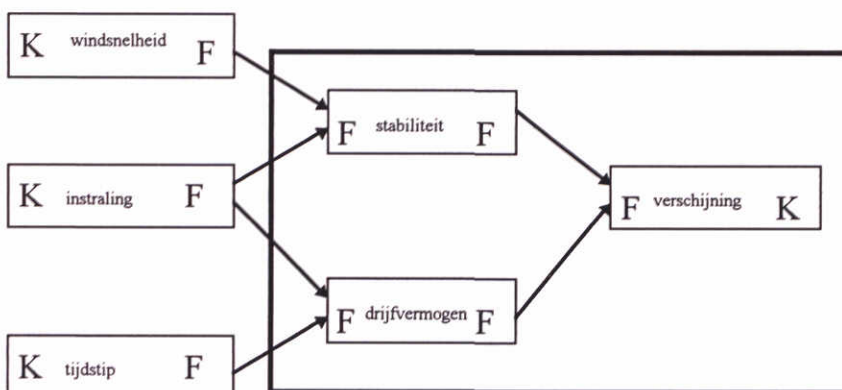
Vervolgens wordt bekeken in hoeverre aan de regels wordt voldaan. Hierbij wordt naar de ‘zwakste schakel’ van de invoerparameters gekeken. De mate waarin regel 1 waar is wordt bepaald door het minimum te nemen van de mate waarin wind “laag” is (= 0.5) en instraling “hoog” is (0.25).

	Wind	Instraling	Stabiliteit
1	laag = 0.5	midden = 0.25	zeer hoog = 0.25
2	laag = 0.5	hoog = 0.75	zeer hoog = 0.5
3	midden = 0.5	midden = 0.25	midden = 0.25
4	midden = 0.5	hoog = 0.75	hoog = 0.5

Tabel 2.5 Uitwerking getallenvoorbeeld: Toepassing van de kennisregels uit Tabel 2.1.

Wanneer bij de uitwerking van de kennisregels een klasse meerdere keren voorkomt dan wordt de maximum lidmaatschap gekozen. Zo is in het voorbeeld voor stabiliteit = “zeer hoog” een lidmaatschap van 0.25 en 0.5 gevonden, het lidmaatschap van 0.25 valt af. In fuzzy termen is de stabiliteit van de waterkolom dus voor 0.5 “zeer hoog”, 0.5 “hoog” en 0.25 “midden”.

In het vervolg van het voorbeeld wordt verondersteld het drijfvermogen volledig in de klasse “hoog” valt. Vervolgens wordt het in Figuur 2.13 aangegeven onderdeel “verschijnen drijfvlagen” verder uitgewerkt.



Figuur 2.13 Onderdeel stabiliteit van de waterkolom van de module verschijnen van drijfvlagen.

Wat is nu de mate van verschijnen die wordt berekent? Op basis van de kennisregels zoals vastgelegd in Tabel 2.3 worden de volgende combinaties gevonden (Tabel 2.6)

Stabiliteit	Drijfvermogen	Verschijnen
zeer hoog = 0.5	hoog = 1	zeer hoog = 0.5
midden = 0.25	hoog = 1	midden = 0.25
hoog = 0.5	hoog = 1	zeer hoog = 0.5

Tabel 2.6 Verder uitwerking voorbeeld: Toepassing van de kennisregels uit Tabel 2.3

Uit de tabel kan worden afgeleid dat de mate van verschijnen voor 0.5 zeer hoog en voor 0.25 “midden” bedraagt. De uitkomsten worden zodanig geschaald dat de som 1 is. Dit geeft een mate van verschijnen van 0.67 “zeer hoog” en 0.33 “midden”.

Defuzzificatie

De laatste stap is de “defuzzificatie” van het resultaat. Dit wordt gedaan op basis van de lidmaatschapsfunctie voor de uitvoerparameter mate van verschijnen (Figuur 2.10). De mate

waarin een parameter onderdeel (lid) is van een klasse wordt vermenigvuldigd met het 'zwaartepunt' van de klasse, meestal gekozen als het midden van de klasse. Het zwaartepunt van de klasse midden is in dit voorbeeld 27.5, het zwaartepunt van de klasse zeer hoog is 90. De uitkomsten worden gesommeerd. In het voorbeeld levert dit:

$$0.33 * 27.5 + 0.67 * 90 \cong 70.$$

De mate van verschijnen op een schaal van 0 tot 100 is 70.

3 Transport van drijfslagen

3.1 Inleiding

Voor de modellering van het transport van drijfslagen is een module ontwikkeld, MOVESUM genaamd. In de paragrafen 3.2 en 3.3 worden respectievelijk de concentratiemechanismen en de implementaties voor het IJsselmeer en het Volkerak besproken.

3.2 Concentratiemechanismen

In geval van winddrift treedt transport op van de bovenste waterlaag in de richting van de aan lager wal gelegen oever. Hier aangekomen duikt de stroom naar beneden en keert van richting om. Dit leidt tot opstuwung van drijfslagen langs de oever door verzet van de kolonies tegen de neerwaartse stroming.

De door de wind geïnduceerde oppervlaktestroming (winddrift) kan worden afgeschat met een winddriftfactor, gedefinieerd als:

$$f_{drift} = \frac{v_{opp}}{v_w} \quad (3.1)$$

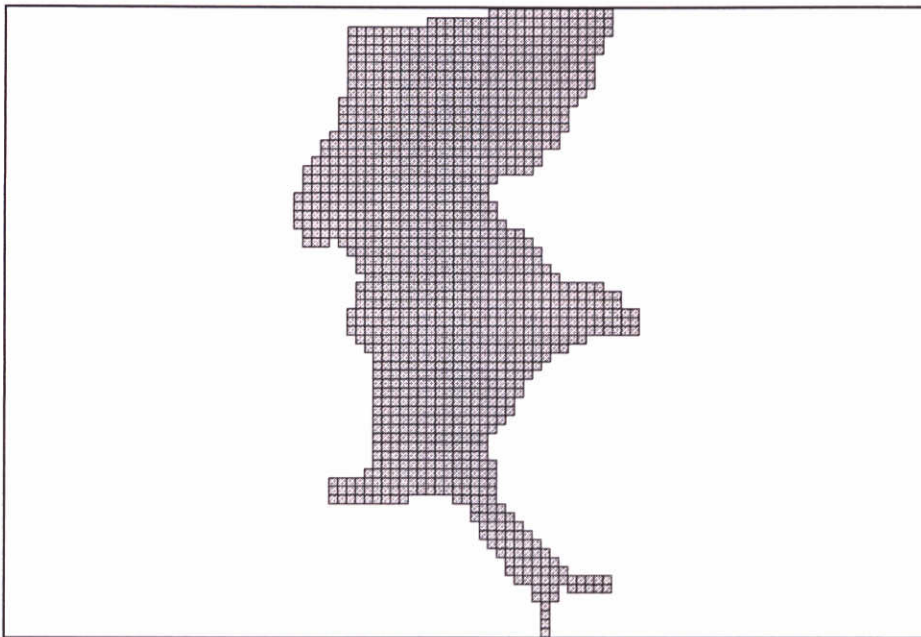
Waarin:

f_{drift}	: winddriftfactor	[-]
v_{opp}	: stroomsnelheid aan het oppervlak	[m·s ⁻¹]
v_w	: windsnelheid	[m·s ⁻¹]

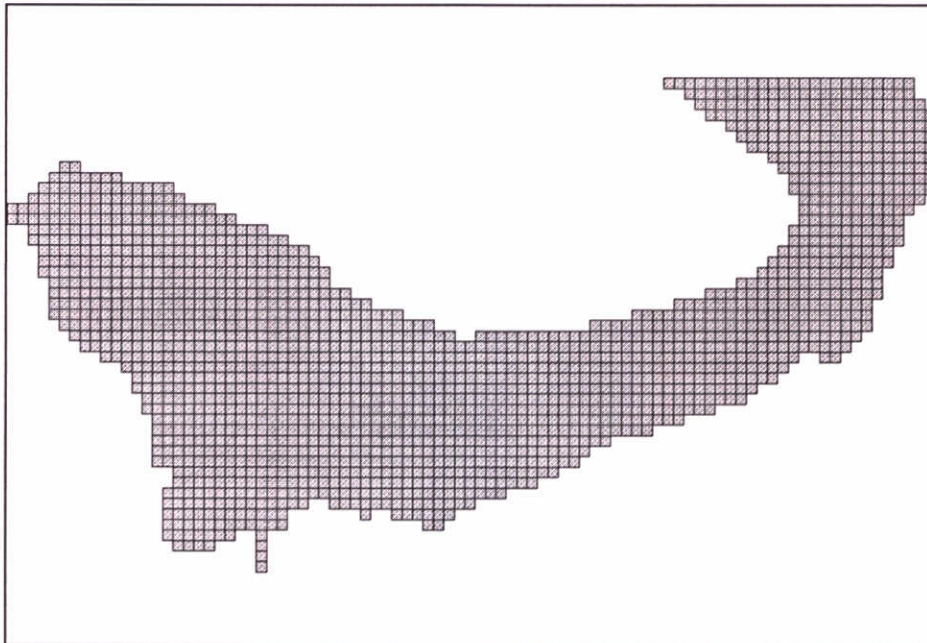
Veelal worden voor f_{drift} waarden van 1 % - 3 % gehanteerd (STOWA 1992; Webster et al., 1994). f_{drift} neemt bij hogere windsnelheden (5-6 m·s⁻¹) snel af naar kleine waarden (Webster et al., 1994)).

3.3 Implementatie MOVESUM

Het horizontale transport wordt berekend op een rechthoekig grid (zie Figuur 3.1 en Figuur 3.2). De geometrie van het grid is ontleent aan respectievelijk de 2DH WAQUA schematisatie van het IJsselmeer en de TRISULA 2DH schematisatie van het Volkerak. Over de verticaal worden twee lagen onderscheiden. De onderliggende laag representeert de waterkolom, de bovenliggende de drijfslaag. De diepte van de waterkolom varieert ruimtelijk en is overgenomen van de WAQUA/TRISULA schematisaties.

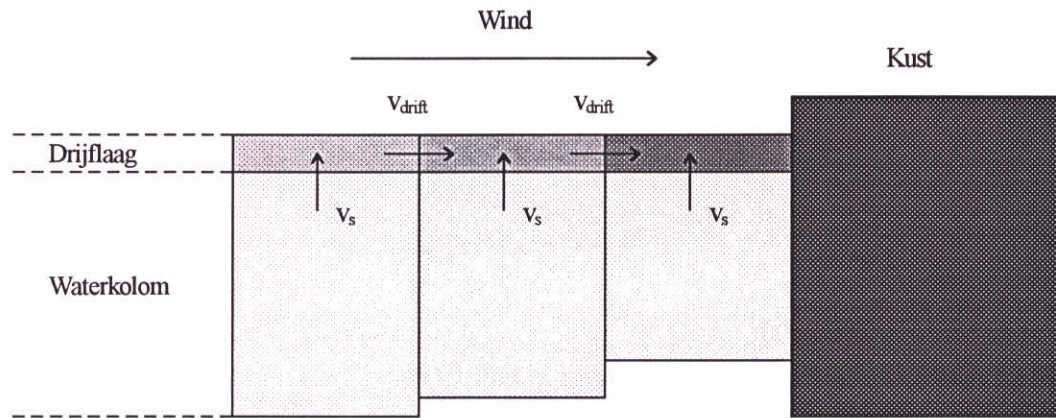


Figuur 3.1 Rekengrid drijfslagmodule IJsselmeer (1 km bij 1 km)



Figuur 3.2 Rekengrid drijfslagmodule Volkerak (200 bij 200 m)

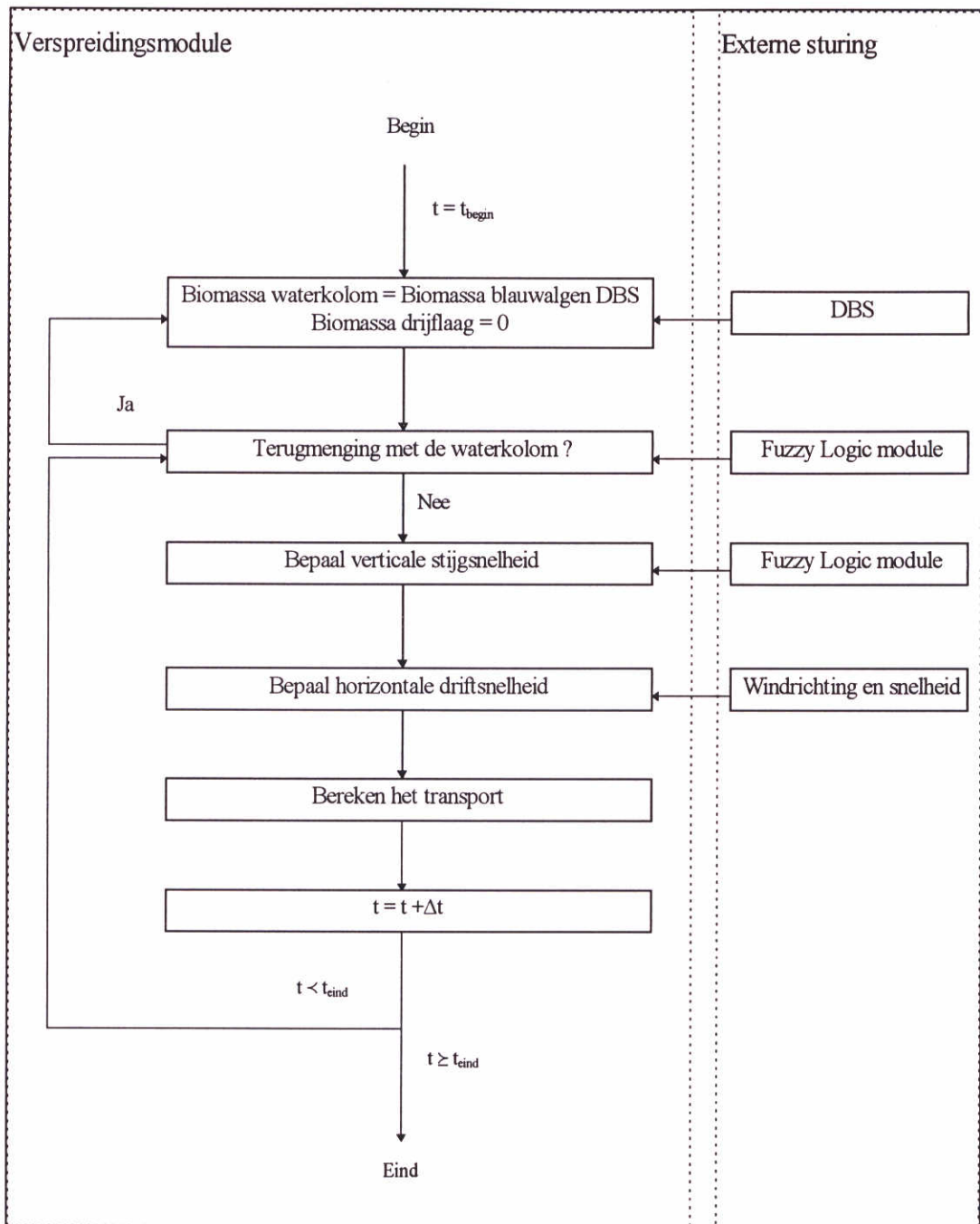
Tussen de twee lagen vindt afhankelijk van de uitvoer van de module FUZZYSCUM uitwisseling van biomassa plaats. Deze module geeft middels een getalswaarde tussen 0 en 1 aan in welke mate er drijfslagvorming plaatsvindt. Het verspreidingsmodel kent een maximum stijgsnelheid van het fytoplankton in de waterkolom van 10 m/d (Mondelinge mededeling Ibelings, RIZA). Deze maximum stijgsnelheid wordt vermenigvuldigd met de mate van drijfslagvorming die FUZZYSCUM module berekent. Een positieve stijgsnelheid v_s leidt zo tot concentratie van biomassa in de bovenste (drijf)laag (Figuur 3.3).



Figuur 3.3 Gemodelleerde concentratiemechanismen in MOVESCUM.

FUZZYSCUM geeft eveneens middels een getalswaarde tussen 0 en 1 aan in welke mate drijfslagen verdwijnen. Wanneer deze een bepaalde drempelwaarde overschrijdt verdwijnt de drijfslaag instantaan en wordt aan de waterkolom de door DBS berekende concentratie van cyanobacteriën toegekend. Er vindt dus geen lokale verhoging van de biomassa in de waterkolom plaats door horizontaal transport.

Horizontaal transport t.g.v. winddrift vindt plaats in de bovenliggende (drijf)laag. De vectoriële snelheid waarmee een drijfslaag zich verplaatst wordt berekend op basis van vergelijking 3.1 en vervolgens gegeven de heersende windrichting ontbonden langs de assen van het grid. In het model heeft de winddriftfactor is een constante waarde van 2%. Deze aanpak leidt tot concentratie van (drijfslaag)biomassa op benedenwindse locaties (Figuur 3.3). Figuur 3.4 geeft de structuur van de drijfslaagtransportmodule schematisch weer. De module is geïmplementeerd binnen de DELWAQ transportomgeving



Figuur 3.4 Structuur drijfslagverspreidingsmodule MOVESUM.

4 Resultaten

4.1 Inleiding

De berekeningsresultaten worden vergeleken met beschikbare remote sensing beelden van de NOAA satelliet. De beelden worden in paragraaf 4.2 kort besproken. Vervolgens worden in paragraaf 4.3 en 4.4 remote sensing beelden van 1988 en 1989 vergeleken met berekeningsresultaten van de module.

4.2 Remote sensing beelden

De beschikbare remote sensing beelden zijn geëvalueerd op basis van een relatief streng criterium voor selectie van beelden met drijfslagen. Wanneer de beelden drijfslagvorming aangeven dan is dit in werkelijkheid zeker het geval geweest. Keerzijde van deze benadering is dat voor de beelden zonder drijfslagen het niet is uitgesloten dat er in werkelijkheid drijfslagvorming optrad.

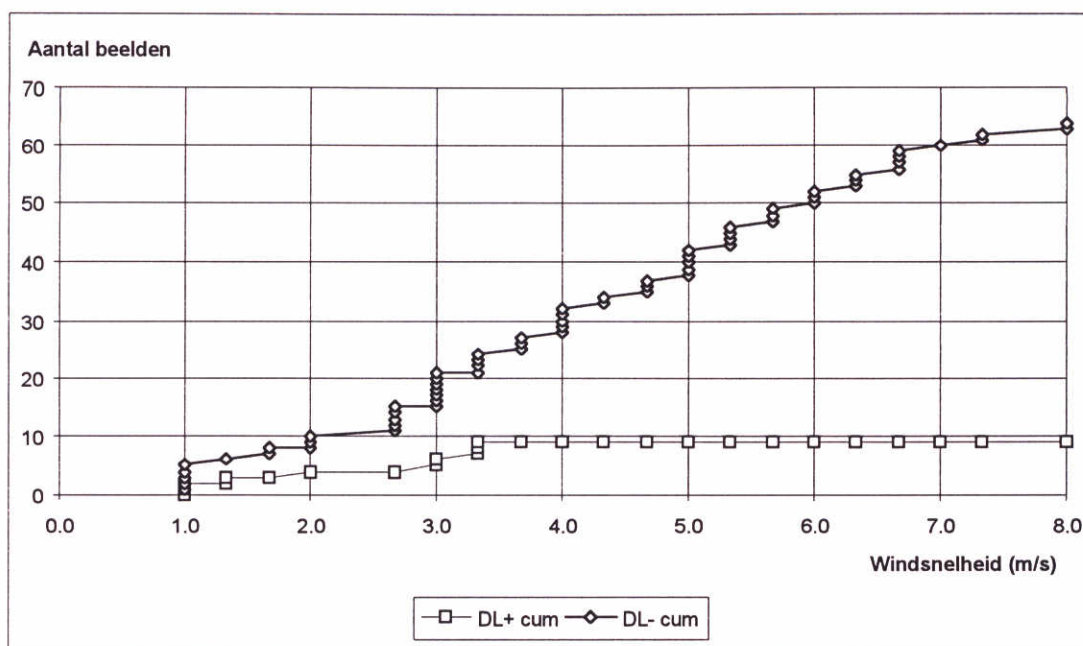
Tabel 4.1 geeft het aantal beschikbare remote sensing beelden. De beelden zijn digitaal beschikbaar.

Jaar	Totaal aantal beelden	Beelden met drijfslagen
1983	10	4
1986	10	0
1987	5	0
1988	10	0
1989	5	4
1990	25	0
1991	43	6
1992	35	0
1993	56	0
Totaal	199	14

Tabel 4.1 Beschikbare remote sensing beelden.

Op basis van een visuele beoordeling van de beelden van de jaren 1983, 1987 t.m 1989 en 1991 is Figuur 4.1 samengesteld². In de figuur zijn het aantal beelden met en zonder drijfslagen cumulatief uitgezet tegen de gemiddelde windsnelheid gedurende 3 uur voor de opname. Uit de figuur blijkt dat er geen beelden met drijfslagen zijn bij een gemiddelde windsnelheid groter dan 3 tot 4 m/s

²Ten tijde van deze analyse waren niet alle beelden beschikbaar



Figuur 4.1 Het aantal beelden met en zonder drijflogen cumulatief afgezet tegen de gemiddelde windsnelheid gedurende 3 uur voor de opname.

4.3 IJsselmeer

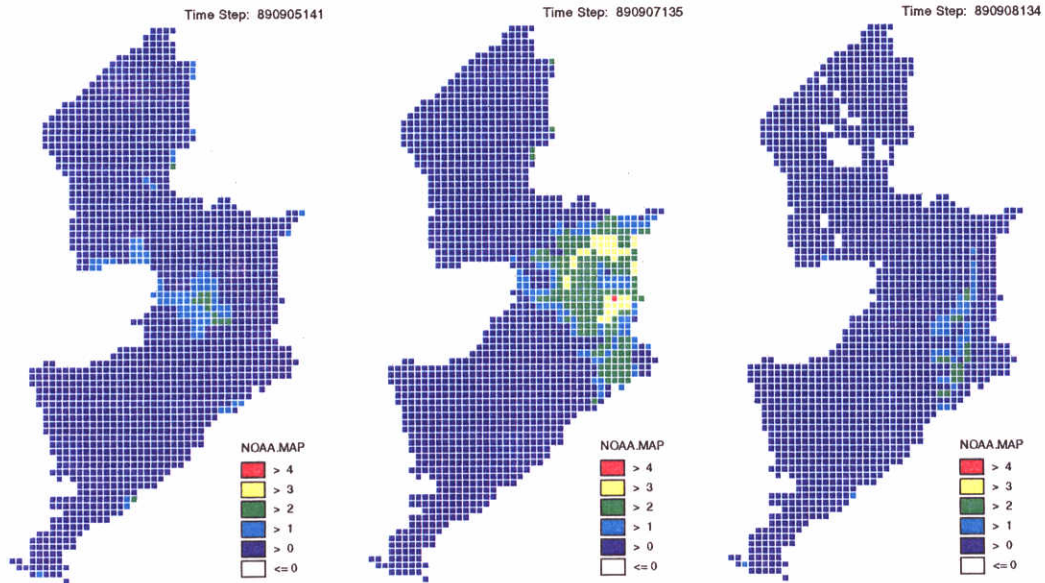
De drijflogmodule is toegepast voor de jaren 1988 en 1989. Van deze jaren zijn berekeningsresultaten van DBS en (enige) satellietbeelden met waarnemingen van drijflogen beschikbaar. Tabel 4.2 geeft voor 1988 en 1989 het opnametijdstip en het voorkomen van drijflogen op de beelden. Voor 1988 zijn op een totaal van 10 beelden geen beelden beschikbaar met drijflogen. Voor 1989 zijn op een totaal van 5 beelden 2 beelden beschikbaar waarop enige drijflogvorming is te zien en 2 beelden die duidelijke drijflogvorming vertonen. De in de tabel vet afgedrukte beelden worden met berekeningsresultaten vergeleken.

Opnametijdstip	Voorkomen van drijflogen
11-07-88 15:30	-
06-08-88 15:50	-
07-08-88 15:40	-
08-08-88 15:30	-
14-08-88 16:00	-
16-08-88 15:40	-
06-09-88 15:10	-
07-09-88 16:40	-
08-09-88 16:30	-
09-09-88 16:20	-
05-09-89 14:10	+
07-09-89 13:50	++
08-09-89 13:40	+
21-09-89 14:40	-
27-09-89 13:40	++

Tabel 4.2 Voorkomen van drijflogen op de beelden van 1988 en 1989 (0 = geen drijflogen, + = enige drijflogvorming, ++ = veel drijflogvorming). De beelden die zijn vergeleken met berekeningsresultaten zijn vet afgedrukt.

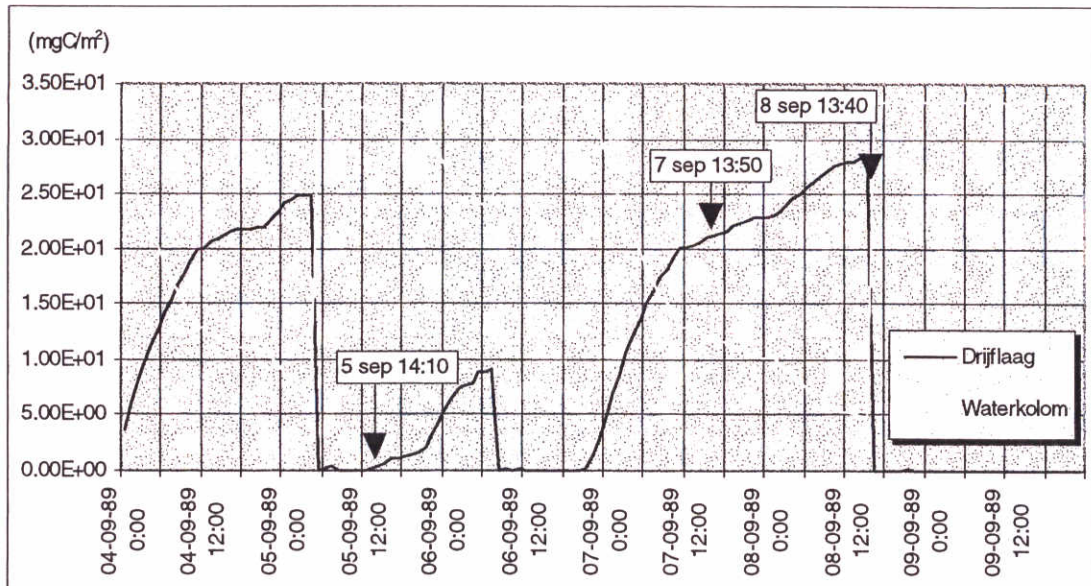
4 t/m 9 september 1989

Op 5 september was er in de voormiddag (14:10) sprake van enige drijfslagvorming in het midden van het IJsselmeer. Voor 6 september zijn geen beelden beschikbaar. Op 7 september is er rond dezelfde tijd (13:50) sprake van een massale drijfslagvorming in het zuidelijk deel van het IJsselmeer. De volgende dag is er in de voormiddag (13:40) sprake van enige drijfslagvorming in het zuiden, maar veel minder in vergelijking tot de voorgaande dag (Figuur 4.2).



Figuur 4.2 Vegetatieindex op 5 september 1989 14:10, 7 september 1989 13:50 en 8 september 1989 13:40.

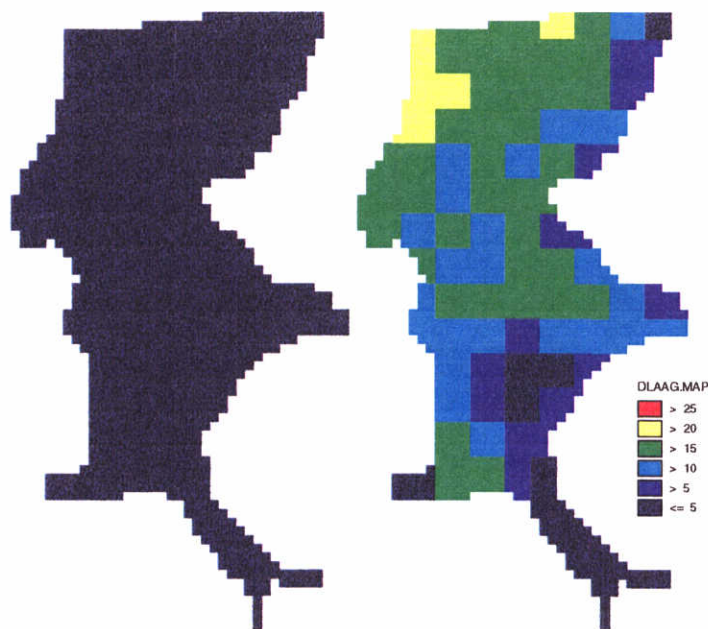
Hoe verhouden deze waarnemingen zich nu tot de berekeningsresultaten van de module? Figuur 4.3 geeft de berekeningsresultaten voor een segment in het midden van het IJsselmeer voor de periode 4 t/m 9 september 1989. De momenten waarop remote sensing beelden beschikbaar zijn staan in de figuur aangegeven. Tijdens de berekening is het horizontaal transport “uitgezet” door de winddriftfactor op nul te zetten. De op deze locatie door DBS berekende biomassaconcentratie is gedurende de beschouwde periode constant, ca. 33 mgC/m². Gedurende de periode zien we 3 maal drijfslagvorming optreden. We concentreren ons op de 2^e en 3^e gebeurtenis, deze kunnen worden vergeleken met remote sensing beelden. Op 5 september vanaf 12 uur ‘s middags wordt er in beperkte mate drijfslagvorming berekend die 6 september ‘s ochtends wordt afgebroken. Het beschikbare remote sensing beeld liet in beperkte mate drijfslagvorming zien wat door het model wordt onderschat. Een lange periode van drijfslagvorming wordt berekend vanaf 6 september ‘s avonds tot en met de namiddag van 8 september. Gedurende deze periode komt een groot deel van de biomassa in de drijfslag terecht. Dit komt goed overeen met het remote sensing beeld van 7 september. Het remote sensing beeld van 8 september laat enige drijfslagvorming zien. Juist rond het tijdstip van opname verdwijnt in het model de drijfslag.



Figuur 4.3 Berekeningsresultaat voor de periode 4 t/m 9 september 1989.

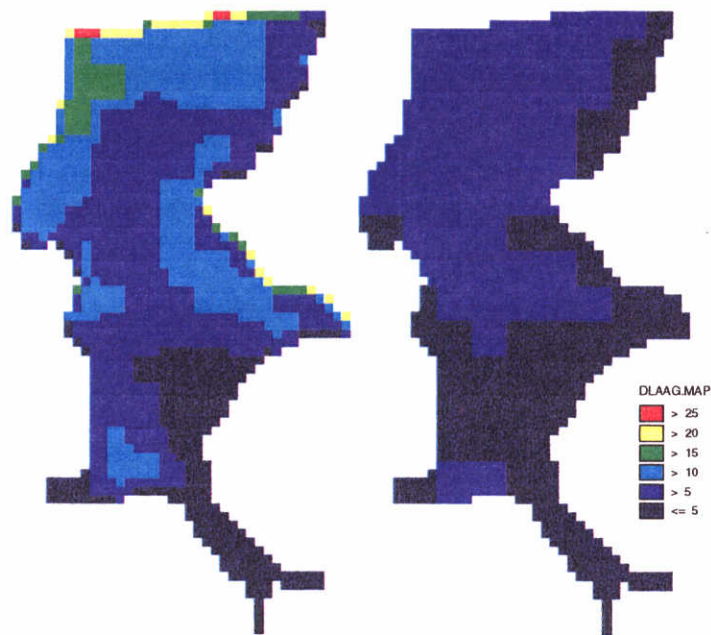
Figuur 4.4 t/m Figuur 4.6 geven de berekende verspreiding van de biomassa in gC/m^2 over waterkolom en drijfslaag. Op 5 september zit alle biomassa in de waterkolom. Door DBS is een noord-zuid gradiënt berekend met de hoogste biomassa's in het noordelijk deel. Op 7 september zit ca. 60 % van de biomassa in de drijfslaag. Deze biomassa is als gevolg van de heersende zuid tot zuid-westen wind in noordelijke richting opgestuwd. Op 8 september 13:00 zit nagenoeg alle biomassa in de drijfslaag en is de opstuwung in noordelijke richting versterkt. Op 8 september treedt in de loop van de middag terugmenging op.

De berekende horizontale verspreiding is niet in overeenstemming met de NOAA beelden (Figuur 4.2): deze tonen alleen in het zuidelijke deel van het IJsselmeer drijfslagenvorming



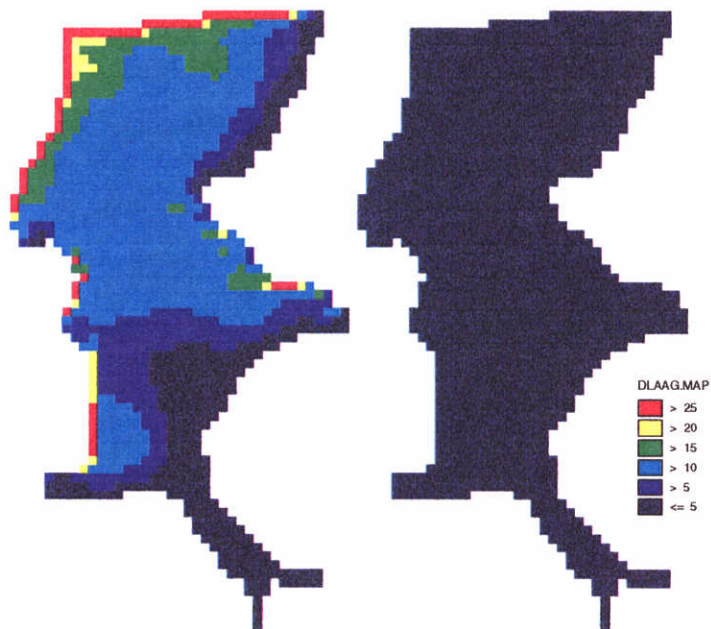
Time Step: 53013600

Figuur 4.4 Berekende verspreiding op 5 september 1989 14:00 (mgC/m^2); links drijfslaag, rechts waterkolom.



Time Step: 53182800

Figuur 4.5 Berekende verspreiding op 7 september 1989 13:00 (mgC/m^2); links drijfzagen, rechts waterkolom.

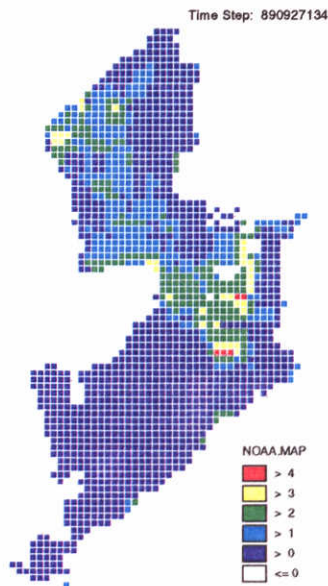


Time Step: 53269200

Figuur 4.6 Berekende verspreiding op 8 september 1989 13:00 (mgC/m^2); links drijfzagen, rechts waterkolom.

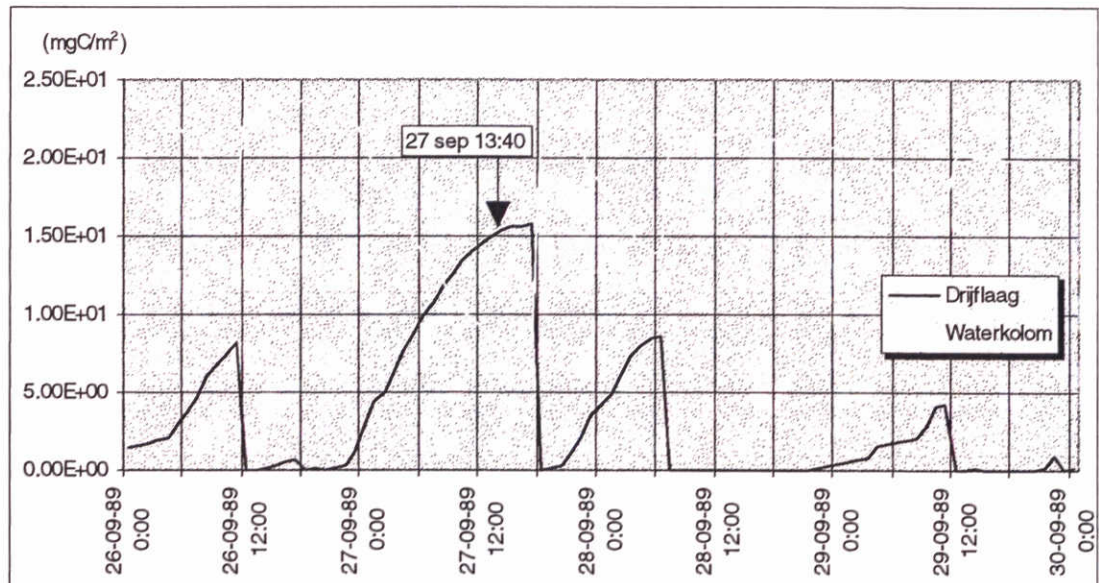
26 t/m 30 september 1989

Voor 27 september is een beeld beschikbaar die massale drijfzagenvorming laat zien (Figuur 4.7).



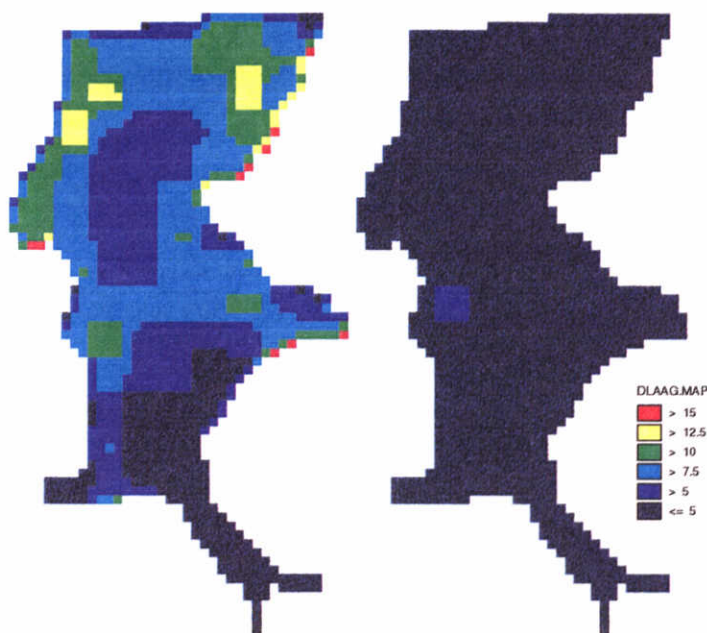
Figuur 4.7 Vegetatieindex op 27 september 1989 13:40.

Figuur 4.8 laat de berekeningsresultaten van de drijfslagmodule zien. Gedurende de dag van 27 september treedt in sterke mate drijfslagvorming op: rond 12:00 's middags is het overgrote deel van de biomassa naar de drijfslag verplaatst. Om 18:00 treedt terugmenging op. Deze berekende drijfslagvorming komt goed overeen met het remote sensing beeld van 27 september 13:40.



Figuur 4.8 Berekeningsresultaat voor de periode 26 t/m 30 september 1989.

Figuur 4.9 geeft de berekende verspreiding van de biomassa in gC/m^2 over waterkolom en drijfslag. Ca. 80% van de biomassa zit in de drijfslag en er is sprake van opstuwing in zuid-oostelijke richting. De berekende horizontale verspreiding is hier beter in overeenstemming met het NOAA beeld (Figuur 4.7).

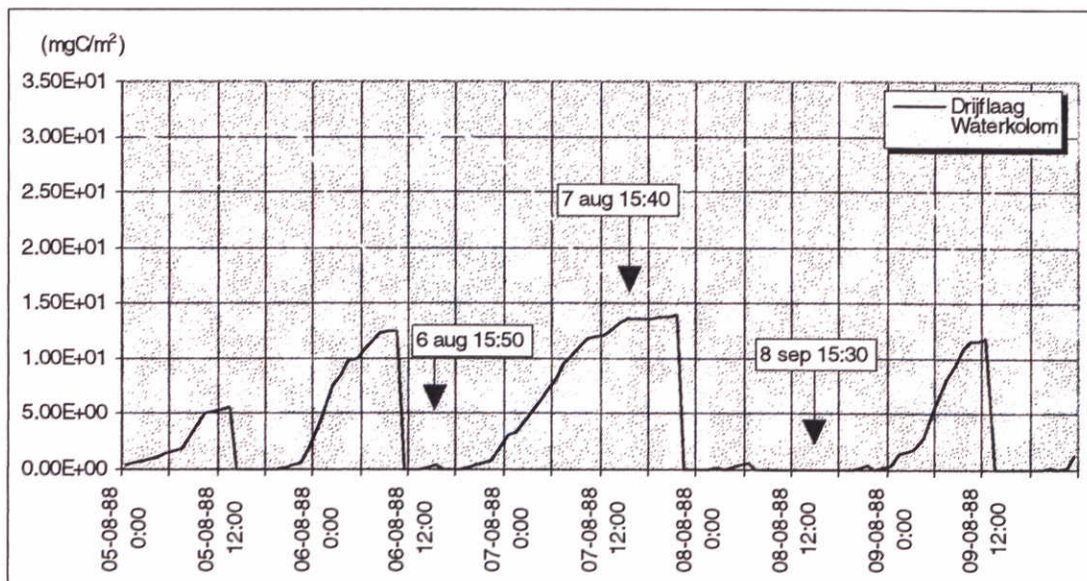


Time Step: 54921600

Figuur 4.9 Berekende verspreiding op 27 september 1989 13:00 (mgC/m^2); links drijfslag, rechts waterkolom.

5 t/m 9 augustus 1988

Op 6, 7, en 8 augustus 1988 geven de NOAA beelden geen indicatie van drijfslagvorming. Figuur 4.10 laat zien dat de berekeningsresultaten voor 6 en 8 augustus in overeenstemming zijn met de beelden. Op 7 augustus wordt enige drijfslagvorming berekent van ca. 40 % van de totale biomassa in de kolom.



Figuur 4.10 Berekeningsresultaat voor de periode 5 t/m 9 augustus 1988.

4.4 Volkerak en Zoommeer

Voor het Volkerak en Zoommeer waren geen remote sensing beelden beschikbaar.

5 Discussie

De resultaten van FUZZYSCUM komen redelijk overeen met de satellietbeelden. Het aantal satellietbeelden is echter gering. Bovendien zijn de satellietbeelden gefilterd, het is mogelijk dat een beeld geen drijfslagen aangeeft terwijl er wel een drijfslag aanwezig was. Dit heeft tot gevolg dat wat nu beoordeelt wordt als een geringe overschatting van het verschijnen van drijfslagen door FUZZYSCUM zoals (dd 7 augustus 1988) in werkelijkheid geen overschatting hoeft te zijn. Er zijn niet veel details bekend omtrent de processen die in drijfslagen optreden.

De resultaten van MOVESCUM zijn vergeleken met NOAA beelden. De overeenstemming met de beelden van begin september 1989 was slecht. De overeenstemming met de beelden van eind september was redelijk. De door DBS gemodelleerde ruimtelijke verdeling van de biomassa van blauwalgen over het IJsselmeer is eveneens anders dan die de NOAA beelden laten zien. Een mogelijke oorzaak is dat in de module MOVESCUM na verdwijning van een drijfslag aan de waterkolom de door DBS berekende concentratie van cyanobacterien toegekend wordt. In werkelijkheid zal op die plaatsen waar vandaan de drijfslag is getransporteerd de biomassa blauwalgen lager zijn en op die plaatsen waar de drijfslag naar toe is getransporteerd de biomassa hoger zijn dan de door DBS berekende waarde.

De gebruikte data m.b.t. de wind zijn verkregen van weerstation Schiphol. De windsnelheid is ingevoerd als afgeronde getallen van gemiddelde windsnelheid (m/s) per uur. De windsnelheid en -richting kunnen in een uur aanzienlijk variëren. Bovendien kunnen er verschillen optreden tussen verschillende locaties van het IJsselmeer. De invoer van lokaal gemeten windsnelheid en -richting met een grotere nauwkeurigheid zou een verbetering van de resultaten kunnen opleveren.

6 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

Op basis van de beschikbare beelden kan geconcludeerd worden dat het expertsysteem FUZZYSCUM redelijk (kwalitatief) de mate van voorkomen en verdwijnen van drijfslagen voorspelt. Voor een goede verificatie van de resultaten van FUZZYSCUM en MOVESCUM zijn echter te weinig NOAA beelden gebruikt.

Expertkennis is gemakkelijk in een regelsysteem dat redeneert m.b.v. Fuzzy Logic in te bouwen.

Aanbevelingen

- Het is van groot belang voor de toepassing van het model dat het beter gevalideerd wordt. Derhalve zouden er meer satellietbeelden en/of veldwaarnemingen beschikbaar moeten zijn. De beschikbare satellietbeelden zouden met verschillende "gevoeligheden" gefilterd kunnen worden, om een overschatting van het expertsysteem te beoordelen.
- Veldwaarnemingen zouden informatie kunnen leveren over de processen die op een kleinere tijdschaal dan 24 uur plaatsvinden, bijv. de snelheid van verdwijnen van de drijfslag.
- De invoer van lokaal gemeten windsnelheid en -richting met een grotere nauwkeurigheid zou een verbetering van de resultaten kunnen opleveren.
- Het effect van het toevoegen van processen zoals bijvoorbeeld de afbraak van kolonies door fotolyse of het onderscheiden van verschillende stijgsnelheden voor kolonies van verschillende afmetingen op de modelresultaten zou onderzocht moeten worden.
- Het model is gericht op een toepassing op het IJsselmeer. Onderzocht zou moeten worden welke relaties of parameters toegevoegd zouden moeten worden om een generieker model te krijgen.
- Een statistische analyse van de frequentie van voor het ontstaan van drijfslagen gunstige weersomstandigheden in de periode juli-oktober van vele jaren geeft een indicatie over de frequentie van het voorkomen van een drijfslag.
- DBS, FUZZYSCUM en MOVESCUM zouden direct gekoppeld moeten zijn zodat de ruimtelijke verdeling van de biomassa van blauwalgen beter op elkaar aansluit.
- Het ontwikkelen van een gebruikersvriendelijk interface voor het ontwerpen, parameteriseren en het opstellen van de kennisregels zal het ontwikkelen van dit type kennisystemen versnellen.

7 Referenties

- Altrock, C. von 1995. *Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Applications Explained*. Prentice-Hall, New Jersey
- Babuska, R. 1995. *Fuzzy Logic in modeling and control*. Proceedings Symposium Computational Intelligence, May 1995 Delft, The Netherlands.
- Bárdossy, A. 1996. The use of fuzzy rules for the description of elements of the hydrological cycle. *Ecol. Model.* 85: 59-65.
- Cao, G. 1995. The definition of the niche by fuzzy set theory. *Ecol. model.* 77: 65-71.
- Castella, E., Speight, M.C.D. 1996. Knowledge representation using fuzzy coded variables: an example based on the use of Syrphidae (Insecta, Diptera) in the assessment of riverine wetlands. *Ecol. Model.* 85:13-25.
- Daunicht, W., Salski, A., Nohr, P., Neubert, C. 1996. A fuzzy knowledge-based model of annual production of skylarks. *Ecol. Model.* 85:67-73.
- Denman, K.L. and Gargett, A. E., 1983. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. *Limnology and Oceanography* 28(5), 801-815.
- Droesen, W.J. 1996. Formalisation of ecological expert knowledge applying fuzzy techniques. *Ecol. Model.* 85:75-81.
- Ecological modelling 85. 1996. Special issue on Fuzzy Logic in Ecological Modelling, papers presented at the workshop held at Kiel, Germany, 12-13 October 1993.
- Foody, G.M. 1996. Fuzzy modelling of vegetation from remotely sensed imagery. *Ecol. Model.* 85:3-12.
- Friederichs, M., Fränze, O., Salski, A. 1996. Fuzzy clustering of existing chemicals according to their ecotoxicological properties. *Ecol. Model.* 85:27-40.
- Honing, H. van der, Meijer M.L. 1985. *Bestrijding eutrofiëringsproblemen. Zuiveringsschap Hollandse eilanden en waarden*.
- Hutchinson, P.A. and Webster, I.T., 1994. On the distribution of blue-green algae in lakes: Wind tunnel tank experiments. *Limnology and Oceanography* 39(2), 374-382.
- Ibelings B.W. 1990. *Algenbloei in het IJsselmeer, Deel I, II en III*.
- KEMA 1988. *Dynamiek van drijfvlagen van blauwwieren: terminologie, waarnemingen en modellering van ophoping en transport*.
- Kompare, B., Bratko, I., Steinman, F., Dzeroski, S. 1994. Using machine learning techniques in the construction of models. *Ecol. Model.* 75/76:617-628.
- Kosko, B. 1992. *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Englewood Cliffs, New Jersey.

- Lehn, K., Temme, K-H. 1996. Fuzzy classification of sites suspected of being contaminated. *Ecol. Model.* 85:51-58
- Leimbach, M. 1994. Expertsystem-model coupling within the framework of an ecological advisory system. *Ecol. Model.* 75/76: 589-600.
- Markus, A.A. 1992. Kwalitatieve modellering van zeehondenpopulaties. WL-rapport T862.
- Melcher, D., Matthies, M. 1996. Application of fuzzy clustering to data dealing with phytotoxicity. *Ecol. Model.* 85:41-49.
- Michielsen, B.F. 1995. Analyse van empirische gegevens ter onderbouwing van een *Microcystis* module voor DBS. T1515.
- Michielsen, B.F., Bokhorst, M., Los, F.J. 1995. Literatuur onderzoek naar de eco-fysiologie van *Microcystis* ter onderbouwing van een conceptueel model van *Microcystis* als uitbreiding DBS. T1380.
- Nijhuis, J.A.G., Spaanenburg, J. 1994. Verleden en heden van vage logica. *Informatie* 36:5 296-301.
- PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, fytoplanktongegevens, 1985-1995.
- Recknagel, F., Petzoldt, T., Jaeke, O., Krusche, F. 1994. Hybrid expert systeem DELAQUA - a toolkit for water quality control of lakes and reservoirs. *Ecol. Model.* 71: 17-36.
- RIZA, Enquetegegevens jachthavens 1986 en 1987.
- Scholten, H., Udink ten Cate, A.J., Eradus, W.J., Geurts, P., Glas, C.J., Miedema, R.J. 1995., Optimization of a fuzzy inference system for estrus detection in cattle. In: *Artificial Intelligence in agriculture 2nd IFAC Workshop May 1995 Wageningen*. ed: ten Cate et al.
- Snoeker, X.C. 1993. Literatuuronderzoek Vage Logica. Intern speurwerkverslag Q 1592.
- STOWA, 1992. Bestrijding van overlast door drijfslagen van blauwwieren. STOWA rapport nr. 92-03.
- Sweers, 1978. De natuurlijke temperatuur in het IJsselmeer: enkele beschouwingen naar aanleiding van de metingen in de zomers van 1974 t/m 1976. KEMA memorandum 77-84 MO-koelw.
- Tuma, A., Haasis, H.-D., Rentz, O. 1996. A comparison of fuzzy expert systems, neural networks and neuro-fuzzy approaches Controlling energy and material flows. *Ecol. Model.* 85: 93-98
- Vonk, M., Los, H. 1996. 'Nieuwe' technieken, nieuwe mogelijkheden in ecologische modellering. WL-rapport. T1581
- Webster, I.T. and Hutchinson, P.A., 1994. Effect of the wind on the distribution of phytoplankton cells in lakes revisited. *Limnology and Oceanography* 39(2), 365-373.

Welstead, S.T. 1994. Neural Network and Fuzzy Logic applications in C/C++. John Wiley & Sons New York.

Yager, R. 1992. Implementing Fuzzy Logic controllers Using a Neural Network Framework. Fuzzy Sets and systems: 48: 53-64.

Zadeh, L. 1965. Fuzzy set. Int. Contr 8, 338-353