

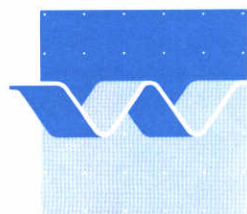
Drijflagenmodel IJsselmeer

Verslag
juni 1998

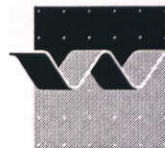
Drijflagenmodel IJsselmeer

M. Vonk

B.F. Michielsen



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Rijkswaterstaat, RIZA

TITEL: Drijfslagenmodel IJsselmeer

SAMENVATTING:

Om te komen tot een waarschuwingssysteem dat de vorming van drijfslagen van blauwalgen in het IJsselmeer voorspelt is een validatie van het instrumentarium FUZZYSCUM uitgevoerd aan de hand van een uitgebreide set remotesensing-beelden van de periode juli t/m oktober in de jaren 1983 t/m 1997. Tevens is in dit project een analyse ter bepaling van de mate van voorkomen van de risico-omstandigheden en de plaats van risico-lokaties uitgevoerd.

FUZZYSCUM levert goede resultaten: het tijdstip van voorkomen van een drijfslag wordt in 93% van de gevallen goed gesimuleerd. De lokatie van de drijfslagen komt niet altijd overeen met de remotesensing-beelden: de voorspelde biomassa van drijfslagvormende blauwalgen (DBS) is in het zuiden zo laag dat FUZZYSCUM daar zeer zelden een drijfslag zal aangeven.

De gevoeligheid van FUZZYSCUM voor het inbrengen van onzekerheden m.b.t. tot het gebruik van weervoorspellingen i.p.v. metingen lijken gering. FUZZYSCUM kan als basis dienen voor FUZZYSCUM EARLY WARNING, een instrument dat te gebruiken is in het dagelijks beheer van het IJsselmeer.

REFERENTIES:

REV.	AUTEUR	DATUM	OPMERKINGEN	REVIEW	GOEDKEURING
1	M. Vonk	juni 1998		F.J. Los	P. C. G. Glas
	B. F. Michielsen				

TREFWOORDEN	INHOUD	STATUS
Drijfslagen, Blauwalgen, Waarschuwingssysteem Fuzzy Logic model, IJsselmeer	TEKST: 58 pagina's TABELLEN: 11 FIGUREN: 36 APPENDICES: 2	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG <input type="checkbox"/> CONCEPT <input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF
PROJECTNUMMER: T2129		

Inhoud

1	Inleiding	1-1
	1.1 Doelstelling.....	1-1
	1.2 FUZZYSCUM.....	1-1
2	NOAA-beelden	2-1
3	Biomassa blauwalgen	3-1
	3.1 DBS	3-1
	3.1.1 Berekeningen	3-1
	3.1.2 Resultaten	3-1
	3.2 Metingen	3-3
4	FUZZYSCUM	4-1
	4.1 Structuur fuzzy kennissysteem	4-1
	4.1.1 Verschijnen	4-1
	4.1.2 Verdwijnen.....	4-2
	4.2 Parameters.....	4-3
	4.3 Kennisregels	4-4
5	Transport van drijfslagen	5-1
	5.1 Concentratie mechanismen	5-1
	5.2 Implementatie	5-1
6	Validatie	6-1
	6.1 Inleiding.....	6-1
	6.2 1983	6-2
	6.3 1984 -1987	6-4
	6.4 1988	6-5
	6.5 1989	6-2

6.6	1990	6-3
6.7	1991	6-3
6.8	1992-1997	6-5
7	Risicoanalyse	7-1
7.1	Frequentie	7-1
7.2	Periode	7-2
7.3	Tijdstip van de dag.....	7-2
7.4	Lokatie	7-2
8	Early-warning system.....	8-1
8.1	Inleiding	8-1
8.2	Simulaties	8-2
8.2.1	Invoer	8-2
8.2.2	Resultaten	8-2
9	Discussie.....	9-1
10	Conclusies en aanbevelingen.....	10-1
10.1	Conclusies.....	10-1
10.2	Aanbevelingen	10-2
11	Literatuur	11-1

Appendices

A Figuren en tabellen

B Drijfslagen in jachthavens

B.1 Model

B.2 Resultaten

B.3 Discussie

I Inleiding

Drijfslagen van toxische blauwalgen zorgen voor veel overlast, o.a. in het IJsselmeergebied: drijfslagen vervuilen jachthavens, zwemwater en drinkwaterbekkens. Drijfslagen zijn vooral riskant doordat er een veelvoudige concentratie van de toxische biomassa optreedt op plaatsen waar intensief contact plaatsvindt tussen mensen, huisdieren e.d. en het water. Er bestaan middelen (bijv. bellenschermen) om drijfslagen te weren uit de meest kwetsbare gebieden, men kan besluiten een innamestop voor een drinkwaterbekken in te stellen of men kan waarschuwingsborden plaatsen bij zwemstranden e.d.. Het tijdig nemen van maatregelen is afhankelijk van een tijdige waarschuwing. In principe is het mogelijk waarschuwingen te verstrekken m.b.t. het risico op drijfslagvorming, afhankelijk van de weersverwachting, gegevens omtrent de biomassa van blauwalgen en de lokatie in het gebied.

Een prototype van het modelsysteem FUZZYSCUM, ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium i.s.m. het RIZA (Bokhorst & Vonk 1997), toont aan dat drijfslagvorming, inderdaad op grond van weergegevens en de gemodelleerde biomassa van blauwalgen (Michielsen & Los 1997), goed te voorspellen is. Het model is gevalideerd aan de hand van een zeer beperkte set remote sensingbeelden van het IJsselmeergebied, waarop de aan-/afwezigheid van drijfslagen te zien is. Reflectiebeelden van de NOAA satelliet (omgerekend naar een ruimtelijk variërende vegetatie-index) zijn een goede maat voor drijfslagvorming in het IJsselmeer (Prangma & Roozkrans 1989; Buitenveld & Krijgsman 1996).

I.1 Doelstelling

Het doel van deze studie is om te komen tot een waarschuwingssysteem dat de vorming van drijfslagen van blauwalgen in het open water van het IJsselmeer voorspelt. De voorspelling van drijfslagen in jachthavens is geen onderdeel van dit project; een pilotmodel voor deze speciale lokaties is bijgevoegd in bijlage B

Het project bevat de volgende onderdelen:

1. **Validatie.** In dit project is een validatie van FUZZYSCUM uitgevoerd aan de hand van een uitgebreide set remotesensing-beelden van de periode juli t/m oktober in de jaren 1983 t/m 1997.
2. **Risico-analyse.** Tevens is in dit project een analyse ter bepaling van de mate van voorkomen van de risico-omstandigheden en de plaats van risico-lokaties uitgevoerd.
3. **Early warning system.** Om te komen tot een waarschuwingssysteem zijn de resultaten van FUZZYSCUM op grond van *weervoorspellingen* en *schattingen* van de biomassa onderzocht. De gevoeligheid van FUZZYSCUM voor het inbrengen van deze extra onzekerheden en de eventuele aanpassingen in het kennismodel is onderzocht.

1.2 FUZZYSCUM

Voor het ontstaan, de verspreiding en het weer verdwijnen van drijfslagen in het IJsselmeer is het modelsysteem FUZZYSCUM (Bokhorst & Vonk 1997) ontwikkeld. Het bestaat uit de volgende onderdelen:

- **DBS**
Omdat de resultaten van biomassametingen van blauwalgen niet direct beschikbaar zullen zijn voor een gebruiker van FUZZYSCUM, is ervoor gekozen modelresultaten als invoer te gebruiken. De biomassa van blauwalgen is gemodelleerd m.b.v. het waterkwaliteitsmodel DBS.
- **FUZZY KENNISSYSTEEM**
Een module die op uurbasis de mate van verschijnen en verdwijnen van drijfslagen aangeeft.
- **MOVESUM**
Een module die op basis van de resultaten van DBS en het fuzzy kennisstelsel en de heersende windsnelheid en windrichting de verticale en horizontale verspreiding van drijfslagen berekend.

2 NOAA-beelden

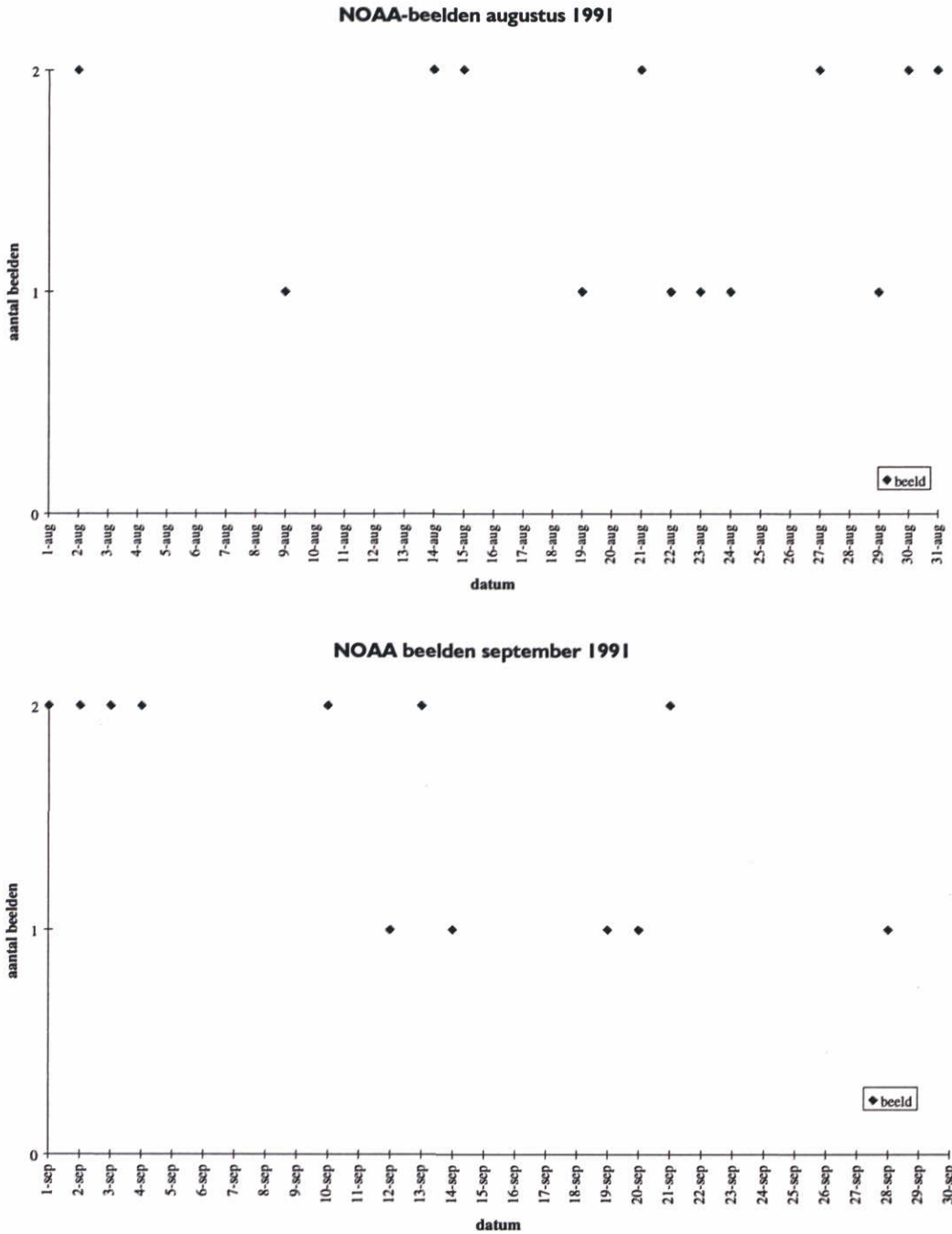
In dit project is een validatie van FUZZYSCUM uitgevoerd aan de hand van een uitgebreide set remotesensing-beelden van de periode juli t/m oktober in de jaren 1983 t/m 1997. In Tabel 1 is een overzicht van het aantal beschikbare NOAA-beelden in de periode 1983-1997 te zien. In de tachtiger jaren is het aantal bruikbare beelden per jaar gering, van 1984 en 1985 zijn helemaal geen beelden. In recentere jaren worden veel meer beelden geleverd, een groot deel daarvan is echter niet bruikbaar vanwege zeer dichte bewolking. In totaal zijn er 385 bruikbare beelden d.w.z. die onbewolkt of voor een deel onbewolkt zijn.

Tabel 1 Overzicht van het aantal beschikbare NOAA-beelden in de periode 1983-1997

jaar	juli	aug	sept	okt	totaal	bewolkt	bruikbaar
1983	0	12	0	0	12	0	12
1986	1	3	1	1	6	0	6
1987	4	0	1	3	8	2	6
1988	2	5	4	0	11	4	7
1989	3	3	6	0	12	4	8
1990	11	12	2	7	32	5	27
1991	20	16	18	8	62	5	57
1992	18	13	13	11	55	28	27
1993	8	13	16	9	46	20	26
1994	36	17	7	1	61	26	35
1995	58	39	10	2	109	38	71
1996	16	9	5	11	41	14	27
1997	41	51	22	12	126	50	76
totaal	218	193	105	65	581	196	385

De NOAA-satelliet komt twee keer per 24 uur bij daglicht over het IJsselmeer. Als alle momenten dat de NOAA-satelliet over het IJsselmeer vliegt een goed beeld op zou leveren dan zou dat in bovenstaande periode 3014 goede beelden opleveren. Echter, de NOAA satelliet levert maar in 13% van de gevallen een bruikbaar beeld.

De beelden zijn niet mooi verdeeld in de tijd. In Figuur 1 is te zien van welke dagen in de periode augustus (a) en september (b) 1991 NOAA-beelden zijn.



Figuur 1 Overzicht van NOAA beelden in (A) augustus 1991 en (B) september 1991.

drijfslagen

Er zijn weinig NOAA beelden met drijfslagen (23). Beelden met drijfslagen zijn te vinden in: augustus 1983, 1988, augustus en september 1989, augustus en september 1991, 1992 en augustus 1993. De periodes met drijfslagen worden uitgebreid behandeld in de desbetreffende paragrafen.

3 Biomassa blauwalgen

Biomassametingen van blauwalgen zijn niet erg frequent en de resultaten zijn niet direct beschikbaar voor een gebruiker van een waarschuwingssysteem. Daarom is ervoor gekozen modelresultaten als invoer te gebruiken. De biomassa van blauwalgen is gemodelleerd m.b.v. het waterkwaliteitsmodel DBS.

3.1 DBS

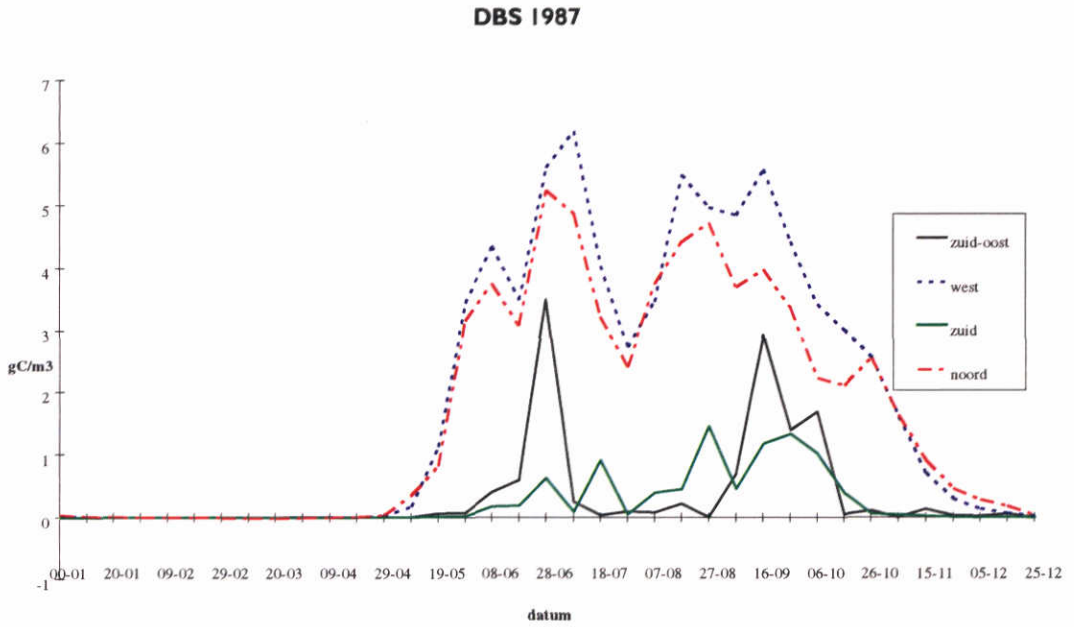
3.1.1 Berekeningen

Dit gebeurde op de volgende wijze:

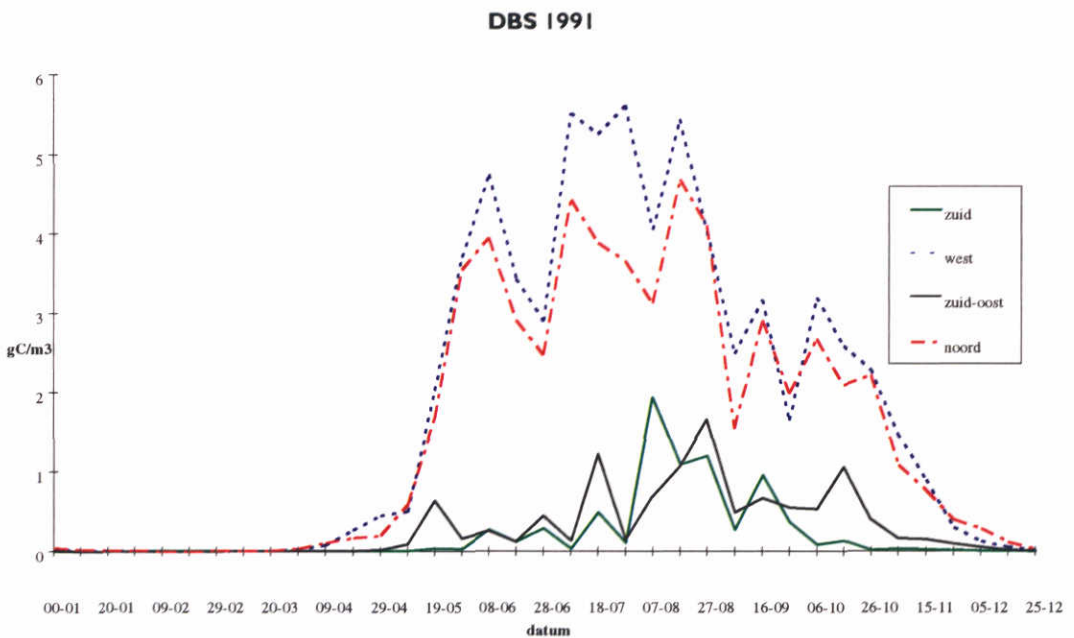
- Voor deze studie is de DBS schematisatie gebruikt van de toepassing voor 1988-1989 (Michielsen & Los 1997). Het gebied is voor de onderhavige DBS toepassing onderverdeeld in 85 segmenten. Deze opzet is afgeleid door de aggregatie van de schematisatie gebruikt voor de waterbewegingsberekeningen met WAQUA.
- Ook de belastingen van de modelapplicatie van 1988 (Michielsen & Los 1997) zijn ingevoerd. Om het effect van de verandering van de fosfaatbelasting gedurende de jaren 1983 tot 1996 in de sommen tot uiting te laten komen is gekozen om het jaar 1988 te indiceren. Alle andere jaren kregen op basis van metingen de fosfaatconcentratie bij de monding van de IJssel een vermenigvuldigingsfactor waarmee de invoer van het model is aangepast. Van de opgeloste stikstof belasting is aangenomen dat er geen noemenswaardige trend is in de studie jaren. Hiervoor zijn dus de 1988 waarden gebruikt.
- Per jaar (1983-1997) zijn de actuele weergegevens ingevoerd. Deze bestaan uit tijdreeksen van de watertemperatuur, windsnelheid (Schiphol), en instraling (Schiphol) van de jaren 1983 t/m 1996.
- De biomassa van grazers is gelijk gehouden aan die van het jaar 1988 in Michielsen & Los (1997) omdat te weinig gegevens voorhanden zijn om aanpassingen van deze grootte uit te voeren voor alle jaren.

3.1.2 Resultaten

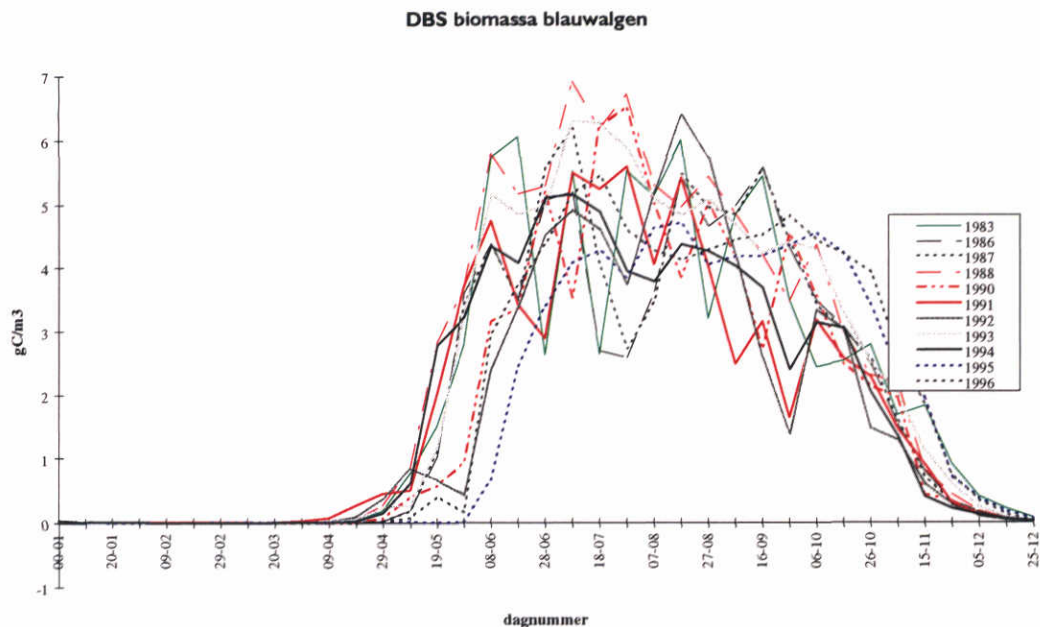
De resultaten van DBS op vier lokaties in het IJsselmeer zijn te zien in Figuur 2 (1987) en Figuur 3 (1991). Hieruit blijkt dat van mei tot oktober de biomassa vooral in het noorden en westen van het IJsselmeer hoog is. De biomassa in het zuid-(oosten) blijft daar sterk bij achter. Dit beeld is hetzelfde voor alle jaren en toe te schrijven aan de hogere graasdruk in het zuiden. In Figuur 4 is te zien dat er geen grote verschillen bestaan tussen de biomassa's in de verschillende jaren.



Figuur 2 Door DBS gesimuleerde biomassa blauwalgen (gC/m³) op 4 lokaties in het IJsselmeer in 1987.



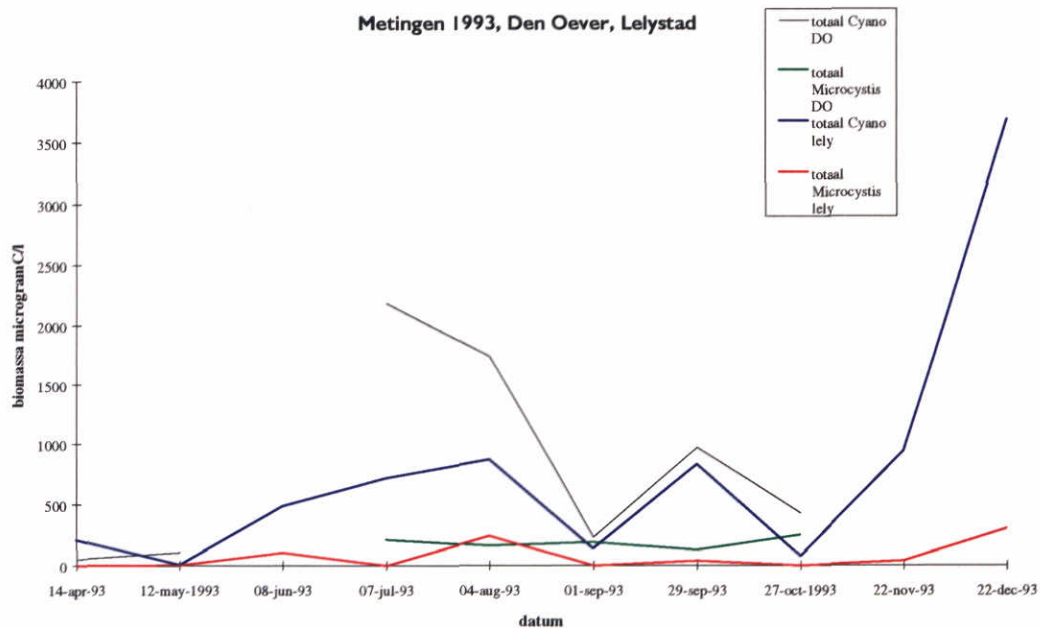
Figuur 3 Door DBS gesimuleerde biomassa blauwalgen (gC/m³) op 4 lokaties in het IJsselmeer in 1991.



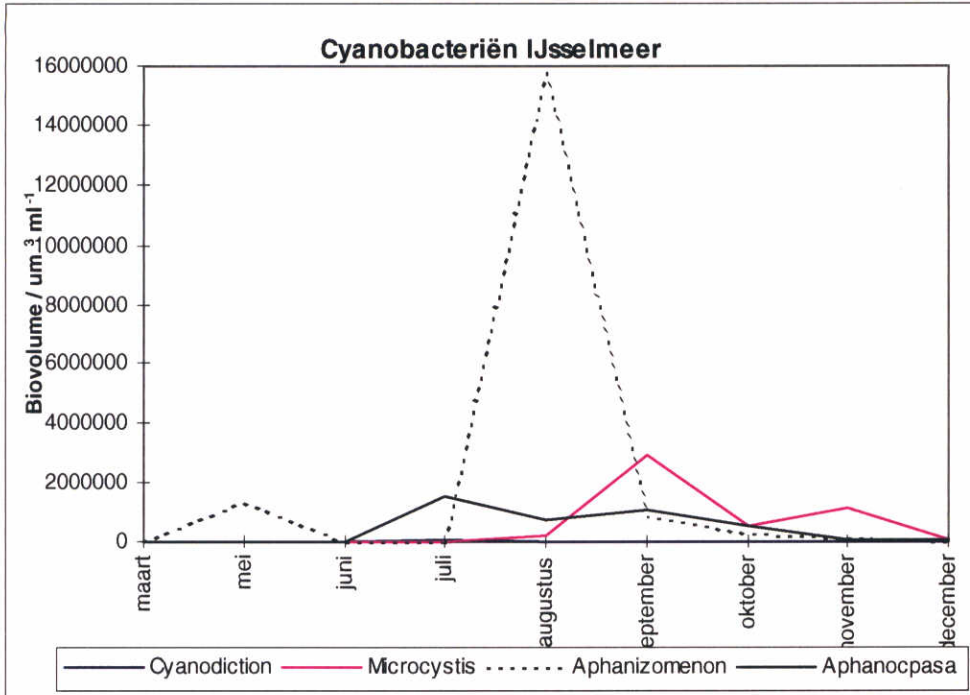
Figuur 4 Door DBS gesimuleerde biomassa blauwalgen (gC/m³) in 1983 t/m 1996.

3.2 Metingen

Biomassa metingen vinden één maal per maand plaats op verschillende lokaties op het IJsselmeer. Er wordt niet op verschillende waterdieptes gemeten. Ook in de metingen is te zien dat de biomassa in het zuiden (Lelystad) lager is dan in het noorden (Den Oever) (Figuur 5). Er zijn echter grote schommelingen in de biomassa gedurende het seizoen. In Figuur 6 is de soortensamenstelling van 1996 te zien. *Microcystis* komt pas eind augustus tot de hoogste biomassa.



Figuur 5 Biomassa metingen van blauwalgen en Microcystis bij Den Oever en Lelystad in 1993.



Figuur 6 Soortensamenstelling op basis van biovolume in 1996.

4 FUZZYSCUM

4.1 Structuur fuzzy kennissysteem

FUZZYSCUM bevat een kennissysteem dat redeneert op grond van Fuzzy Logic (Zadeh 1965, von Altrock 1995). Het is beschreven in Bokhorst en Vonk 1997. In dit project is gebruik gemaakt van ECOFUZZ, een instrumentarium om kennisregels en klassen in te voeren (Vonc & Baptist 1997). De rekenregels zijn echter hetzelfde als beschreven in Bokhorst en Vonk 1997.

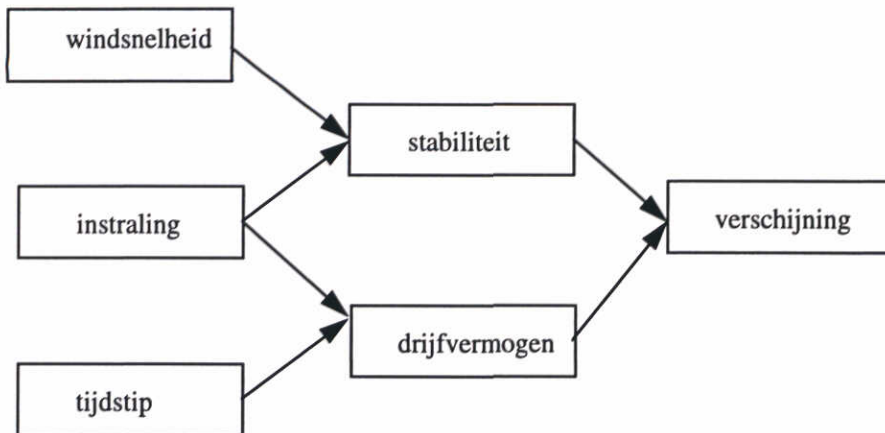
De drijfslagen kunnen op een tijdschaal van enkele uren ontstaan en weer verdwijnen. Daarom is gekozen om een model te ontwikkelen dat per uur aangeeft wat de mate van verschijnen of verdwijnen van een drijfslaag is.

4.1.1 Verschijnen

Belangrijk voor het ontstaan van drijfslagen is de stabiliteit van de waterkolom. Deze wordt bepaald door de windsnelheid en de instraling: 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, waardoor hun biomassa geconcentreerd wordt in het licht, aan het oppervlak. Opslag van een overmaat aan fotosynthese producten (suikers), die zwaarder zijn dan water kan leiden tot een tijdelijk verlies aan drijfvermogen. Belangrijke parameters voor het drijfvermogen zijn: de instraling en tijdstip van de dag, d.w.z. 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 door respiratie van de opgeslagen suikers.

De structuur van de module ter bepaling van de mate van verschijnen is weergegeven in figuur 7. 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 drijfslaag.

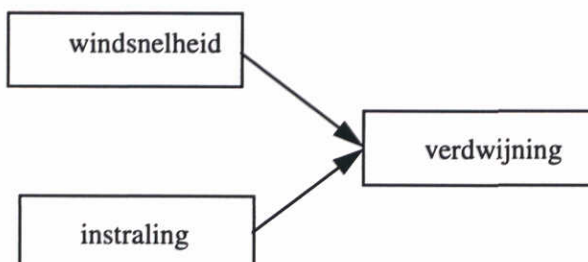


Figuur 7 Structuur van de module voor het verschijnen van een drijfslaag.

4.1.2 Verdwijnen

In de literatuur worden windsnelheden genoemd 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.

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 8). 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 lichthistorie van de cyanobacteriën en de temperatuur van de drijfslaag (Ibelings en de Winter 1994, Ibelings, 1996). In een later stadium raakt de drijfslagma geïnfecteerd door bacteriën, schimmels en/of virussen en begint de drijfslaag te rotten. Er zijn niet veel details bekend omtrent de processen die in drijfslagen optreden. 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 8 Structuur van de module voor het verdwijnen van een drijfslaag.

4.2 Parameters

Bij de bepaling van de mate van *verschijnen* worden drie invoerparameters gebruikt: de gemiddelde windsnelheid in 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.

De klasse-indeling en de lidmaatschapsfuncties van de klassen zijn vermeld in de bijlage.

Verschijnen

Gemiddelde windsnelheid afgelopen uur

Voor de wind gegevens zijn de metingen (gemiddelde windsnelheid per uur) van weerstation de Kooy, Lelystad en Schiphol gebruikt.

Instraling

Uit cumulatieve instralings gegevens over 24 uur (de Kooij, Den Helder) is de cumulatieve instraling over de afgelopen 6 uur berekend door aan te nemen dat het verloop van de instraling over de dag een sinusoidale curve vertoont.

Tijdstip

Het tijdstip van de dag bepaalt mede het drijfvermogen van *Microcystis*.

Mate van verschijnen

Verschijnen geeft voor elk uur de mate van verschijnen van een drijfslag op een schaal van 0 tot 100.

Verdwijnen

Gemiddelde windsnelheid afgelopen uur:

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

Instraling

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

Mate van verdwijnen

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

4.3 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.
- Als de **stabiliteit** van de waterkolom laag is DAN is de kans op drijfslagvorming gering

Deze kennisregels zijn weergegeven in tabellen in de bijlage.

Stabiliteit

De kennisregels voor het bepalen van de stabiliteit van de waterkolom zijn weergegeven in Tabel 6. 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.

Drijfvermogen

De kennisregels voor het bepalen van het drijfvermogen van de blauwalgen zijn weergegeven in

Tabel 6. Een hoog drijfvermogen betekent hier dat de dichtheid van de kolonies van blauwalgen beduidend lager is dan die van water; het betekent niet noodzakelijkerwijs dat er een hoge kans op drijfslagvorming is, hiervoor is stabiliteit van de waterkolom noodzakelijk. 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.

Mate van verschijnen

In Tabel 8 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.

Mate van verdwijnen

In Tabel 9 staan de kennisregels voor het bepalen van de mate van verdwijnen.

5 Transport van drijfvlagen

5.1 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 opstuwing van drijfvlagen 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:

$$f_{drift} = \frac{v_{opp}}{v_w} \quad (5.1)$$

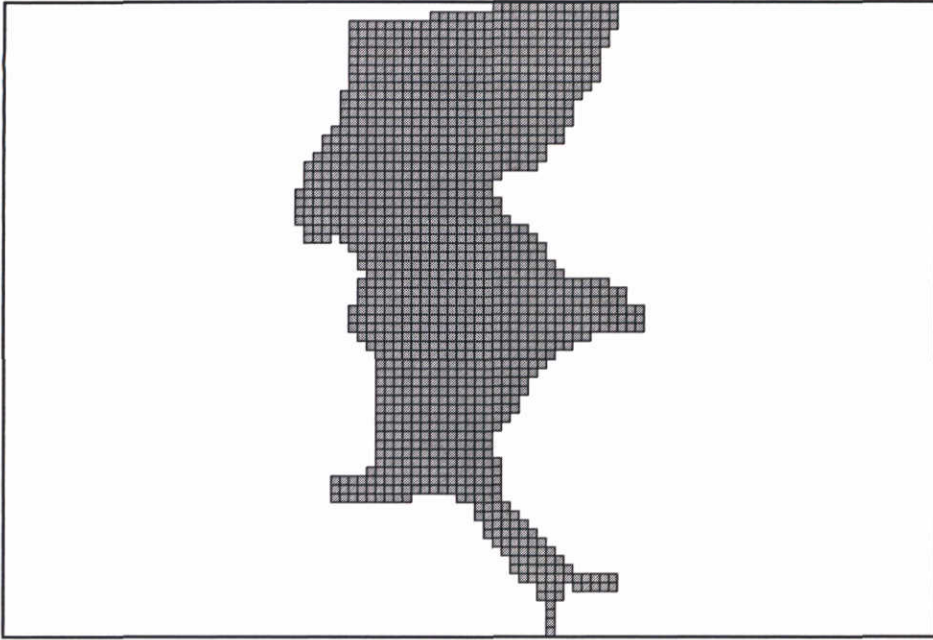
Waarin:

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 % van de windsnelheid 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).

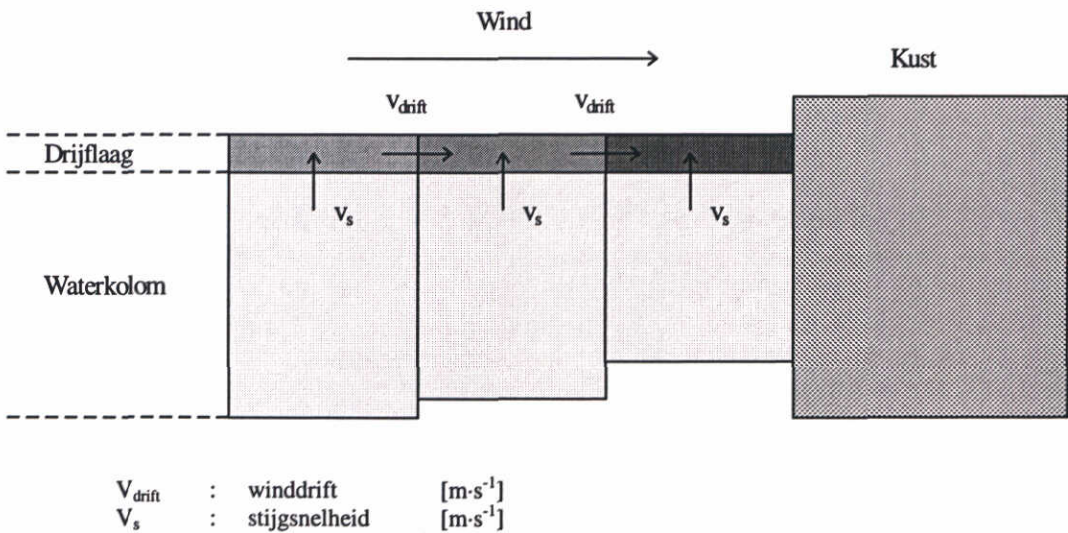
5.2 Implementatie

Het horizontale transport wordt berekend op een rechthoekig grid (zie Figuur 9). De geometrie van het grid is ontleent aan de 2DH WAQUA schematisatie van het IJsselmeer. Over de verticaal worden twee lagen onderscheiden. De onderliggende laag representeert de waterkolom, de bovenliggende de drijfvlagen. De diepte van de waterkolom varieert ruimtelijk en is overgenomen van de WAQUA schematisatie.



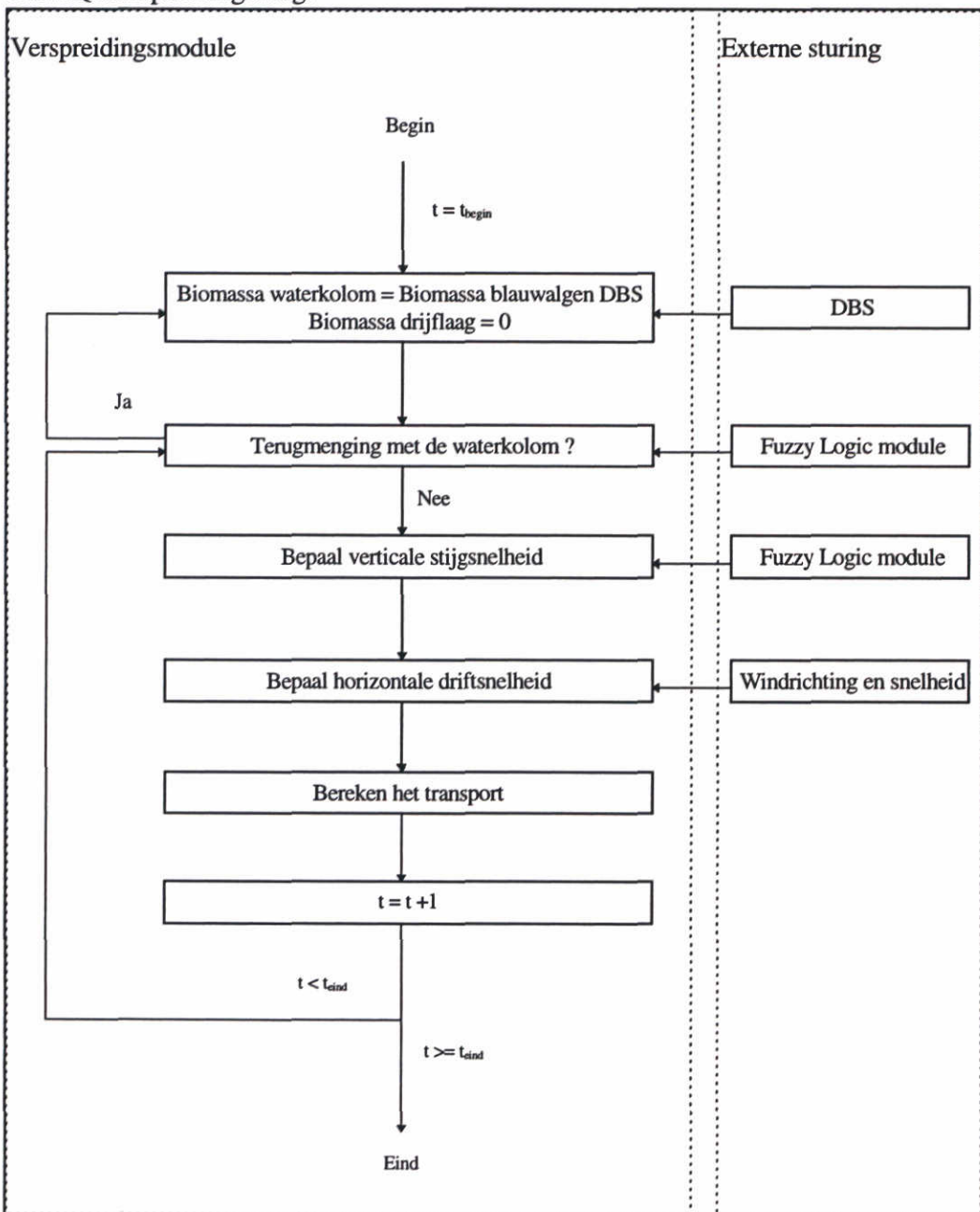
Figuur 9 Rekengrid drijfzagenmodule IJsselmeer (1 km bij 1 km).

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 drijfzagenvorming plaatsvindt. Het verspreidingsmodel kent een stijgsnelheid van het fytoplankton in de waterkolom van 10 m/d (populatie gemiddelde stijgsnelheid, mondelinge mededeling Ibelings, RIZA). Deze stijgsnelheid wordt vermenigvuldigd met de mate van drijfzagenvorming die de FUZZYSCUM module berekent. Een positieve stijgsnelheid v_s leidt zo tot concentratie van biomassa in de bovenste (drijf)laag (Figuur 10).



.Figuur 10 Gemodelleerde concentratiemechanismen in MOVESUM

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 5.1 en vervolgens gegeven de heersende windrichting ontbonden langs de assen van het grid. In het model heeft de winddriftfactor een constante waarde van 2%. Deze aanpak leidt tot concentratie van (drijfslaag)biomassa op benedenwindse locaties (Figuur 10). Figuur 11 geeft de structuur van de drijfslaagtransportmodule schematisch weer. De module is geïmplementeerd binnen de DELWAQ transportomgeving.



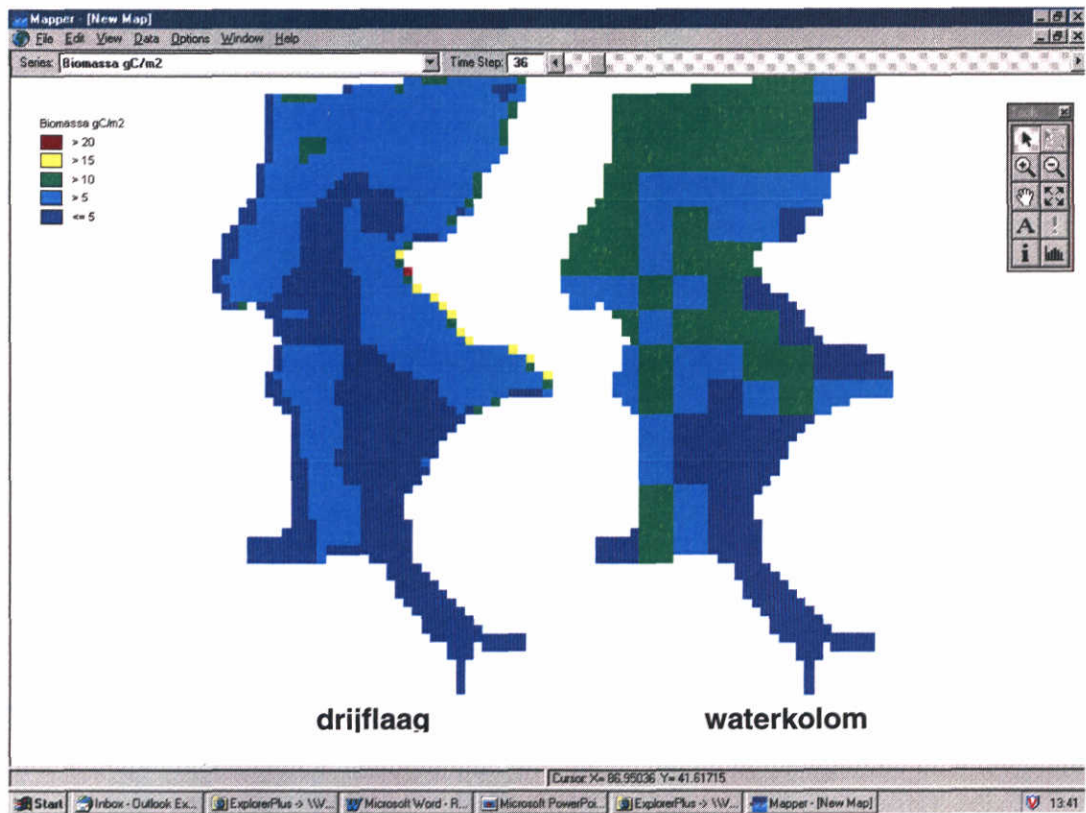
Figuur 11 Structuur drijfslaagverspreidingsmodule MOVESCUM.

6 Validatie

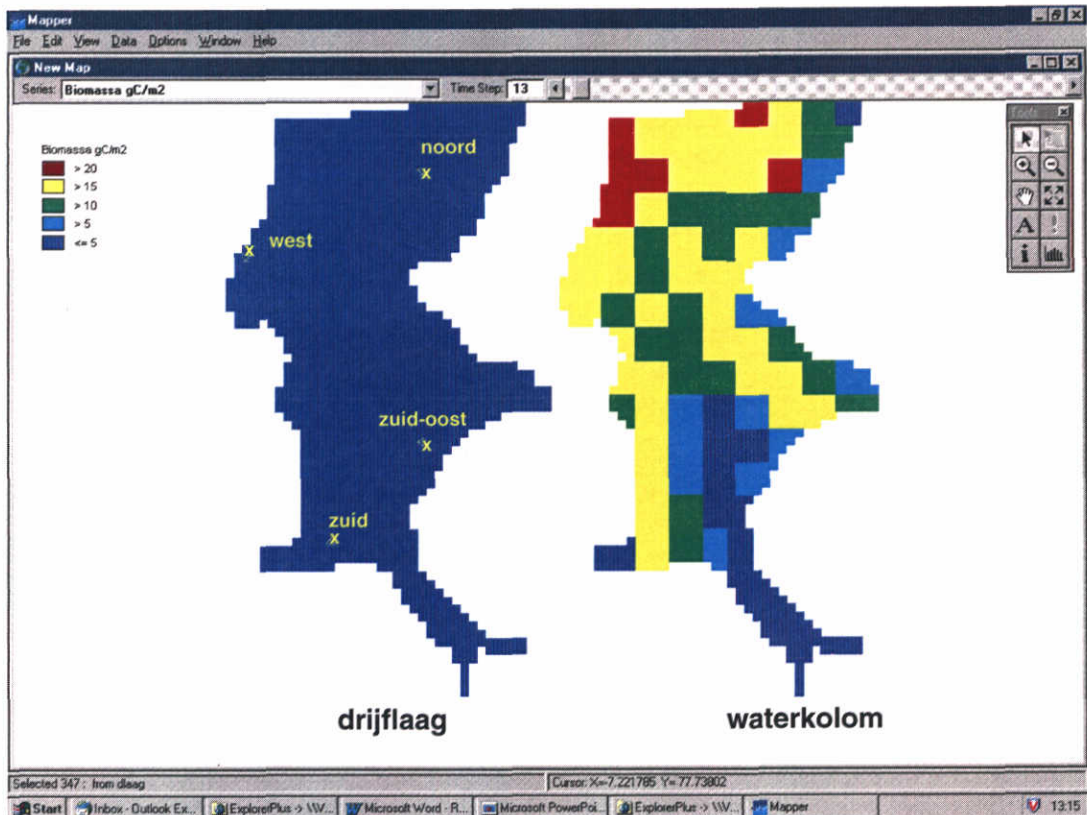
6.1 Inleiding

FUZZYSCUM geeft per uur aan wat de biomassa in de drijfslaag (Figuur 12 links) en wat de biomassa in de waterkolom (Figuur 12 rechts) is voor alle segmenten van het IJsselmeer. Bij de analyse naar voorkomen van drijfslagen is het van belang te kijken naar de biomassa in de drijfslaag maar ook naar de verhouding tussen de biomassa in de drijfslaag en in de waterkolom. Voor de representatie in grafieken is gekozen voor vier lokaties (noord, west, zuid, zuid-oost) te zien in Figuur 13.

Tevens staan er per jaar een tabel met data en tijdstippen van NOAA beelden. Hierin staat vermeld of er bewolking was op het betreffende beeld (+ zwaar bewolkt, +- deel van het IJsselmeer bewolkt), en of er een drijfslaag aanwezig was. In de kolom FUZZYSCUM drijfslaag staat het resultaat van FUZZYSCUM op dat moment.



Figuur 12 Uitvoer FUZZYSCUM, biomassa in de drijfslaag en biomassa in de waterkolom per uur, per lokatie.



Figuur 13 Lokaties waarop in de grafieken biomassa's worden aangegeven.

6.2 1983

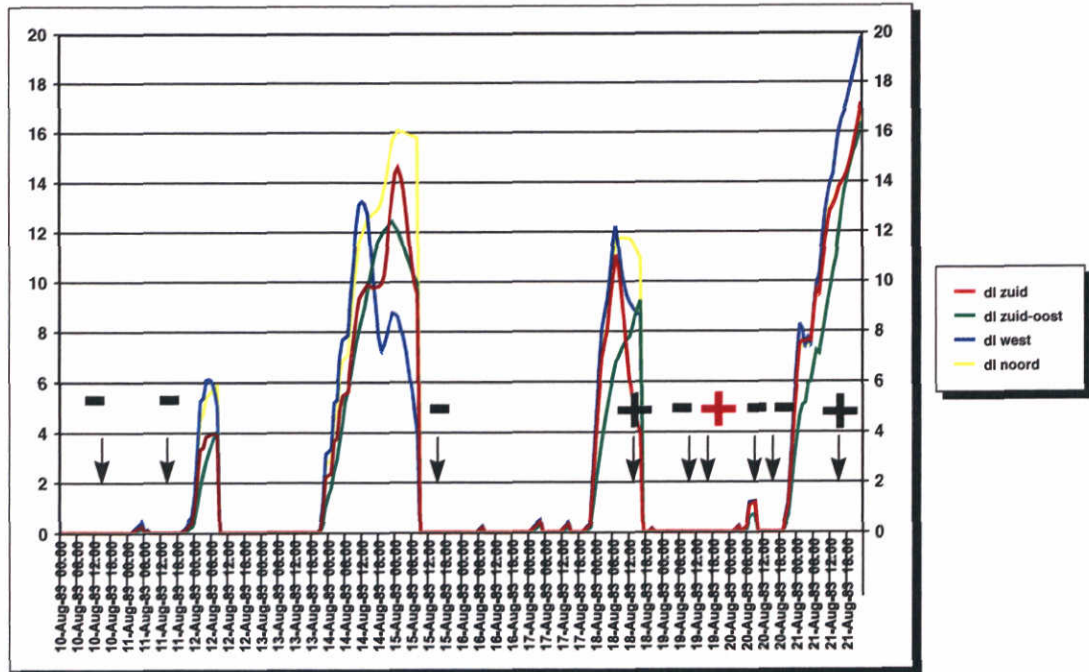
In 1983 zijn alleen beelden beschikbaar van augustus (Tabel 2).

Tabel 2 Vergelijking NOAA-beelden resultaten FUZZYSCUM (windgegevens de Kooy). (+ zwaar bewolkt, +- deel van het IJsselmeer bewolkt, - onbewolkt)

datum	tijdstip	bewolking	NOAA drijfzand	FUZZYSCUM drijfzand	opmerkingen m.b.t. lokatie drijfzand op NOAA beeld
10-aug	15:24	-	-	-	
11-aug	15:12	-	-	-	
15-aug	14:24	-	-	-	
18-aug	15:27	-	+	+	kop N-Holland en langs Flevoland
19-aug	10:08	-	-	-	
19-aug	15:15	-	+	-	west kant IJsselmeer
20-aug	09:47	+-	-	-	
20-aug	15:03	+-	-	-	
21-aug	14:51	-	+	+	zuiden midden
26-aug	15:30	-	-	-	
30-aug	14:41	-	-	-	
31-aug	14:29	-	+	+	bij afsluitdijk en Noord-Holland

De resultaten van FUZZYSCUM m.b.t. het voorkomen van drijflagen komen vrij goed overeen met wat er op de NOAA-beelden te zien is. Op 10, 11 en 15 augustus geven zowel NOAA als FUZZYSCUM geen drijfslaag aan. De resultaten van FUZZYSCUM in de rest van augustus zijn te zien in Figuur 14.

Graph for parameter Biomassa gC/m2

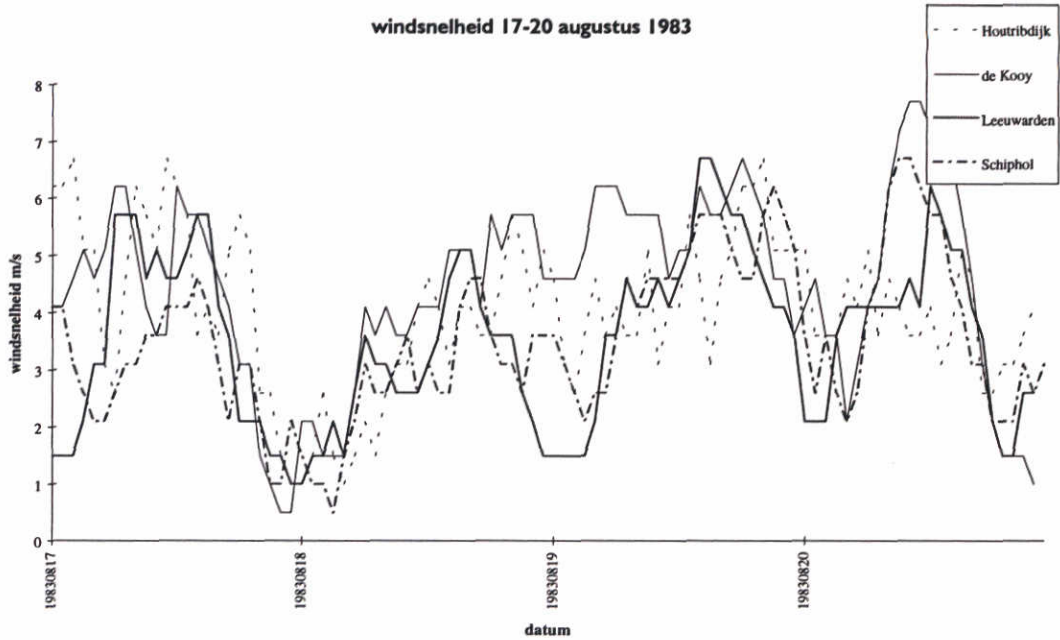


Figuur 14 Biomassa in de drijfslaag (gC/m^2) van 10 augustus tot 21 augustus 1983.
+ drijfslaag op het NOAA beeld, - geen drijfslaag op het NOAA beeld.

De drijfslaag op 18 augustus wordt goed gesimuleerd door FUZZYSCUM, het verdwijnen ervan in de ochtend van 19 augustus ook. Op het middagbeeld van 19 augustus staat een drijfslaag, FUZZYSCUM mist deze drijfslaag. De gemeten windsnelheden zijn op alle weerstations hoog op dat moment (Figuur 15) en er is geen plotselinge verandering van windrichting. De drijfslaag van 21 augustus worden door FUZZYSCUM goed gesimuleerd. FUZZYSCUM geeft op 31 augustus een geringe drijfslaag aan (NOAA ook). De omstandigheden rond 30 en 31 augustus zijn gunstig voor het ontstaan van een drijfslaag (Figuur 15).

Samengevat:

1983	NOAA geen drijfslaag	NOAA Drijfslaag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslaag	8	1	0	
FUZZYSCUM drijfslaag	0	3	0	



Figuur 15 Windsnelheden in de periode 17-20 augustus 1983.

6.3 1984 -1987

1984, 1985

Van de jaren 1984 en 1985 zijn geen NOAA-beelden beschikbaar. Voor deze jaren zijn geen DBS en FUZZYSCUM berekeningen uitgevoerd.

1986

Er zijn 6 beelden beschikbaar van 1986. Er staan geen drijflagen op deze beelden. FUZZYSCUM geeft op deze momenten ook geen drijflagen aan. FUZZYSCUM geeft drijflagen aan op 20 momenten waarvan geen NOAA beeld beschikbaar is.

1986	NOAA geen drijflaag	NOAA Drijflaag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijflaag	6	0		
FUZZYSCUM drijflaag	0	0		20

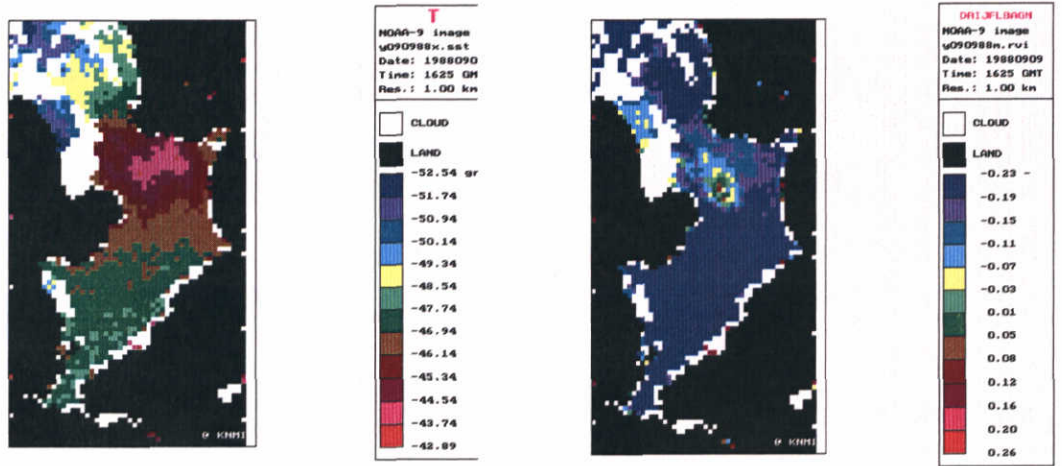
1987

Van 1987 zijn slechts 8 NOAA-beelden beschikbaar (waarvan 2 zwaar bewolkt), op deze beelden staan geen drijflagen. FUZZYSCUM geeft op 2-7 wel een drijflaag aan, terwijl deze op het beeld niet te zien is. Ook op 15 andere momenten geeft FUZZYSCUM een drijflaag aan (biomassa op een van de vier lokaties $> 10 \text{ gC/m}^2$)

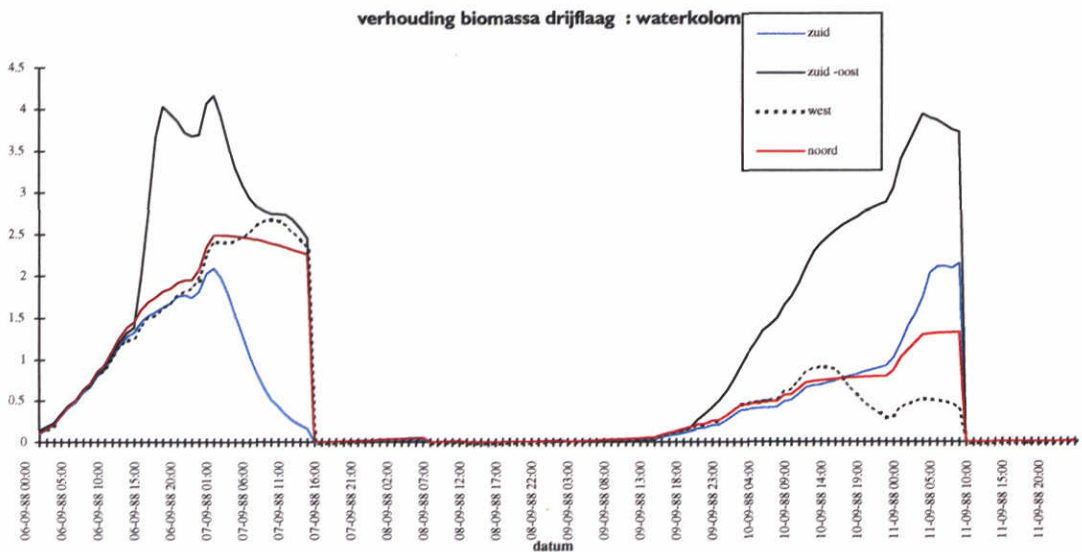
1987	NOAA geen drijflaag	NOAA drijflaag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijflaag	5	0	2	
FUZZYSCUM drijflaag	1	0		15

6.4 1988

FUZZYSCUM gebruikt voor de jaren 88-89 de windgegevens van Schiphol, de windsnelheden zijn helaas afgerond. De NOAA beelden van 1988 zijn zeer onduidelijk. Daarom zijn deze gecombineerd met de temperatuurbeelden; onder een drijfslag is de watertemperatuur hoger dan zonder een drijfslag. Op grond van de combinatie van beelden zou er een drijfslag zijn op 06-09 15:17 in het noorden en zuiden, en op 09-09 16:25 aan de zuid-oost kant van het IJsselmeer (Figuur 16). Figuur 17 laat zien dan op 6 september FUZZYSCUM de verhouding biomassa in de drijfslag/biomassa in de waterkolom hoog is. Op 9 september begint deze verhouding op te lopen, vooral aan de zuid-oost kant. De omstandigheden voor het ontstaan in deze periode zijn dus gunstig, vanwege de lage gesimuleerde biomassa in zuid-oost ontstaat er in FUZZYSCUM op 09-09 echter geen drijfslag.



Figuur 16 NOAA beeld van 9-9-88 A) temperatuur en B) vegetatie-index.



Figuur 17 Verhouding tussen biomassa in de drijfslag/ biomassa in de waterkolom voor vier lokaties in het IJsselmeer van 6-11 september 1988.

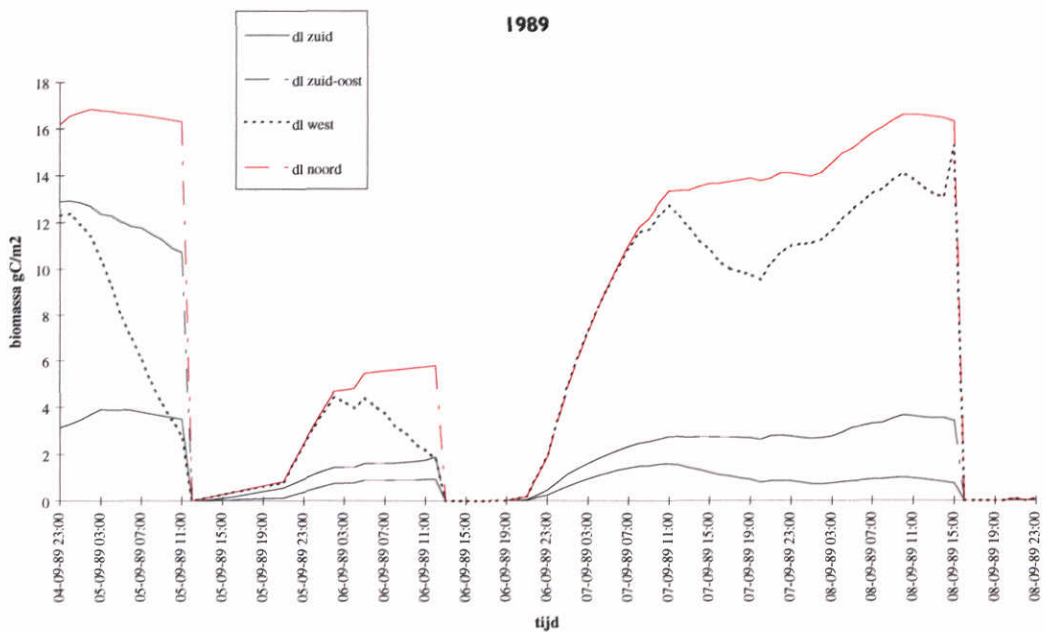
1988	<i>NOAA geen drijfslaag</i>	<i>NOAA Drijfslaag</i>	<i>zwaar bewolkt beeld</i>	<i>geen beeld</i>
<i>FUZZYSCUM geen drijfslaag</i>	5	1	4	
<i>FUZZYSCUM drijfslaag</i>	0	1		10

6.5 1989

Van 1989 zijn 5 beelden beschikbaar. Op 4 beelden zijn drijfslagen te zien, FUZZYSCUM geeft op deze momenten ook drijfslagen aan in het westen en noorden (zie Figuur 18). In zuiden groeien de drijfslagen ook aan, maar vanwege de lage biomassa's is hier niet echt sprake van een drijfslaag.

Tabel 3 NOAA- beelden en resultaten van FUZZYSCUM in 1989.(+ zwaar bewolkt, +- deel van het IJsselmeer bewolkt, - onbewolkt)

datum	tijdstip	bewolking	drijfslaag	FUZZYSCUM	opmerkingen NOAA
5 sept	14:10	-	+	+	
7 sept	13:50	-	+	+	
8-sept	13:40	-	+	+	
21-sept	14:40	-	-	-	
27-sept	13:40	-	+	+	



Figuur 18 Biomassa in de drijfslaag op vier lokaties van 4-9 t/m 8-9.

1989	<i>NOAA geen drijfslaag</i>	<i>NOAA Drijfslaag</i>	<i>zwaar bewolkt beeld</i>	<i>geen beeld</i>
<i>FUZZYSCUM geen drijfslaag</i>	1	0	0	
<i>FUZZYSCUM drijfslaag</i>	0	4		

6.6 1990

Op de NOAA beelden van 1990 (27) zijn geen drijflagen te zien. FUZZYSCUM geeft in juli, augustus en begin september een aantal drijflagen aan. Alleen van de periode op 13-7 is een NOAA beeld beschikbaar. Het beeld laat geen drijflaag zien terwijl FUZZYSCUM een drijflaag in het westen aangeeft die 18 uur aanwezig blijft.

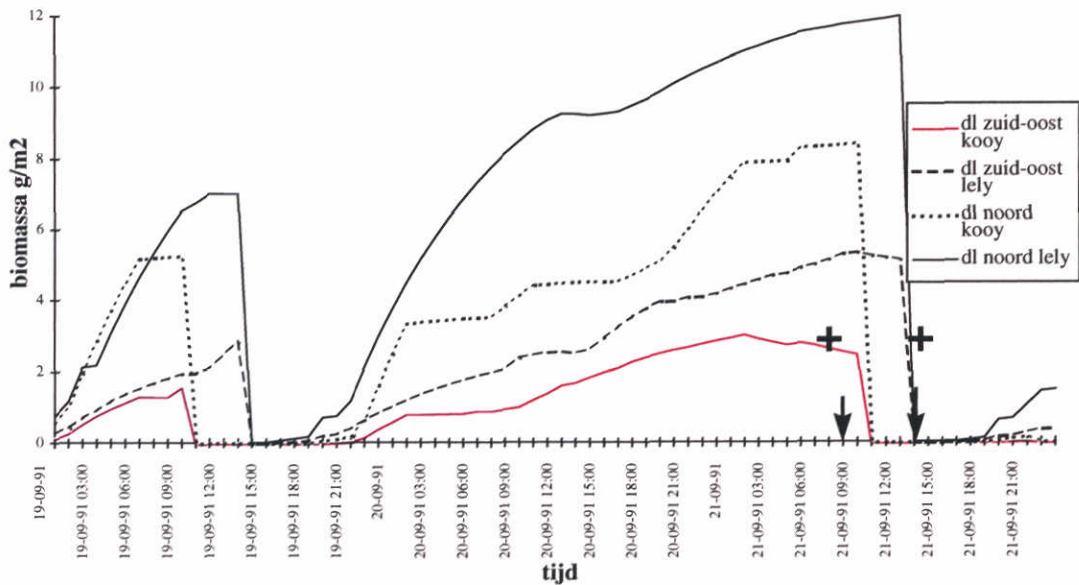
1990	NOAA geen drijflaag	NOAA Drijflaag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijflaag	26	0	5	
FUZZYSCUM drijflaag	1	0		9

6.7 1991

Er zijn 66 beelden beschikbaar van de periode juli-oktober 1991. In juli (20 beelden) en oktober (8 beelden) zijn geen drijflagen te zien. In augustus en september zijn er op de beelden drijflagen aanwezig; deze periode wordt uitgebreid behandeld.

Tabel 4 geeft aan wat er op de beelden te zien is. Er zijn maar weinig onbewolkte beelden. De score in de kolom 'drijflaag' geeft dan aan of er in het onbewolkte deel een drijflaag te zien is.

19-21 september 1991 Kooy-Lely



Figuur 19 Verschillen in biomassa in de drijflaag voor de lokaties zuid-oost en noord, volgens de windgegevens van de Kooy of Lelystad.

Tabel 4 NOAA-beelden, resultaten van FUZZYSCUM met windgegevens Lelystad en FUZZYSCUM met windgegevens de Kooy. (+ zwaar bewolkt, +- deel van het IJsselmeer bewolkt, - onbewolkt)

datum	tijdstip	bewolking	drijfslag	FUZZYSCUM Lelystad	FUZZYSCUM de Kooy	opmerkingen NOAA
2-aug	08:20	-	-	+	+	
2-aug	14:21	+-	-	-	-	
9-aug	08:56	-	-	-	-	
14-aug	08:39	+-	+	+	+	drijfslag zuiden, noorden onbekend
14-aug	13:43	+		+	+	
15-aug	08:16	-	+	+	+	drijfslag zuiden noorden niet
15-aug	13:31	+		+	+	
19-aug	14:26	+-	-	-	-	grote delen bewolkt, de 15-8 drijfslag lijkt verdwenen
21-aug	07:35	+		+	+	grote delen bewolkt, ook zuiden
21-aug	14:03	+-	+	+	-	grote delen bewolkt, drijfslag zuiden
22-aug	08:51	+		-	+	
23-aug	13:40	+		-	-	
24-aug	15:09	+-	-	-	-	oostkant geen drijfslag
27-aug	08:35	+ dun	-	-	-	
27-aug	14:34	+		-	-	
29-aug	14:11	+ dun	+	-	-	bij IJsselmonding
30-aug	09:04	+		-	-	
30-aug	14:00	+-	-	-	-	
31-aug	08:41	+		-	-	
31-aug	13:48	+-	-	-	-	
1-sep	08:18	-	-	-	-	
1-sep	13:36	+-	-	-	-	
2-sep	07:54	-	-	-	-	
2-sep	15:05	+		-	-	
3-sep	09:10	+		-	-	
3-sep	14:54	+-	+	+	-	klein drijfslagje bij Hrdijk
4-sep	08:47	-	-	-	-	
4-sep	14:42	+-	-	-	-	
10-sep	08:06	+ dun	+	+	+	drijfslag erdoor te zien, Nh en IJssel
12-sep	14:50	+-	+	+	+	heel IJsselmeer ?
13-sep	08:36	+		+	+	
13-sep	14:39	-	+	+	+	westkant IJsselmeer
14-sep	14:27	-	-	-	-	
19-sep	07:55	+-	+	+	+	zuid oost, veel bewolking
20-sep	14:58	+-	+	+	+	noord, veel bewolking
21-sep	08:48	-	-	+	+	
21-sep	14:47	+-	+	+	-	heel slecht te zien
28-sep	09:24	+			-	

NOAA beelden met drijfslagen

De drijfslagen te zien op de NOAA beelden rond 14 en 15 augustus worden qua tijdstip goed gesimuleerd, zowel wanneer de windgegevens van de Kooy en als die van Lelystad worden gebruikt. Echter de lokatie klopt niet, de drijfslag bevindt zich in het zuiden en niet in het noorden zoals FUZZYSCUM aangeeft.

Op 21 augustus geeft FUZZYSCUM een drijfslag aan wanneer de windgegevens van Lelystad worden gebruikt (Figuur 19). Wanneer de winddata van de Kooy worden gebruikt ontstaat er 's ochtends een drijfslag maar deze verdwijnt in de middag. Op de NOAA-beelden van deze middag is een drijfslag in het zuiden te zien. FUZZYSCUM geeft deze drijfslagen in het noorden aan.

Op 29-8 is op de beelden een heel klein drijfslagje te zien bij de IJsselmonding deze wordt door FUZZYSCUM gemist.

Op 3 september is op het NOAA beeld van 14:54 een klein drijfslagje bij de houtribdijk te zien. Bij FUZZYSCUM met windgegevens van Lelystad wordt er een drijfslag opgebouwd in het noorden en zuid oost, wanneer de windgegevens van De Kooy worden gebruikt is er geen drijfslag. De biomassa in de drijfslag komt bij FUZZYSCUM niet boven de 10 g/m^2 maar in het zuiden is de biomassa volgens DBS laag.

De drijfslagen later in het jaar (10-13 september en 19-21 september) worden door FUZZYSCUM goed gesimuleerd. Ook hier geeft het gebruik van de windgegevens van Lelystad de beste resultaten.

FUZZYSCUM geeft een drijfslag aan op 17-07-91 (uur 0), aan het eind van de dag is deze verdwenen. Deze is op het NOAA beeld 's middags al niet meer te zien.

Op 6-9 t/m 7-9 en 24-9 geeft FUZZYSCUM een drijfslag, van deze periodes zijn geen beelden beschikbaar.

Gegevens Lelystad

<i>1991</i>	<i>NOAA geen drijfslag</i>	<i>NOAA Drijfslag</i>	<i>zwaar bewolkt beeld</i>	<i>geen beeld</i>
<i>FUZZYSCUM geen drijfslag</i>	<i>37</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	
<i>FUZZYSCUM drijfslag</i>	<i>8</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>6</i>

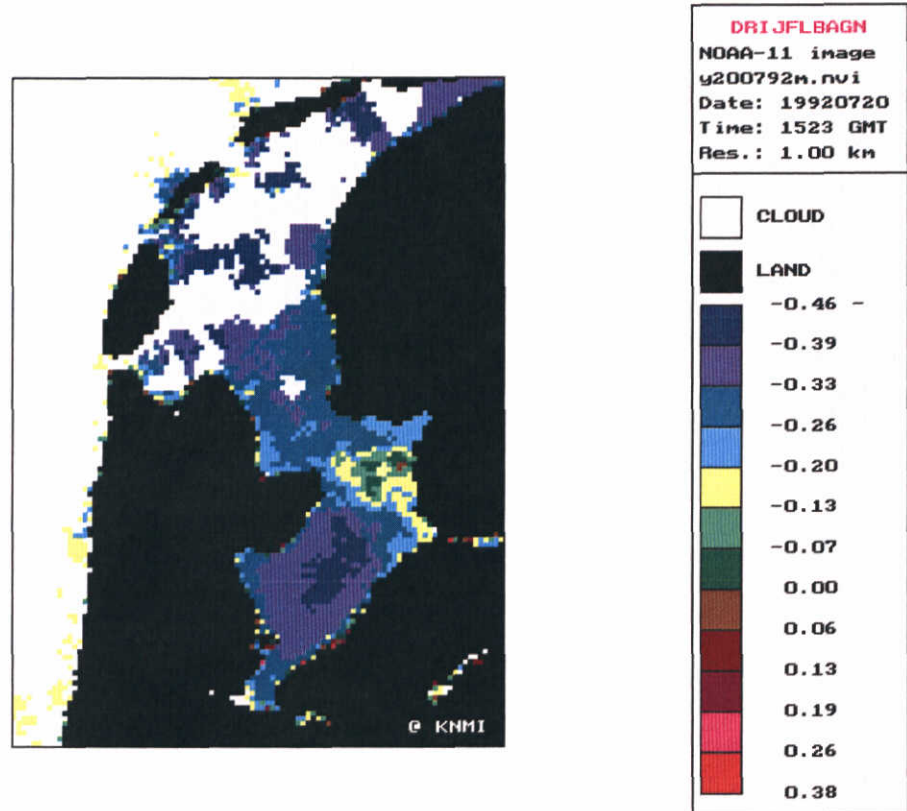
6.8 1992-1997

Van deze periode zijn veel beelden beschikbaar. Deze zijn echter vaak bewolkt, waardoor moeilijk is te zien of er drijfslagen aanwezig zijn. Er zijn in het algemeen geen drijfslagen te zien op de beelden van deze jaren. Op de beelden van 20-7-1992 (Figuur 20) en 18-9-93 (Figuur 21), is een geringe drijfslag te zien, deze beelden worden expliciet behandeld.

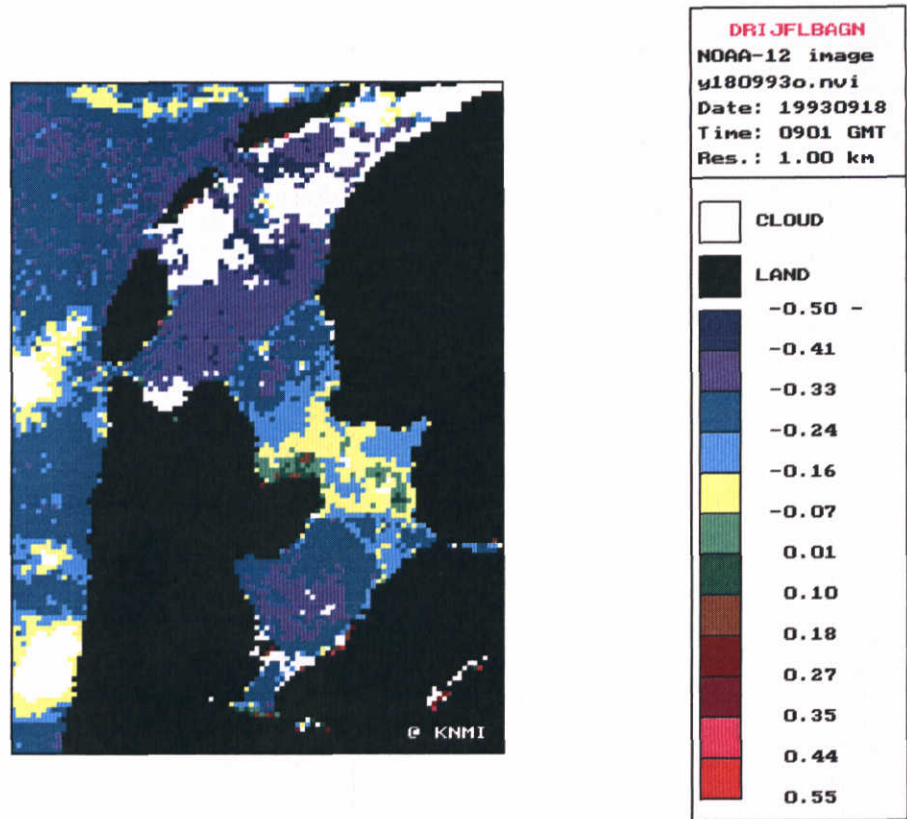
1992

In 1992 zijn heel weinig geschikte NOAA beelden. Het merendeel van de beschikbare beelden (64) bevat veel bewolking. Het zichtbare deel van het IJsselmeer bevat vrijwel nooit drijfslagen. Op 20 juli is er een kleine drijfslag aanwezig.

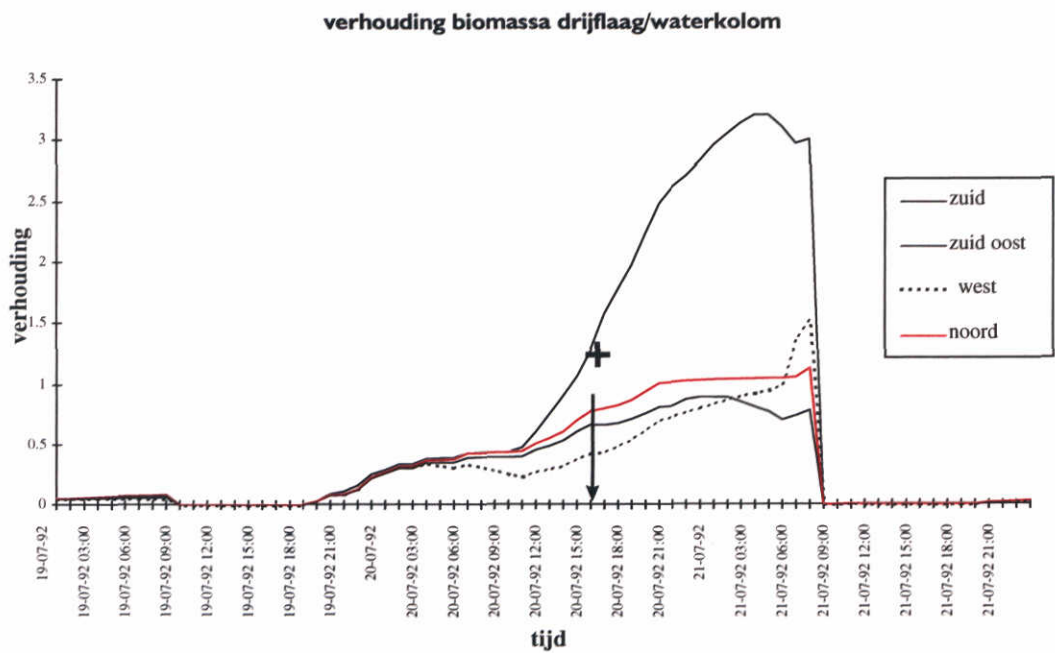
De drijfzagen op het NOAA-beeld van 20 juli 15:23h wordt door FUZZYSCUM gemist bij gebruik van de windgegevens van de Kooy. Wanneer echter lokale windgegevens (Lelystad) worden gebruikt door FUZZYSCUM wordt wel duidelijk dat op dit moment een drijfzagen aanwezig is. In Figuur 22 is de verhouding tussen de biomassa in de drijfzagen en de waterkolom te zien in de periode 19-21 juli. Op 20 juli 15:00 bevindt zich op lokatie zuid oost ruim 1.5 keer zoveel biomassa in de drijfzagen als in de waterkolom. In de loop van de dag bouwt de drijfzagen zich nog verder op. De totale gesimuleerde biomassa op deze lokatie op dit tijdstip is echter gering zodat de biomassa in de drijfzagen niet boven de 10 g/m^2 komt.



Figuur 20 NOAA-beeld van 20-7-92.



Figuur 21 NOAA beeld van 18-9-93.



Figuur 22 Verhouding biomassa in de drijfslaag en waterkolom van 19-21 juli 1992.

1992	NOAA geen drijfslaag	NOAA Drijfslaag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslaag	25	1	27	
FUZZYSCUM drijfslaag	1	0	1	5

1993

Ook in 1993 is er een beeld waarop een drijfslag te zien is (Figuur 21). FUZZYSCUM geeft op hetzelfde moment ook een drijfslag aan. Op 28 beelden is geen drijfslag te zien; in drie gevallen is er volgens FUZZYSCUM wel een drijfslag.

1993	NOAA geen drijfslag	NOAA Drijfslag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslag	25	0	20	
FUZZYSCUM drijfslag	3	1	1	4

1994

Op de beelden van 1994 zijn geen drijfslagen te zien:

FUZZYSCUM geeft 7 keer een drijfslag aan. In 5 gevallen is van die periode geen NOAA-beeld in de twee andere gevallen is er op het beeld geen drijfslag te zien.

1994	NOAA geen drijfslag	NOAA Drijfslag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslag	35	0	26	
FUZZYSCUM drijfslag	2	0		5

1995

In 1995 zijn 39 onbewolkte, 32 halfbewolkte en 38 zwaar bewolkte beelden. Er zijn geen beelden met drijfslagen. FUZZYSCUM geeft ook weinig drijfslagen aan (8 periodes) in 1995.

1995	NOAA geen drijfslag	NOAA Drijfslag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslag	71	0	38	
FUZZYSCUM drijfslag	3	0	1	3

1996

De set NOAA-beelden in de periode juli-okt is zeer onvolledig:

- juli 14 beelden (in de periode 11-7 t/m 26-7).
- augustus 14 beelden (19-8 t/m 24-8).
- september 6 beelden (op 9-9, 13-9, 26 en 27-9)
- oktober 12 beelden (13-10 t/m 26-10)

Er zijn in 1996 weinig NOAA-beelden zonder bewolking. Soms is een deel van het IJsselmeer onbewolkt. Er zijn geen drijfslagen van blauwalgen zichtbaar op de beschikbare beelden van 1996.

1996	NOAA geen drijfslag	NOAA Drijfslag	zwaar bewolkt beeld	geen beeld
FUZZYSCUM geen drijfslag	26	0	14	
FUZZYSCUM drijfslag	1	0		13

1997

Van 1997 zijn 126 beelden beschikbaar, 76 daarvan zijn bruikbaar. Op deze beelden staan geen drijfslagen. Voor het jaar 1997 is geen model gedraaid omdat er geen watertemperatuur gegevens beschikbaar waren.

7 Risicoanalyse

Aan de hand van de NOAA-beelden en FUZZYSCUM resultaten is het risico op het voorkomen van drijfslagen (frequentie, periode en tijdstip op de dag) en de plaats van risicolokaties onderzocht.

7.1 Frequentie

NOAA

Op 23 van de 385 geanalyseerde beelden staat een drijfslag (6%). In de geanalyseerde periode vallen 3014 beeldmomenten. In dit tijdbestek (12 jaar en een maand, juli-okt 86-97 + aug 83) zouden dus 180 beeldmomenten zijn met drijfslagen. Dit is waarschijnlijk een overschatting omdat in de tachtiger jaren de beelden niet a-selectief werden aangeleverd maar vooral wanneer er drijfslagen waren gesignaleerd. Volgens de NOAA-beelden neemt de frequentie van drijfslagen af, 1991 is het laatste jaar met beelden met omvangrijke drijfslagen.

FUZZYSCUM

FUZZYSCUM geeft soms drijfslagen aan terwijl deze op de beelden niet te zien zijn en in periodes waar geen bruikbare beelden van zijn. Tabel 5 geeft het aantal door FUZZYSCUM gesimuleerde drijfslagenuren aan. In totaal wordt 1913 uur aangegeven van de 32472 uur (11 jaar) (kleine 6%). In de simulaties van FUZZYSCUM ontstaan er ook in de jaren na 1991 omvangrijke drijfslagen.

Tabel 5 Aantal uren dat FUZZYSCUM een drijfslag voorspelt (biomassa >10 gC/m²) op ten minste een van de vier lokaties (zie Figuur 13).

Jaar	juli	aug	sep	okt	totaal
1986	41	51	106	31	229
1987	41	68	30	5	144
1988	7	122	47	4	180
1989	122	93	37	9	261
1990	39	74	26	0	139
1991	102	86	16	43	247
1992	15	33	0	1	49
1993	0	43	84	0	127
1994	37	10	2	144	193
1995	28	24	22	58	132
1996	21	36	103	52	212
totaal	453	640	175	347	1913

7.2 Periode

De NOAA-beelden met drijfslagen vallen op een na (1992) in de maanden augustus en september.

Tabel 5 geeft het aantal door FUZZYSCUM aangegeven drijfslaguren per maand voor de jaren 1986-1996. FUZZYSCUM geeft drijfslagen aan in de periode juli t/m oktober. In augustus komen de meeste drijfslaguren voor. Er zijn grote verschillen in het aantal uren dat FUZZYSCUM drijfslagen aangeeft in de maanden juli, september en oktober. In oktober is het drijfslaggevaar meestal gering, echter in 1994 is er een hele lange periode met omstandigheden die gunstig zijn voor het ontstaan van drijfslagen.

7.3 Tijdstip van de dag

Van het tijdstip op de dag valt op grond van de NOAA-beelden weinig te zeggen. Weliswaar is het grootste deel (78%) van de beelden met drijfslagen 's middags waargenomen, maar er zijn echter van de periode 1983-1989 ook zeer weinig ochtendbeelden beschikbaar. De drijfslagen in FUZZYSCUM ontstaan vaak in de ochtenduren. Dit is er echter met de kennisregels ingebracht en is op grond van de beelden niet te controleren.

7.4 Lokatie

NOAA

De drijfslagen op de beelden liggen op verschillende lokaties. Vooral de (noord)westkust en het gebied rond de monding van de IJssel lijken gevoelig voor drijfslagen. Er staan geen drijfslagen langs de Friese kust op de beelden (Noord Oost).

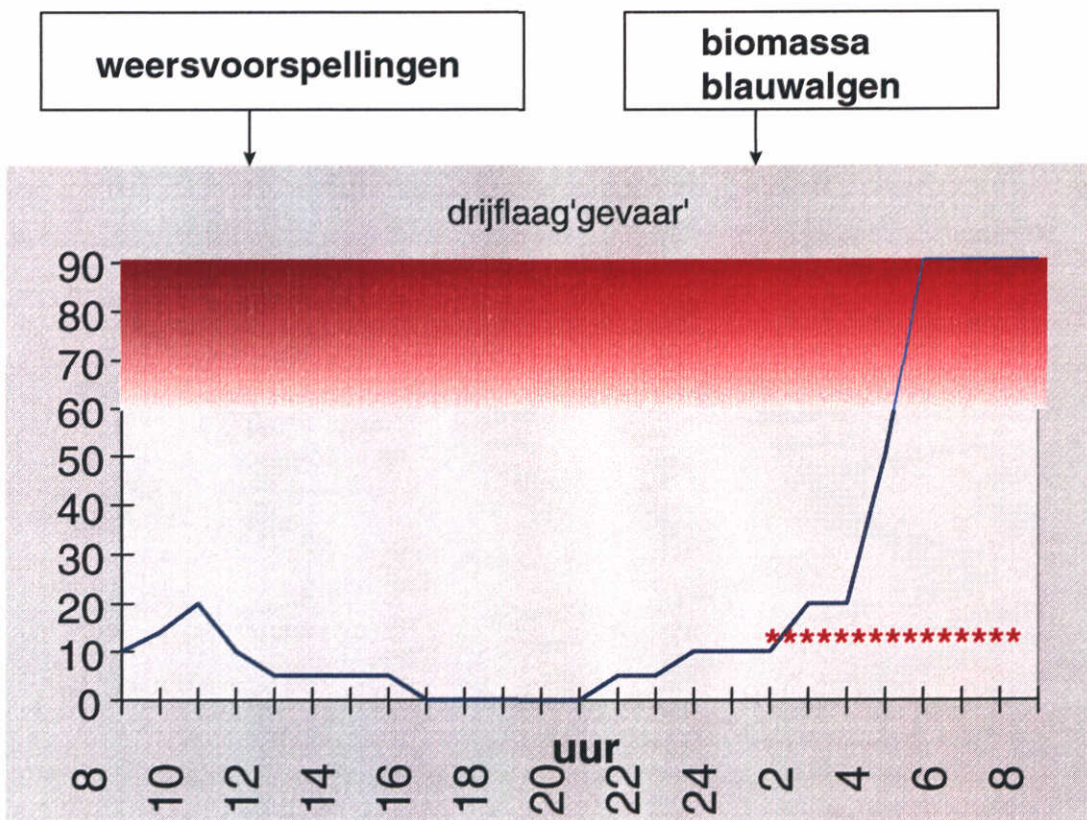
FUZZYSCUM

De verschillen in het ontstaan van een drijfslag per lokatie worden in FUZZYSCUM vooral bepaald door het verschil in biomassa per lokatie. De drijfslagperiodes van FUZZYSCUM (Tabel 5) zijn vooral in het westen en noorden omdat de biomassa's daar het hoogst zijn. De verhouding biomassa in de drijfslag en biomassa in de waterkolom is wel vaak hoog in de zuidoosthoek vanwege de hoge door wind aanvoerde biomassa van blauwalgen in de drijfslag.

8 Early-warning system

8.1 Inleiding

Het doel van dit project is om een aanzet te geven tot de ontwikkeling van een systeem dat een waarschuwing afgeeft wanneer er een drijfslag te verwachten is. Beheerders van bijv. zwemwaterlokaties moeten deze informatie in de zomerperiode direct kunnen opvragen. FUZZYSCUM-EARLY-WARNING zou deze drijfslag moeten voorspellen op grond van weervoorspellingen en schattingen van de biomassa van blauwalgen (Figuur 23).



Figuur 23 FUZZYSCUM EARLY WARNING, **** geven aan wanneer er actie tegen drijfslagen moet worden genomen.

weervoorspellingen

Weervoorspellingen worden gedaan op basis van modellen (gekoppeld aan een GIS) en zo kunnen lokale voorspellingen worden gedaan voor o.a. de windsnelheid, de windrichting en de bewolking voor de komende 24 uur of langer. Het is mogelijk deze weervoorspellingen te verkrijgen op uurbasis voor elke lokatie op of rond het IJsselmeer. Hoe langer de voorspelde periode hoe onnauwkeuriger, voor een waarschuwingssysteem lijkt een voorspelling van de komende 24-36 uur voldoende.

De windsnelheid is de belangrijkste variabele voor FUZZYSCUM. De fout in de voorspelling van de windsnelheid is minder dan 0.5 m/s (pers. communicatie Wieger Scheur KNMI). Deze fout is een combinatie van de absolute fout: het waait bijvoorbeeld minder hard dan verwacht en de verschuiving in de tijd: de wind gaat bijvoorbeeld eerder liggen dan verwacht. Bij lage windsnelheden (het voor drijfvlagen gevoelige gebied) is de fout waarschijnlijk nog minder dan 0.5 m/s.

Ook bij de voorspellingen van de windrichting en instraling treden fouten op. Het exacte moment waarop de wind gaat draaien of wanneer de bewolking overkomt zijn voor FUZZYSCUM van minder belang. Belangrijk is wat de overheersende windrichting de komende uren zal zijn en of het een (zwaar) bewolkte of (zeer) zonnige dag zal gaan worden.

biomassaschattingen

De biomassa van blauwalgen op het moment van de waarschuwing is een belangrijke factor voor FUZZYSCUM. De biomassa kan op verschillende manieren met elk hun eigen nauwkeurigheid ingevoerd worden bijv. modelresultaten (DBS, neurale netwerk), metingen, op grond van vuistregels m.b.t. de datum (in augustus is de biomassa hoog) of combinaties hiervan.

8.2 Simulaties

Om een idee te krijgen van de gevoeligheid van FUZZYSCUM voor de fout in de voorspellingen zijn de prestaties van FUZZYSCUM werkend met gesimuleerde 'weervoorspellingen' voor de jaren 1983, 1989 en 1991 vergeleken met de resultaten van FUZZYSCUM werkend met weersgegevens.

8.2.1 Invoer

De gesimuleerde weervoorspellingen bevatten alleen een fout in de windsnelheid. In de gesimuleerde situatie is voorspelling van de windsnelheid constant 0.4 m/s te hoog; de werkelijk opgetreden windsnelheden liggen lager. De resultaten van FUZZYSCUM bij voorspellingen en bij 'werkelijk opgetreden' windsnelheden worden met elkaar vergeleken. Dit gebeurt bij lage windsnelheden (het voor drijfvlagen gevoelige gebied).

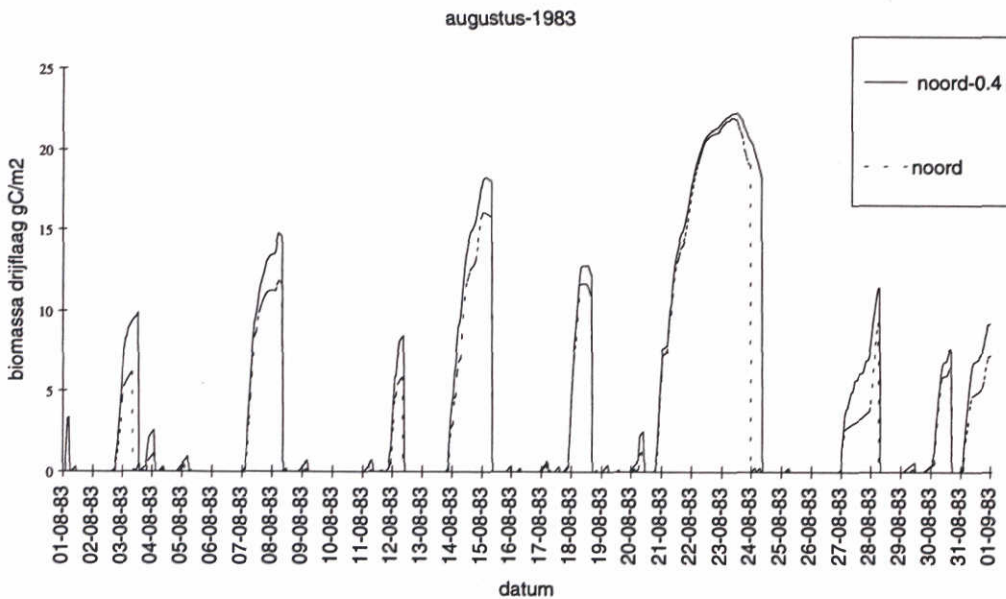
8.2.2 Resultaten

Het verschil tussen de resultaten van FUZZYSCUM met de windgegevens en de gesimuleerde windvoorspellingen is te zien in Figuur 24 tot Figuur 26. De lijn noord geeft de resultaten op lokatie noord, de lijn noord-0.4 geeft aan wat de resultaten zijn indien de werkelijke windsnelheid 0.4 lager uitpakt.

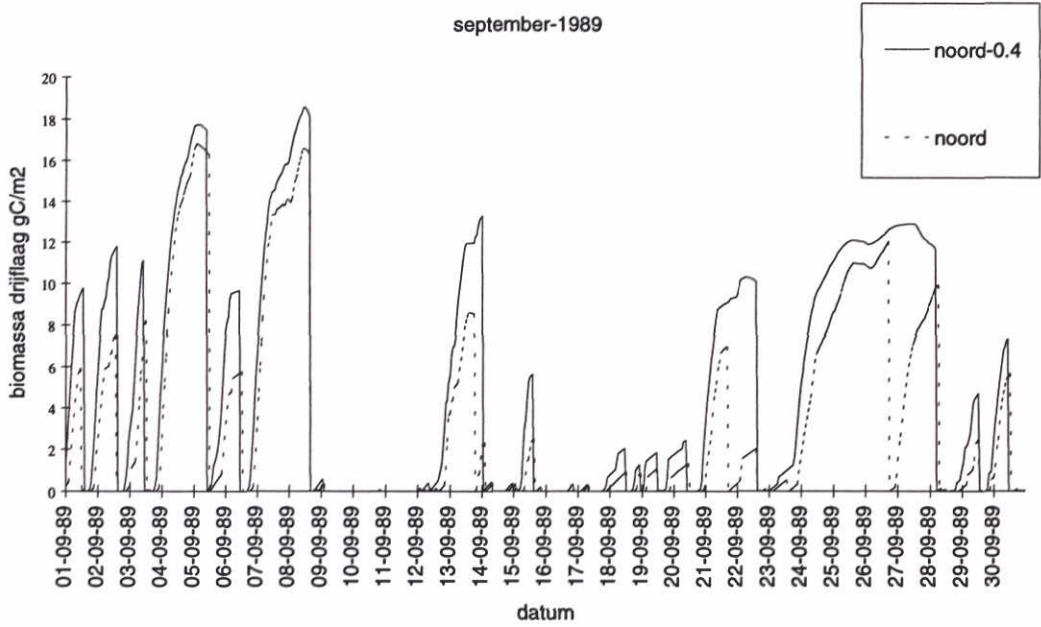
FUZZYSCUM is niet zo gevoelig voor een afwijking van 0.4 m/s in de windsnelheid (voor de gesimuleerde periodes en lokaties). Alle jaren laten hetzelfde beeld zien: zowel de metingen (noord-0.4) als de voorspellingen (noord) laten in dezelfde periodes drijfvlagen zien. De drijfvlagen bij noord-0.4 bouwen zich sneller op en verdwijnen soms later.

Indien de werkelijke windsnelheid 0.4 m/s lager uitpakt dan een voorspelling blijft een drijfzand langer bestaan dan voorspelt. Het is in de praktijk belangrijk te kunnen inschatten hoe lang een drijfzand zal blijven bestaan. Het iets later verdwijnen is echter minder belangrijk voor een waarschuwingssysteem dan een fout in het tijdstip van verschijnen. Een beheerder van zwemwater kan een waarschuwing langer aanhouden wanneer er nog steeds een drijfzand wordt waargenomen of vanwege de acties van een beheerder zal er geen drijfzand ontstaan, bijvoorbeeld bij gebruik van een bellenscherm.

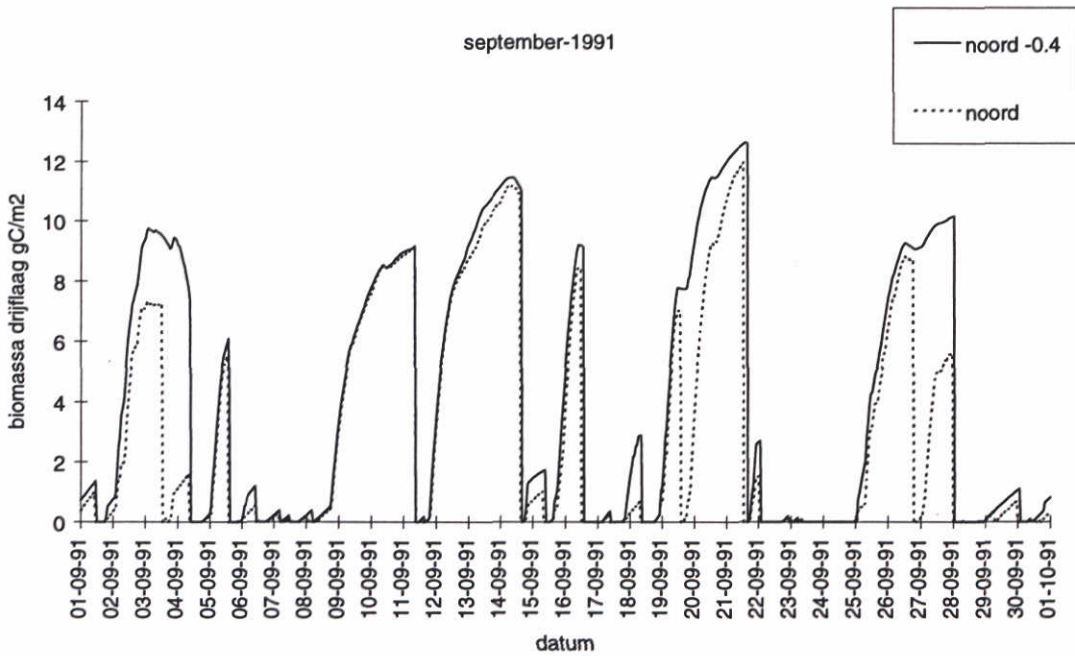
Ook zal de situatie zoals die zich bijv. voordoet rond 26-27 september 1991 geen veranderingen aanbrengen in de acties die een beheerder moet ondernemen. Op grond van de voorspellingen voor 26 september zal de beheerder actie moeten ondernemen, deze waarschuwing is aan het eind van de dag niet meer van kracht, maar voor 27 september geldt de waarschuwing wel weer zodat er toch een aaneengesloten periode is waarin de beheerder bijv. een bellenscherm aan moet zetten.



Figuur 24 Resultaten van FUZZYSCUM voor augustus 1983 lokatie noord: gesimuleerde biomassa in de drijfzand bij weergegevens en bij weervoorspellingen (afwijking van 0.4 m/s).



Figuur 25 Resultaten van FUZZYSCUM voor september 1989 lokatie noord: gesimuleerde biomassa in de drijfslaag bij weergegevens en bij weervoorspellingen (afwijking van 0.4 m/s).



Figuur 26 Resultaten van FUZZYSCUM voor september 1991 lokatie noord: gesimuleerde biomassa in de drijfslaag bij weergegevens en bij weervoorspellingen (afwijking van 0.4 m/s).

9 Discussie

NOAA-beelden

De resultaten van FUZZYSCUM zijn in deze studie vergeleken met NOAA beelden. NOAA beelden zijn geschikt voor deze analyse. Er zijn echter beperkingen:

- De reflectiebeelden van de satelliet worden omgerekend naar een ruimtelijk variërende vegetatie-index (de maat voor drijfslaagvorming). Een positieve waarde voor de vegetatie index betekent een drijfslaag, het zou echter kunnen dat deze grens iets te 'streng' of te 'soepel' is.
- De set van beelden in de periode juli-oktober is niet volledig. Van de laatste jaren (1996-1997) zijn vrijwel alle beelden beschikbaar, maar op een groot deel is door bewolking het IJsselmeer of een deel ervan niet te zien.
- Er kunnen op grond van de beelden geen uitspraken worden gedaan of er drijfslagen zijn op de oevers van het IJsselmeer. Een vakje bij de oever kan een hoge vegetatie-index hebben omdat het net land is of het kan een drijfslaag bevatten. Dit is een serieus nadeel omdat drijfslagen door wind ook vaak tegen de kust aan worden gedreven.

FUZZYSCUM

In totaal zijn er 309 beelden beschikbaar in de jaren tot/met 1996.

Totaal	NOAA geen drijfslaag	NOAA Drijfslaag
FUZZYSCUM geen drijfslaag	266	4
FUZZYSCUM drijfslaag	20	19

Op 286 beelden staat geen drijfslaag, FUZZYSCUM geeft op 266 ook geen drijfslaag aan (93% goed). Echter op 20 beelden geeft FUZZYSCUM aan dat er een drijfslaag aanwezig terwijl deze op het beeld niet te zien is.

Op 23 beelden is een drijfslaag aanwezig, in 19 gevallen doet FUZZYSCUM het goed (83%). In 4 gevallen gaat FUZZYSCUM in de fout. In drie gevallen (in het zuiden) is dit het gevolg van een zeer lage voorspelde biomassa ter plaatse.

De voorspelling van de biomassa van blauwalgen is gedaan door DBS. Uit de studie in Michielsen & Los (1997) is gebleken dat DBS (voor de jaren 1988, 1989 en 1991) de biomassa van blauwalgen goed voorspelt. De ruimtelijke gradiënt die DBS voorspelt: hogere biomassa in het noorden van het IJsselmeer dan in het zuiden, is ook in de metingen terug te vinden. De voorspelde biomassa blauwalgen in het zuiden is echter zo laag dat daar zeer zelden een drijfslaag zal optreden. Op de NOAA beelden zijn in het zuiden wel drijfslagen waar te nemen. Mogelijke oorzaken:

- In DBS (en metingen) is de graasdruk van driehoeksmosselen in het zuiden groter dan in het noorden van het IJsselmeer. Dit is een belangrijke oorzaak van de noord-zuid gradiënt in het IJsselmeer. Het zou kunnen zijn dat graas van driehoeksmosselen voor drijfalgvormende blauwalgen niet zo van belang is omdat zij zich een groot deel van de tijd hoog in de waterkolom bevinden en wellicht onbereikbaar zijn voor driehoeksmosselen.
- Er is gebruik gemaakt van een beperkte actuele invulling van DBS,
- DBS berekent de biomassa van drijfalgvormende blauwalgen en niet-drijfalgvormende blauwalgen niet afzonderlijk. Het zou kunnen zijn dat er lokale of ruimtelijke verschillen in de verhouding tussen deze twee groepen zijn.
- Er is geen terugkoppeling tussen de onderdelen van FUZZYSCUM (Figuur 11). Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat door drijfalgvorming en verplaatsing over het IJsselmeer er biomassa aan blauwalgen 'verdwijnt'.
- Een mogelijke oorzaak is dat de verspreiding van een drijfslag over het IJsselmeer sneller gaat dan aangenomen. M.a.w. de drijfslag ontstaat niet op de lokatie maar de biomassa wordt door de wind aangevoerd.
- In FUZZYSCUM verdwijnt een drijfslag binnen een uur, hoe dik deze ook is. Hoewel dit proces in werkelijkheid ook zeer snel kan gaan, moet er misschien toch rekening gehouden worden met de dikte van de ontstane drijfslag. Bovendien, verdwijnt een drijfslag in FUZZYSCUM instantaan wanneer de waarde van 'mate van verdwijnen' boven een drempel is. Het geleidelijk verdwijnen n.a.v. de waarde van genoemde parameter kan de resultaten van FUZZYSCUM mogelijk ten goede komen.

In het overgrote deel van de gevallen van beelden zonder drijfslag voorspelt FUZZYSCUM ook geen drijfslag (93% goed). Op 20 beelden geeft FUZZYSCUM aan dat er een drijfslag aanwezig terwijl deze op het beeld niet te zien is. De fout is niet erg groot en een waarschuwing afgeven terwijl er geen drijfslag ontstaat is niet zo erg als het missen van een drijfslag. Toch moet 'vals alarm' beperkt blijven. Mogelijke oorzaken van vals alarm:

- De windsnelheid is een zeer belangrijke parameter voor FUZZYSCUM. Het zou kunnen zijn dat de klasse-indeling of het aantal klassen van deze parameter aangepast zouden moeten worden, zodat er 'fijner' geredeneerd kan worden.
- De gemodelleerde stijgsnelheid van de algen is te hoog.

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

validatie

In totaal zijn er 309 beelden beschikbaar in de jaren tot/met 1996.

Totaal	NOAA geen drijfslag	NOAA Drijfslag
FUZZYSCUM geen drijfslag	266	4
FUZZYSCUM drijfslag	20	19

Op 286 beelden staat geen drijfslag, FUZZYSCUM geeft op 266 ook geen drijfslag aan (93% goed) Echter op 20 beelden geeft FUZZYSCUM aan dat er een drijfslag aanwezig terwijl deze op het beeld niet te zien is. Op 23 beelden is een drijfslag aanwezig, in 19 gevallen doet FUZZYSCUM het goed (83%). In 4 gevallen gaat FUZZYSCUM in de fout. In drie gevallen is dit het gevolg van een zeer lage biomassa ter plaatse.

1. FUZZYSCUM levert goede resultaten:
Het tijdstip van voorkomen van een drijfslag wordt goed gesimuleerd, de lokatie echter niet
2. Er zijn lange periodes waarvan geen geschikte beelden zijn. In de geanalyseerde periode leverde slechts 385 van de 3014 beeldmomenten een geschikt beeld op.

risico-analyse

- Het risico op drijfslagen is aanzienlijk (6% van de tijd in de periode juli-oktober).
- Het risico op drijfslagen neemt door de jaren heen waarschijnlijk niet af. Volgens de NOAA beelden zijn er na 1991 geen aanzienlijke drijfslagen meer geweest. FUZZYSCUM geeft echter nog wel drijfslagen aan, vooral op momenten waar geen beelden van zijn.
- Het risico op drijfslagen is het grootst in augustus, maar ook in juli, september en oktober kunnen drijfslagen voorkomen.
- Het risico op drijfslagen lijkt het minst langs de Noord-oost kust van het IJsselmeer. Vooral de noordwesthoek en de zuidoosthoek van het IJsselmeer zijn gevoelig voor drijfslagen.

Waarschuwingssysteem

- FUZZYSCUM lijkt niet erg gevoelig voor een afwijking van 0.4 m/s in de windsnelheid (de maximale fout in de windvoorspelling van 24 uur)

10.2 Aanbevelingen

FUZZYSCUM EARLY WARNING

FUZZYSCUM EARLY WARNING heeft voldoende potentie om verder ontwikkeld te worden tot een instrument dat te gebruiken is in het dagelijks beheer van het IJsselmeer. Voor de verdere ontwikkeling van *FUZZYSCUM* wordt aanbevolen:

1. invoer

- Wanneer *FUZZYSCUM* rekent met lokale windsnelheden komen de resultaten beter overeen met de beelden dan wanneer de gegevens van een verder weg gelegen weerstation worden gebruikt. *FUZZYSCUM EARLY WARNING* zou dus ook met lokale weervoorspellingen moeten werken.
- De lokale biomassa van blauwalgen is van groot belang voor *FUZZYSCUM EARLY WARNING*. Aanbevolen wordt de invoer van de biomassa aan te passen door:
 - de biomassamodellering aan te passen
 - * DBS door bijvoorbeeld selectieve graas van mosselen in te voeren, of meer nadruk te leggen op de modellering van verschillende blauwalgsoorten.
 - * te onderzoeken of biomassa modellering door een artificieel Neuraal Netwerk mogelijk is. Dit netwerk 'leert' uit bestaande datasets en/of modeluitkomsten de relaties tussen bijv. waterkwaliteitsparameters, tijd van het jaar en de biomassa grazers wat de biomassa van drijfslagvormende blauwalgen is (Michielsen & van den Boogaard 1996).
 - biomassa metingen te verrichten op risico-lokaties op verschillende dieptes in de waterkolom. De resultaten van deze metingen moeten snel beschikbaar worden gemaakt voor *FUZZYSCUM EARLY WARNING*. Dit zou bijvoorbeeld gedaan kunnen worden met automatische monsternamen zoals dat gebeurt op een groot aantal veeboten in de Oostzee. De resultaten van deze metingen komen direct beschikbaar via fax/internet.
 - de resultaten van biomassametingen en biomassamodellering te koppelen.

2. ontwerp

- Drijfvlagen doen zich vaak voor in jachthavens of zwemwaterlokatie waar de lokale omstandigheden sterk af kunnen wijken van die in het totale IJsselmeer. In Los en Vonk (1996) is een eenvoudig model (fuzzy kennisstelsel) beschreven dat het ontstaan en verdwijnen van drijfvlagen in jachthavens voorspelt (zie bijlage B). Hierbij wordt ingegaan op de lokale situatie en wordt ook de windrichting in de voorspelling meegenomen. Het verdient aanbeveling te onderzoeken of voor een waarschuwingssysteem voor bijv. jachthavens dit model zou kunnen worden gebruikt. In het verlengde hiervan zou nagegaan kunnen worden in hoeverre een vorm van koppeling van beide modellen mogelijk is.
- Fuzzy verdwijnen d.w.z. geen harde verdwijndrempel gebruiken zou tot een verbetering kunnen leiden.
- Terugkoppeling aanbrengen tussen de onderdelen van Fuzzyscum zodat rekening gehouden wordt met het feit na het verdwijnen van een drijfslag de biomassa op die lokatie hoger is dan door DBS berekend.

FUZZYSCUM

Het verdient aanbeveling *FUZZYSCUM* toe te passen in een ander meer of gebied waar problemen zijn met drijfslagen. Op deze wijze kan onderzocht worden hoe generiek het fuzzy logic kennissysteem is.

Waarnemingen drijfslagen:

De beelden van de NOAA satelliet geven geen volledig beeld van wat er gebeurt in de periode dat drijfslagen kunnen voorkomen. Bovendien kunnen op grond van de beelden geen uitspraken worden gedaan of er drijfslagen zijn op zeer kritische lokaties: de oevers van het IJsselmeer. Een vakje bij de oever kan een hoge vegetatie-index hebben omdat het net land is of het kan een drijfslag bevatten. Er wordt dan ook aanbevolen aanvullende waarnemingen te doen:

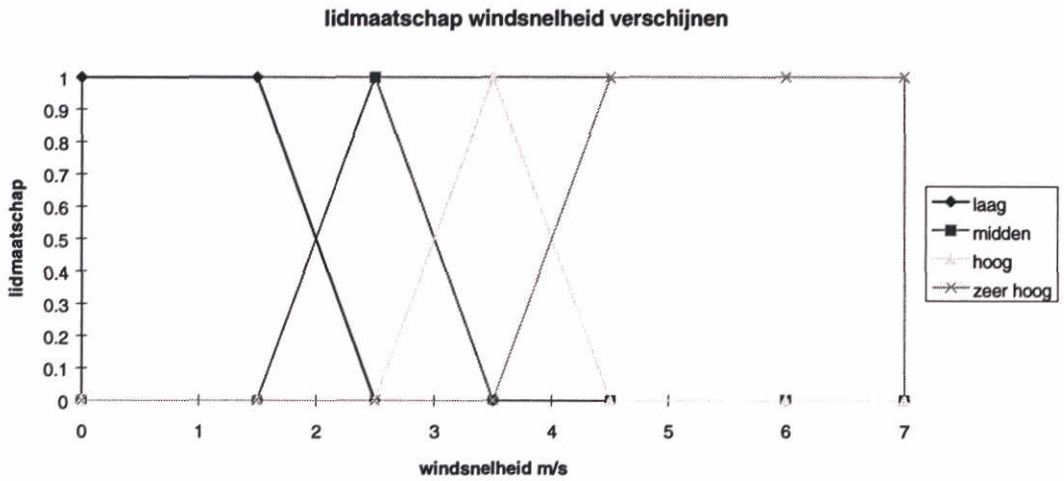
- met andere remote sensing bronnen, zoals andere satellieten (MOS / MERIS) of vliegtuigen. Deze hebben het voordeel dat direct een ruimtelijk beeld wordt verkregen.
- directe waarnemingen van drijfslagen. Dit zou kunnen door drijfslagen op te nemen in bestaande meetcampagnes, of door waarnemingen van bv. jachthavenbeheerders of watersporters te registreren.

II Literatuur

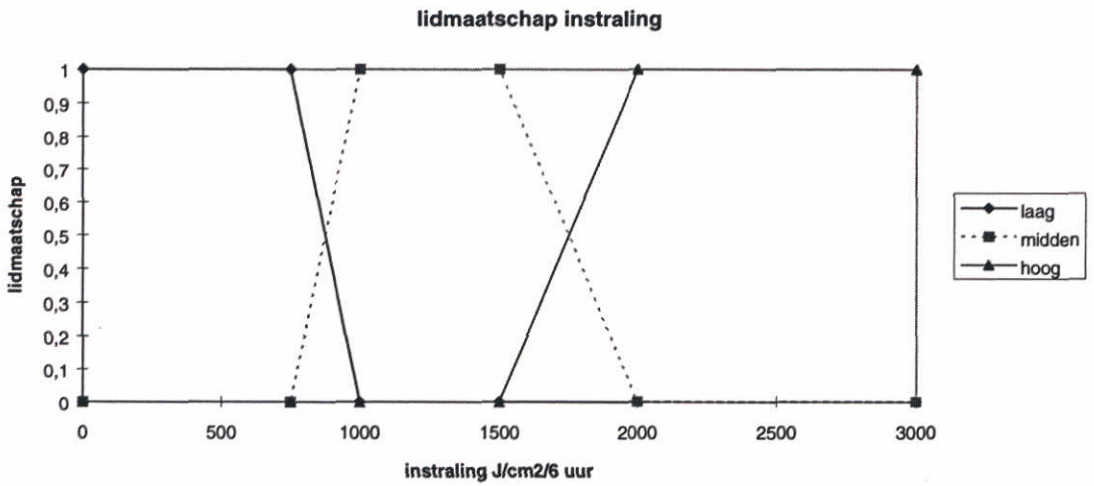
- Altrock C von. 1995
Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Applications Explained.
Prentice-Hall, New Jersey
- Buitenveld H., Krijgsman J. 1996
Spectral reflectance measurements of cyanobacteria scum and detection of floating algae layers using NOAA images.
in prep.
- Bokhorst M., Vonk M. 1997
Drijfvlagenmodule DBS
WL-rapport T1515.
- 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. 1992
Cyanobacterial waterblooms: the role of buoyancy in watercolumns of varying stability.
Proefschrift Universiteit van Amsterdam
- Los F.J., Michielsen B.F. 1996
Toepassing DBS IJsselmeer-Markermeer.
WL-rapport T1380.
- Los, F.J., Vonk, M. 1996.
Fuzzy Logic in ecologische modellen.
Research report DELFT HYDRAULICS, T2029.
- Michielsen, B.F. and Van den Boogaard, H. 1996.
Emulation of the fytoplankton model BLOOM II and reproduction of measurements using a neural network.
Research report DELFT HYDRAULICS, T1154.
- Prangma G.J. , Roozkrans J.N. 1989
Using NOAA AVHRR imagery in assessing water quality parameters.
Int. J. Remote Sensing 10, 811-818.
- STOWA, 1992.
Bestrijding van overlast door drijfvlagen van blauwwieren.
STOWA rapport nr. 92-03.
- Vonk M., Baptist M.J. 1997
The effects of Climate Change on the ecosystem of the Wadden Sea
WL-rapport T2056.
- Webster, I.T., Hutchinson, P.A., 1994.
Effect of the wind on the distribution of phytoplanktoncells in lakes revisited. *Limnology and Oceanography* 39(2), 365-373.

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

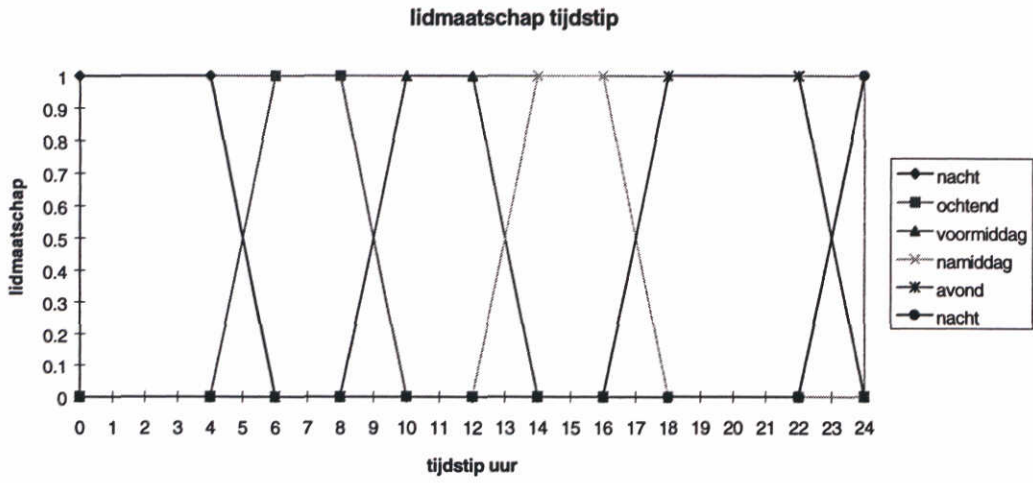
A Figuren en Tabellen



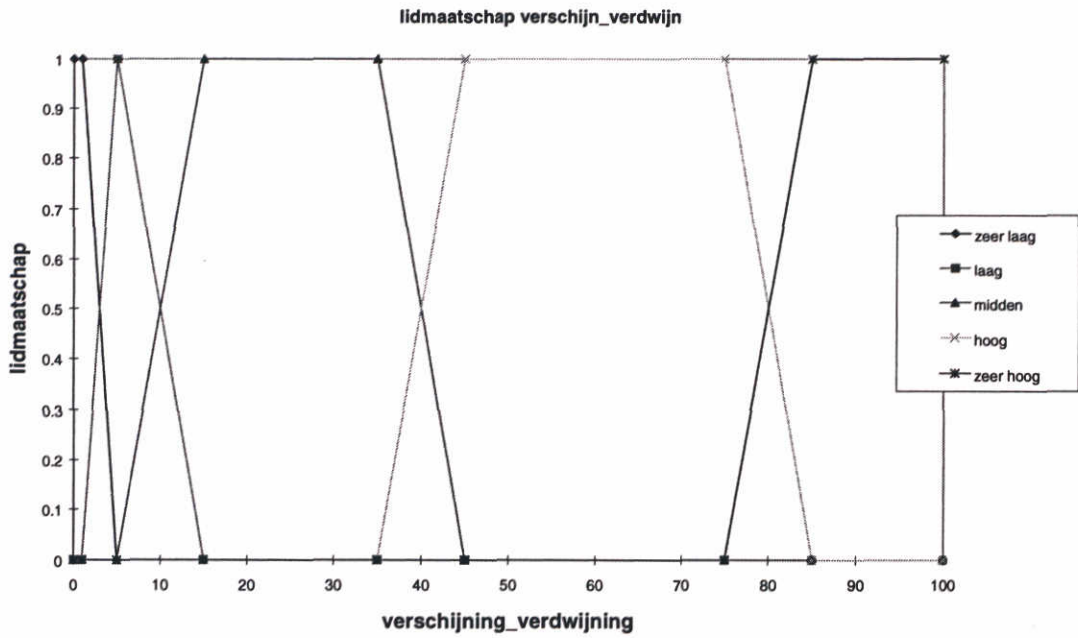
Figuur 27 Lidmaatschapsfuncties van de parameter windsnelheid verschijnen.



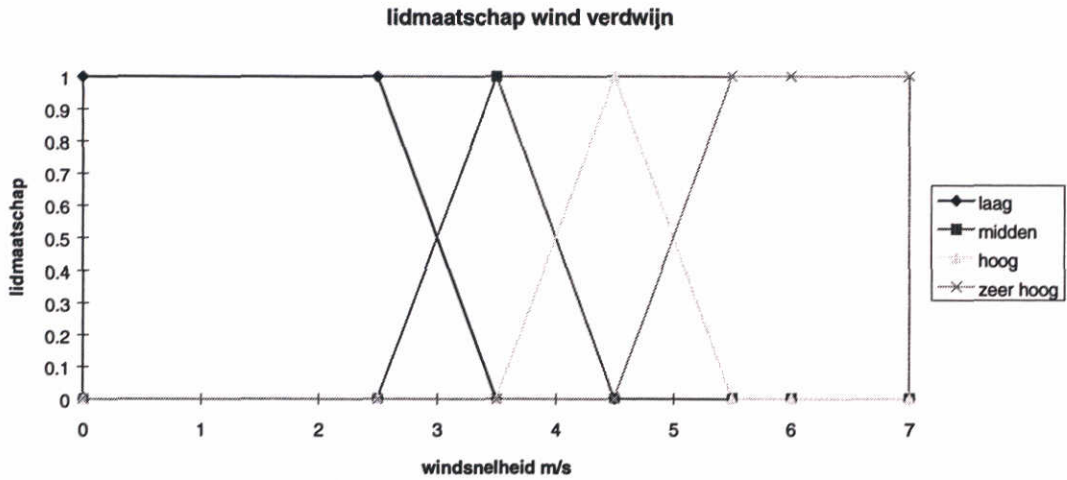
Figuur 28 Lidmaatschapsfuncties van de parameter instraling.



Figuur 29 Lidmaatschapsfuncties van de parameter tijdstip.



Figuur 30 Lidmaatschapsfuncties van de parameters verschijnen en verdwijnen.



Figuur 31 Lidmaatschapsfuncties van de parameter wind verdwijn.

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 6 Tabel met kennisregels ter bepaling van de stabiliteit van de waterkolom.

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

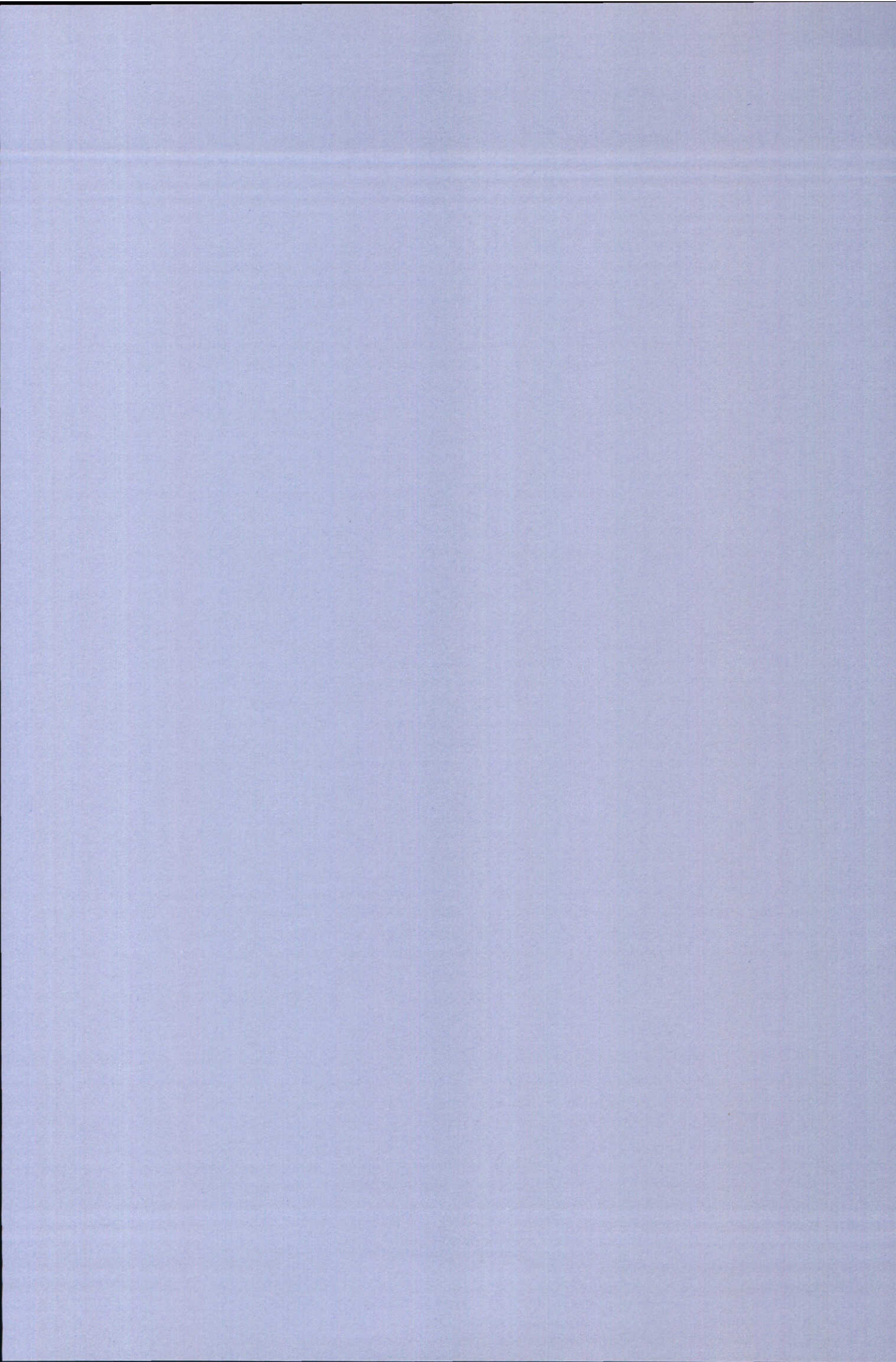
Tabel 7 Tabel met kennisregels ter bepaling van het drijfvermogen.

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 8 Tabel met kennisregels ter bepaling van de mate van verschijnen.

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

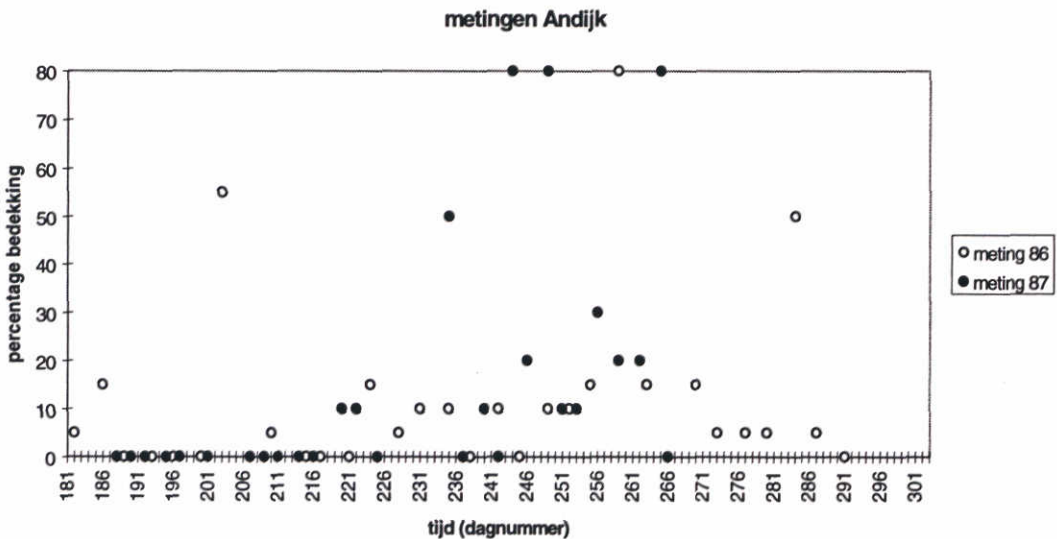
Tabel 9 Tabel met kennisregels ter bepaling van de mate van verdwijnen.



B Drijflagen in jachthavens

(Uit Los & Vonk 1996 Fuzzy Logic in ecologische modellen WL-T2029)

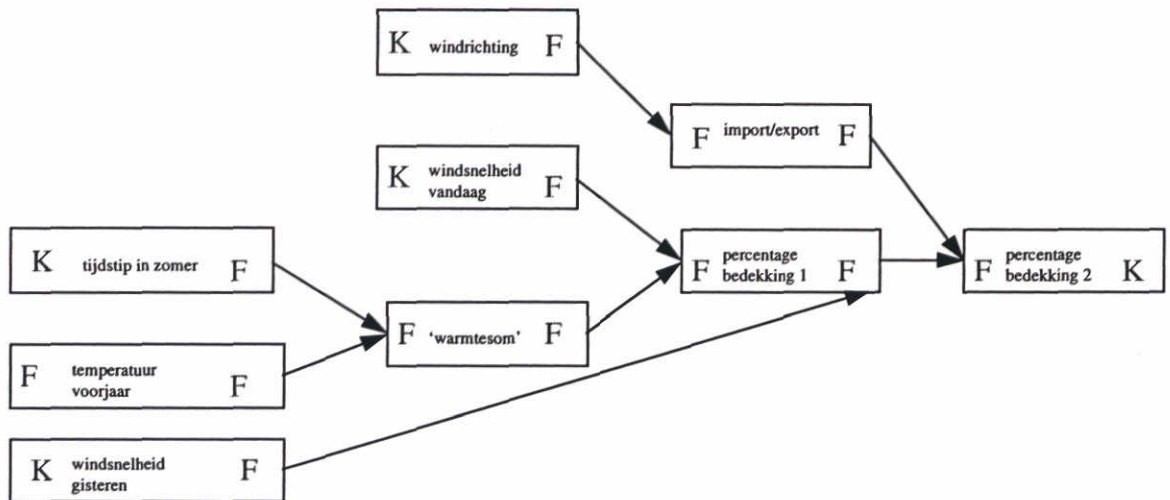
In deze studie zijn de resultaten van de enquête in jachthavens aan het IJsselmeer als testset gebruikt (RIZA). De, op een plattegrond van de jachthaven ingetekende drijflagen, zijn daartoe eerst omgezet in een kwantitatieve variabele: het percentage van het oppervlak water van de jachthaven dat bedekt is met een drijfslag. De waarnemingen zijn gedaan in de zomers van 1986 en 1987, in verschillende jachthavens aan het IJsselmeer. Als testhaven is de jachthaven van Andijk gekozen. In Figuur 32 zijn de waarnemingen te zien, in 1986 komen al in begin juli drijflagen voor, in 1987 worden de eerste drijflagen pas in augustus waargenomen.



Figuur 32 waarnemingen drijfslag Andijk in 1986 en 1987

B.1 Model

Het model berekent per dag het percentage bedekking met een drijfslag, aan de hand van enkele invoervariabelen en regels. In Figuur 33 is de structuur van het model schematisch weergegeven, de letters K en F bij elke variabele staan voor Kwantitatief en Fuzzy.



Figuur 33 schema fuzzy model

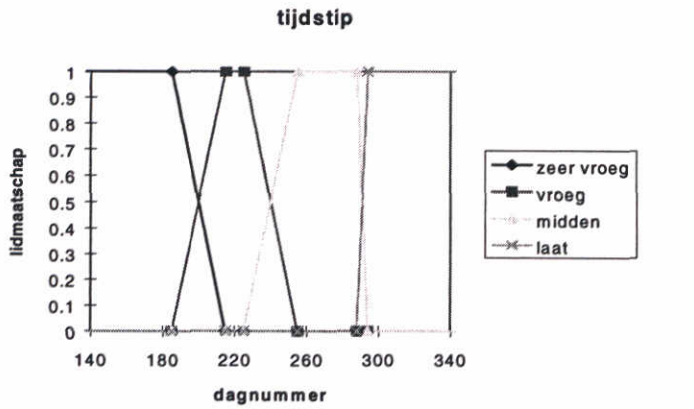
De invoervariabelen:

1. het **tijdstip in de zomer** wordt vanuit de datum (kwantitatief) ingedeeld in vier fuzzy klassen nl. *zeer vroeg*, *vroeg*, *midden* en *laat* (figuur 10 A)
2. **temperatuur voorjaar** wordt direct kwalitatief ingevoerd. Er zijn drie klassen: *koud*, *normaal* en *warm*. De waarden hiervan staan opgeslagen in een tabel met jaargegevens. Een voorjaar kan echter ook voor een deel warm en voor een deel normaal zijn (tabel 3).
3. de **windsnelheid vandaag** en **gisteren** worden kwantitatief ingevoerd in m/s (zie figuur 10 B) of in windkracht op de schaal van Beaufort. De windsnelheidsmeting van 9.00h is ingevoerd, dit is ook het tijdstip waarop de waarneming is gedaan. Er zijn vier klassen: *zeer laag*, *laag*, *midden* en *hoog*.
4. de **windrichting** wordt kwantitatief ingevoerd in graden. Er zijn vijf klassen, *noord1*, *oost*, *west*, *zuid* en *noord2*. *Noord* is opgedeeld omdat er geen circulaire klassenindeling gemaakt is, hetgeen geen consequenties heeft voor het fuzzy redeneren (figuur 10 C).

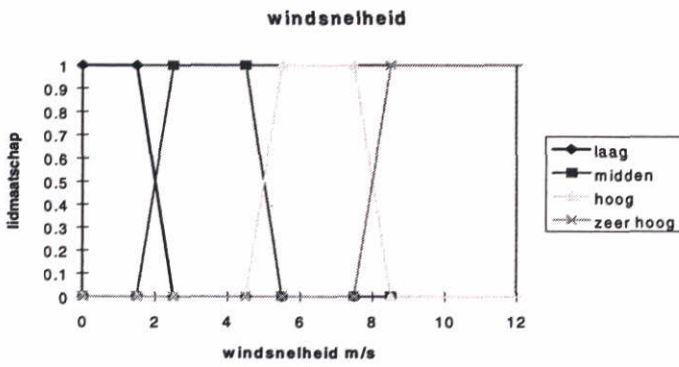
Tussenvariabelen:

1. de **warmtesom** wordt beredeneerd uit de temperatuur in het voorjaar en het tijdstip in de zomer, volgens de tabel 4A. De warmtesom staat 'model' voor de hoeveelheid biomassa *Microcystis*.
2. **import/export** is de omzetting van de windrichting naar import of export van drijfzagen. Bij Andijk is oostenwind import van drijfzagen en bij westenwind export van drijfzagen (tabel 4B).
3. **percentage bedekking 1** wordt beredeneerd, door de warmtesom, de windsnelheid gisteren en de windsnelheid nu te combineren. (zie tabel 4C).

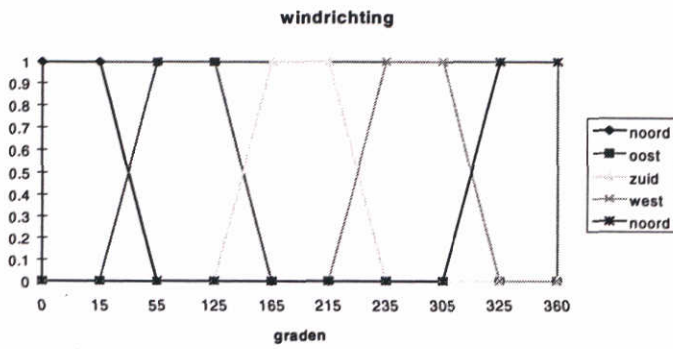
Deze tussenvariabelen hebben nooit een kwantitatieve waarde, alleen de lidmaatschapswaarden van de fuzzy klassen worden berekend.



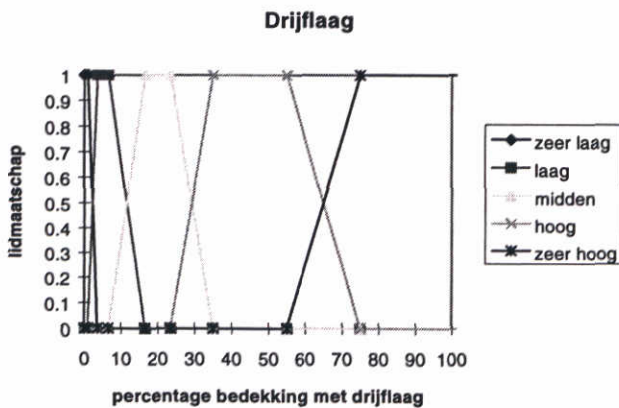
A)



B)



C)



D)

Figuur 34 lidmaatschapsfuncties van A) tijdstip in de zomer, B) windsnelheid, C) windrichting en D) percentage bedekking met drijflaag

Tabel 10 Invoertabel van de invoervariabele voorjaar

jaar	temperatuur voorjaar
1986	normaal
1987	koud

Tabel 11

temperatuur voorjaar	tijdstip	warmtesom
koud	zeer vroeg	zeer laag
koud	vroeg	laag
koud	midden	hoog
koud	laat	laag
normaal	zeer vroeg	laag
normaal	vroeg	hoog
normaal	midden	hoog
normaal	laat	zeer laag
warm	zeer vroeg	midden
warm	vroeg	hoog
warm	midden	hoog
warm	laat	zeer laag

A)

windrichting	import/export
noord1	neutraal
oost	import
zuid	neutraal
west	export
noord2	neutraal

B)

warmtesom	wind gisteren	wind vandaag	bedekking 1
zeer laag	*	*	zeer laag
laag	*	zeer laag	laag
laag	zeer laag	laag	laag
laag	laag	laag	laag
laag	midden	laag	zeer laag
laag	hoog	laag	zeer laag
laag	*	midden	zeer laag
laag	*	hoog	zeer laag
midden	zeer laag	zeer laag	hoog
midden	laag	zeer laag	hoog
midden	midden	zeer laag	hoog
midden	hoog	zeer laag	midden
midden	zeer laag	laag	hoog
midden	laag	laag	hoog
midden	midden	laag	midden
midden	hoog	laag	midden
midden	*	midden	laag
midden	*	hoog	zeer laag
hoog	*	zeer laag	zeer hoog
hoog	zeer laag	laag	hoog
hoog	laag	laag	hoog
hoog	midden	laag	midden
hoog	hoog	laag	midden
hoog	*	midden	laag
hoog	*	hoog	zeer laag

C)

import	bedekking 1	bedekking2
import	zeer laag	zeer laag
neutraal	zeer laag	zeer laag
export	zeer laag	midden
import	laag	zeer laag
neutraal	laag	laag
export	laag	hoog
import	midden	laag
neutraal	midden	midden
export	midden	zeer hoog
import	hoog	midden
neutraal	hoog	hoog
export	hoog	zeer hoog
import	zeer hoog	hoog
neutraal	zeer hoog	zeer hoog
export	zeer hoog	zeer hoog

D)

Uitvoervariabelen:

1. **percentage bedekking 2** wordt vastgesteld na de combinatie van import/export, en percentage bedekking1. Er zijn vijf fuzzy klassen nl. *zeer laag, laag, midden, hoog, en zeer hoog* (zie Figuur 34 D).

Regels:

De regels zijn te zien in de waarheidstabellen in Tabel 11. Samengevat komt het erop neer:

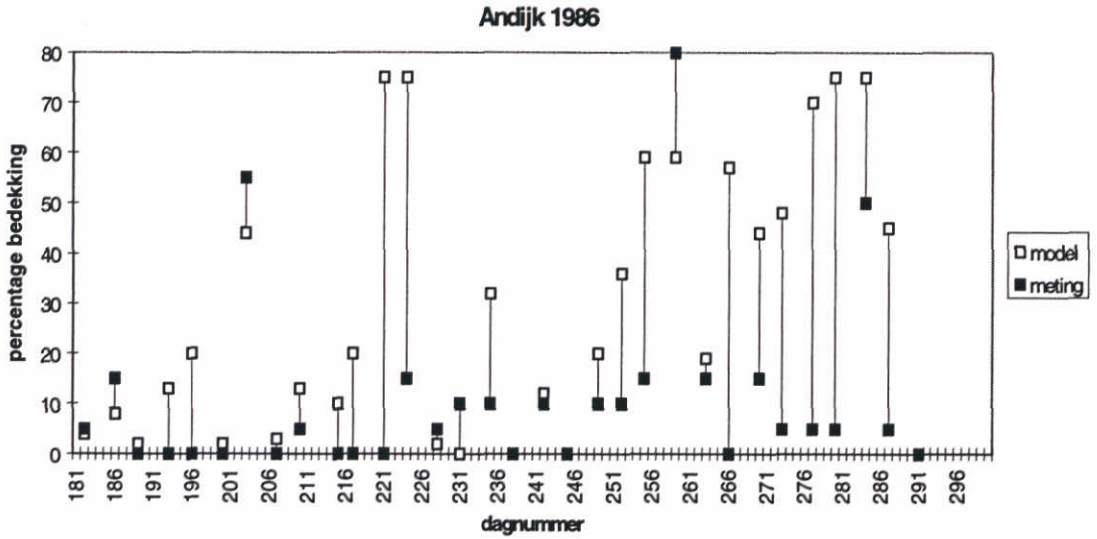
1. **warmtesom:** Hoe vroeger in het jaar en hoe kouder het voorjaar, hoe lager de warmtesom. Aan het eind van het seizoen is de warmtesom laag (Tabel 11A).
2. **import/export** is de omzetting van de windrichting naar import of export van drijflagen. Bij Andijk is oostenwind import van drijfslag en bij westenwind export van drijfslag (Tabel 11B).
3. **percentage bedekking 1** wordt beredeneerd, door de warmtesom, de windsnelheid gisteren en de windsnelheid nu te combineren. (Tabel 11C). De algemene regel is hoe hoger de warmtesom en hoe lager de windsnelheid vandaag en gisteren hoe hoger de bedekking met drijfslag. De windsnelheid gisteren wordt ook gebruikt en kan ook worden gezien als een maat voor het bedekkingspercentage met drijfslag gisteren.
4. **percentage bedekking 2** wordt vastgesteld na de combinatie van import/export, en percentage bedekking1. Wanneer er import is dan wordt bedekking2 groter dan bedekking1, bij neutraal is bedekking1 gelijk aan bedekking2, bij export wordt bedekking 2 kleiner dan bedekking1 (Tabel 11D).

B.2 Resultaten

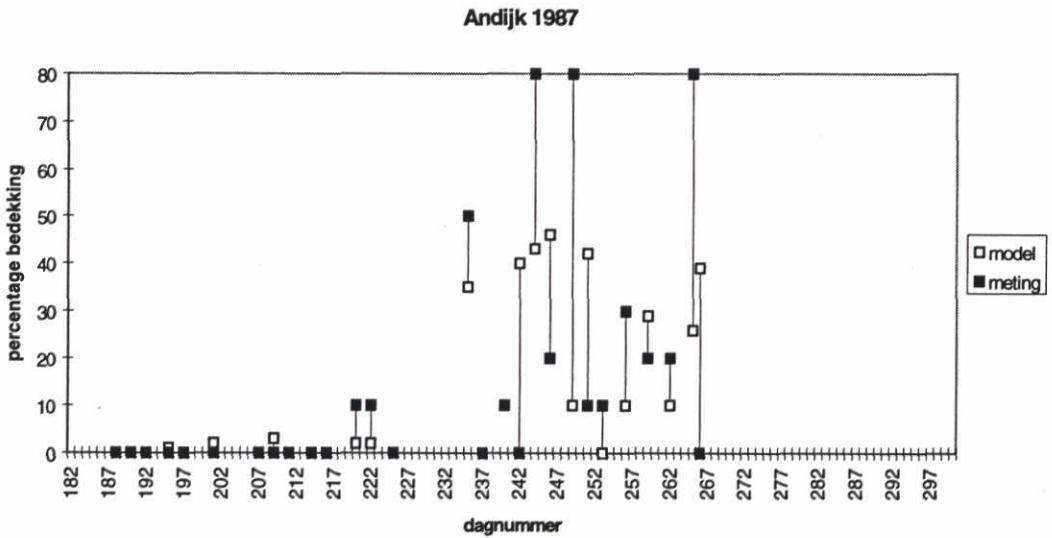
In 1986 voorspelt het model inderdaad drijflagen als deze zijn waargenomen (20 keer), met slechts een uitzondering op dagnummer 231, wanneer het model geen drijfslag voorspelt, en er wel een bedekking is waargenomen van 10%. Wanneer er geen drijflagen zijn waargenomen (totaal 12 keer) voorspelt het model in de helft van de gevallen ook geen drijfslag (of percentage < 5%), in de andere zes gevallen wel percentage boven de 10%, op de dagen 221 en 266 zelfs 75% en 57%. De voorspellingen van het model liggen, in het algemeen, hoger dan in de waarnemingen (zie Figuur 35).

In 1987 zijn slechts 26 waarnemingen gedaan, waarvan op de helft van deze data drijflagen zijn waargenomen en in de helft van de gevallen niet. Het model voorspelt ook hier drijflagen als deze zijn waargenomen (13 keer), met slechts een uitzondering dag 253 wanneer het model geen drijfslag voorspelt en er wel een bedekking is waargenomen van 10%. Wanneer er geen drijflagen zijn waargenomen (13 keer) voorspelt het model ook geen drijflagen of zeer gering m.u.v. dag 242 en 266 wanneer het model een bedekking van respectievelijk 40 en 39% voorspelt. Het model voorspelt in dit jaar vaak een geringer bedekkingspercentage dan waargenomen (Figuur 36).

Het model voorspelt in het begin van beide zomers bedekkingspercentages die in dezelfde orde grootte liggen als waargenomen. Echter hoe verder in het jaar hoe groter de afwijkingen.



Figuur 35 Resultaten van het model vergeleken met de waarnemingen in de enquêtes in 1986. N.B. dag 180 is 1 juli.



Figuur 36 Resultaten van het model vergeleken met de waarnemingen in de enquêtes in 1987. N.B. dag 180 is 1 juli.

B.3 Discussie

Het is mogelijk met een simpel Fuzzy Logic expertsysteem redelijk te voorspellen of er een drijfslag op zal treden of niet. De orde grootte is wat moeilijker te voorspellen. Het model is ook niet geoptimaliseerd, in die zin dat uitvoerig allerlei structuren, regels en lidmaatschapsfuncties zijn uitprobeerde. Er zijn veel mogelijkheden om het model aan te passen, bijv. meer invoer variabelen (gisteren wel of geen drijfslag), meer fuzzy sets per variabele of een verandering in de regels. Een kleine verandering kan grote gevolgen hebben. Het optimaliseren 'met de hand' is zeer tijdrovend en is daarom alleen voor zeer kleine systemen mogelijk. Het gebruik van commerciële tools die automatische regelgeneratie of optimalisatie aanbieden, zijn dan ook aan te bevelen, maar alleen te gebruiken wanneer er een goede dataset aanwezig is om die regels uit te leren.



wL | delft hydraulics

Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl

