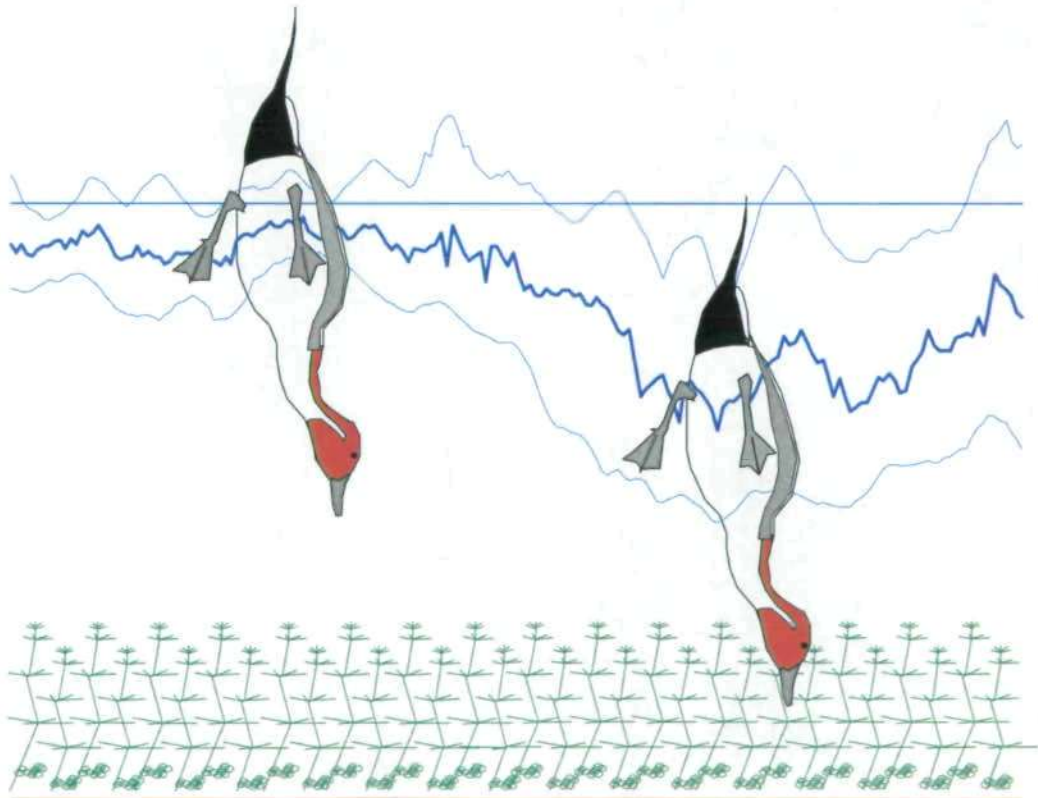


WAVOMIJ

voorspellingsmodel voor watervogels,
rekenregels Veluwemeer



Ruurd Noordhuis, Diederik T. van der Molen & Marcel van den Berg

WAVOMIJ

voorspellingsmodel voor watervogels, rekenregels Veluwemeer

Ruurd Noordhuis, Diederik T. van der Molen & Marcel van den Berg

**RIZA Werkdocument 2000.093X
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
juli 2000, Lelystad**

Inhoud

<i>Inhoud</i>	3
<i>Samenvatting</i>	5
<i>Inleiding</i>	7
<i>1. Beschikbare modellen</i>	9
<i>2. Aanpak</i>	11
<i>3. Gegevens</i>	13
3.1 Vogels	13
3.2 Waterplanten	14
3.3 Driehoeksmosselen	15
3.4 Overige informatie	16
<i>4. Uitwerking van de gegevens</i>	17
4.1 Welke vogels?	17
4.2 Voedselkeuze	17
4.3 Foerageerdiepte	18
4.4 Voedselbeschikbaarheid	21
<i>5. Relaties tussen voedsel en watervogels</i>	23
5.1 Resultaten	23
5.2 Discussie	23
<i>6. Validatie op het Wolderwijd</i>	27
6.1 Resultaten	27
6.2 Discussie	28
<i>7. Conclusies</i>	29
<i>8. Aanbevelingen</i>	31
<i>Literatuur</i>	33
<i>Bijlage I Grafische weergave gegevens en resultaten per vogelsoort</i>	35

Samenvatting

Door de aandacht voor vogels in internationale regelgeving, staan ook watervogels in toenemende belangstelling van waterbeheerders. Om deze reden heeft de Directie IJsselmeergebied het RIZA opdracht gegeven een modelinstrumentarium op te zetten en ter beschikking te stellen waarmee de effecten van beheer en inrichting op de aanwezigheid van een aantal soorten watervogel met een betrekkelijk grote nauwkeurigheid en betrouwbaarheid kunnen worden voorspeld.

Op basis van vooronderzoek en beschikbaarheid van gegevens is besloten om uit te gaan van de data van het Veluwemeer en om empirische relaties te leggen tussen de voedseltypen en watervogels. Als voedseltypen zijn onderscheiden kranswieren, fonteinkruiden, draadwieren en Driehoeksmosselen. Er zijn modellen gemaakt voor 13 soorten watervogels, namelijk Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Smient, Krakeend, Pijlstaart, Slobeend, Brilduiker, Wintertaling en Bergeend. De modellen zijn vervolgens gevalideerd met gegevens van het Wolderwijd om een indicatie te verkrijgen voor de bruikbaarheid op andere systemen dan het Veluwemeer.

Voor een drietal soorten (Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet) zijn gedetailleerde gegevens van de ruimtelijke verspreiding gebruikt om de diepte te schatten waarop ze foerageren op kranswieren en fonteinkruiden. Verder is gebruik gemaakt van literatuur, veldkennis en -data om de jaarlijks beschikbare hoeveelheid voedsel te bepalen. Het aantal vogeldagen is als maat genomen voor de vogelpopulatie. Via multiële regressie zijn vervolgens per vogelsoort relaties gelegd tussen de voedselbeschikbaarheid en het aantal vogeldagen.

Deze werkwijze heeft voor het Veluwemeer geleid tot bruikbare modellen voor de Kleine en de Knobbelzwaan, de Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Krakeend (r^2 groter dan 0,7) en in iets mindere mate voor Slobeend, Brilduiker, Pijlstaart, Smient en Wintertaling (r^2 tussen 0,55 en 0,25). Voor deze 12 soorten kunnen effecten van beheersingrepen of andere verandering op de voedselbeschikbaarheid in het Veluwemeer worden doorvertaald naar effecten op de watervogels. Voor de Bergeend kon geen goed model worden gemaakt.

De modellen voor het Veluwemeer zijn tenslotte gevalideerd met gegevens van het Wolderwijd. Hieruit blijkt dat de modellen voor Krakeend, Tafeleend, Kuifeend en Meerkoet ook toepasbaar zijn voor het Wolderwijd en dus ook andere, vergelijkbare systemen als de overige randmeren. Voor de Pijlstaart geldt dit in mindere mate. Daarnaast zijn er drie modellen, die van de Brilduiker, de Meerkoet en de Knobbelzwaan, die enkel mogen worden toegepast bij vergelijking met andere alternatieven. De modellen voor de Kleine Zwaan, Wilde Eend, Slobeend, Wintertaling en Smient mogen op grond van de uitgevoerde validatie niet worden gebruikt voor andere systemen.

Op basis van de analyse zijn diverse aanbevelingen geformuleerd. Samengevat gaat het om het uitbreiden, verdiepen, onderbouwen en presenteren. Uitbreiding betreft het toevoegen van nieuwe tijdreeksen, modellen voor visetende watervogels formuleren en de modellen toepassen voor andere gebieden. Verdieping gaat over meer detail aanbrengen in diepte, ruimte en tijd. Onderbouwing behelst het verder kwantificeren van de betrouwbaarheid van de modellen. Presentatie tenslotte, betreft de koppeling aan GIS.

Inleiding

Vogels vormen met roofvissen en zoogdieren de top van het voedselweb van watersystemen. Veel van wat zich daaronder afspeelt leidt tot veranderingen bij deze groepen. Van de drie genoemde groepen zijn de vogels relatief het eenvoudigste te monitoren. Om beide redenen staan vogels dan ook volop in de belangstelling van internationale afspraken en wetgeving (RAMSAR conventies, Europese Vogel- en Habitatrichtlijn, etc.). Vaak gaat het dan om watervogels, zoals eenden en zwanen. De Directie IJsselmeergebied rekent het reeds vele jaren tot haar taak de soortensamenstelling en de ruimtelijke en temporele verspreiding van watervogels in haar beheersgebied te volgen. Dit houdt onder meer verband met de aanwijzing van delen van haar beheersgebied als speciale beschermingszone in de zin van de Europese Vogelrichtlijn, het zandwinbeleid, de situering van nieuwe natuurontwikkelingsgebieden en voorgenomen maatregelen ter beperking van de overlast van voor waterrecreanten van waterplanten. Deze en andere ontwikkelingen hebben er toe geleid dat de Directie IJsselmeergebied (RDIJ) het RIZA opdracht heeft gegeven

een modelinstrumentarium op te zetten en ter beschikking te stellen waarmee de effecten van beheer en inrichting op de aanwezigheid van een aantal watervogelsoorten met een betrekkelijk grote nauwkeurigheid en betrouwbaarheid kunnen worden voorspeld.

In het model staat de relatie tussen voedselbeschikbaarheid en het voorkomen van watervogels centraal. De beschikbaarheid van voedsel wordt als uitgangspunt genomen, terwijl het model een uitspraak doet over de aantallen vogels. Dit rapport beschrijft de rekenregels tussen voedsel en watervogels gebaseerd op gegevens van het Veluwemeer en gevalideerd met gegevens van het Wolderwijd.

In hoofdstuk 1 wordt een kort overzicht gegeven van de typen modellen die kunnen worden aangewend om de vraagstelling te beantwoorden en wordt de keuze voor het gebruik van de gekozen statistische aanpak onderbouwd. In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het project geschetst. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de beschikbare en gebruikte gegevens, met nadruk op het voedsel van watervogels. In hoofdstuk 4 wordt de keuze voor de soorten watervogels verantwoord en wordt algemene en gebiedspecifieke informatie van de vogels gegeven. In hoofdstuk 5 wordt aangegeven hoe de beschikbare hoeveelheid voedsel is afgeleid van de basisgegevens. Hoofdstuk 6 gaat in op de rekenregels tussen voedsel en vogels gebaseerd op de gegevens van het Veluwemeer. Deze rekenregels worden vervolgens in hoofdstuk 7 gevalideerd met behulp van onafhankelijke gegevens van het Wolderwijd. In hoofdstuk 8 worden de resultaten bediscussieerd en worden er enkele conclusies getrokken. Er zijn vele uitbreidingen op dit project denkbaar; deze worden in hoofdstuk 9 middels aanbevelingen globaal beschreven.

1. Beschikbare modellen

Modellen kunnen op verschillende wijzen worden geclassificeerd. Een bekende tweedeling is theorie- versus data-georiënteerde modellen (van der Molen, 1999). De eerste groep gaat uit van causale verbanden gebaseerd op wetten van behoud van massa en/of energie. Bij de tweede groep gaat het in principe enkel om de reductie van een grote hoeveelheid data; deze modellen worden daarom ook wel 'black-box' modellen genoemd.

In het verleden is er reeds het een en ander gedaan aan de modellering van vogels. De modeltypen lopen uiteen van modellen gebaseerd op expert-kennis of zelfs complete populatiedynamische modellen tot relatief eenvoudige statistische verbanden. Een bekend voorbeeld van expert-systemen zijn de zogenaamde HEP-modellen, bijvoorbeeld beschreven door Duel *et al.* (1995). Hierbij wordt het voorkomen van een soort veelal via expliciet geformaliseerde expert-kennis gerelateerd aan omgevingscondities. Hieruit volgt de geschiktheid van een gebied of habitat. Recentelijk kan voor een aantal soorten ook worden beschouwd de minimale benodigde hoeveelheid habitat, als wel het effect van de verspreiding van de ruimtelijk eenheden (Reijnen *et al.*, 1995). Deze factoren leiden in combinatie met een draagkracht of maximale dichtheid tot een schatting van de hoeveelheid of aantallen van een soort. Er bestaan ook populatiedynamische modellen, bijvoorbeeld zoals beschreven voor de visdief *Sterna hirundo* (Schröder *et al.*, 1996). Hierbij wordt rekening gehouden met procesinformatie met betrekking tot overleving, reproductie, migratie en adulte overzomerling en daarnaast een aantal externe factoren.

Recentelijk is het model MACROMIJ (MACROfyten Model voor het IJsselmeergebied) gereed gekomen (van den Berg *et al.*, 1999). Hierbij is de aan- of afwezigheid van waterplanten middels logistische regressie gekoppeld aan een aantal verklarende variabelen. Er is gekozen voor de zeven meest voorkomende waterplanten en de som van deze soorten. Als verklarende variabelen is gekozen voor de waterdiepte, het type sediment (uitgedrukt in lutumgehalte), de strijklengte (maat voor windinvloed) en de extinctie van het water (maat voor de lichtdoordringing). Diepte en extinctie bleken de meeste variantie te verklaren. Uitkomsten waren goed met betrekking tot de voorspelling van afwezigheid van waterplanten en bevredigend voor de voorspelling van aanwezigheid. Een belangrijk pluspunt van deze aanpak is het gebruik van een grote hoeveelheid data en een systematische aanpak vooraf om de relevante omgevingscondities op te sporen. Voor vogels uit het rivierengebied is een vergelijkbare aanpak gevolgd door Rushton *et al.* (1994).

Bij de keuze van het type model moet in eerste instantie worden uitgegaan van de vraagstelling. Het maakt veel uit of men een en ander wil begrijpen of dat een zo nauwkeurige mogelijke voorspelling dient te worden gedaan. Hierbij spelen allerlei aspecten rond schaal in tijd en ruimte. Verder speelt de beschikbaarheid van informatie een rol: is er kwantitatieve kennis van processen, is er vooral sprake van meer kwalitatieve expert-kennis, zijn er voldoende gegevens voor statistische verbanden? Tenslotte kan er sprake zijn van randvoorwaarden, zoals aansluiting op bestaande modellen en wijze van presentatie.

In dit project staat een nauwkeurige voorspelling voorop. Verder vormt een gegeven voedselbeschikbaarheid het uitgangspunt en is de respons van de vogelpopulatie op beheersmatige ingrepen in het watersysteem het gewenste eindresultaat. Hiertoe kan een vergelijking tussen verschillende jaren gemaakt worden (trends) en is het effect van inrichting en beheer te schatten. Het is daarom toereikend om gegevens te aggregeren naar seizoen, maar ook gewenst om ruimtelijke detaillering te kunnen aanbrenge. Om deze redenen is gekozen voor een statistische aanpak, waarbij zo veel mogelijk a priori gebruik gemaakt wordt van beschikbare veldkennis. In de terminologie die in de eerste alinea is gehanteerd zou kunnen worden gesproken van 'grey-box' modellen. Er zijn voldoende gegevens voor handen van bovengenoemde variabelen voor een dergelijke aanpak. Tenslotte sluit de werkwijze goed aan bij de wens om te zijner tijd de uitvoer van MACROMIJ te gebruiken als invoer voor WAVOMIJ.

2. Aanpak

De vraagstelling, zoals vermeld in de Inleiding, en de beschikbaarheid van de gegevens, hebben geleid tot een tweetal keuzen. In de eerste plaats voor het type model (zoals onderbouwd in de vorige paragraaf) en in de tweede plaats de keuze om de ontwikkeling van het model te baseren op gegevens van het Veluwemeer (zie ook volgende paragraaf). Vervolgens is voor de volgende aanpak gekozen:

1. selectie van de typen voedsel en de vogelsoorten waarvoor rekenregels worden afgeleid (hoofdstuk 3);
2. bepaling van de beschikbare hoeveelheid voedsel (paragraaf 4.1),
 - * door per vogelsoort na te gaan welk voedsel deze consumeert (paragraaf 4.2),
 - * tot op welke diepte deze het voedsel kan bereiken (paragraaf 4.3) en
 - * tenslotte door vast te stellen hoeveel voedsel er dan beschikbaar is (paragraaf 4.4);
3. afleiden van de relatie tussen de hoeveelheid vogels als verklaarde variabele uit de voedselbeschikbaarheid als verklarende variabele met behulp van multiple regressie (hoofdstuk 5);
4. toetsen van de rekenregels afgeleid voor het Veluwemeer op het Wolderwijd om een indicatie te krijgen van het geldigheid van de relaties voor andere watersystemen (hoofdstuk 6).

Bij de eerste stap wordt uitgegaan van de beschikbaarheid en de relevantie van informatie om een selectie te maken in typen voedsel en soorten vogels. Vervolgens wordt nagegaan hoeveel voedsel er in een bepaald seizoen beschikbaar is geweest. Deze beschikbaarheid verschilt dit per vogelsoort, omdat de soorten verschillen in de keuze van het type voedsel en in de maximale diepte waarop het voedsel kan worden bereikt. Sommige vogelsoorten kunnen meerdere typen voedsel consumeren. In de derde stap worden relaties afgeleid tussen de beschikbaarheid van voedsel en het aantal vogels. Hierbij wordt per vogelsoort en voedseltype een indruk gegeven van de betrouwbaarheid van de rekenregel. Aansluitend hierop worden de rekenregels getoetst op een ander systeem, het Wolderwijd. Hiermee wordt een indruk verkregen van de bruikbaarheid van de relaties voor een ander systeem.

3. Gegevens

3.1 Vogels

In de afgelopen jaren is in het IJsselmeergebied uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorkomen van watervogels. Zie bijvoorbeeld de proefschriften van de Leeuw (1997) en van Eerden (1998), ecosysteemanalyses van Noordhuis (1997; 2000) en vele documenten die hieraan ten grondslag liggen.

Maandelijks worden in het kader van het programma Biologische Monitoring van MWTL, in samenwerking met SOVON Vogelonderzoek Nederland, watervogeltellingen uitgevoerd door Jaap Tempel (Veluwemeer) en Wouter Bouw (Wolderwijd) van Provincie Flevoland. Het gaat daarbij hoofdzakelijk om vogels die elders broeden en met name in het winterhalfjaar in de randmeren aanwezig zijn, waarbij in de periode september - februari de aantallen het hoogst zijn. Naast de aantallen en de verspreiding van de vogelsoorten, is ook kennis opgedaan met betrekking tot het verklaren van de aan- of afwezigheid van watervogels. Hierbij is gebleken dat vooral de voedselbeschikbaarheid van belang is voor de aantallen watervogels. Zo zijn

- fonteinkruiden van belang voor Kleine Zwaan, Meerkoet en Wilde Eend,
- kranswieren voor de Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet, Pijlstaart en Krooneend,
- waterplanten in het algemeen voor Knobbelzwaan, Krakeend, Slobeend en Tafeleend,
- Driehoeksmosselen voor de Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Toppereend en Brilduiker en tenslotte
- vis voor Aalscholver, Fuut, Grote Zaagbek en Nonnetje.

Voor het bepalen van relaties tussen voedsel en watervogels wordt uitgegaan van het watervogelseizoen (juli - juni) dat aansluit op de zomer waarin de voedselopnames (planten, mosselen) zijn uitgevoerd. Voor de hier gepresenteerde analyses is gebruik gemaakt van de tellingen van juli 1987 t/m juni 1999. Ontbrekende tellingen zijn opgevuld als gemiddelden van de aantallen in de betreffende maand in voorgaande en volgende jaren. In tabel 1 is weergegeven uit welke maanden in de genoemde periode telgegevens beschikbaar waren. Als maat voor de consumptiedruk per vogelsoort is het aantal vogeldagen over juli - juni genomen. Het verloop van het aantal vogeldagen per seizoen en het gemiddelde aantalsverloop binnen het seizoen zijn weergegeven in figuren 1-13A resp. B van Bijlage I.

Vogeldagen

Het is gebruikelijk het aantal vogels uit te drukken in vogeldagen. Dit is het aantal vogels dat per dag is waargenomen gesommeerd over een bepaalde periode, bijvoorbeeld een jaar. Wanneer er een dag niet is waargenomen wordt het aantal vogels vastgesteld middels lineaire interpolatie tussen de omliggende dagen dat er wel is waargenomen.

Naast tellingen is er ook informatie beschikbaar met betrekking tot de ruimtelijke verspreiding van de watervogels. De meeste gegevens met betrekking tot de ruimtelijke verspreiding hebben betrekking op het Veluwemeer. Hier zijn karteringen voor handen van het najaar van 1994, 1995, 1996 en 1999, uitgevoerd door Bureau Waardenburg. Deze gegevens zijn beschikbaar in een GIS omgeving, en zijn voor de zwanen en Meerkoeten door Roland van der Vliet gekoppeld aan lodingsbestanden van RDIJ.

Tabel 1. Maanden waarvoor in de periode juli 1987 t/m juni 1999 watervogeltellingen beschikbaar waren voor analyse.

Seizoen	juli	aug	sept	okt	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	juni
1987/88	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1988/89	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1989/90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
1990/91		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1991/92	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	
1992/93			+	+	+	+	+	+	+	+		
1993/94			+	+	+	+	+	+	+	+		
1994/95			+	+	+	+	+	+	+	+		
1995/96			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1996/97	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1997/98	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
1998/99	+	+	+	+	+	+	+	+				

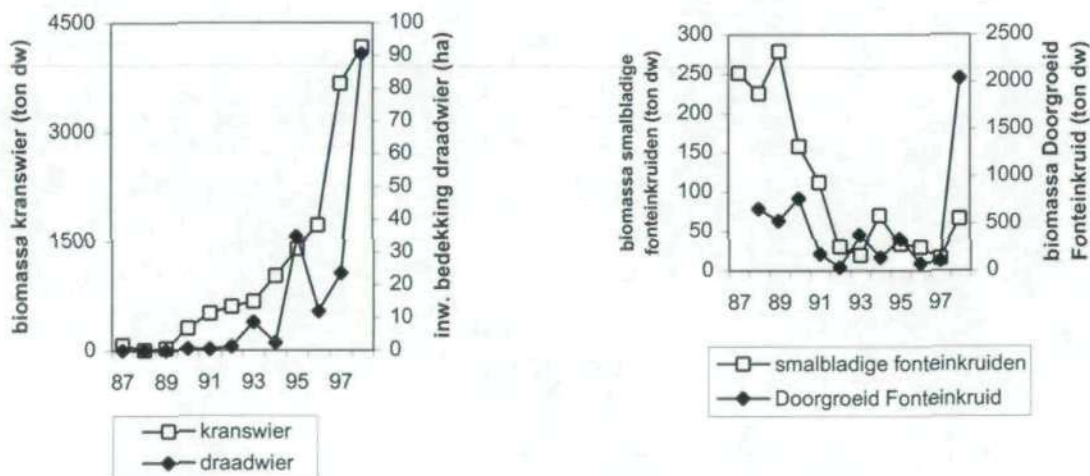
3.2 Waterplanten

Informatie met betrekking tot waterplanten is verzameld door RDIJ en vastgelegd in GIS-bestanden die in beheer zijn van RDIJ (Doef *et al.*, 1991; 1994; de Witte *et al.*, 1995a; 1995b; 1997a; 1997b; 1998).

Gedetailleerde karteringen van waterplanten zijn uitgevoerd vanaf 1987. Voor vogels zijn vooral kranswieren, draadwieren en fonteinkruiden relevant. De gegevens betreffen schattingen van de bedekking per soort in een grid van 100x100 meter. De bedekking is tot 1992 ingedeeld in drie klassen en daarna zijn zeven klassen onderscheiden.

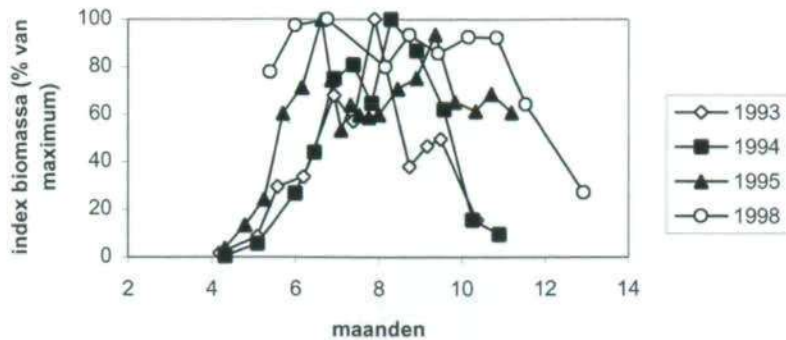
Sinds 1987 is er sprake geweest van een sterke toename van kranswier, ten koste van met name de smalbladige fonteinkruiden. Het kranswier heeft zich in de loop van de jaren vanuit de meest ondiepe delen van het meer uitgebreid naar de diepere delen. De fonteinkruiden zijn daarbij verdrongen naar geringere diepte (Tenger- en Schedefonteinkruid) of juist naar grotere diepte (Doorgroeid Fonteinkruid).

Het in figuur 1 weergegeven biomassaverloop is gebaseerd op de situatie in de zomer, d.w.z. voor aanvang van het watervogelseizoen in september. In de loop van dit seizoen neemt de biomassa af door degeneratie en consumptie, zodat de beschikbaarheid voor vogelsoorten die laat in het seizoen arriveren in feite lager is.



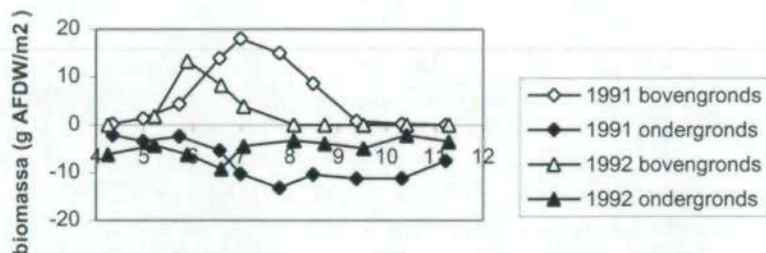
Figuur 1. Toename van de biomassa van kranswier, draadwier en fonteinkruiden in het Veluwemeer sinds 1987.

Bij het vaststellen van de voedselbeschikbaarheid zijn drie factoren van belang: ontwikkeling van de aanwezigheid van de voedselbronnen door de jaren, het seizoensverloop in die aanwezigheid en verdeling over de diepterange. De rekenregels tussen voedsel en watervogels zijn gebaseerd op een combinatie van twee daarvan; het jaarverloop en de diepteverdeling. Het seizoensverloop is vooral van belang bij kranswier. Bij kranswier is door de vegetatieontwikkeling in samenhang met de mate van consumptie sprake van geleidelijke verlenging van het groeiseizoen (figuur 2). De werkelijke beschikbaarheid aan kranswieren is daardoor vooral in de eerste helft van de jaren 90 relatief lager geweest.



Figuur 2. Seizoensverloop van de biomassa van kranswieren voor 1993, 1994, 1995 en 1998.

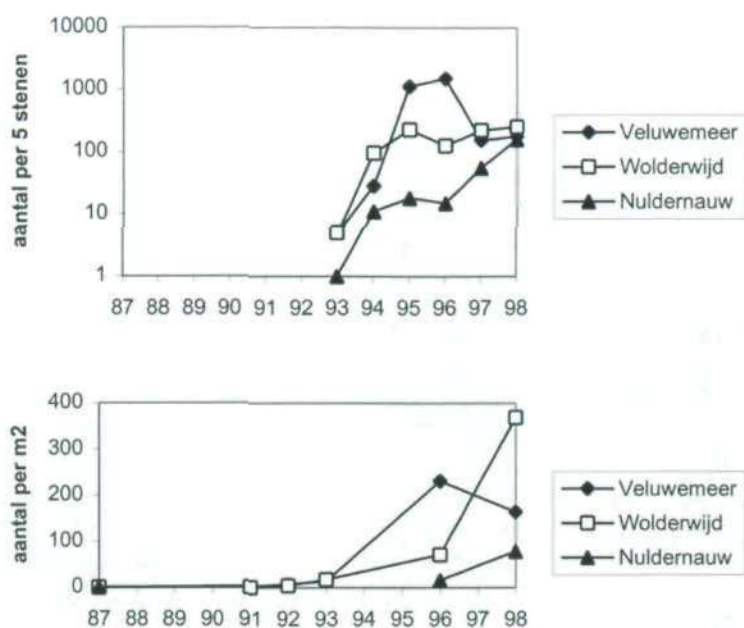
Bij fonteinkruiden sterven de bovengrondse delen in de nazomer af, zodat deze alleen in het begin van het watervogelseizoen als voedsel beschikbaar zijn. Ondergrondse delen, in het bijzonder de wortelknolletjes van Schedefonteinkruid, zijn langer beschikbaar. Er is dus geen vaste verhouding tussen boven- en ondergrondse delen gedurende het jaar en tussen verschillende jaren (figuur 3), terwijl de in de analyses gebruikte biomassa alleen de bovengrondse delen betreft. Dit bemoeilijkt het vinden van correlaties met vogeldagen. Iets dergelijks geldt voor de ondergrondse zetmeelknolletjes van het kranswier *Chara aspera*; de bulbillen. Ook deze zijn niet in de gebruikte biomassa inbegrepen.



Figuur 3. Verschil in biomassaverloop van boven- en ondergrondse delen van Schedefonteinkruid in het Veluwemeer (Doef et al. 1994).

3.3 Driehoeksmosselen

De relatie tussen voedsel en vogels kan zo sterk zijn dat de aanwezigheid van bepaalde watervogels indicatief is voor de aanwezigheid van voedsel. Dit geldt bijvoorbeeld voor Kuif- en Tafeleenden als indicator voor de aanwezigheid van Driehoeksmosselen (Voslamber & van Turnhout, 1998). Gedurende de jaren zeventig en tachtig is de Driehoeksmossel in het Veluwemeer alleen aanwezig geweest in de vorm van een kleine populatie op de beschoeiingen aan de polderzijde in de omgeving van Gemaal Lovink (figuur 4). De populatie op de beschoeiingen is vanaf 1993 gevolgd in de vorm van vaststelling van het aantal mosselen op vijf willekeurige stenen die met de hand uit het water werden gehaald. Nadat midden jaren negentig aanwijzingen voor vestiging van een bodempopulatie naar boven kwamen zijn Driehoeksmosselen door Bureau Waardenburg gekarteerd in 1996 (Veluwemeer en Wolderwijd; van Moorsel, 1996) en 1998 (alle Veluwerandmeren en Zuidelijke Randmeren, van Moorsel *et al.*, 1998). Meer summier gegevens van dichtheden op de bodem zijn bekend van 1987 (5 locaties per meer op raaien, 3 happen per locatie; A. Naber, ongepubliceerd), 1991 en 1992 (25 locaties in grid van 400x400m in westelijk Veluwemeer, 73 locaties in Wolderwijd; F. Kerkum, ongepubliceerd) en 1993 (habitatbemonsteringen MWTL, 2 locaties Veluwemeer en 4 Wolderwijd). De resultaten van alle bodemopnames zijn weergegeven in figuur 5. De meest recente beschikbare opnames van Driehoeksmosselen in het IJsselmeer en het Markermeer komen uit 1992 en 1993, maar worden momenteel herhaald.



Figuur 4. Verloop van de dichtheden van Driehoeksmosselen op de oeverbeschoeiing (boven) en op de bodem (onder).

3.4 Overige informatie

Ruimtelijke informatie voor vis is veel moeilijker te verkrijgen. Wel zijn er in de periode 1967-1987 door de directie Visserijen sleepnetbemonsteringen uitgevoerd. In 1992 zijn de visbemonsteringen hervat onder het MWTL programma Biologische Monitoring, en voor BOVAR, maar met enigszins gewijzigde methoden. Analyse van de verbanden tussen aantallen visetende watervogels en de hoeveelheid beschikbare vis wordt bemoeilijkt door deze methodische verschillen en door het ontbreken van gegevens over de (belangrijke) periode 1988-1991. Daarnaast hebben de grootste (positieve) verandering in de samenstelling van het visbestand zich voorgedaan rond 1985, een periode waarin veel gaten voorkomen in het bestand van de vogeltellingen. Bij het vaststellen van relaties tussen viseters en vis moet dus een andere periode beschouwd worden en moet een beduidend minder grote nauwkeurigheid worden verwacht dan bij de relaties die hier voor herbivoren en benthivoren worden gepresenteerd. Om deze redenen zijn vis en viseters voorlopig buiten beschouwing gelaten.

Gerelateerd aan de voedselbeschikbaarheid zijn de diepte in verband met de bereikbaarheid van planten en mosselen. Bij de waterdiepte speelt ook nog peilvariatie gedurende het jaar een rol. Voor de waterdiepte is het Digitaal Terrein Model geschikt (in beheer bij RDIJ) in combinatie met beschikbare peilgegevens van de watersystemen. Doorzicht/extinctie (en de strijklengte) spelen een rol bij viseters, vooral het Nonnetje, maar vermoedelijk geen rol van betekenis voor vogels die foerageren op waterplanten of Driehoeksmosselen. Een uitzondering hierbij is mogelijk de Brilduiker. Twee andere factoren die een rol kunnen spelen zijn de mate van verstoring/rust en weersinvloeden. Van de Toppereend is bijvoorbeeld bekend dat deze vooral open wateren wenst, mogelijk in verband met rust. Kennis met betrekking tot verstoring door recreatie wordt momenteel in een ander kader verzameld. De meest voor de hand liggende weersinvloed is ijsbedekking; deze en mogelijk andere factoren worden voorlopig niet expliciet meegenomen.

4. Uitwerking van de gegevens

4.1 Welke vogels?

De aard en de beschikbaarheid van gegevens over potentiële voedselbronnen hebben consequenties voor de keuze van vogelsoorten die voor het project in eerste instantie in aanmerking komen. Om deze reden worden viseters vooralsnog niet meegenomen. Daarnaast komt de Toppereend niet voor in de randmeren. Dit betekent dat in het vervolg enkel wordt ingegaan op Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Smient, Krakeend, Pijlstaart, Slobeend, Brilduiker, Wintertaling en Bergeend. Deze 13 vogelsoorten zijn vooral in de winter aanwezig op de grote meren. Broedgelegenheid is daarom geen sturende factor voor het aantalsverloop van deze watervogels in de randmeren.

4.2 Voedselkeuze

Uitgaande van de vogelsoorten die in de vorige paragraaf zijn genoemd, is op basis van Handbook of the Birds of Europe, the Middle East and North Africa (Cramp & Simmons 1977, 1980), een overzicht gemaakt van de voedselkeuze en foerageerwijze:

Knobbelzwaan

Plantaardig, vooral waterplanten, maar ook oeverplanten en zaden, gras en kruiden op het land. In het Veluwemeer voorkomende waterplanten genoemd in Cramp: *Chara*, *Enteromorpha*, *Cladophora*, *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Zannichellia*, *Ulva*, *Ceratophyllum*, *Ranunculus*. Dipping bij dieptes van 20 - 45 cm, daaronder grondelend.

Kleine Zwaan

Plantaardig, bladeren, uitlopers, wortels, rhizomen, tubers van (water)planten, deels gravend bemachtigd, soms zaden. Genoemde soorten *Potamogeton perfoliatus*, *P. pectinatus*, *Ceratophyllum*, *Zannichellia*, *Myriophyllum*, *Chara*. Dipping of grondelend in water tot 1 meter diep.

Bergeend

Vooraf dierlijk, evertrebraten als slakken, insecten en crustaceeën. Soms ook planten als *Enteromorpha*, *Ruppia*. Foerageert vaak aan oppervlak (drooggevalen slik), ook wel head-dipping in water 10 - 25 cm, grondelend 25 - 40 cm. Jonge vogels duiken soms.

Smient

Plantaardig, bladeren, stolonen, bulbillen en rhizomen, ook zaden. Grazend op land of van wateroppervlak, minder vaak in water met kop en nek onder (dipping), dus niet grondelend. Soms kleptoparasiterend op o.a. Meerkoeten en zwanen. Soorten genoemd o.a. *Ranunculus*, *Lemna*, draadalg (en) (*Enteromorpha*, *Ulva*, *Cladophora*, *Ulothrix*), (drijvende rhizomen van) *Potamogeton*.

Krakeend

Plantaardig, vooral vegetatieve delen, soms gras en granen. Soms kleptoparasiterend op bijvoorbeeld Meerkoet en Krooneend (in Bodensee veelvuldig op Meerkoeten die *Chara* naar boven brachten). Genoemde waterplanten *Potamogeton*, *Ceratophyllum*, *Zannichellia*, *Chara*, algen (*Cladophora*). Soms dierlijk, insecten, wormen, mollusken, visbroed en -eieren. Hoofdzakelijk head-dipping vanaf het oppervlak, minder vaak grondelend.

Wintertaling

Omnivoor. In winter vooral zaden. Waterplanten genoemd: zaden van *Potamogeton*, *Myriophyllum*, *Ranunculus*, sporen van *Chara*, soms algen (*Enteromorpha*), *Lemna*. Vooral in ondiep water aan oppervlak of head-dipping, ook grondelend.

Wilde Eend

Omnivoor, opportunistisch, op land en in water. Genoemde waterplanten o.a. *Ceratophyllum*, *Lemna*, *Potamogeton*. Foerageert zowel head-dipping als grondelend tot 48 cm, jongen duiken soms.

Pijlstaart

Omnivoor. Plantaardig voedsel vooral zaden, tubers en rhizomen van o.a. *Potamogeton*, *Ceratophyllum*, ook *Chara* en andere algen. Vooral grondelend uit modderbodem, ook head-dipping. Diepte meestal tot 31 cm, maar ook tot 53 cm. Door lange nek voordeel boven andere grondeenden. Duikt soms.

Slobeend

Omnivoor, vooral zoöplankton, kleine mollusken en insecten, zaden, plantafval. Planten genoemd *Elodea*, *Ceratophyllum*, zaden van *Potamogeton*. Onder dierlijk voedsel wordt ook *Dreissena* genoemd. Foerageert

aan oppervlak en vooral head-dipping, minder vaak grondelend dan andere Anas-soorten, duikt iets vaker, tot 80 cm.

Tafeleend

Omnivoor, zowel dierlijk als plantaardig, vaak vooral plantaardig, zowel zaden/sporen en rhizomen als scheuten en bladeren. Waterplanten genoemd *Potamogeton*, *Myriophyllum*, *Ceratophyllum* en in het bijzonder *Chara*. Dierlijk voedsel allerlei evertrebraten tot en met kleine vis, in het IJsselmeergebied in het bijzonder muggenlarven en *Dreissena*. Foerageert vaak grondelend of duikend tot ongeveer 2,5 meter, soms tot 4 meter.

Kuifeend

Omnivoor, maar hoofdzakelijk dierlijk, in het bijzonder mollusken. In het IJsselmeergebied in de winter hoofdzakelijk *Dreissena*, in de ruitijd slakjes, ostracoden. Soms zaden van *Potamogeton*, *Myriophyllum*. Foerageert vaak 's nachts, duikt tot ongeveer 3 meter, soms tot 5, maar zelden dieper dan 7 meter.

Brilduiker

Dierlijk, soms iets plantaardig, bijv. tubers van *Potamogeton*. Dierlijk voedsel veelzijdig, crustaceeën, insecten, mollusken (waaronder *Dreissena*), ook vis. Diepe duiker, tot 10 meter, maar tot 55 meter vastgesteld.

Meerkoet

Omnivoor, maar hoofdzakelijk plantaardig. *Chara* en andere algen (*Cladophora*, *Vaucheria*, *Spirogyra*), vegetatieve delen van *Potamogeton*, *Zannichellia*, *Ceratophyllum*, *Myriophyllum* etc. Dierlijk voedsel vooral insecten en mollusken, in het bijzonder *Dreissena*. Foerageert aan oppervlak, grondelend of duikend, bij voorkeur niet dieper dan 2 meter (vastgesteld tot 6,5 meter).

Op basis van bovenvermelde gegevens en op basis van de voedselbeschikbaarheid in de randmeren zijn de potentiële voedselbronnen van de watervogels weergegeven in tabel 2. In verband met het geringe voorkomen en de vergelijkbare vorm (mogelijke verwisseling in het veld) is Tenger Fonteinkruid samengevoegd met Schedefonteinkruid tot de smalbladige fonteinkruiden. De biomassa van Tenger Fonteinkruid bedroeg gemiddeld ca. 5% van de totale biomassa van smalbladige fonteinkruiden.

Tabel 2. Potentiële voedselbronnen van de geselecteerde watervogels

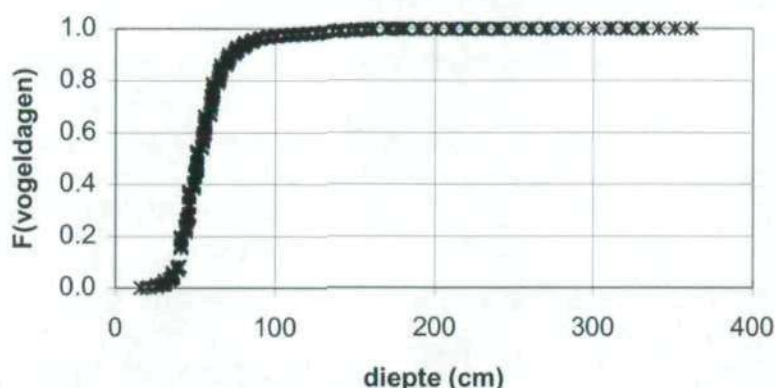
	Kranswieren	Doorgroeid Fonteinkruid	Smalbladige fonteinkruiden	Draadalgen	Driehoeks-mosselen
Knobbelzwaan	x	x	x	x	
Kleine Zwaan	x	x	x		
Bergeend			x	x	
Smient			x	x	
Krakeend	x		x	x	
Wintertaling	x		x		
Wilde Eend			x		
Pijlstaart	x		x	x	
Slobeend	x		x	x	
Tafeleend	x	x	x		x
Kuifeend					x
Brilduiker					x
Meerkoet	x	x	x		x

4.3 Foerageerdiepte

Voor een drietal watervogels is recentelijk nauwkeurig bepaald tot op welke diepte zij hun voedsel kunnen benutten. Het gaat om de Meerkoet, Kleine Zwaan en Knobbelzwaan. Voor in totaal 26 dagen verspreid over de periode 14 oktober 1996 t/m 11 januari 1997 is vanaf de wal geschat hoeveel vogels er aanwezig zijn, waar die zich ophielden en wat ze deden. Er is in dit project alleen gewerkt met vogels die aan het foerageren waren. Met behulp van GIS zijn de 70 afzonderlijke kaarten met tellingen en lokaties (gebieden) per dag over elkaar heen gelegd voor elk van de drie vogelsoorten afzonderlijk. Combinatie van deze kaarten resulteerde in een groot aantal oppervlakken (deelgebieden) waar dus één of meerdere waarnemingsdagen foeragerende vogels zijn waargenomen. Door aan te nemen dat de vogels per gebied homogeen verdeeld zijn kon op basis van de

dichtheid in dat gebied en de grootte van het deelgebied, worden berekend hoeveel vogels er op een dag per deelgebied aanwezig waren.

Door vergelijking met de dieptekaart van het meer en correctie voor de actuele waterpeilen kon exact worden achterhaald op welke diepte de vogels zich ophielden. Voor elke waarnemingsdag ontstond zo een set deelgebieden met een bekend aantal vogels. Door vergelijking van de dieptekaart en de kaart met waarnemingen van vogels vanaf de wal ontstaan fouten. Het is duidelijk dat zwanen geen kranswieren kunnen bereiken in water dieper dan bijvoorbeeld 1,5 meter, terwijl dat in enkele gevallen wel uit de resultaten kwam (zie bijvoorbeeld figuur 5). Dit is een gevolg van de ligging van de vaargeul vlak naast een ondiep gedeelte. Daarom is de maximale diepte waarop vogels kunnen foerageren vastgesteld op de 90% waarde.



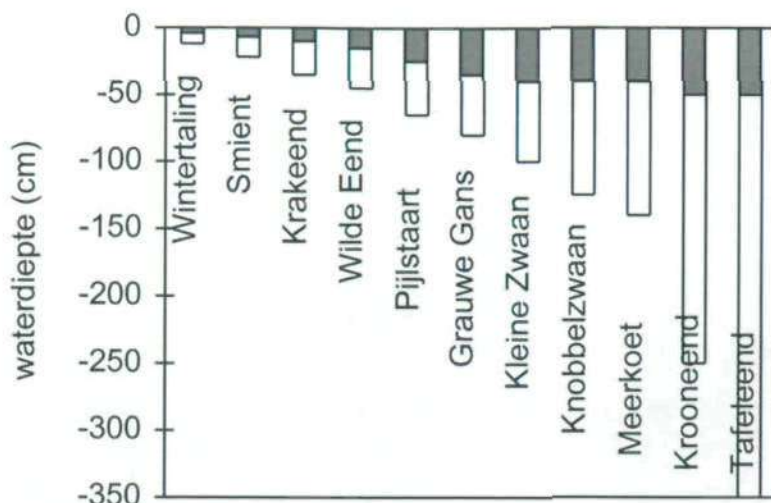
Figuur 5. Cumulatieve verdeling van het aantal Kleine Zwanen tegen de actuele waterdiepte op basis van vogeldagen over de periode 4 - 20 november 1996.

Het resultaat van deze analyse is weergegeven in tabel 3. Naast de maximale diepte berekend over de gehele periode en de standaardafwijking, is de diepte weergegeven voor enkele kleinere perioden. De standaardafwijking van de foerageerdiepte is bepaald door met behulp van Monte Carlo simulatie uit de reeks 1000 deelgebieden met bekende oppervlak en vogeldichtheid te trekken. Van deze serie is op gelijke wijze als bovengenoemd de 90% waarde bepaald. Dit is per vogelsoort 200 maal herhaald, waarna de standaarddeviatie is bepaald van de verkregen resultaten. De standaarddeviatie wordt voor een belangrijk deel bepaald doordat de vogels in de loop van de tijd andere gebieden bezoeken. Dit wordt zichtbaar indien de foerageerdiepte wordt berekend voor afzonderlijke perioden. Bij de bepaling van de perioden is uitgegaan van een vergelijkbaar aantal vogeldagen per periode. Het blijkt dat de maximale diepte in de loop van de tijd toeneemt. Dit kan worden verklaard doordat de vogels eerst het gemakkelijkst te bereiken deel benutten en later opschuiven naar dieper gelegen, minder eenvoudig te behappen voedsel. Een dergelijke waarneming is voor de Kleine Zwaan ook beschreven in van Eerden (1998, hoofdstuk 10).

Tabel 3. Maximale foerageerdiepte en standaardafwijking van Knobbelzwaan, Kleine Zwaan en Meerkoet, totaal in het najaar van 1996 en per deelperiode met n vogeldagen.

Knobbelzwaan	cm	n	Kleine Zwaan	cm	n	Meerkoet	cm	n
	72,5	(± 6,75)		66,2	(± 6,68)		64,6	(± 4,55)
14/10-27/10	64	5,85E+07	14/10-1/11	55	1,26E+08	14/10-11/11	56	4,95E+08
29/10-13/11	72	4,40E+07	4/11-20/11	71	1,24E+08	16/11-15/12	68	1,01E+09
15/11-29/11	80	3,99E+07	22/11-15/12	93	1,40E+07			
1/12-15/12	68	2,38E+07						

De foerageerdiepte van verschillende watervogels is ook berekend op basis van ongepubliceerde gegevens van van Eerden (figuur 6). Onderscheid is gemaakt tussen de diepte waarop de vogel energetisch profijt heeft van het foerageren en de diepte die maximaal bereikbaar is. De waarden voor Knobbelzwaan, Kleine Zwaan en Meerkoet van tabel 3 liggen tussen de maximaal bereikbare diepte met en zonder energetisch profijt. De range van de Knobbelzwaan ligt ook wat dieper dan die voor de overige twee soorten.



Figuur 6. Maximale waterdiepte waarop diverse watervogels waterplanten kunnen bereiken met (gesloten balken) en zonder (open balken) energiewinst (van Eerden, ongepubliceerd).

Er wordt vanuit gegaan dat de aanpak zoals gevolgd voor Meerkoet, Kleine Zwaan en Knobbelzwaan het meest nauwkeurig is. Op basis hiervan en de resultaten van van Eerden voor deze drie soorten, wordt de duikdiepte voor de andere watervogels die in deze studie zijn beschouwd berekend uit de gegevens van van Eerden als de diepte waarop vogels met energiewinst waterplanten benutten plus 40% van het verschil tussen deze diepte en de maximaal gegeven diepte. Voor enkele vogelsoorten ontbreken gegevens om dit op deze wijze te doen. De duikdiepte voor de Bergeend wordt daarom gelijkgesteld aan die voor de Pijlstaart, die van Kuifeend aan die van de Tafeleend en die van de Slobeend aan die van de Krakeend. Dit is gedaan op basis van waarneming aan de verspreiding van genoemde soorten en oordeel van deskundigen. De resultaten hiervan, alsmede de numerieke waarden behorend bij figuur 6, zijn weergegeven in tabel 4. Voor vertaling van foerageerdiepte naar beschikbaarheid van voedsel is gebruik gemaakt van deze foerageerdiepte bij het minimum peil in de periode oktober - december per jaar, meestal dichtbij het winterstreefpeil van -30 cm NAP.

Tabel 4. Foerageerdiepte (centimeter) waarop diverse watervogels waterplanten kunnen benutten met en zonder energiewinst (van Eerden, ongepubliceerd) en de foerageerdiepte die is gebruikt in deze studie om het voedselaanbod van de watervogels te bepalen. * = duikende soorten.

	met	zonder	gebruikte foerageerdiepte
Knobbelzwaan	40	125	72,5
Kleine Zwaan	40	100	66,2
Grauwe Gans	35	80	
Bergeend			41
Smient	7	22	13
Krakeend	10	35	20
Wintertaling	4	12	7,2
Wilde Eend	15	45	27
Pijlstaart	25	65	41
Slobeend			20
Krooneend*	50	250	
Tafeleend*	50	350	170
Kuifeend*			170
Meerkoet*	40	100	64,6

4.4 Voedselbeschikbaarheid

Per jaar en per soort waterplant is de frequentie waarmee elke bedekkingsklasse voorkwam uitgezet tegen het klassemidden. Hierdoor is een curve gefit en vervolgens is het oppervlak per klasse onder deze curve berekend om het zwaartepunt (bedekking waarbij oppervlak aan beide zijden binnen de klasse gelijk is) van de bedekking te bepalen. De curve is geschat met een kwadratische vergelijking voor soorten die relatief veel voorkomen in lage en hoge bedekkingsklassen (kranswieren na 1991) en met een exponentiële functie voor soorten die veel voorkomen in hoge of lage klassen (overige jaren en andere soorten). Wanneer de geschatte curve een correlatiecoëfficiënt r^2 kleiner dan 0,8 had, is gewoon het klassemidden genomen. Het berekende zwaartepunt is via een ijklijn omgerekend naar een karakteristieke biomassa per klasse per soort per jaar. Omdat de karteringen zijn gekoppeld aan het meest recente lodingsbestand (B. de Witte, RDIJ) kan zo het biomassaverloop op elke gewenste dieptorange worden berekend.

Bij draadwier is een andere werkwijze gevolgd, omdat in dit geval geen biomassa- en dieptegegevens beschikbaar waren. Hier is de wijzigingen in biomassa benaderd door de oppervlakten per bedekkingsklasse via het klassemidden om te rekenen naar het totale oppervlak met een bedekking van 100% ('inwendige bedekking'). Omdat draadwieren in het algemeen vooral ondiep voorkomen is vervolgens verondersteld dat al het aanwezige draadwier voor de betreffende vogelsoorten beschikbaar is.

Er zijn in het Veluwemeer vier soorten vogels die gebruik maken van het aanbod aan mosselen: Kuifeend, Tafeleend, Brilduiker en Meerkoet. Het bepalen van een correlatie tussen de beschikbaarheid van Driehoeksmosselen en vogeldagen stuit op een aantal problemen. Allereerst is een bodemkartering niet in alle jaren uitgevoerd. Dit probleem is benaderd door een combinatie van de twee soorten mosselgegevens tot een index, maar de verhouding tussen de mosseldichtheid op de bodem en die op de oevers blijkt sterk te variëren. Op basis van visuele beoordeling van het verloop van de dichtheid op stenen (paragraaf 3.3) en de bodem worden ontbrekende jaren van de aantallen op de bodem als volgt geschat:

- tussen 1987 en 1991 lineaire interpolatie van de dichtheden van beide jaren,
- 1995 is gelijk aan 1996,
- tussen 1993 en 1995 lineaire interpolatie van de dichtheden van beide jaren,
- tussen 1996 en 1998 lineaire interpolatie van de dichtheden van beide jaren.

Op deze wijze worden weliswaar data 'gegenereerd', maar wel op basis van onafhankelijk gemeten waarden. De relaties met de aantallen vogeldagen die met gebruik van de op deze manier bepaalde dichtheden werden gevonden, waren echter minder sterk dan de relaties waarin alleen de gemeten bodemdichtheden werden gebruikt, ondanks dat in het laatste geval slechts 6 jaren konden worden gebruikt. Om deze reden is tenslotte afgezien van het gebruik van de dichtheden op de oevers, zodat de gegevens relaties waarin Driehoeksmosselen zijn opgenomen, zijn gebaseerd op deze 6 jaren.

5. Relaties tussen voedsel en watervogels

5.1 Resultaten

Nadat per vogelsoort is berekend hoeveel voedsel er is van de verschillende voedselsoorten is met behulp van multiple regressie een relatie gezocht tussen het voedsel (verklarende variabele) en het aantal vogeldagen (verklaarde variabele). Het voordeel van het gebruik van multiple regressie is dat de verschillende voedselbronnen niet in dezelfde eenheid behoeven te worden uitgedrukt. De omrekeningsfactor naar de energie-inhoud van het type voedsel is verdisconteerd in de coëfficiënten van de regressie vergelijking.

Er is uitgegaan van de voedseltypen die per vogelsoort zijn vermeld in tabel 2 (paragraaf 4.2). Bij de beoordeling of een bepaalde verklarende variabele (een bepaald voedseltype) wel of niet in het model moet worden opgenomen is uitgegaan van de p-waarde van de gevonden coëfficiënten. Dit is een statistische maat die de significantie uitdrukt van de bijdrage van de verklarende variabele aan de verklaarde variabele. Wanneer de p-waarde kleiner is dan 0,1 is aangenomen dat de bijdrage van de variabele aan de verklaring van het aantal vogeldagen voldoende significant is. Bij positieve waarden van de model-parameters en een p-waarde kleiner dan 0,1 wordt mede op basis van de ecologische kennis aangenomen dat het verband tussen de voedselbron en het aantal vogeldagen tevens causaal is. Doordat het aantal jaren gering is, zijn p-waarden al snel hoger dan 0,1. Daarom is in gevallen dat de ecologische aanwijzingen sterk zijn dat de variabele relevant is voor het model, een p-waarde hoger dan 0,1 maar kleiner dan 0,2 geaccepteerd. Hierbij wordt dus aangenomen de variabele een causale relatie vertoont met het aantal vogeldagen en dat de p-waarde bij de beschikbaarheid van meer gegevens zal afnemen. Tabel 5 geeft een overzicht van de resultaten van multi-pele regressie van diverse combinaties van relevante voedselbronnen per vogelsoort. In bijlage I zijn de ontwikkelingen in aantallen, beschikbaarheid van planten en de correlaties voor 12 herbivore en benthivore watervogelsoorten gepresenteerd.

5.2 Discussie

De bruikbaarheid van de modellen is gebaseerd op de correlatiecoëfficiënt (maat voor de verklaarde variantie) in combinatie met de ecologische relevantie van de verklarende variabelen. Uit de analyse blijkt dat er goed bruikbare modellen zijn voor de Kleine en de Knobbelzwaan, de Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Krakeend en in iets mindere mate voor Slobeend, Brilduiker, Pijlstaart, Smient en Wintertaling. De eerste zeven hebben een correlatiecoëfficiënt hoger dan 0,7; de laatste drie hebben een correlatiecoëfficiënt lager dan 0,4. Voor de Bergeend is er geen goed model. De correlatiecoëfficiënt ligt weliswaar boven 0,4, maar de model-parameters zijn negatief. Het aantal vogeldagen van de Bergeend neemt dus af bij toenemende voedselbeschikbaarheid. Waarschijnlijk speelt hier een factor een rol die niet in het model zit. Opvallend is dat Doorgroeid Fonteinkruid niet voorkomt als verklarende variabele in een bruikbaar model. Voor de vogelsoorten waarvoor een bruikbaar model is in het vervolg van deze paragraaf enkele specifieke opmerkingen gemaakt.

Knobbelzwaan

Voor de maximale waterdiepte waarop de Knobbelzwaan foerageert is 72,5 cm aangehouden (tabel 4). Als het winterstreefpeil van -30 cm NAP bereikt wordt, kan dus tot op iets meer dan een meter beneden NAP gefoerageerd worden. Dit betekent dat een zeer groot deel van de waterplanten voor de Knobbelzwaan beschikbaar is. Het aantal vogeldagen vertoont dan ook een zeer sterke correlatie met de hoeveelheid kranswier, die nog sterker wordt als ook draadwier in de analyse wordt betrokken. Fonteinkruiden lijken aanzienlijk minder belangrijk; er is geen sprake van een significante correlatie en het snijpunt met de y-as van de lijn die is berekend vanuit alleen kranswier wijkt niet significant af van 0. Een relatief lage p-waarde bij Doorgroeid Fonteinkruid suggereert dat deze soort mogelijk toch enigszins benut wordt, wat bevestigd wordt door veldwaarnemingen (aanspoelen van opgewoelde tuberresten in het vroege najaar).

	kran- wier	p	smalbl. fontein- kruid	p	Doogr. fontein- kruid	p	draad- wier	p	Drie- hoeks- mossel	p	snijpunt	p	r ²	n
Knobbelzwaan	180.6	0.000	-173.1	0.503	514.4	0.207					-32545	0.429	0.966	11
Knobbelzwaan	173.7	0.000	24.6	0.890							-497011	0.885	0.960	12
Knobbelzwaan	172.0	0.000									-820	0.960	0.960	12
Knobbelzwaan	131.9	0.000					1929.8	0.000			10828	0.204	0.991	12
Kleine Zwaan	52.8	0.003	68.7	0.688	180.4	0.548					-10532	0.693	0.792	11
Kleine Zwaan	50.4	0.001	144.8	0.184							-2788	0.980	0.784	12
Kleine Zwaan	39.6	0.000									22071	0.050	0.735	12
Bergeend	-4.2	0.159	-38.3	0.039							13472	0.002	0.449	11
Bergeend	1.8	0.384									6196	0.002	0.077	12
Bergeend			-19.35	0.092							9202	0.000	0.283	11
Smient	432.3	0.847	1972.4	0.142			831.1	0.346			94658	0.019	0.336	11
Smient			1986.1	0.113			920.3	0.194			98027	0.004	0.332	11
Smient			1486.7	0.216							118176	0.000	0.165	11
Krakeend	-72.5	0.514	-176.0	0.163			491.6	0.004			23486	0.069	0.876	11
Krakeend			-110.7	0.097			433.9	0.000			16239	0.000	0.868	11
Krakeend	72.4	0.278					411.1	0.004			6583	0.209	0.826	12
Krakeend							497.8	0.000			11559	0.001	0.800	12
Wintertaling	-1605.8	0.354	999.5	0.106							16199	0.000	0.355	11
Wintertaling			1017.8	0.096							14730	0.000	0.277	11
Wilde Eend	-221.3	0.503	2190.3	0.014							275395	0.022	0.843	11
Wilde Eend			2595.8	0.000							210028	0.000	0.833	11
Pijlstaart	41.1	0.148	-676.6	0.076	2385.6	0.082					-3204	0.911	0.595	11
Pijlstaart	43.1	0.190			173.6	0.776					-7313	0.830	0.345	11
Pijlstaart	25.5	0.363	-72.9	0.620							14220	0.634	0.392	12
Pijlstaart	36.6	0.034									696	0.953	0.374	12
Slobeend	-8.8	0.836	-2.6	0.954			91.9	0.074			4598	0.314	0.566	11
Slobeend	-3.9	0.863					94.0	0.035			3779	0.054	0.547	12
Slobeend							89.3	0.006			3512	0.001	0.546	12
Tafeleend	261.6	0.007	422.6	0.192					191.1	0.002	-751	0.985	0.999	6
Tafeleend	478.9	0.002	-550.3	0.702							193351	0.479	0.810	12
Tafeleend	250.1	0.003							189.2	0.001	50201	0.200	0.998	6
Kuifeend	93.4	0.058							73.3	0.011	37621	0.346	0.981	6
Kuifeend									103.4	0.002	85629	0.171	0.925	6
Brilduiker									2.5	0.162	3470	0.537	0.423	6
Meerkoet	1489.4	0.001	3377.5	0.357	-4564.8	0.484					-171935	0.748	0.915	11
Meerkoet	1548.6	0.000	1517.3	0.475							-359794	0.391	0.915	12
Meerkoet	1501.2	0.033	1136.6	0.597					131.0	0.239	-382141	0.349	0.987	6
Meerkoet	1432.6	0.008							133.6	0.154	-230269	0.285	0.985	6
Meerkoet	1433.2	0.000									-98018	0.609	0.909	12

Tabel 5. Resultaten van de multiple regressie tussen vogeldagen en voedselbeschikbaarheid. Kranwier en fonteinkruiden in ton drooggewicht over het hele meer, draadwier als inwendige bedekking (omgerekend areaal met 100% bedekking in ha), Driehoeksmosselen in miljoenen exemplaren in het hele meer. De blauw gekleurde vergelijkingen zijn gebaseerd op p-waarden kleiner dan 0,1, de geel gekleurde vergelijkingen zijn inclusief enkele relevant geachte variabelen p-waarden groter dan 0,1, maar kleiner dan 0,2.

Kleine Zwaan

De maximale waterdiepte waarop de Kleine Zwaan foerageert bedraagt ruim 66 cm (tabel 4). Bij een waterstand van -30 cm NAP (winterstreefpeil) kan dus tot op bijna een meter beneden NAP gefoerageerd worden. Toch lijken Kleine Zwanen erg gevoelig te zijn voor hoge waterstanden; de aantallen blijven laag als het water hoger is dan ongeveer -15 cm NAP. In jaren met hoge waterstanden bleef het aantal vogeldagen daardoor aanvankelijk achter (1992-1994), met als gevolg een minder goede correlatie met kranwier biomassa dan bij de Knobbelzwaan. In november 1998 was opnieuw sprake van zodanig hoog water dat de Kleine Zwanen naar elders uitweken, maar nu was het groeiseizoen van de kranwieren inmiddels zodanig verlengd dat de vogels konden terugkeren nadat het water gezakt was, waardoor het uiteindelijke aantal vogeldagen niet opvallend laag was. Kleine Zwanen maken behalve van het kranwier ook gebruik van Schedefonteinkruid, waarvan ze de wortelknolletjes eten. De op grond van alleen kranwier berekende lijn gaat dan ook niet door de oorsprong. Multipere regressie van kranwier en smalbladige fonteinkruiden levert een lijn op met een hogere correlatiecoëfficiënt, waarvan het snijpunt met de y-as niet significant afwijkt van 0. Ondanks een p-waarde

voor fonteinkruid van 0,18 lijkt het, mede gezien bestaande kennis over foerageergedrag, verantwoord om te kiezen voor deze relatie.

Bergeend

Bij de Bergeend kon geen sterke relatie met de bestudeerde voedseltypen worden aangetoond. Dit is niet verwonderlijk, omdat de Bergeend met name dierlijk voedsel gebruikt, maar nauwelijks duikt zodat hij evenmin kan profiteren van het aanbod aan Driehoeksmosselen. Dat de relatie met de hoeveelheid planten neigt naar een negatief verband zou kunnen worden verklaard uit een verlies aan onbegroeid foerageergebied.

Smient

De Smient is bij uitstek een grazer, die de randmeren veelal als rustgebied gebruikt. Hij heeft een korte nek en grondelt nauwelijks (maximale foerageerdiepte hier gebruikt 13 cm), zodat zowel kranswier als fonteinkruid nauwelijks beschikbaar is voor deze soort. De correlaties zijn dan ook slecht. Enig verband lijkt er te zijn met de smalbladige fonteinkruiden en draadwier, maar het snijpunt met de y-as is significant hoger dan nul. Het aantal Smienten in het Veluwemeer wordt dan ook waarschijnlijk eerder bepaald door de voedselsituatie in de omgeving (gras) dan door die in het meer zelf.

Krakeend

De Krakeend is kleiner dan de Wilde Eend en gebruikt een nog kleinere waterkolom (hier gebruikt 20 cm). Kranswieren zijn daardoor nagenoeg niet beschikbaar en smalbladige fonteinkruiden slechts in beperkte mate. Er is een redelijke, positieve correlatie met kranswier, die aanzienlijk verslechtert na toevoeging van fonteinkruiden. Aanzienlijk sterker dan die met kranswier is de correlatie met het areaal van de draadwieren, die eveneens sterk zijn toegenomen. In een multi-pele regressie waarin beide voedseltypen zijn betrokken blijkt alleen de correlatie met draadwier significant. Het snijpunt met de y-as is significant groter dan nul, dus mogelijk spelen nog andere voedselbronnen een rol (gras?).

Wintertaling

De Wintertaling is de kleinste grondeleend die bij de analyses is betrokken. De maximum diepte die in de analyses gebruikt is, bedraagt slechts 7,2 cm. De significante relatie met smalbladige fonteinkruiden die naar voren komt wekt daarom enige verbazing. Bovengronds materiaal is niet meer beschikbaar als de aantallen Wintertalingen maximaal zijn en zaden worden door Schedefonteinkruid in het Veluwemeer nauwelijks geproduceerd. Het snijpunt met de y-as is significant positief, en andere dan de beschouwde voedselbronnen zijn dus waarschijnlijk belangrijk (zaden oeverplanten?).

Wilde Eend

De Wilde Eend foerageert in ondieper water dan verwacht mag worden op grond van zijn lichaamsgrootte; het maximum dat hier gebruikt werd is 27 cm. Daardoor is slechts een klein deel van de kranswieren beschikbaar, tegenover ruim de helft van de smalbladige fonteinkruiden. De Wilde Eend is sinds 1987 gestaag afgenomen en het aantal vogeldagen vertoont een sterk negatieve correlatie met de hoeveelheid kranswier. Er is echter een duidelijke positieve correlatie met Schedefonteinkruid. Het is nog niet duidelijk of deze relatie met ruimtelijke gegevens kan worden ondersteund. In de periode dat de aantallen Wilde Eenden het grootst zijn is geen bovengronds materiaal meer beschikbaar, zodat het zou moeten gaan om consumptie van wortelknolletjes (zaden worden door Schedefonteinkruid in het Veluwemeer nauwelijks geproduceerd). Het feit dat het snijpunt met de y-as significant hoger dan nul is doet vermoeden dat andere voedselbronnen dan de hier bestudeerde een rol spelen, wellicht voedselbronnen buiten het water (gras).

Pijlstaart

Bij de Pijlstaart is een maximale foerageerdiepte van 41 cm aangehouden. Deze soort grondelt meer dan soorten als Wilde Eend en Smient en heeft een relatief lange nek. Het grootste deel van de smalbladige fonteinkruiden en ongeveer de helft van de kranswieren is voor de Pijlstaart beschikbaar, althans bij winterstreefpeil. Er is een duidelijke correlatie met de hoeveelheid kranswier, maar die is aanzienlijk minder sterk dan bij de zwanen en de Meerkoet. Toevoeging van de biomassa van fonteinkruiden aan de regressie resulteert niet in significante relaties en ook het toevoegen van draadwier levert niets op; het snijpunt van de lijn berekend vanuit alleen kranswier wijkt ook niet significant af van nul. De soort is met de ontwikkeling van de vegetatie sterk toegenomen, maar fluctueert nogal in aantal. Dit hangt waarschijnlijk samen met gevoeligheid voor hoge waterstanden, relatief lage aantallen gaan vaak samen met hoog water.

Slobeend

De Slobeend foerageert eveneens ondiep (20 cm aangehouden). Evenals bij de Krakeend is er alleen een correlatie met draadwier, maar in dit geval is deze minder sterk. Ook hier is sprake van een significant positief snijpunt met de y-as, zodat wellicht andere dan de beschouwde voedselbronnen van betekenis zijn (zoöplankton?).

Tafeleend

De Tafeleend is een omnivore duikeend, die in het Veluwemeer op zowel foeragerend op waterplanten als op mosselen gezien wordt. Vrijwel al het aanwezige materiaal is voor deze soort beschikbaar, voor het foerageren op planten werd 170 cm als grens gekozen. Er is een sterke correlatie met zowel kranswier als mosselen, maar daarbij is het snijpunt met de y-as sterk positief, wat een derde factor suggereert. Van Tafeleenden is uit het Veluwemeer ook foerageren op knolletjes van Schedefonteinkruid bekend, met name in de directe omgeving van foeragerende Kleine Zwanen. Toevoeging van Schedefonteinkruid aan de analyse lijkt het hiervoor genoemde "gat" inderdaad op te vullen, zij het niet significant. Een andere factor kan bestaan uit de nabijheid van de Driehoeksmosselen in het Wolderwijd. Op mosselen wordt met name 's nachts gefoerageerd, waarbij uitwisseling van vogels plaatsvindt tussen Veluwemeer en Wolderwijd (Tulp 1997).

Kuifeend

De Tafeleend is in de eerste plaats benthivoor. Toch blijkt ook de biomassa van kranswier een deel van de variantie te verklaren. Mogelijk betreft het slakjes of mosselbroed dat op en tussen de kranswieren is te vinden. Ook in het Zwarte Meer werd in de jaren vijftig op deze wijze gefoerageerd. Net als bij de Tafeleend wordt vooral 's nachts op mosselen gefoerageerd, waarbij uitwisseling tussen Veluwemeer en Wolderwijd kan plaatsvinden.

Brilduiker

De Brilduiker is zuiver benthivoor en correleert met geen van de bestudeerde plantaardige voedselbronnen. Hij duikt diep, waardoor al het aanwezige voedsel ook daadwerkelijk beschikbaar is. In de Veluwerandmeren is de Driehoeksmossel waarschijnlijk de belangrijkste voedselbron, hoewel ook andere bodemfauna waarschijnlijk een rol speelt. De Brilduiker foerageert overdag, zodat uitwisseling tussen Veluwemeer en Wolderwijd in de correlatie geen rol speelt. Dat de correlatie met mosselen desondanks niet significant is, heeft waarschijnlijk te maken met veranderingen in het doorzicht, want anders dan de nachtelijk foeragerende benthivoren gebruikt de Brilduiker bij het foerageren zijn gezichtsvermogen.

Meerkoet

Door zijn beperkte duikvermogen bedraagt de maximale diepte waarop de Meerkoet op het kranswieveld foerageert bijna 65 cm (tabel 4). Er is voor deze soort daarom bijna net zo'n groot deel van de biomassa bereikbaar als voor de zwanen. Ook de Meerkoet vertoont dan ook een sterke correlatie met kranswier. Waarschijnlijk wordt in het begin van het seizoen ook op fonteinkruiden gefoerageerd, maar multi-pele regressie levert geen significante correlaties op. Zowel uit de literatuur als uit veldwaarnemingen in het gebied zelf is bekend dat de Meerkoeten ook, met name later in het seizoen, op Driehoeksmosselen foerageren. Multi-pele regressie met kranswier en mosselen levert een relatie op die voor mosselen net niet significant is. Dit komt waarschijnlijk doordat de hoeveelheid bruikbare jaren werd gehalveerd door beperkte beschikbaarheid van gegevens over mosseldichtheden. Mede gezien de veldkennis lijkt het daarom zinvol toch aan deze relatie de voorkeur te geven.

6. Validatie op het Wolderwijd

6.1 Resultaten

De rekenregels zijn afgeleid met behulp van gegevens van het Veluwemeer. De in deze analyse gebruikte gegevenssets zijn in bijna dezelfde omvang en detaillering eveneens voor het Wolderwijd/Nulder nauw beschikbaar (zie ook hoofdstuk 3). Dit maakt het mogelijk de rekenregels die met Veluwemeer data zijn opgesteld, te valideren met gegevens uit het Wolderwijd. De validatie geeft een indruk van de bruikbaarheid van de rekenregels onder gewijzigde omstandigheden, met name de toepassing in een ander systeem.

Vanuit de soortspecifieke beschikbaarheid (maximale foerageerdiepte bij winterstreefpeil) is voor alle bestudeerde vogelsoorten met behulp van de rekenregels uit het Veluwemeer het verwachte aantal vogeldagen in het Wolderwijd bepaald. Het verloop hiervan door de jaren is vervolgens vergeleken met het werkelijke verloop van het aantal vogeldagen. Er zijn twee maten gebruikt om de resultaten te beoordelen, de model-efficiëntie en de correlatiecoëfficiënt. De laatste heeft een optimum van 1 en geeft de verhouding tussen de variabelen weer. Twee uit elkaar liggende lijnen kunnen een correlatie van 1 hebben, terwijl de fit eigenlijk ontbreekt. Daarom is de model-efficiëntie een betere maat (Portielje, 1994):

$$\text{model-efficiëntie} = \{ \sum (C_m - C_{m,\text{gem}})^2 - \sum (C_b - C_m)^2 \} / \sum (C_m - C_{m,\text{gem}})^2$$

waarbij 'm' staat voor de meetwaarden, 'm,gem' voor het gemiddelde van de waarnemingen en 'b' voor de berekende waarden. De sommatie vindt plaats voor de jaren dat er een gemeten en een berekende waarde aanwezig is. De optimale waarde is wederom 1; beide variabelen vallen dan precies samen. Een rechte lijn alleen door de metingen met een waarde gelijk aan het gemiddelde van de metingen geeft een model-efficiëntie van 0. Negatieve waarden geven aan dat het model minder goed presteert dan het gemiddelde van alle waarnemingen. Hiermee is deze model-efficiëntie dus een goede maat voor de prestatie van het model. Echter een lage model-efficiëntie, maar een hoge correlatiecoëfficiënt, geeft aan dat het model wel kan worden gebruikt om te vergelijken. het model is dan wel bruikbaar om bijvoorbeeld scenario's te vergelijken of te ordenen, maar niet om absolute waarden van het aantal vogeldagen te genereren.

De resultaten voor de gemarkeerde rekenregels van tabel 5, zijn weergegeven in tabel 6. In de figuren 1-13H van bijlage I zijn de resultaten van het berekende verloop van het aantal vogeldagen in het Wolderwijd vergeleken met het werkelijke verloop.

Tabel 6. Resultaten van de validatie van de rekenregels op het Wolderwijd.

Soort	Verklarende variabelen	Model-efficiëntie	r ²
Knobbelzwaan	kranswier	-0,06	0,82
Kleine Zwaan	kranswier	-3,3	0,13
	kranswier, smalbladige fonteinkruiden	-0,46	0,11
Pijlstaart	kranswier	0,12	0,15
Krakeend	draadwier	0,70	0,71
Wintertaling	smalbladige fonteinkruiden	-0,32	0,19
Wilde Eend	smalbladige fonteinkruiden	-0,84	0,08
Slobeend	draadwier	-0,72	0,01
Tafeleend	kranswier, Driehoeksmossel	0,57	0,85
	kranswier, smalbladige fonteinkruiden, Driehoeksmossel	0,41	0,84
Kuifeend	kranswier, Driehoeksmossel	0,43	0,60
Brilduiker	Driehoeksmossel	-1,6	0,95
Meerkoet	kranswier	0,31	0,48
	kranswier, Driehoeksmossel	-2,5	0,83

6.2 Discussie

De modellen voor de vogelsoorten Krakeend, Tafeleend (kranswier/Driehoeksmossel-model), Kuifeend, Tafeleend (kranswier/smalbladige fonteinkruiden/Driehoeksmossel-model) en Meerkoet (kranswier-model) hebben een goede model-efficiëntie voor de validatie op het Wolderwijd. Ook voor de Pijlstaart vertoont het model een positieve waarde van de model-efficiëntie. Voor al deze soorten levert het model een betere uitspraak dan het gemiddelde van de waarnemingen. Bovendien hebben de modellen van de Tafeleend, Krakeend, Kuifeend en Meerkoet ook nog een hoge correlatiecoëfficiënt. Van de genoemde modellen met een positieve model-efficiëntie geeft die van de Pijlstaart het minst betrouwbare resultaat.

Daarnaast zijn er drie modellen, die van de Brilduiker, de Meerkoet (kranswier/Driehoeksmossel-model) en de Knobbelzwaan met een model-efficiëntie kleiner dan 0, maar met een zeer hoge correlatiecoëfficiënt. Deze modellen mogen dus enkel worden toegepast bij vergelijking met andere modelresultaten. Door toevoeging van de voedseltype Driehoeksmossel neemt het aantal jaren waarvan gegevens beschikbaar zijn ongeveer met de helft af. Opvallend is dat voor de berekening van het aantal vogeldagen van de Meerkoet het beste het model met enkel kranswieren kan worden gebruikt, maar voor vergelijking van scenario's is het model met kranswieren en Driehoeksmosselen.

De validatie valt niet goed uit voor de Kleine Zwaan, Wilde Eend, Slobeend, Wintertaling en Smient.

Uit figuren 1-13H van bijlage I blijkt dat van alle kranswiereters (i.e.g. Knobbelzwaan, Kleine Zwaan, Meerkoet en Pijlstaart) de werkelijke aantallen vogeldagen in de periode 1992-1996 aanzienlijk lager waren dan de met de modellen berekende aantallen. De laatste twee jaren komen de berekende waarden beduidend dichterbij de werkelijke waarden. Mogelijke oorzaken van de verschillen in de periode tot 1996/97 zijn een andere soortensamenstelling van de kranswervegetaties, met name een veel kleiner aandeel van de bulbillen producerende *Chara aspera* en een korter groeiseizoen, wat mogelijk verband hield met een sterkere begroeiing met perifyton. Wat beide factoren betreft heeft echter een inhaalslag plaatsgevonden, tegenwoordig is *Chara aspera* ook in het Wolderwijd algemeen aanwezig en is het groeiseizoen even lang als in het Veluwemeer. Het toevoegen van recentere gegevens aan het model moet dus een betere benadering van de situatie in het Wolderwijd opleveren.

Opgemerkt dient te worden dat deze validatie aantoont dat diverse modellen op basis van deze toetsing bruikbaar zijn voor andere systemen dan waar het model voor is opgezet, het Veluwemeer. De systemen dienen dan wel vergelijkbaar te zijn met het Wolderwijd. Dit geldt bijvoorbeeld voor andere randmeren, waaronder de zuidelijke randmeren, maar in veel mindere mate voor de grote systemen Markermeer en IJsselmeer. Zo mogelijk moeten de relaties nog wel worden gevalideerd met gegevens van het systeem waarvoor de modellen worden ingezet, zoals is gedaan voor het Wolderwijd. Indien er voor deze systemen voldoende gegevens voor handen zijn voor wat betreft voedsel en vogeldagen, verdient het uiteraard de voorkeur om op basis hiervan nieuwe relaties af te leiden, wanneer de beheersvragen zijn toegespitst op die systemen. Dit lijkt vooralsnog alleen mogelijk voor het Wolderwijd.

7. Conclusies

Uit de analyse van gegevens van het Veluwemeer blijkt dat er bruikbare modellen zijn voor de Kleine en de Knobbelzwaan, de Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Krakeend en in iets mindere mate voor Slobeend, Brilduiker, Pijlstaart, Smient en Wintertaling. Voor de Bergeend is er geen goed model.

De resultaten in bovengenoemde tabel gaan in principe over toepassing op het systeem, waarvoor de modellen zijn afgeleid, het Veluwemeer. Uit validatie op gegevens van het Wolderwijd blijkt dat de modellen voor Krakeend, Tafeleend, Kuifeend en Meerkoet ook toepasbaar zijn voor andere, vergelijkbare situaties. Voor de Pijlstaart geldt dit in mindere mate. Daarnaast zijn er drie modellen, die van de Brilduiker, de Meerkoet en de Knobbelzwaan, die enkel mogen worden toegepast bij vergelijking met andere alternatieven of scenario's. De modellen voor de Kleine Zwaan, Wilde Eend, Slobeend, Wintertaling en Smient mogen op grond van de uitgevoerde validatie niet worden gebruikt voor andere systemen.

In deze studie is een start gemaakt met het opzetten van een modelinstrumentarium waarmee de effecten van beheer en inrichting via de voedselbeschikbaarheid op de aanwezigheid van een aantal soorten watervogel kunnen worden voorspeld. Op basis van vooronderzoek en beschikbaarheid van gegevens zijn empirische relaties gelegd tussen de voedseltypen kranswieren, fonteinkruiden, draadwieren en Driehoeksmosselen en tussen 13 soorten watervogels, te weten Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Smient, Krakeend, Pijlstaart, Slobeend, Brilduiker, Wintertaling en Bergeend. Vooralsnog zijn geen relaties afgeleid voor visetende watervogels. Voor de modellen is uitgegaan van gegevens van het Veluwemeer van 1987 tot de zomer van 1999. De modellen zijn vervolgens gevalideerd met gegevens van het Wolderwijd.

Voor een drietal soorten (Kleine Zwaan, Knobbelzwaan, Meerkoet) zijn gedetailleerde gegevens van de ruimtelijke verspreiding gebruikt om de diepte te schatten waarop ze foerageren op kranswieren en fonteinkruiden. Gezien het mogelijke belang van deze factor voor de uiteindelijke modeluitkomsten, is het wenselijk om in een vervolg dit ook voor andere soorten te doen. Verder is gebruik gemaakt van literatuur, veldkennis en -data om de jaarlijks beschikbare hoeveelheid voedsel te bepalen. Voor Driehoeksmosselen zijn er over relatief weinig jaren gegevens beschikbaar; een nieuwe inventarisatie zou om die reden wenselijk zijn. Het aantal vogeldagen is als maat genomen voor de vogelpopulatie. Via multi-pele regressie zijn vervolgens per vogelsoort relaties gelegd tussen de voedselbeschikbaarheid en het aantal vogeldagen.

Deze werkwijze heeft voor het Veluwemeer geleid tot bruikbare modellen voor de Kleine en de Knobbelzwaan, de Meerkoet, Tafeleend, Kuifeend, Wilde Eend, Krakeend (r^2 groter dan 0,7) en in iets mindere mate voor Slobeend, Brilduiker, Pijlstaart, Smient en Wintertaling (r^2 tussen 0,55 en 0,25). Voor deze 12 soorten kunnen effecten van beheersingrepen of andere verandering op de voedselbeschikbaarheid in het Veluwemeer worden doorvertaald naar effecten op de watervogels. Voor de Bergeend kon geen bruikbaar model worden gemaakt; de gebruikte variabelen bevatten een te grote onzekerheidsmarge of er zijn andere factoren bepalend voor het voorkomen van Bergeenden dan die in het model zijn beschouwd.

De modellen voor het Veluwemeer zijn tenslotte gevalideerd met onafhankelijke gegevens van het Wolderwijd. Hieruit blijkt dat de modellen voor Krakeend, Tafeleend, Kuifeend en Meerkoet ook toepasbaar zijn voor het Wolderwijd en dus ook andere, vergelijkbare systemen als de overige randmeren. Voor de Pijlstaart geldt dit in mindere mate. Daarnaast zijn er drie modellen, die van de Brilduiker, de Meerkoet en de Knobbelzwaan, die niet bruikbaar zijn voor absolute uitspraken over de vogelpopulatie, maar wel kunnen worden ingezet bij de vergelijking tussen verschillende alternatieven. De modellen voor de Kleine Zwaan, Wilde Eend, Slobeend, Wintertaling en Smient mogen op grond van de uitgevoerde validatie niet worden gebruikt voor andere systemen. Een deel van de afwijking tussen modeluitkomst en waargenomen aantal vogeldagen voor het Wolderwijd kon worden verklaard door de aanwezigheid van een andere, mogelijk minder goed consumeerbare, soort kranswier gedurende een deel van de bestudeerde jaren.

8. Aanbevelingen

Dit project kan worden omschreven als de kortste weg om te komen tot relaties tussen de voedselbeschikbaarheid en het voorkomen van watervogels. Er zijn diverse zinvolle uitbreidingen denkbaar, waarvan een aantal hieronder worden vermeld.

Toevoeging recente gegevens

De meest recente gegevens die zijn gebruikt zijn van het seizoen 1998/1999. In elk geval zolang verschuivingen optreden in de beschikbaarheid van de diverse voedseltypen en in de aantallen vogels is het van belang recente gegevens aan het model te blijven toevoegen. Verschillen in successie snelheid tussen bijvoorbeeld Veluwemeer en Wolderwijd worden dan minder belangrijk. De correlatiecoëfficiënt van een aantal modellen zal mogelijk verder toenemen en de geldigheid van de modellen neemt in ieder geval toe.

Inwinning van nieuwe gegevens

Gezien het geringe aantal jaren dat voor mosseletende soorten kon worden gebruikt kunnen de relaties voor deze soorten sterk verbeteren door het uitvoeren van nieuwe bodemkarteringen van Driehoeksmosselen.

Betrouwbaarheid en bruikbaarheid

Bij het vaststellen van de rekenregels en de validatie daarvan voor een ander systeem is beperkt gebruik gemaakt van statistiek om de betrouwbaarheid en bruikbaarheid vast te stellen. Dit kan worden verbeterd, waardoor een kwantitatieve uitspraak kan worden gedaan met betrekking tot de nauwkeurigheid en het toepassingsgebied van de rekenregels. Daarnaast kan een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd, waarmee bijvoorbeeld kan worden vastgesteld welk type invoer het nauwkeurigst moet worden bepaald.

Vaststellen foerageerdiepte watervogels

Bij een eerste toepassing van de modellen lijken de resultaten gevoelig voor de maximale diepte waarop watervogels kunnen foerageren. Bij het vaststellen hiervan is bij drie soorten gebruik gemaakt van gedetailleerde waarnemingen van de verspreiding en het gedrag van de vogels en een nauwkeurige dieptekaart. De basisinformatie is aanwezig om dit ook te doen voor een aantal soorten grondeleenden. Dit zal een beter onderbouwde schatting opleveren van de diepte die vervolgens weer wordt gebruikt om de biomassa beschikbaar voedsel vast te stellen. Het beste materiaal dat hiervoor beschikbaar is zijn de karteringen die door Bureau Waardenburg zijn uitgevoerd in seizoen 1999/2000. In dit seizoen kwam het kranwier voor op een veel grotere diepterange dan in 1996/97. Bovendien is gebruik gemaakt van een afstandsmeter, zodat de karteringen in principe nauwkeuriger zijn uitgevoerd. Dit betekent dat het ook voor de soorten waarvan het materiaal uit 1996 is geanalyseerd, de moeite waard is een nieuwe bewerking uit te voeren. Het lijkt daarbij ook mogelijk te zijn om binnen de voor de soort bereikbare diepterange het verloop in gebruiksintensiteit vast te stellen.

Variatie in de tijd

Er is steeds gewerkt met het aantal vogeldagen per (vogel-)jaar en de voedselbeschikbaarheid aan het begin van het watervogelseizoen. In principe kan het dus zo zijn dat een deel van de vogeldagen in het gebied is doorgebracht in een periode dat bepaalde voedselbronnen niet meer beschikbaar waren. Vooral soorten die laat arriveren (Kleine Zwaan) kunnen een situatie aantreffen waarin aanzienlijk minder biomassa beschikbaar is dan op grond van de gebruikte diepterange wordt aangenomen, hetzij door degeneratie van planten, hetzij door consumptie door andere vogelsoorten. Analyse van dergelijke effecten kan leiden tot meer inzicht en betere rekenregels.

Ruimtelijke verspreiding van de vogels

De hier gepresenteerde relaties zijn gebaseerd op vogeldagen en voedselbeschikbaarheid in het hele meer. Voor kranwieren en fonteinkruiden is bij de bepaling van de beschikbare biomassa rekening gehouden met de diepte, voor Driehoeksmosselen en draadwieren niet. Vooral bij soorten die voedselbronnen als fonteinkruiden en draadwier benutten, is het van belang de ruimtelijke informatie te benutten voor een controle van de bevindingen. Andere mogelijkheden zijn het bestuderen van de invloed van de dichtheid van de vegetatie op consumptie (biomassa kranwier in lage dichtheden lijkt weinig benut te worden) en het bestuderen van effecten van de inrichting en het menselijk gebruik van het gebied op de aanwezigheid van vogels.

Visetende vogels

Piscivore watervogels zijn in deze studie buiten beschouwing gelaten. Viseters komen vaak verspreid voor en zijn daardoor wat minder makkelijk te tellen. Om deze reden is ruimtelijke informatie slechts beperkt voor handen. De monitoring van vis heeft vaak een ruime nauwkeurigheidsmarge en er zijn in de loop der tijd enkele wijzigingen in de gebruikte methodiek opgetreden. Van enkele belangrijke jaren ontbreekt informatie over de visstand. Toch zijn er in het verloop van het aantal vogeldagen van viseters een aantal opvallende verschuivingen te zien, die min of meer samenvallen met verschuivingen in de samenstelling van de visstand. Een analyse van het beschikbare materiaal kan daarom, vooral als meerdere randmeren in de analyse worden betrokken, wellicht toch bruikbare relaties opleveren. Indien deze modellen met succes worden afgeleid kan ook worden overwogen om de resultaten van het model PISCATOR als invoer te gebruiken en aldus de vertaling van beheersmaatregelen via vis op vogels in te schatten.

Breder toepassen

De modellen doen uitspraak over de verandering in het aantal vogeldagen bij gewijzigde voedselbeschikbaarheid. Er zijn nu modellen toepasbaar voor het Veluwemeer. Daarnaast is gebleken dat een aantal ook bruikbaar is voor het Wolderwijd en vergelijkbare systemen. Voor het Wolderwijd zijn voldoende gegevens beschikbaar om modellen te maken die specifiek voor het Wolderwijd bruikbaar zijn. Voor andere randmeren zijn waarschijnlijk niet voldoende gegevens voor specifieke modellen, maar kan wel informatie worden benut voor validatie voor die betreffende systemen. Voor meer afwijkende systemen als het Markermeer en IJsselmeer is zo'n validatie zeker nodig voordat de modellen afgeleid van gegevens van randmeren daar kunnen worden toegepast.

Presentatie van de modelresultaten

Door koppeling van de rekenregels aan GIS systemen en het doen van bepaalde aannames kunnen de uitkomsten van het model ruimtelijk in beeld worden gebracht. Dit zal het toepassingsgebied vergroten. Door koppeling van de rekenregels aan het model MACROMIJ of een ander ruimtelijk model dat een schatting maakt van voedingsbronnen van watervogels, kunnen de mogelijkheden voor het doorrekenen van scenario's nog verder worden uitgebreid. Het huidige MACROMIJ berekent enkel de aan- of afwezigheid van waterplanten. De voorspellende waarde van WAVOMIJ neemt aanzienlijk toe als gewerkt kan worden met berekende biomassa's of bedekkingsklassen.

De aanbevelingen zijn samen te vatten met uitbreiding, verdieping, onderbouwing en presentatie. Uitbreiding betreft nieuwe tijdreeksen gebruiken, viseters toevoegen en toepassing voor andere gebieden. Verdieping gaat over meer detail aanbrengen in diepte, ruimte en tijd. Onderbouwing behelst het verder kwantificeren van de betrouwbaarheid. Presentatie tenslotte, betreft de koppeling aan GIS. Verder verdient het aanbeveling om door middel van wetenschappelijke publicaties het werk internationaal te toetsen. Dit alles biedt de mogelijkheid om een project voor meerdere jaren te definiëren op basis van een nader vast te stellen prioritering.

Literatuur

- Berg, M. van den, H. Coops, W. Joosse & J. van der Hout, 1999. Macromij: MACROfyten Model voor het IJsselmeergebied. RIZA werkdokument 99.134X, Lelystad.
- Cramp S. & K. E. L. Simmons (eds.) 1977. Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa. Vol. I, Ostrich to Ducks. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Cramp S. & K. E. L. Simmons (eds.) 1980. Handbook of the Birds of Europe the Middle East and North Africa. Vol. II, Hawks to Bustards. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Doef, R.W., H. Coops, M.L. Streekstra & L.H.C.A. Hector, 1994. Waterplanten in het Wolderwijd en het Veluwemeer (1990-1993). RIZA nota 94.046, Lelystad.
- Doef, R.W., A.J.M. Smits & F.C.M. Kerkum, 1991. Water- en oeverplanten in het IJsselmeergebied. RIZA nota 90.015, Lelystad.
- Duel, H., B.P.M. Specken, W.D. Denneman & C. Kwakernaak, 1995. The Habitat Evaluation Procedure as a tool for ecological rehabilitation of wetlands in The Netherlands. Water Science & Technology 31 (8): 387-391.
- Eerden, M.R. van, 1998. Patchwork; patch use, habitat exploitation and carrying capacity for water birds in Dutch freshwater wetlands. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen; Van Zee tot Land 65, ISBN 9036912210.
- Leeuw, J.J. de, 1997. Demanding divers. Ecological energetics of food exploitation by diving ducks. Van Zee tot Land 61. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied, Lelystad.
- Meulen, Y.A.M. van der, 1997. Het Meren Ecotopen Stelsel; een ecotopenstelsel voor de meren van het IJsselmeergebied en Volkerark-Zoommeer. RIZA rapport 97.076, Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- Molen, D.T. van der, 1999. The role of eutrophication models in water management. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen. RIZA rapport 99.020, ISBN 9058080439.
- Moorsel, G.W.N.M. van, 1996. Status van de Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) in het Wolderwijd/Nuldernaauw en Veluwemeer in 1996. Bureau Waardenburg bv, rapport nr. 96.46, Culemborg.
- Moorsel, G.W.N.M. van, A. Bak & R. Munts, 1998. Status van de Driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*) in de randmeren in 1998. Bureau Waardenburg bv, rapport nr. 98.065, Culemborg.
- Noordhuis, R. (red.), 1997. Biologische monitoring zoete rijkswateren. Watersysteemrapportage randmeren. RIZA rapport 95.003, ISBN 9036904641, Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- Noordhuis, R. (red.), 2000. Biologische monitoring zoete rijkswateren. Watersysteemrapportage IJsselmeer en Markermeer. RIZA rapport, in voorbereiding, Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- Portielje, R., 1994. Response of shallow aquatic ecosystems to different nutrient loading levels. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.
- Reijnen, R., W.B. Harms, R.P.B. Foppen, R. de Visser & H.P. Wolfert, 1995. Rhine-econet. Ecological networks in river rehabilitation scenarios: a case study for the lower Rhine. Publication 58, DLO, RIZA, RIVM.
- Rushton, S.P., D. Hill & S.P. Carter, 1994. The abundance of river corridor birds in relation to their habitats - a modelling approach. Journal of Applied Ecology: 313-328.
- Schröder, S.E., J.H.M. Schobben & P.L. Meininger, 1996. Een populatiemodel voor de Visdief *Sterna hirundo*. Rapport RIKZ-96.021, Den Haag.
- Tulp, E. 1997. Watervogels en kranwieren in het Veluwemeer en Wolderwijd in 1996. Bureau Waardenburg, Culemborg.
- Voslamber, B. & C. van Turnhout, 1998. Aantalsontwikkeling van Kuifeend *Aythya fuligula* en Tafeleend *A. ferina* op enkele Nederlandse zoetwatermeren en rivieren in de periode 1966 t/m 1997. RIZA werkdokument 98.107X, SOVON-Onderzoeksrapport 1998/07.
- Witte, B.J. de, L.H.C.A. Hector, M.L. Streekstra & G.D. Butijn, 1995. Monitoring van de waterplanten in het IJsselmeergebied in het kader van het regionaal meetnet (1990-1994). RDIJ, intern rapport 5 ANM/ANW, Lelystad.
- Witte, B.J. de, M. L. Streekstra & A.D. Grul, 1995. Monitoring van de waterplanten in het IJsselmeergebied 1995. RDIJ werkdokument 95-4, Lelystad.
- Witte, B.J. de, M.L. Streekstra, C.H.M. Koenjer & A.D. Grul, 1997. Monitoring van de waterplanten in het IJsselmeergebied 1996. RDIJ rapport 97-4, Lelystad.
- Witte, B.J. de, M.L. Streekstra, C.H.M. Koenjer & A.D. Grul, 1997. Monitoring van de waterplanten in het IJsselmeergebied 1997. RDIJ rapport 97-5, Lelystad.

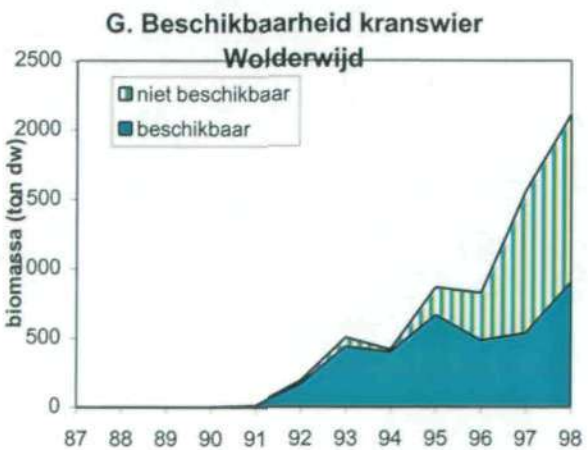
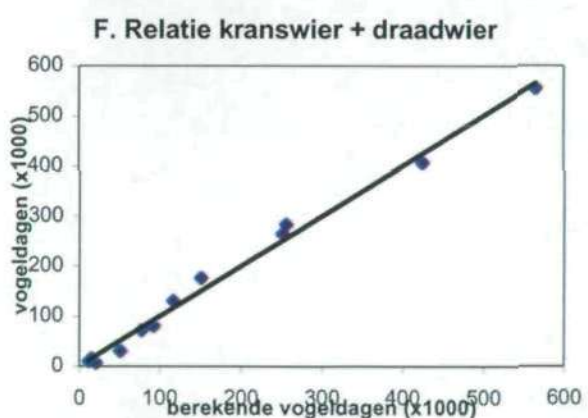
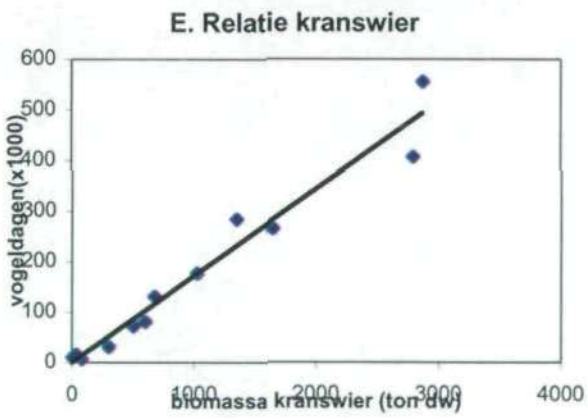
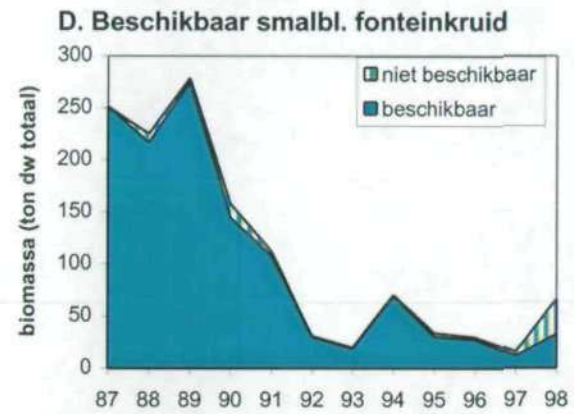
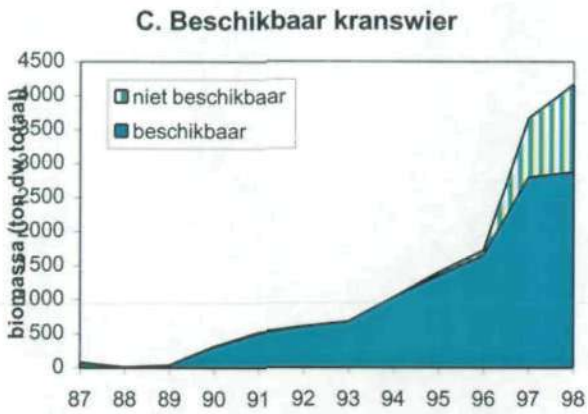
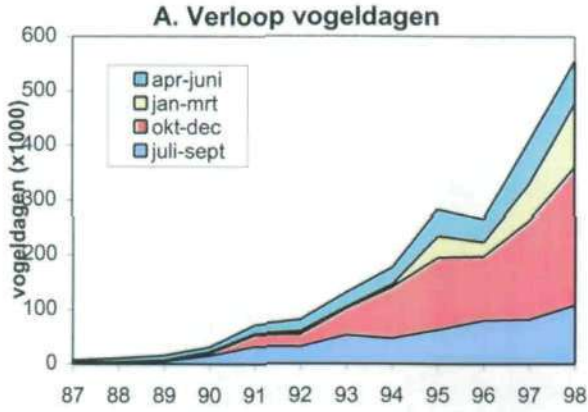
Witte, B.J. de, C.H.M. Koenjer & J. Postema, 1998. Monitoring van de waterplanten in het IJsselmeergebied 1998. RDIJ rapport 98-6, Lelystad.

Bijlage I

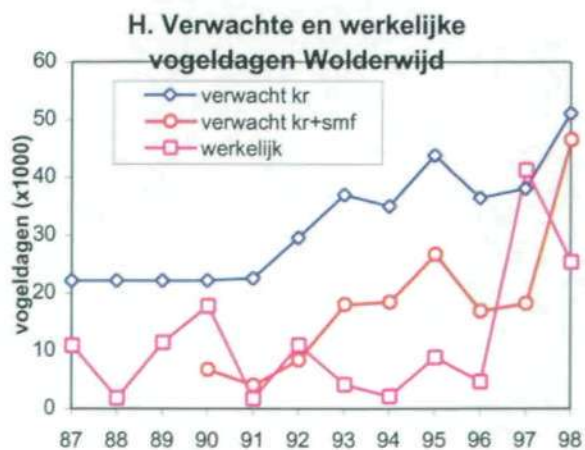
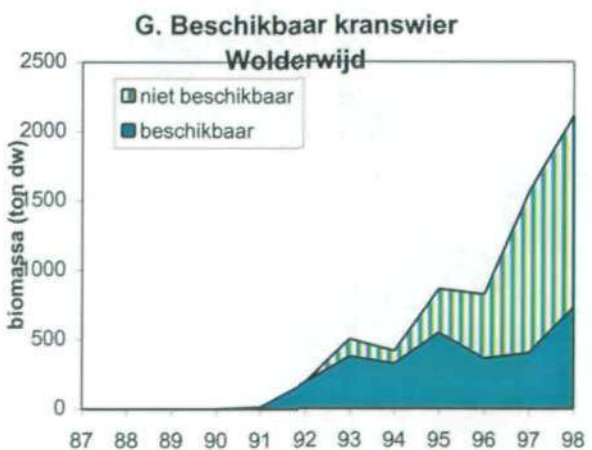
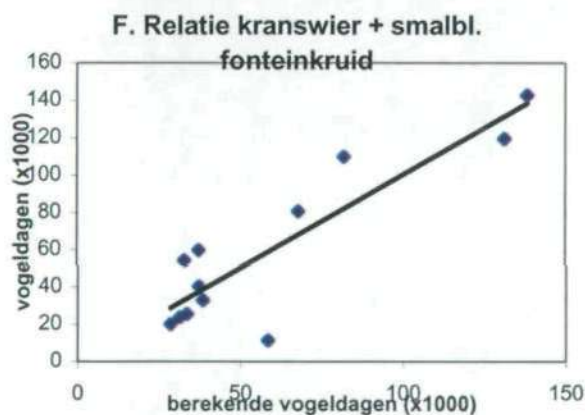
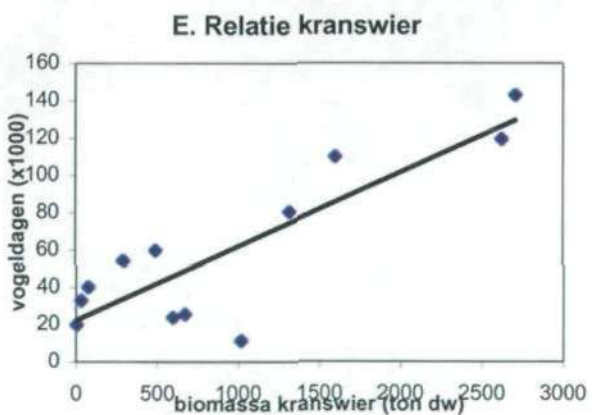
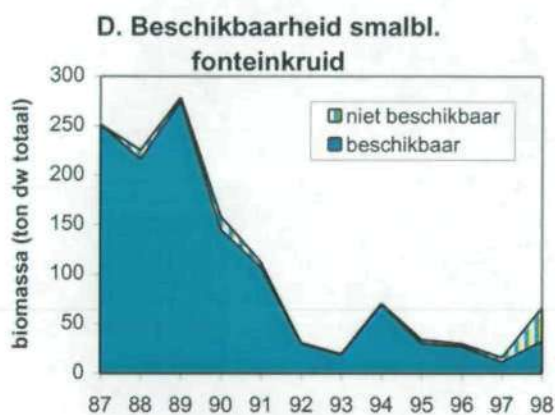
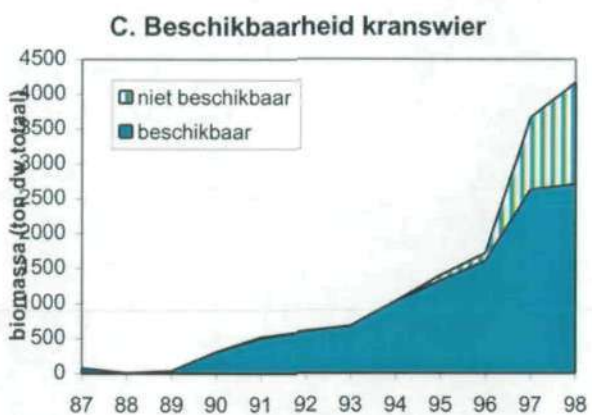
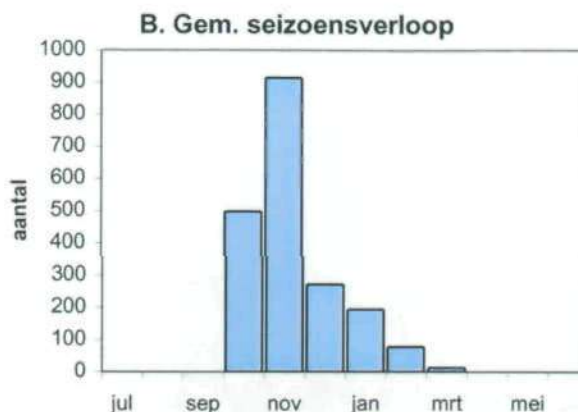
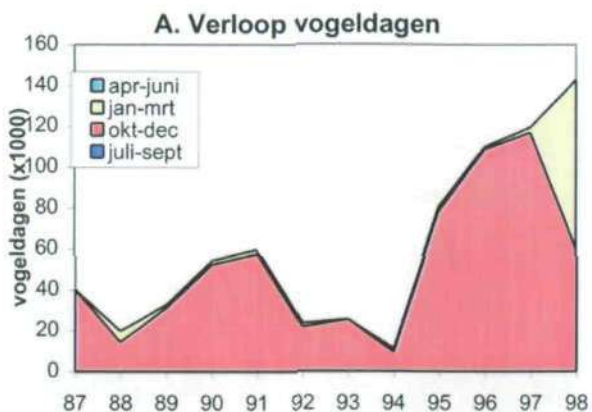
Grafische weergave gegevens en resultaten per vogelsoort

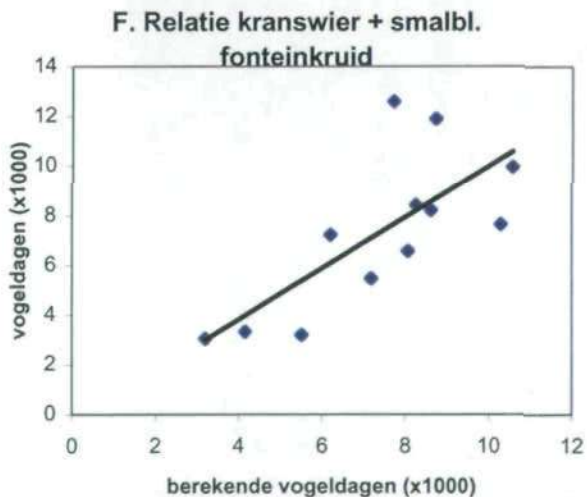
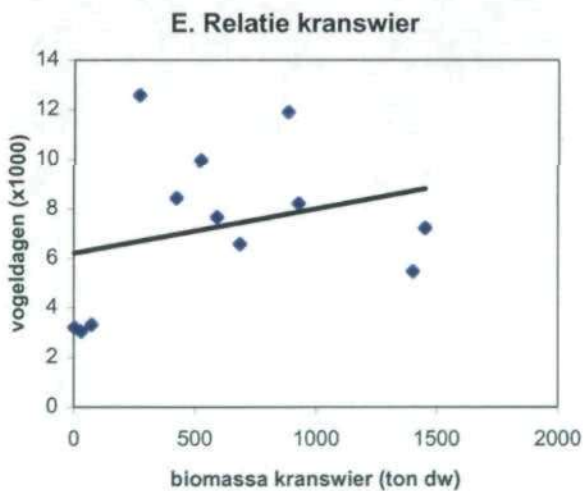
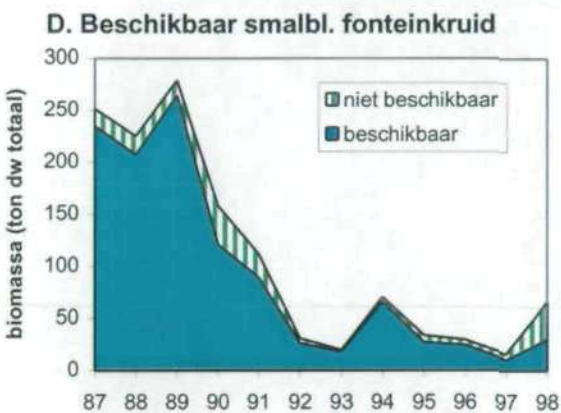
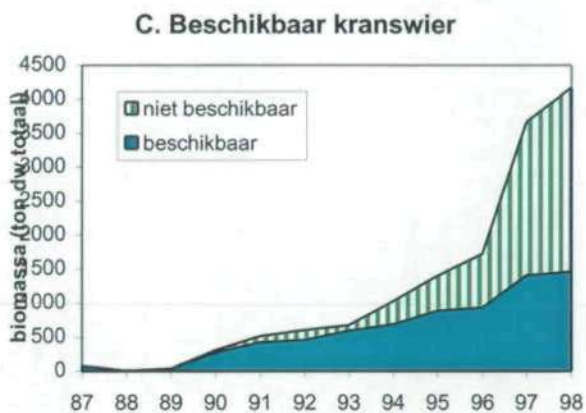
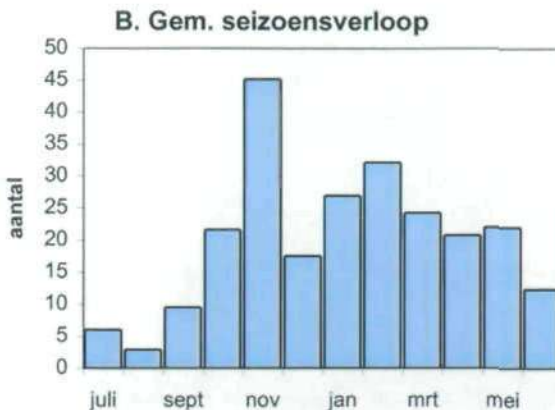
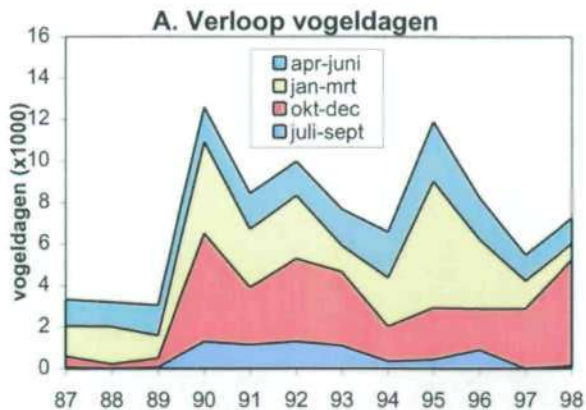
- A. Het verloop van het aantal vogeldagen van 1987/88 t/m 1998/99
- B. Het gemiddelde seizoensverloop van de aantallen over 1987/88 - 1998/99
- C. Het verloop van de biomassa van kranwier en het aandeel beschikbaar voor de betreffende soort
- D. Het verloop van de biomassa van de smalbladige fonteinkruiden (Schedefonteinkruid + Tenger Fonteinkruid) en de beschikbaarheid voor de betreffende soort
- E. en F. Relaties van aantallen vogeldagen met de beschikbaarheid van relevante voedseltypen of combinaties daarvan
- G. Het verloop van de biomassa van kranwier in het Wolderwijd en het aandeel beschikbaar voor de betreffende soort
- H. Vergelijking van het verloop van het aantal vogeldagen in het Wolderwijd, berekend volgens de in tabel 5 gemarkeerde formules, vergeleken met het werkelijke verloop van het aantal vogeldagen

Knobbelzwaan (72.5 cm)



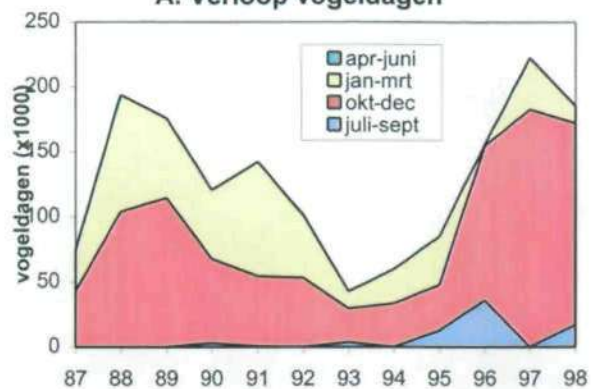
Kleine Zwaan (66.2 cm)



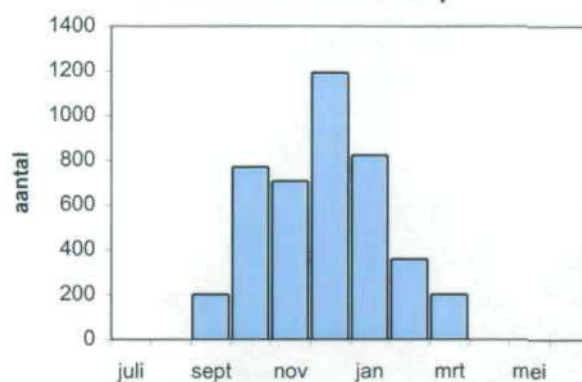


Smient (13 cm)

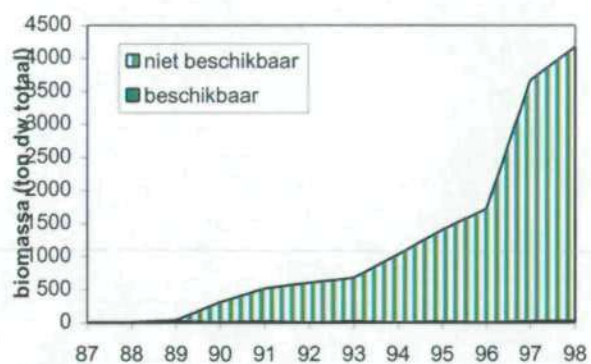
A. Verloop vogeldagen



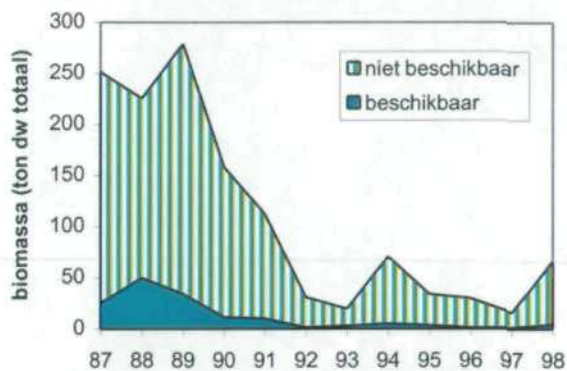
B. Gem. seizoensverloop



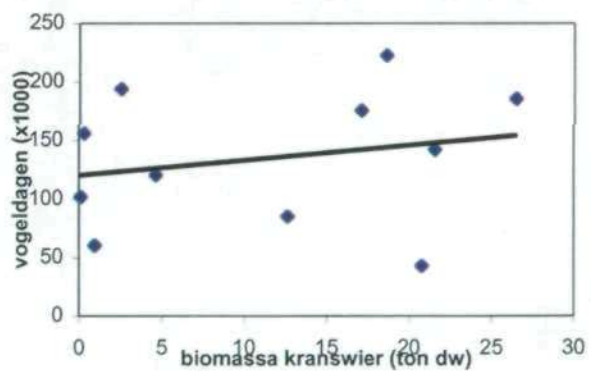
C. Beschikbaar kranwier



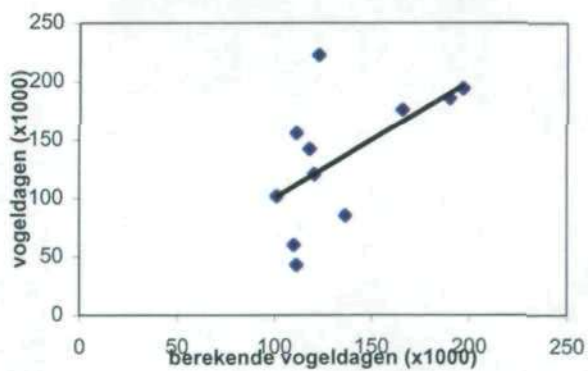
D. Beschikbaar smalbl. fonteinkruid



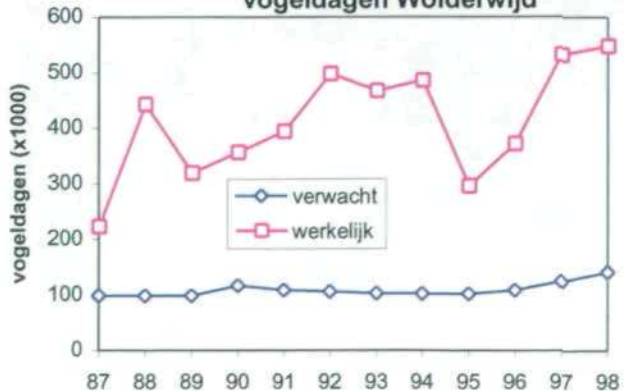
E. Relatie kranwier



F. Relatie smalbl. font + draadalg

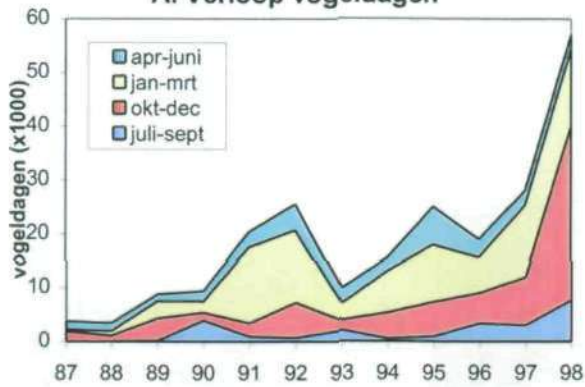


H. Verwachte en berekende vogeldagen Wolderwijd

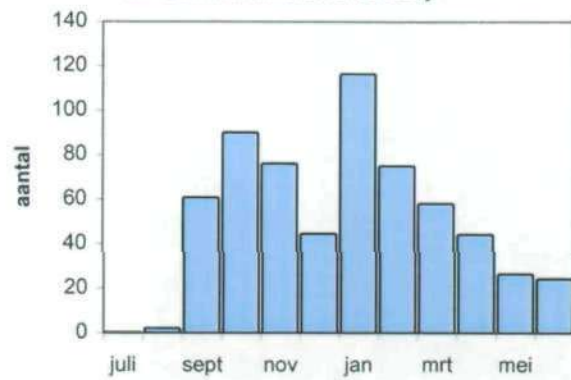


Krakeend (20 cm)

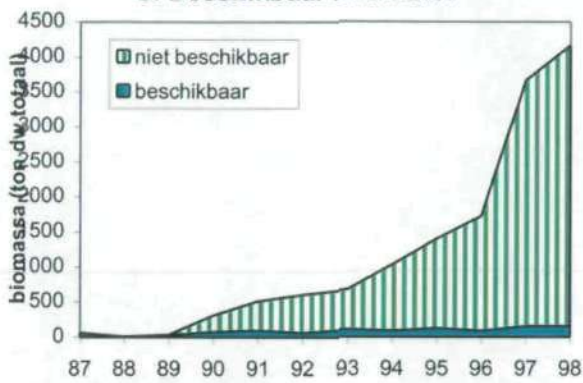
A. Verloop vogeldagen



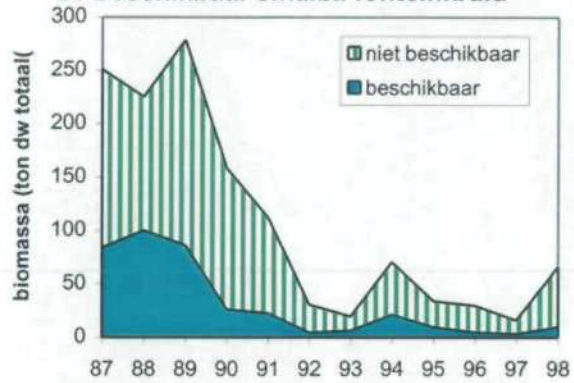
B. Gem. seizoensverloop



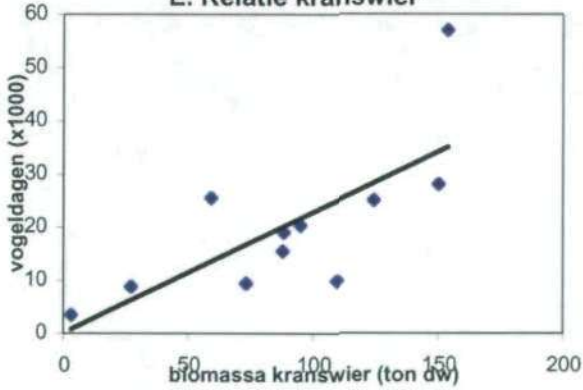
C. Beschikbaar kranswier



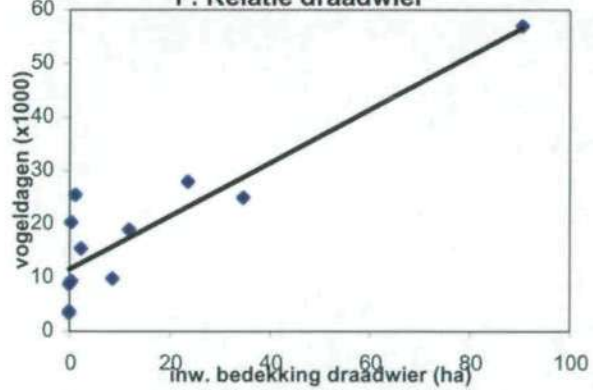
D. Beschikbaar smalbl. fonteinkruid



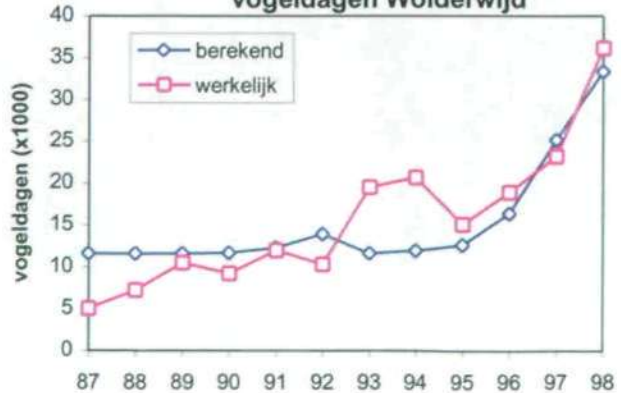
E. Relatie kranswier



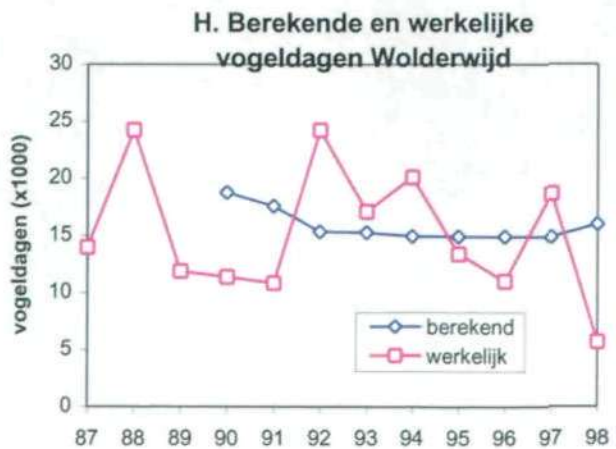
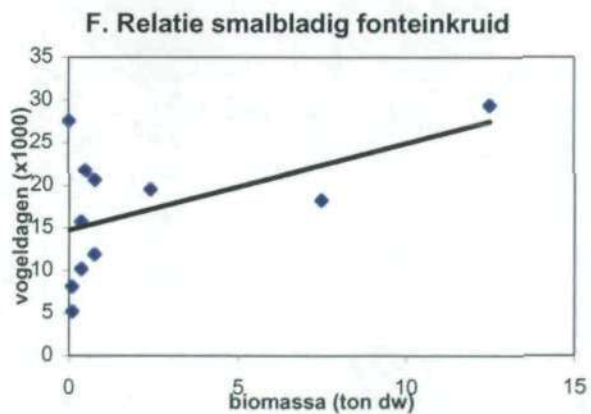
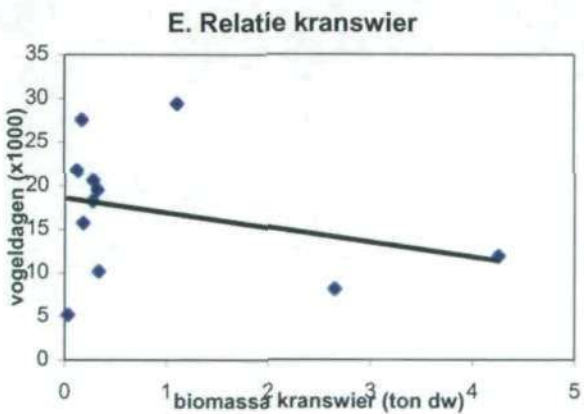
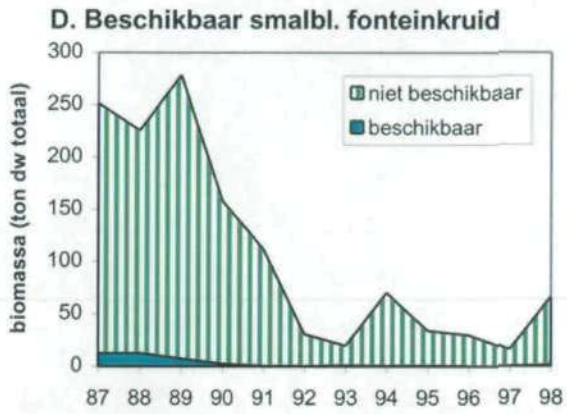
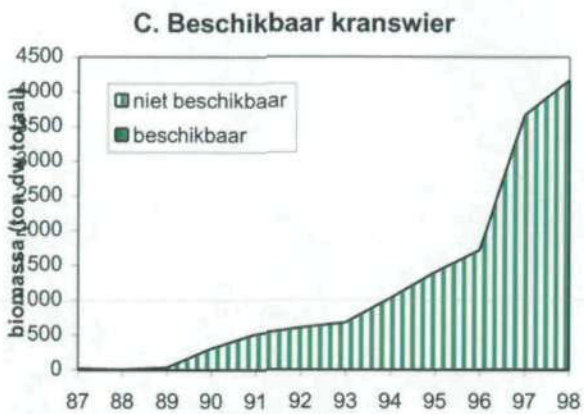
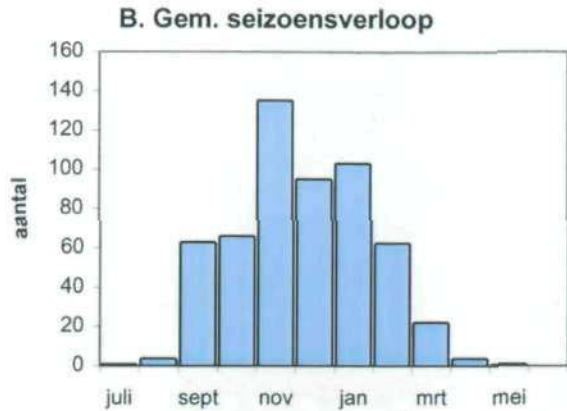
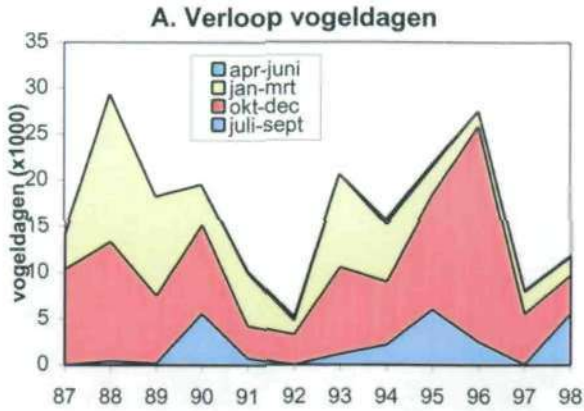
F. Relatie draadwier



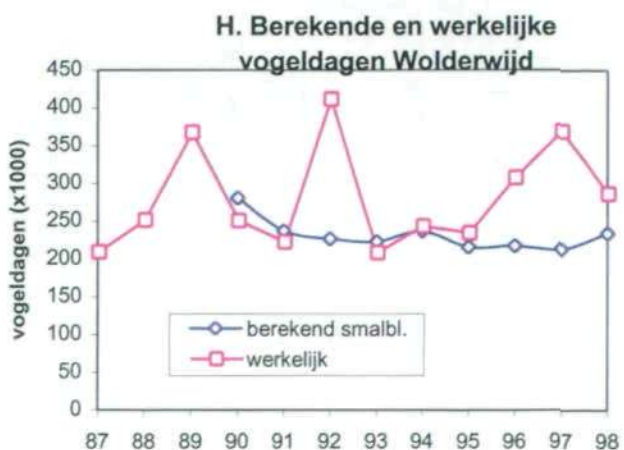
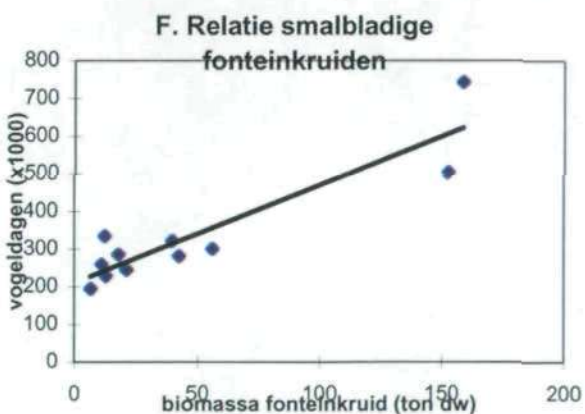
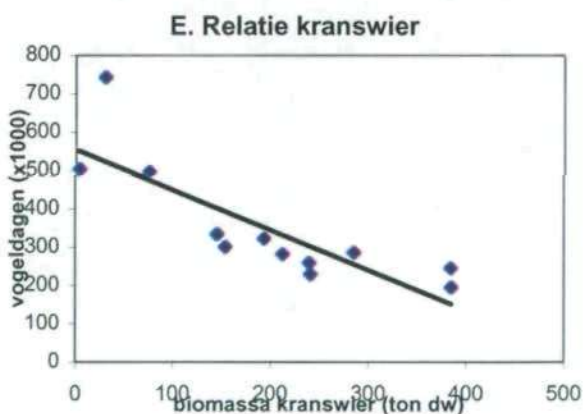
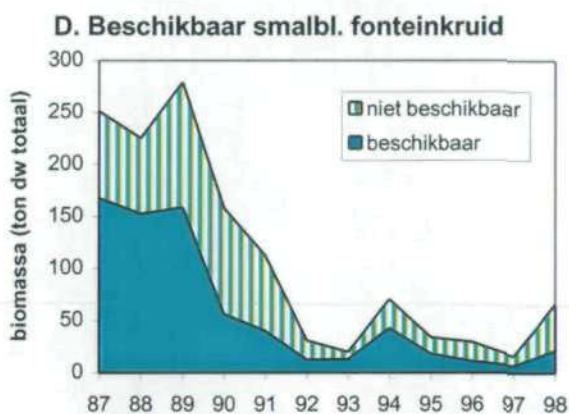
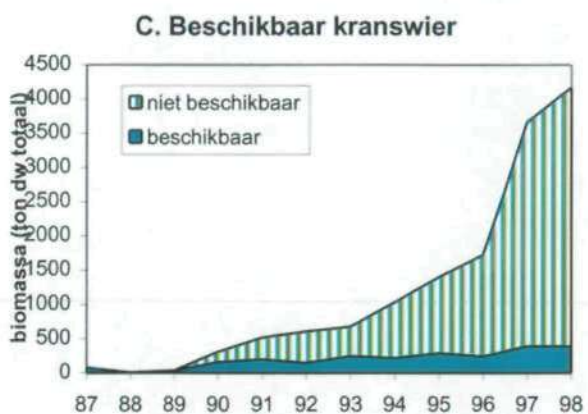
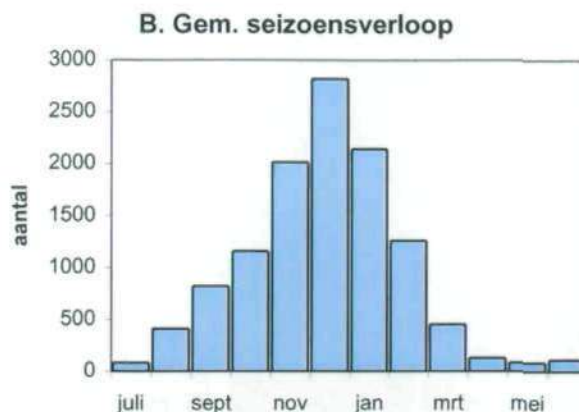
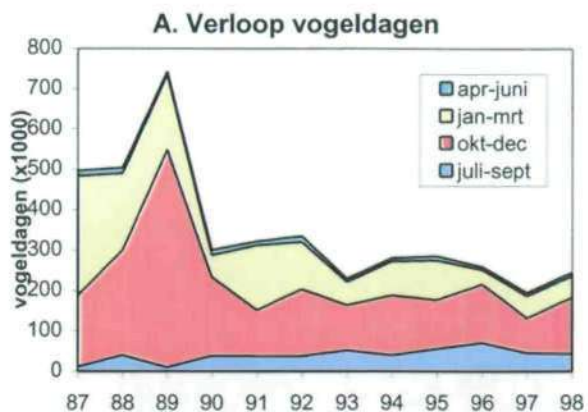
H. Verwachte en berekende vogeldagen Wolderwijd



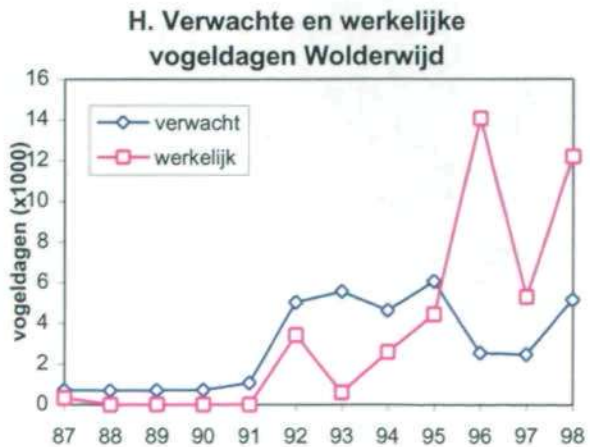
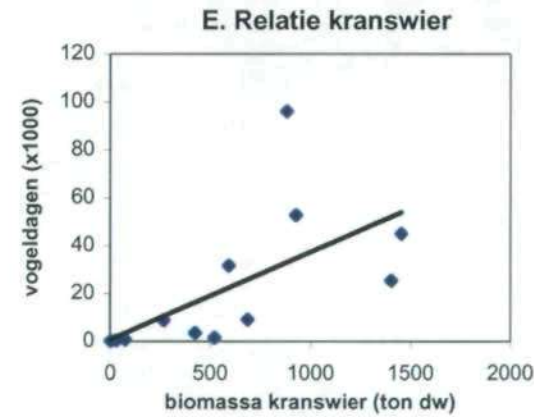
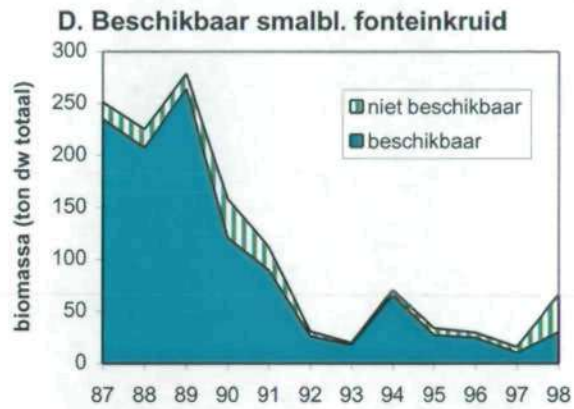
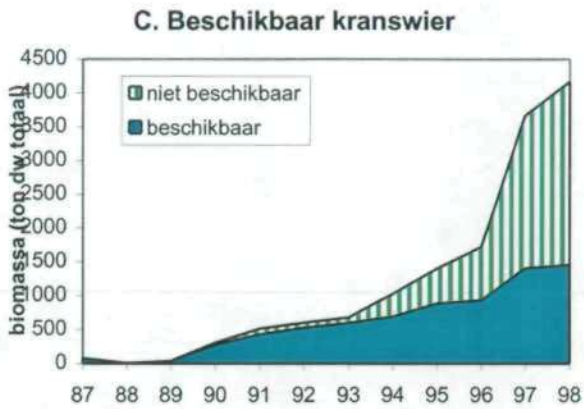
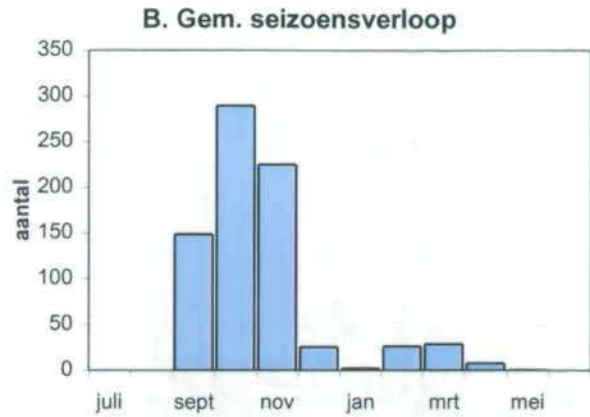
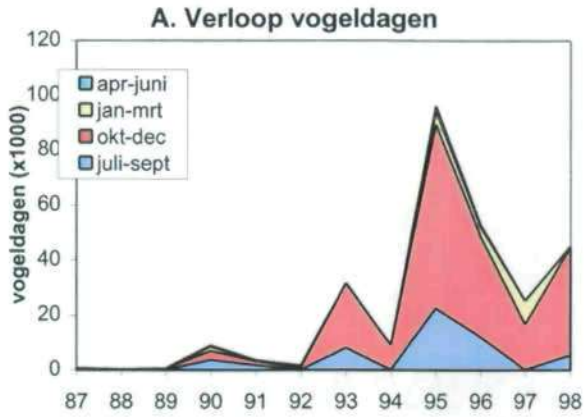
Wintertaling (7.2 cm)



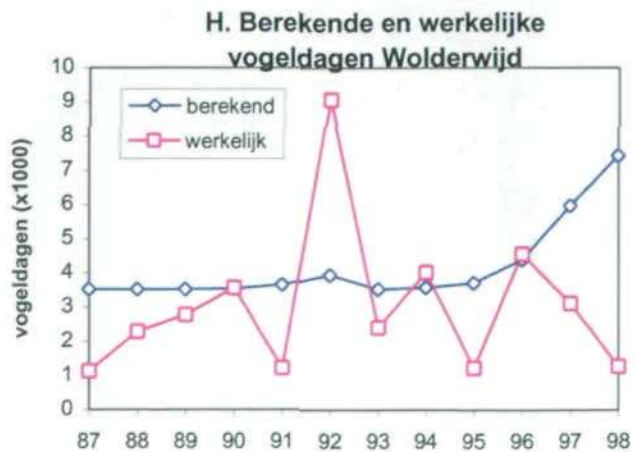
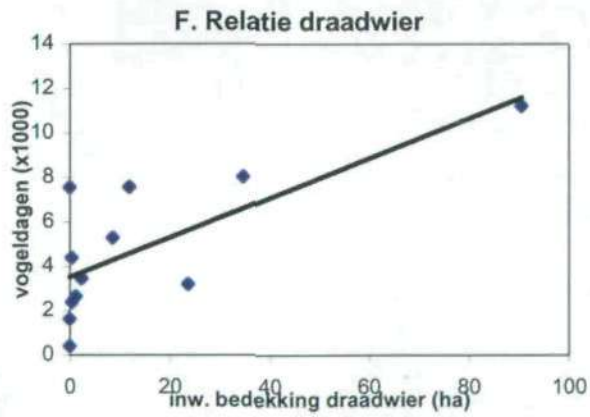
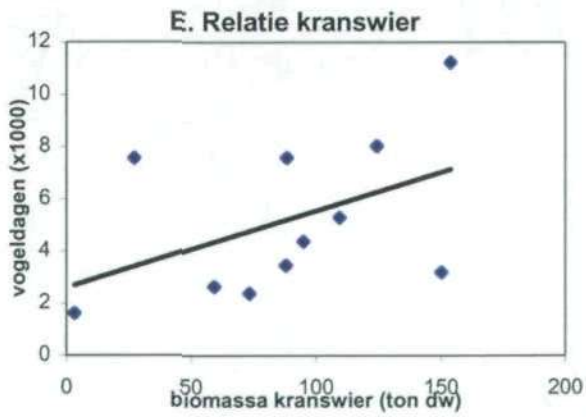
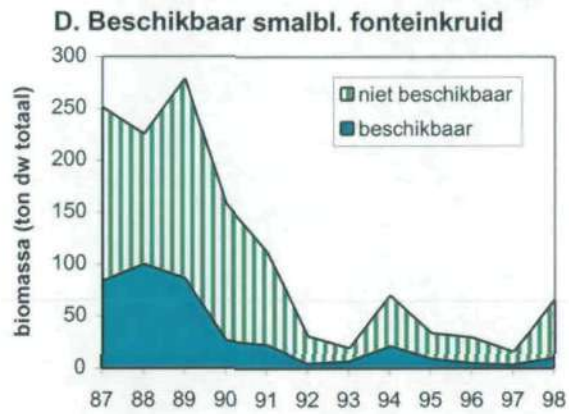
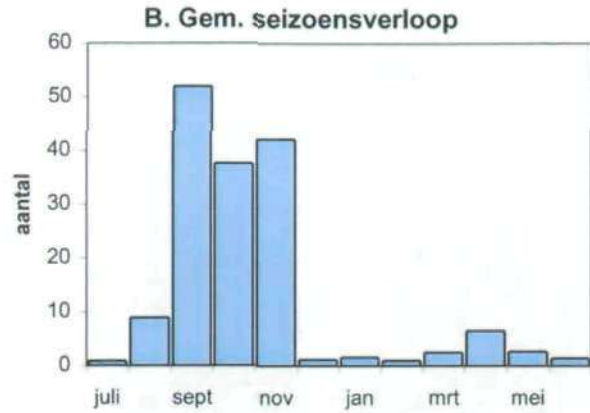
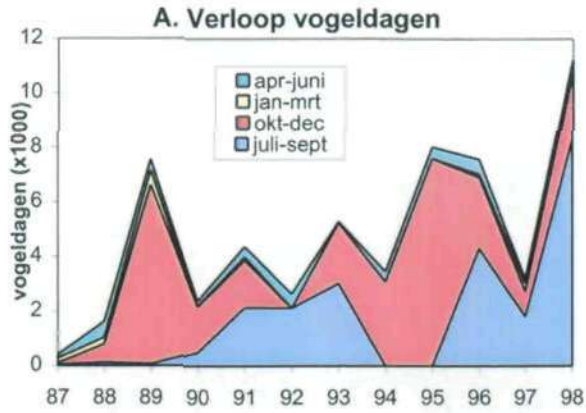
Wilde Eend (27cm)



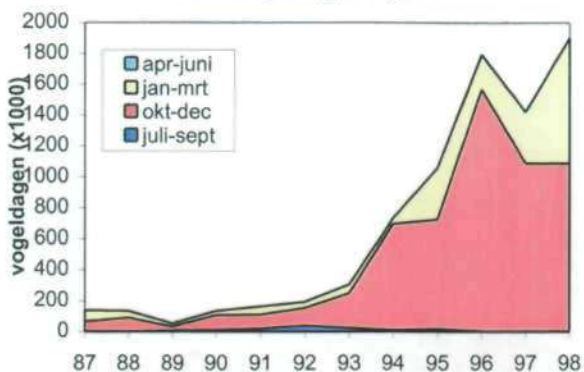
Pijlstaart (41 cm)



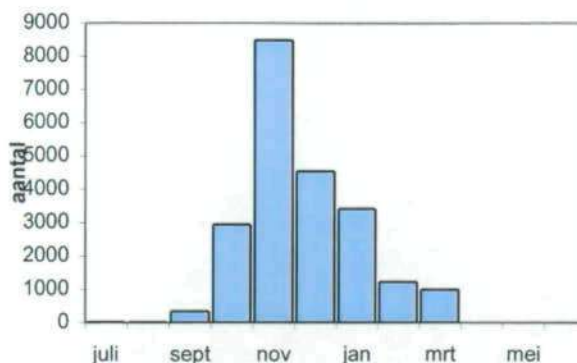
Slobeend (20 cm)



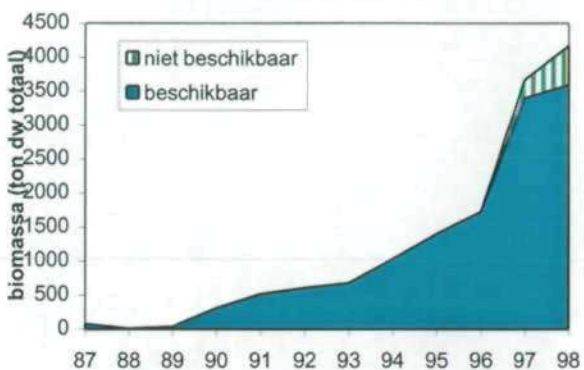
A. Verloop vogeldagen



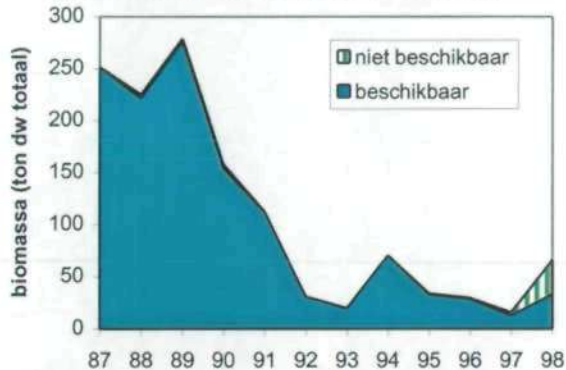
B. Gem. seizoensverloop



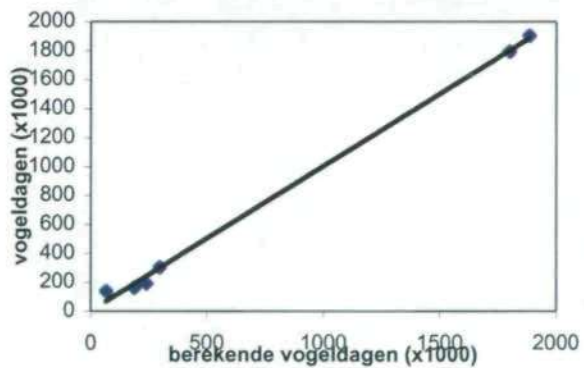
C. Beschikbaar kranswier



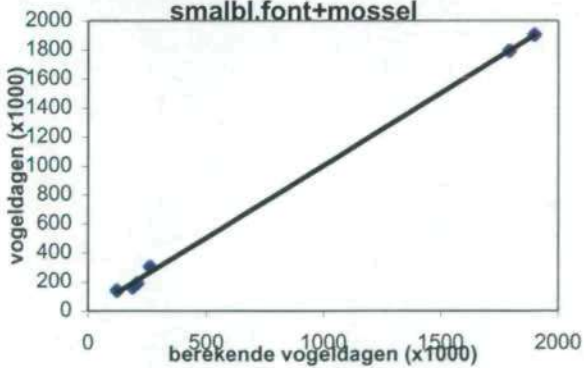
D. Beschikbaar smalbl. fonteinkruid



E. Relatie kranswier + mosselen



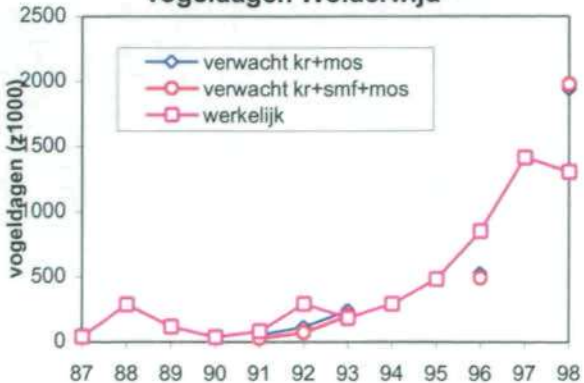
F. Relatie kranswier, smalbl.font+mossel



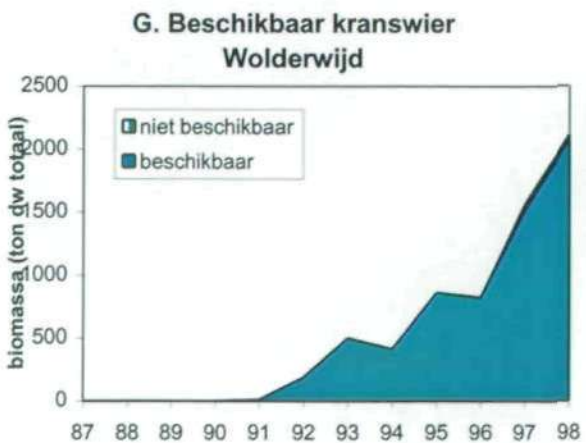
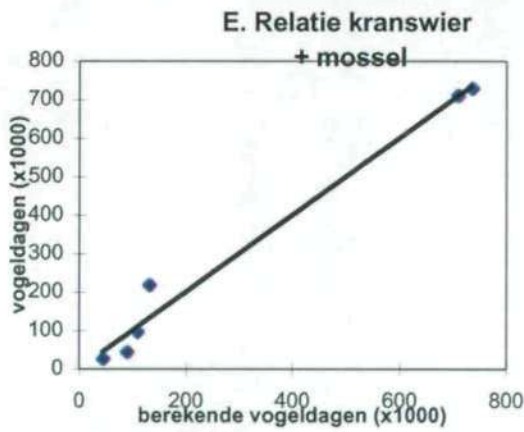
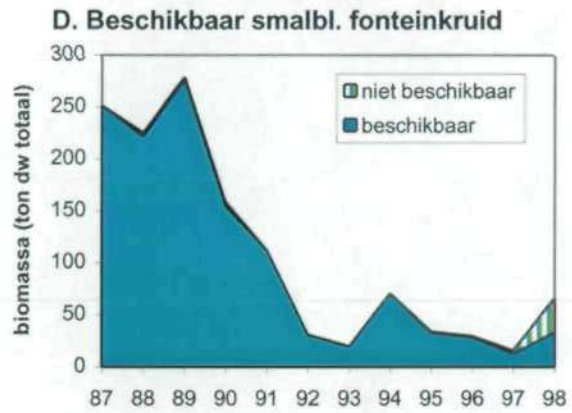
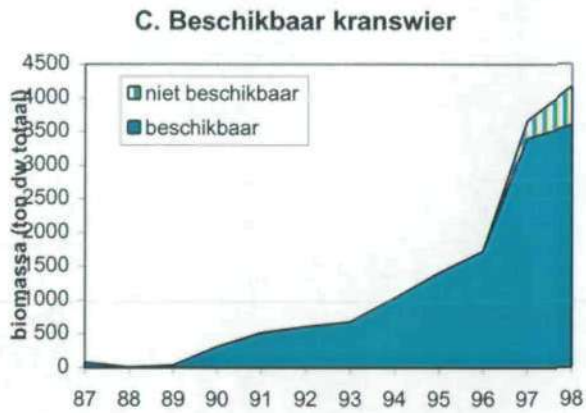
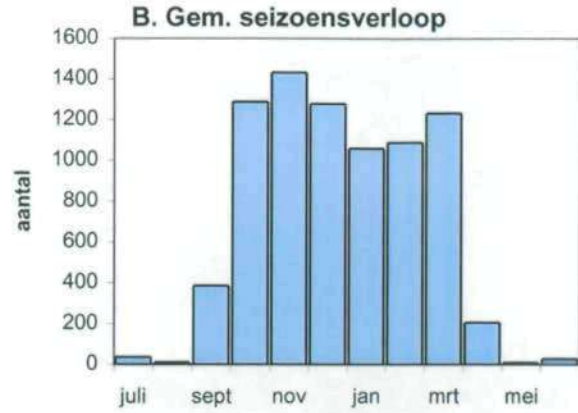
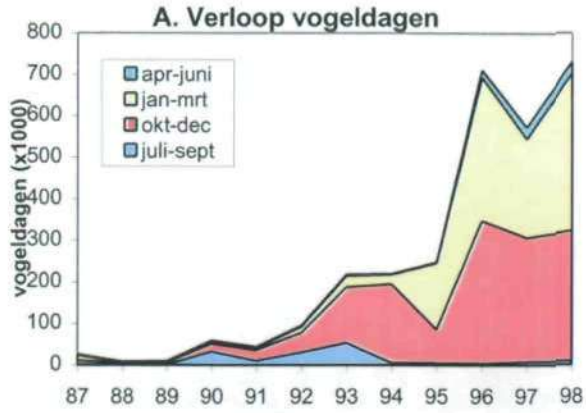
G. Beschikbaar kranswier Wolderwijd



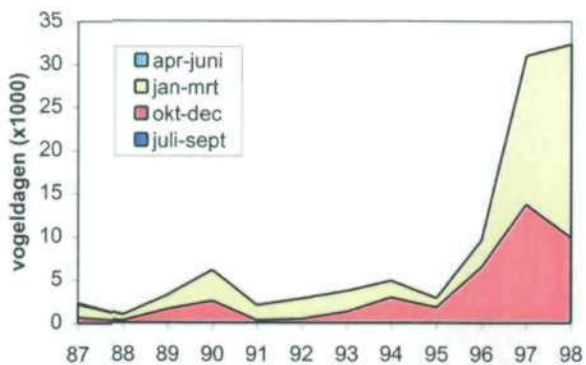
H. Verwachte en berekende vogeldagen Wolderwijd



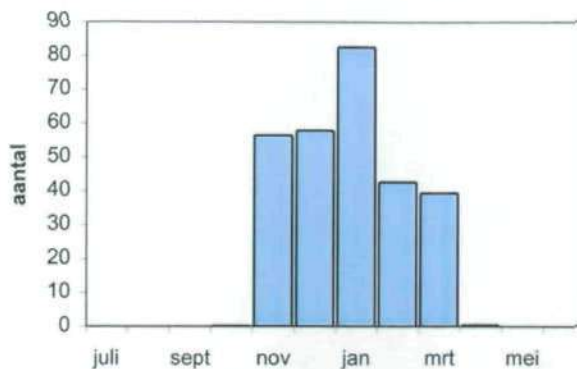
Kuifeend (170 cm)



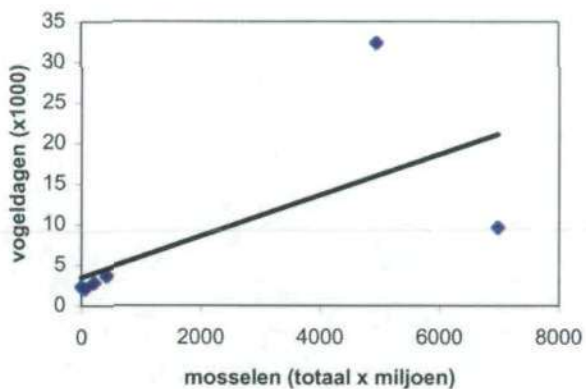
A. Verloop vogeldagen



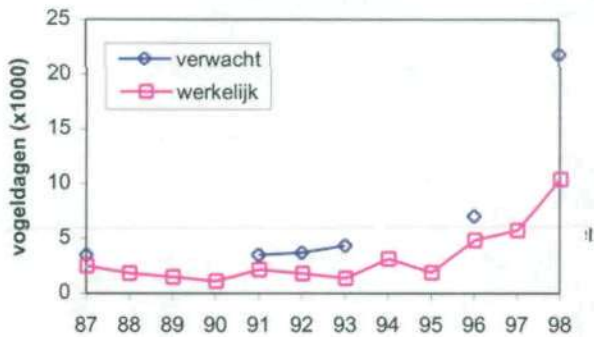
B. Gem. seizoensverloop



E. Relatie mosselen



H. Verwachte en berekende vogeldagen Wolderwijd



Meerkoet (64.6 cm)

