

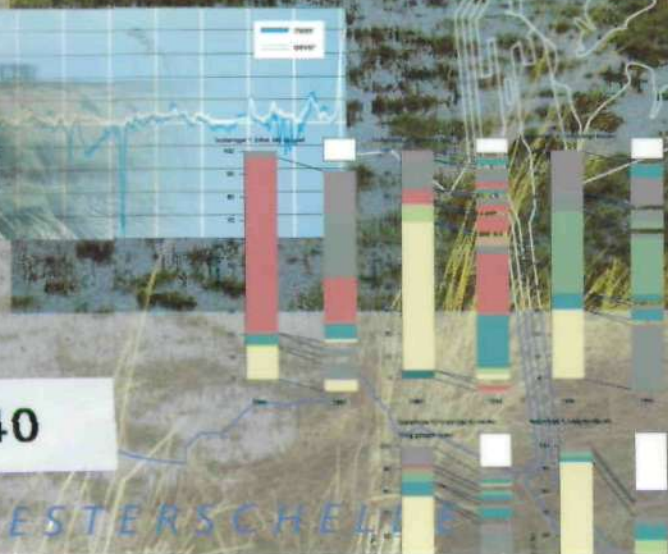
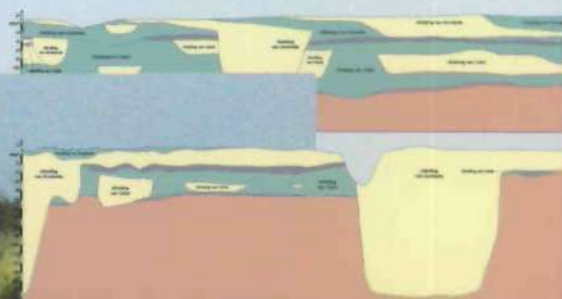


De oe vergebieden van het Volkerak-Zoommeer

*Ontwikkeling van abiotisch milieu
en vegetatie sinds 1987*

Eindredactie:
S.A.M. van Rooij & K.P. Groen

Flevobericht nr. 393



3540

Diepte ondoorlatende lagen

(naar: bij de Vaate, 1976a, b, c, d)

Depth impermeable layers

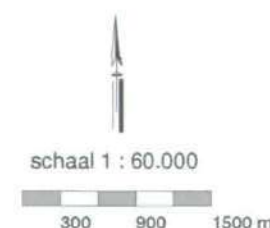
(source: bij de Vaate, 1976a, b, c, d)



Legenda

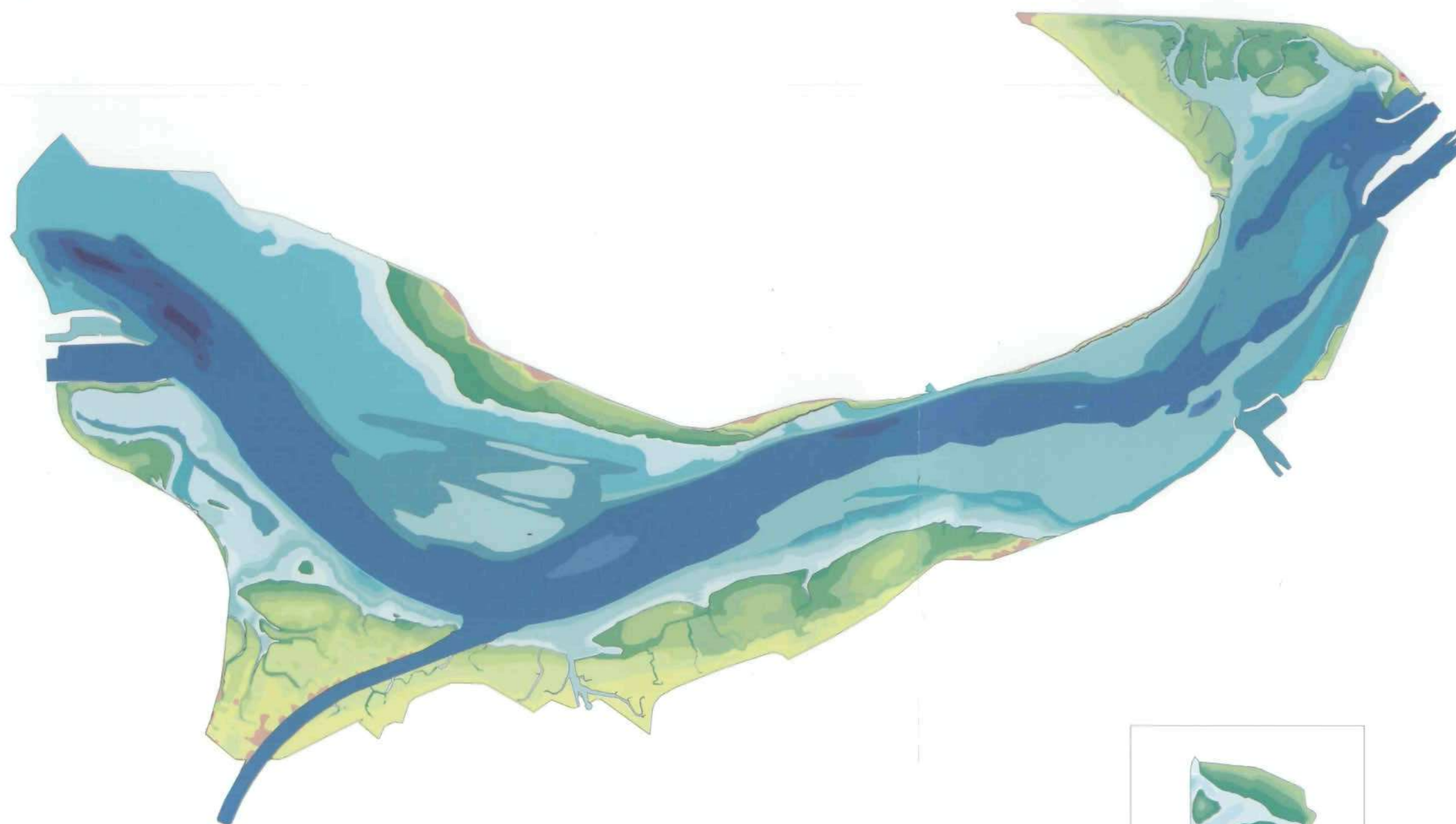
- klei aan de oppervlakte
- 0 - 1.0 meters t.o.v. mv
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 4.0
- 4.0 - 5.0
- 5.0 - 6.0
- > 6.0
- niet gekarteerd
- water

Volkerak-Zoommeer



Hoogteligging van het maaiveld en meerbodem ten opzichte van NAP

Elevation of the ground level and the lake bottom compared with NAP
(Amsterdam Ordnance Level)



Volkerak-Zoommeer

Legenda

meters t.o.v. NAP

<-20	1.0/ 1.25
-20/ -15	1.25/ 1.5
-15/ -10	1.5/ 1.75
-10/ -5.0	1.75/ 2.0
-5.0/ -2.5	> 2.0
-2.5/ -2.0	
-2.0/ -1.5	
-1.5/ -1.0	
-1.0/ -0.5	
-0.5/ -0.25	
-0.25/ 0	
0/ 0.25	
0.25/ 0.5	
0.5/ 0.75	
0.75/ 1.0	

schaal 1 : 60.000
300 900 1500 m



RWS-RIZA

Bodemkaart (tot 0,25 m onder maaiveld)

(naar: Ente, 1980)

Soil map (up to 0.25 m below ground level)

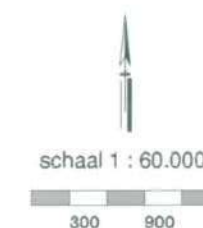
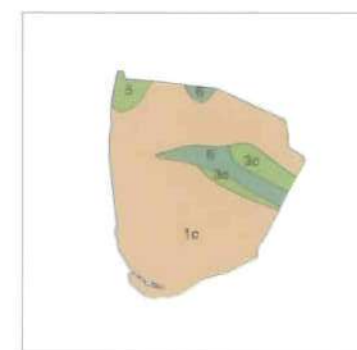
(after: Ente, 1980)



Volkerak-Zoommeer

Legenda

- 1b lutumarm matig fijn zand B
- 0c lutumarm middelfijn zand A
- 1e lutumarm middelfijn zand A
- 2b lutumhoudend middelfijn zand A
- 2c lutumhoudend zeer fijn zand A
- 3a lutumhoudend zand B
- 3b lichte zavel A
- 5 lichte zavel B
- 6 zware zavel A
- 7 zware zavel B
- 8 Klei A
- niet gekarteerd
- water



Bodemtypenkaart

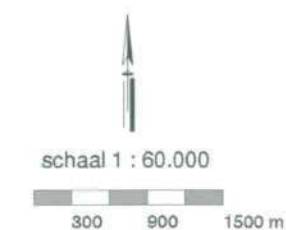
Soil type map



Volkerak-Zoommeer

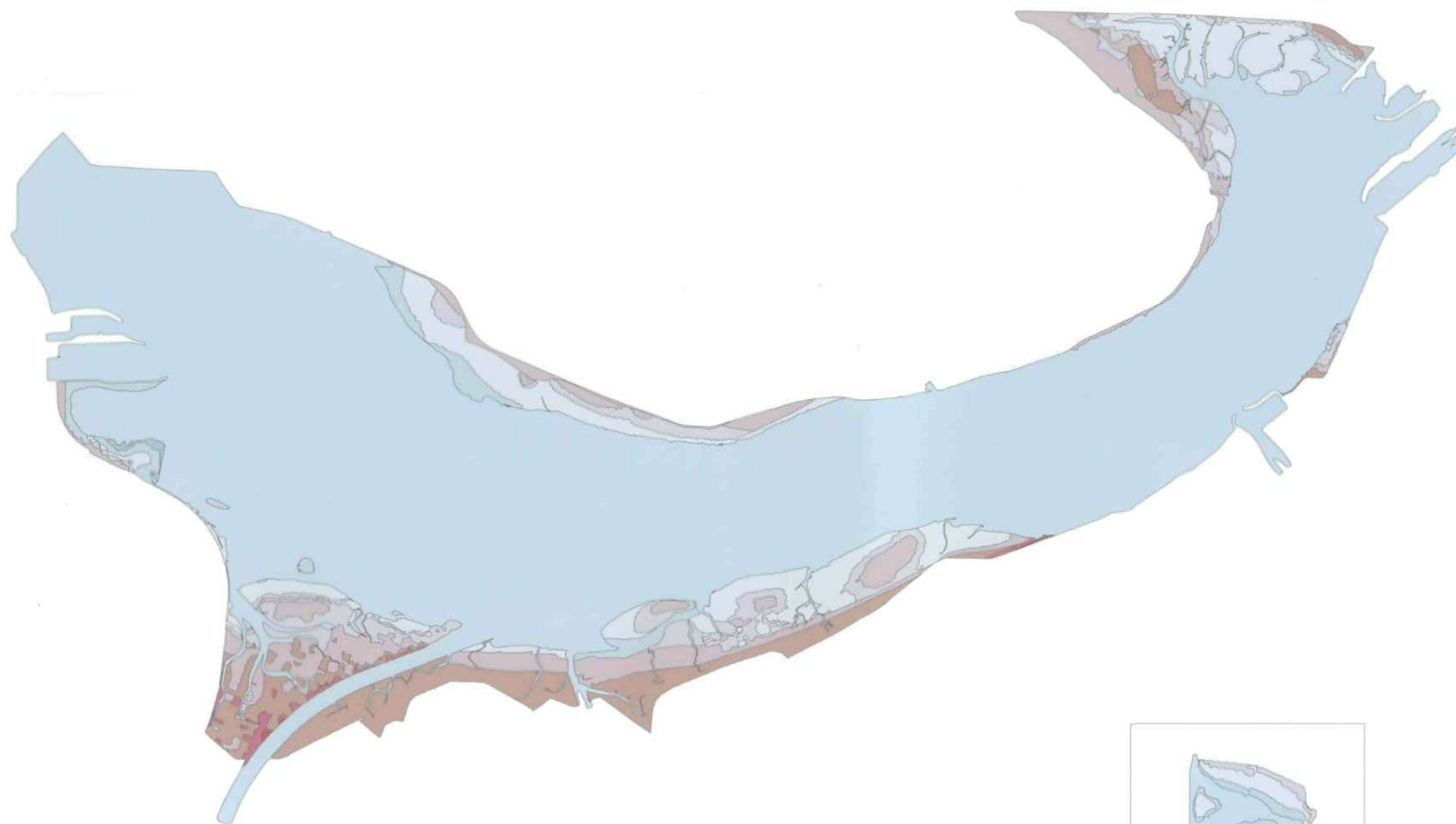
Legenda

- Schor, klei op zand
- Schor, klei diep
- Grofzandige koppen
- Fijnzandige delen
- Laag en vlak slik
- Water



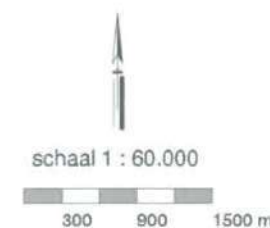
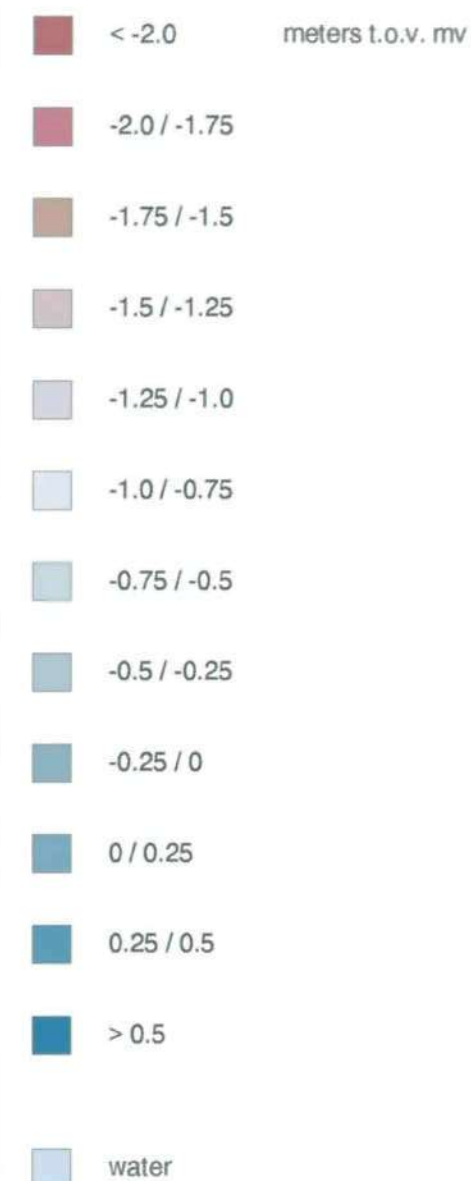
Gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG)

Mean lowest water table in m below ground level



Volkerak-Zoommeer

Legenda



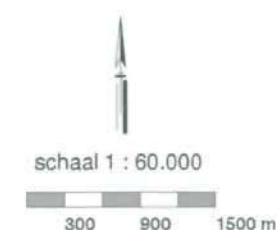
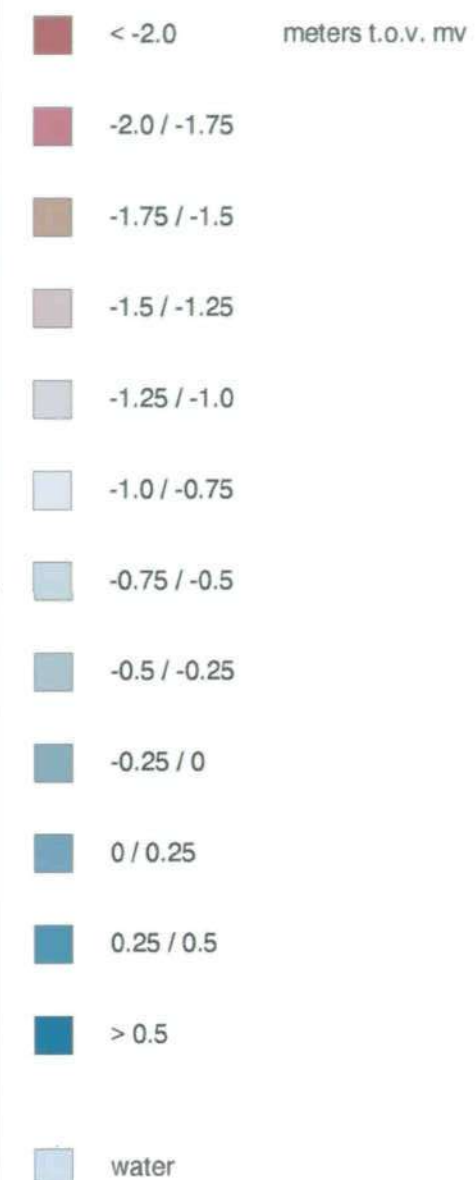
Gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG)

Mean highest water table in m below ground level



Volkerak-Zoommeer

Legenda



Vegetatiekaart 1989

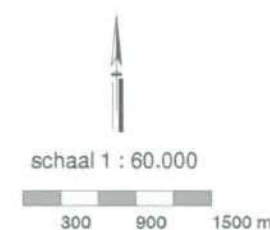
Vegetation map 1989



Volkerak-Zoommeer

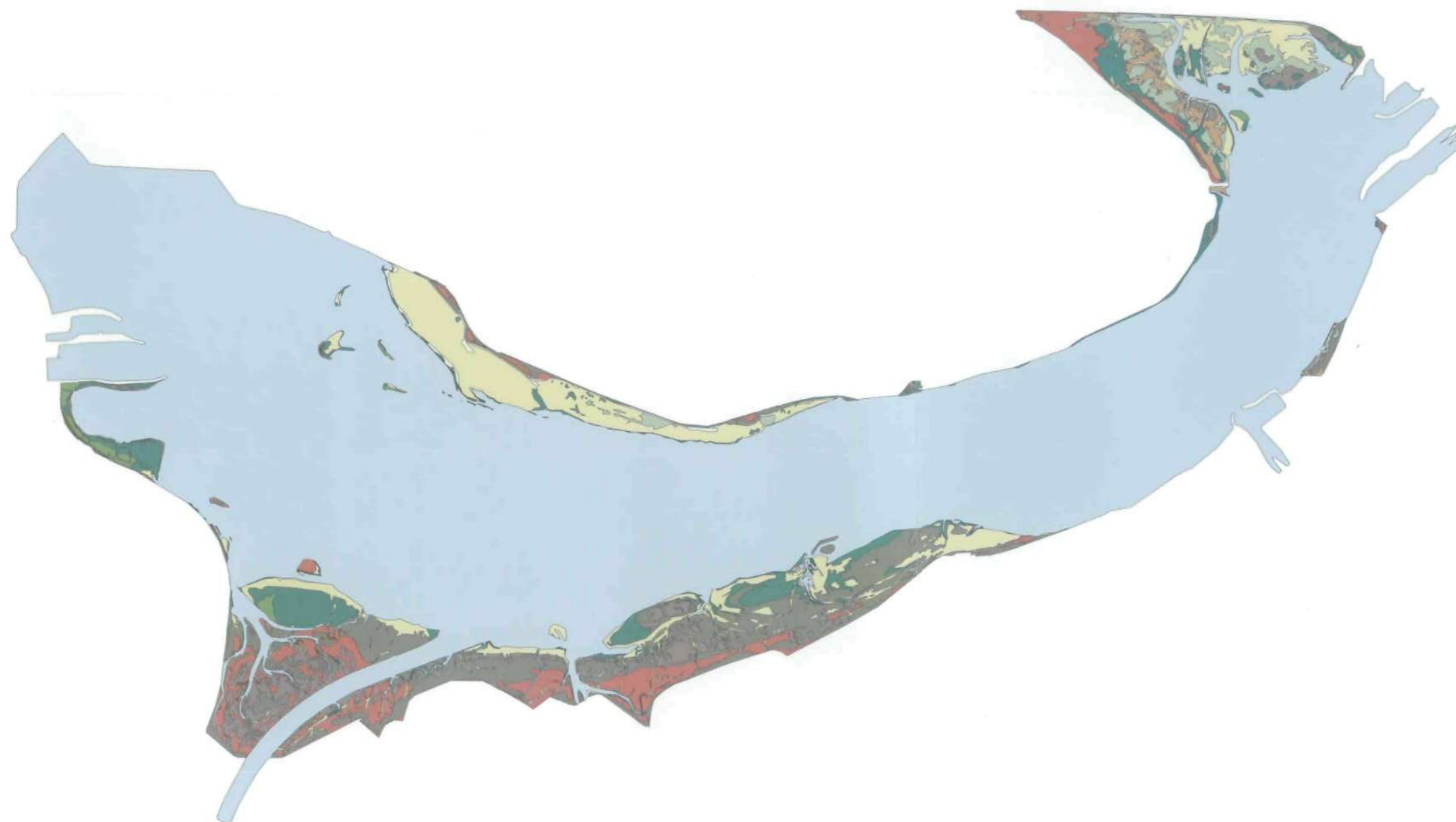
Legenda

- Onbegroeid
- Zilte pioniervegetatie
- Zilt grasland
- Spiesmelde vegetatie
- Kruidenrijk grasland
- Schraalland
- Ruigtevegetatie
- Droog rietland
- Duinrietvegetatie
- Oevervegetatie
- Vegetatie met houtigen
- Water



Vegetatiekaart 1993

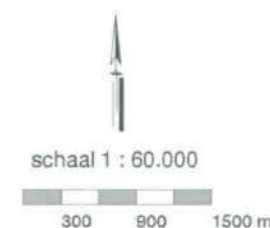
Vegetation map 1993



Legenda

- Onbegroeid
- Zilte pioniervegetatie
- Zilt grasland
- Spiesmelde vegetatie
- Kruidenrijk grasland
- Schraalland
- Ruigtevegetatie
- Droog rietland
- Duinrietvegetatie
- Oevervegetatie
- Vegetatie met houtigen
- Water

Volkerak-Zoommeer

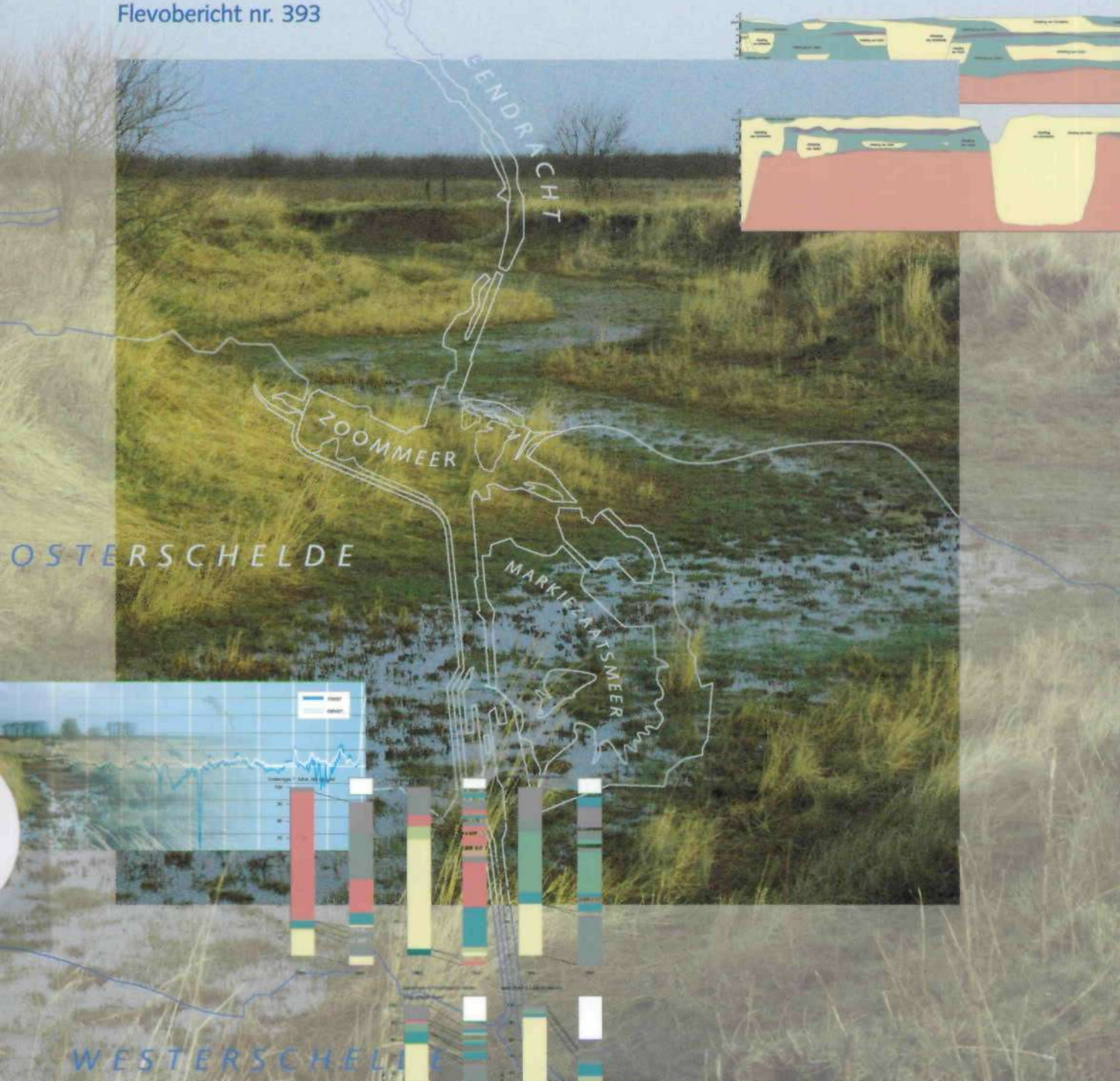


De oeversgebieden van het Volkerak-Zoommeer

*Ontwikkeling van abiotisch milieu
en vegetatie sinds 1987*

Eindredactie:
S.A.M. van Rooij & K.P. Groen

Flevobericht nr. 393





Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Directie IJsselmeergebied

Aan
Geadresseerde

Contactpersoon
Ir. K.P. Groen
Datum
31 januari 1997
Ons kenmerk
LI 819
Onderwerp
Flevobericht 393

Doorkiesnummer
0320-298368
Bijlage(n)
1
Uw kenmerk

Geachte geadresseerde,

Met genoegen zend ik u een exemplaar van het Flevobericht nr. 393 "De oevergebieden van het Volkerak-Zoommeer".

Na de afsluiting van het Volkerak-Zoommeer in 1987 kwamen de oevergebieden in tijdelijk beheer bij Rijkswaterstaat. In 1991 werd dit beheer overgedragen aan Staatsbosbeheer, Vereniging voor Natuurmonumenten en Stichting het Zeeuws Landschap.

Dit rapport vormt de weerslag van abiotisch en biotisch onderzoek dat gedurende de periode 1987-1995 is uitgevoerd door Rijkswaterstaat - directie IJsselmeergebied en afgerond door het RIZA, hoofdafdeling Inrichting en Herstel (voormalige hoofdafdeling van Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied).

In het rapport wordt uitvoerig ingegaan op de relatie tussen bodem, hydrologie, ontzilting en vegetatie. De resultaten van het onderzoek kunnen worden gebruikt als richtlijn voor het verdere beheer van de oevergebieden in het Volkerak-Zoommeer en andere, vergelijkbare gebieden.

Hoogachtend,
DE HOOFDINGENIEUR-DIRECTEUR
voor deze,

ing. J. de Graaf

Directie IJsselmeergebied
Postadres postbus 600, 8200 AP Lelystad
Bezoekadres Zuiderwagenplein 2 (gebouw "Smedinghuis") Telex 40115 rdij nl
Telefoon 0320 299111
Telefax 0320 223430



Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Directie IJsselmeergebied

Rijkswaterstaat
directie IJsselmeergebied
bibliotheek
postbus 600
8200 AP Lelystad

Mot afz.: 8 bijl.

De oeversgebieden van het Volkerak-Zoommeer

*Ontwikkeling van abiotisch milieu
en vegetatie sinds 1987*

Eindredactie:
S.A.M. van Rooij & K.P. Groen

december 1996

Flevobericht nr. 393
ISBN 90-369-1181-8

K.P. Groen
Y.J.B. Röling
S.A.M. van Rooij
H. Slager
M. Stoffer



Referaat

De oevergebieden van het Volkerak-Zoommeer, ontwikkeling van abiotisch milieu en vegetatie sinds 1987\ S.A.M. van Rooij & K.P. Groen (Eindredactie); Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, directie IJsselmeergebied - Lelystad: RWS, RDII, 1996.- 96 pag., 30 fig. (7 fig. *bijlage*), 15 tab., 19 foto's, 8 bijl.: 29,7 X 42 cm - (Flevobericht/directie IJsselmeergebied; 393). Lit opg. -ISBN 90-369-1181-8.

In 1987 is in het deltagebied met de afsluiting van de Philipsdam het Volkerak-Zoommeer ontstaan. Hierdoor kreeg het water, dat eerst onder getijdeninvloed stond, een vast peil en verzoette. De Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (nu Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, directie IJsselmeergebied) heeft tijdelijk de oevergebieden beheerd en onderzoek verricht naar de abiotische en biotische processen die er plaatsvonden. In 1992 werden de oevergebieden overgedragen aan drie instanties: Staatsbosbeheer, Stichting het Zeeuws landschap en de Vereniging Natuurmonumenten. Deze kregen elk een aantal deelgebieden onder beheer. Met deze overdracht hield de directe betrokkenheid van Rijkswaterstaat met de oevergebieden op.

In dit rapport wordt verslag gedaan van het onderzoek dat door de Rijkswaterstaat is uitgevoerd aan bodem, hydrologie, ontzilting en vegetatie. Hierbij wordt de relatie gelegd tussen de abiotische en biotische processen die er sinds de afsluiting spelen.

Verantwoording

Dit rapport vormt de weerslag van biotisch en abiotisch onderzoek dat door Rijkswaterstaat is uitgevoerd in de oevergebieden van het Volkerak-Zoommeer, in de periode van 1987-1995. Dit onderzoek werd uitgevoerd ten bate van natuurontwikkeling en -beheer van het gebied.

Dit rapport is de laatste in een reeks Flevoberichten over onderzoek in ingepolderde gebieden, die door Rijkswaterstaat werden ingericht en beheerd. Na de inrichting werden deze gebieden overgedragen aan andere beherende instanties. Hiermee liep ook het meeste onderzoek in deze gebieden door Rijkswaterstaat af. Reeds verschenen zijn rapporten over onderzoek in het Markiezaat (Röling, 1994), de Oostvaardersplassen (Jans & Drost, 1995) en het Lauwersmeergebied (van Rooij & Drost, 1996).

Van de auteurs verzorgde Sabine van Rooij hoofdstuk 1 en 5, Mirjam Stoffer hoofdstuk 2, Henk Slager en Klaas Groen hoofdstuk 3 en 4, en Sabine van Rooij, Henk Slager en Yvonne Röling hoofdstuk 6. De eindredactie werd verzorgd door Sabine van Rooij en Klaas Groen. Het GIS-werk is gedaan door Yvonne Röling en Sabine van Rooij.

De auteurs betuigen hun dank aan alle onderzoekers die betrokken waren bij dit onderzoek. In het bijzonder willen we Dirk Fluijt en Gert-Jan Rook noemen, die een groot deel van het veldwerk hebben uitgevoerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	7	4.2 Modellering van de ontzilting	40
Summary	9	4.2.1 Huidige situatie	40
1 Inleiding	11	4.2.2 Scenarioberekeningen	
1.1 Geschiedenis en karakterisering van het gebied	11	4.3 Chlorideconcentratie in de bodem onder ondiep water	45
1.1.1 Ontstaan van het Volkerak-Zoommeer	11	4.3.1 Metingen	45
1.1.2 Karakterisering van het gebied	11	4.3.2 Modellering van diffusie	46
1.1.3 Gevolgen van de afsluiting	12	4.3.3 Diffusie na peilverhoging	46
1.1.4 Status	14	5 Vegetatie	49
1.2 Beheer en doelstellingen	14	5.1 Inleiding	49
1.2.1 Uitgangspunt: integraal waterbeheer	14	5.2 Methoden	49
1.2.2 Planvorming voor de inrichting van de oevergebieden	14	5.2.1 Permanente Quadraten	49
1.2.3 Beheervoerende instanties	15	5.2.2 Vegetatiekaarten	49
1.2.4 Beheer	15	5.2.3 Proefstroken	49
1.2.5 Relatie met andere projecten	15	5.3 Onderscheiden vegetatietypen	50
1.3 Onderzoek	17	5.4 Waarde van de vegetatietypen	50
1.4 Inhoud van dit rapport	18	5.5 Vegetatieveranderingen	54
2 Bodem en geologie	19	5.5.1 De oevergebieden	54
2.1 Geologische wordingsgeschiedenis	19	5.5.2 De eilanden	60
2.2 Geomorfologische processen en bodemvorming na afsluiting	22	5.6 Relatie abiotisch milieu en vegetatie-successie	60
2.2.1 Geomorfologische processen	22	5.6.1 Zoutgehalte	61
2.2.2 Bodemvorming	23	5.6.2 Bodem en grondwater	63
2.3 Doorlatendheid	24	5.6.3 Beheer	63
2.4 Bodemtypen van de buitendijkse gebieden	24	6 Evaluatie	65
3 Hydrologie	27	6.1 Ontwikkelingen in het gebied	65
3.1 Meer	27	6.1.1 Ingesteld beheer na de overdracht van de oevergebieden	65
3.2 Grondwater	31	6.1.2 Ontwikkelingen in de abiotiek	65
3.3 Waterbalans van de bodem	32	6.1.3 Ontwikkelingen in de vegetatie	66
3.3.1 Modellering van de waterbeweging	32	6.2 Verwachte ontwikkelingen in het gebied	68
3.3.2 Berekening van de waterbalans	34	6.2.1 Abiotiek	68
4 Zouthuishouding van de drooggevalen oevers	37	6.2.2 Vegetatie	68
4.1 Gemeten chlorideconcentraties in bodem	37	6.2.3 Verwachte ontwikkeling van het gebied	69
4.1.1 Uitgangssituatie	37	6.3 Ontwikkelingen in het onderzoek	69
4.1.2 Ontzilting van de bodem	37	6.4 Peilbeheer, helofytenontwikkeling en begrazing	70
4.1.3 Invloed van verdamping en capillair transport op de chlorideconcentratie	38	6.5 Aanbevelingen voor verder onderzoek	70
4.1.4 Emissie van zout uit de oevergebieden naar het meer	39	Literatuur	73
		Noten	94
		Colofon	95

Inhoud Bijlagen

Bijlage I	Diepte ondoorlatende lagen (naar: bij de Vaate, 1976a, b, c, & d)	losse bijlage
Bijlage II	Hoogteligging van het maaiveld en meerbodem ten opzichte van NAP	losse bijlage en pag. 77
Bijlage III	Bodemkaart (tot 0,25 m onder maaiveld) (naar: Ente, 1980)	losse bijlage
Bijlage IV	Bodemtypenkaart	losse bijlage
Bijlage V	Gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG)	losse bijlage
Bijlage VI	Gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG)	losse bijlage
Bijlage VII	Synoptische tabel	78
Bijlage VIII	Vegetatiekaart 1989	losse bijlage
Bijlage IX	Vegetatiekaart 1993	losse bijlage
Bijlage X	Waardering plantensoorten	80
Bijlage XI	Soortenlijst hogere planten oevergebieden	82
Bijlage XII	Soortenlijst hogere planten op de eilanden	86
Bijlage XIII	Aangetroffen vegetatietypen op pq's	90

Samenvatting

Als gevolg van de uitvoering van de Deltawet is in 1987 met de voltooiing van de Philipsdam het Volkerak-Zoommeer ontstaan. Voor 1987 werden de oevergebieden dagelijks met zout water overspoeld. Na de afsluiting van de zee is er een vast waterpeil ingesteld en is het meerwater snel verzoet. Door het instellen van een constant waterpeil van NAP-0 m vielen de schorren en slikken permanent droog. Het Volkerak-Zoommeer beslaat 8000 ha, waarvan bij het huidige waterpeil 6000 ha water is en 2000 ha bestaat uit schorren, slikken en platen. Het gebied heeft een belangrijke natuurwaarde, met name voor vogels, en kreeg in het natuurbeleidsplan de status van kerngebied in de ecologische hoofdstructuur van Nederland. Grote delen van de oevergebieden werden in 1988 tot natuurmonument verklaard. De Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (later veranderd in directie Flevoland, nu directie IJsselmeergebied geheten), die het gebied tijdelijk beheerde, heeft in 1989 een gebiedsvisie uitgebracht. Hierin wordt een ontwikkeling van het gebied geschetst, waarbij de natuurwaarden zich maximaal ontwikkelen.

Het Volkerak-Zoommeer ligt in het estuariagebied van Zuid-Nederland. De bodemopbouw in het gebied weerspiegelt voornamelijk het recente verleden. De afwisselend oprukkende en zich weer terugtrekkende zee bepaalde de sedimentatie. De samenstelling van de bodem hangt sterk samen met de hoogteligging. Over het algemeen geldt dat met toenemende hoogte het zand fijner wordt en het lutumgehalte toeneemt. Het landschap is, naast het open water, op basis van bodemopbouw en hoogteligging onder te verdelen in vijf typen:

- schorren met een profiel van klei op zand;
- schorren waar klei tot diep in het profiel voorkomt;
- de delen van de platen met een relatief grofzandige bodem;
- de fijnzandige delen;
- slikken met een bodem die bestaat uit lutumhoudend fijn zand.

Na de afsluiting zijn er bodemprocessen op gang gekomen; de bodem rijpte waardoor de doorlatendheid werd vergroot en inklinking van de bodem plaatsvond. Op de Plaat van de Vliet vond direct na de afsluiting enige verstuiwing van de zandige vlaktes plaats. Door de instelling van een vast peil en door golfslag vond oeverafslag plaats en ontstonden er afslagranden op de oevers. Onder andere ter voorkoming van deze oeverafslag zijn in het meer vele kilometers oeververdediging en eilandjes voor de oevers aangelegd.

Na de afsluiting kwam in de bodem van de oevergebieden een proces van ontzilting op gang. Ontzilting van de bodem vindt plaats wanneer het neerslagoverschot (neerslag min verdam-

ping) in de bodem kan indringen en ondergronds wordt afgevoerd. Het zoete water verdringt dan het zoute bodemwater. Neerslag die verdampt of oppervlakkig afstroomt, draagt niet bij aan de ontzilting van de bodem. Tussen de schorren en de slikken is een groot verschil in de wijze waarop de neerslag wordt afgevoerd: op de schorren dringt gemiddeld meer dan de helft van de neerslag de bodem in en wordt ondergronds afgevoerd. Op de slikken dringt slechts een paar procent van de neerslag in de bodem en stroomt ruim de helft van het regenwater oppervlakkig af. De doorlatendheid van de bodem en de diepte van de grondwaterstand in de winter (wanneer er een neerslagoverschot is) bepalen in belangrijke mate de hoeveelheid regenwater die in de bodem kan indringen. In het gebied bestaan grote verschillen in de mate waarin het neerslagoverschot in de bodem dringt. Hierdoor zijn grote verschillen ontstaan in het zoutgehalte van het bodemvocht in het gebied. De schorren en zandige delen waren in 1995 al verontzilt, terwijl de slikken nog erg zout waren.

Met het hydrologisch model *SWATRE* kan, na kalibratie en validatie, de water- en de zoutbeweging in de bodem worden nagebootst. Uit berekeningen blijkt dat het ongeveer twintig jaar duurt voordat de slikken tot een diepte van 0,25 m zijn ontzilt. Extensieve begrazing vertraagt de ontzilting van de bodem met ongeveer vijf jaar. Een peilverlaging van het meer van 0,2 m zal de ontzilting met vijf á tien jaar doen versnellen.

De bodem onder de waterlijn ontzilt door diffusie van zout naar het meerwater. Uit de bodemlaag tot een halve meter diep is hierdoor al veel zout verdwenen. In diepere lagen zit echter nog wel veel zout.

De vegetatie op de drooggevalen oevergebieden is na de afsluiting voortdurend in ontwikkeling geweest. Verschillende vegetatietypen volgden elkaar in een snel tempo op. De onderscheiden bodemtypen vertoonden enig verschil in vegetatieontwikkeling. De snel ontziltende schorren met klei op zand waren een korte tijd begroeid met een zilte grazige vegetatie, waarna er een korte periode kwam met hoogopschietende Spiesmelde. Hierna verruigde de vegetatie; na een stadium van ruigtevegetatie werd dit vegetatietype vervangen door duinrietvegetatie. De zandige delen en de minder snel ontziltende schorren met een diepe kleilaag, waren in het begin begroeid met een zilte pioniervegetatie. Later ging deze over in zilt grasland. Op deze bodemtypen ontstond daarna een graslandvegetatie; schraallandvegetatie en kruidenrijk grasland. Na acht jaar is te zien dat deze vegetatie op enkele plekken is overgegaan in een duinrietvegetatie. Op schorren met een kleilaag tot diep in het profiel trad deze successiereeks langza-

mer op dan op de fijnzandige delen en de grofzandige delen. Op het laatste bodemtype verliep de successie het snelst. De lage slikken waren gedurende de onderzoeksperiode vooral begroeid met zilte pioniervegetatie en aan het einde ook met zilt grasland. Dit bodemtype was nog dermate zout dat de vegetatie zich niet verder had ontwikkeld.

Al met al ontwikkelde de vegetatie in de oevergebieden zich in de richting van het geschetste streefbeeld in de gebiedsvisie. Een uitgestrekte oevervegetatie is echter nog niet ontstaan. Uit een analyse van vegetatie- en abiotische gegevens blijkt dat de vegetatie zich ontwikkelde onder invloed van de veranderingen in het zoutgehalte van het bodemvocht. Het is te verwachten dat na ontzilting, wanneer het zout in de bodem niet meer sturend is, de voedselrijkdom en grondwaterregime voor differentiatie in de vegetatie in het gebied zullen zorgen.

In 1992 werd het beheer van de meeste oevergebieden door Rijks-waterstaat overgedragen aan andere instanties Staatsbos-beheer, Stichting het Zeeuws Landschap en Vereniging Natuurmonumenten. Door de genoemde instanties werd in de meeste gebieden een begrazingsbeheer ingesteld. Dit beheer wordt in dit rapport niet geëvalueerd omdat er niet genoeg gegevens over de effecten van het uitgevoerde beheer beschikbaar waren.

In de toekomst kan worden verwacht dat het zout nog zo'n twintig á vijfentwintig jaar invloed zal hebben op de vegetatie. Bij het verdwijnen van de zoutinvloed in het gebied is te ver-

wachten dat de vegetatie verder zal verruigen en uiteindelijk duinrietvegetatie of droog rietland met ontwikkeling van houtigen zal ontstaan. Alleen op de armere bodems is een opener, soortenrijke vegetatie te verwachten. De openheid van het landschap in de toekomst is afhankelijk van de begrazingsdruk. De ervaring in het Lauwersmeergebied en Markiezaat leert dat dit verruigingsproces met matig extensieve begrazing wordt vertraagd maar hiermee niet wordt gestopt.

Er zijn plannen om een natuurlijker peilbeheer te gaan voeren van NAP-0,10 m in de zomer en NAP+0,15 m in de winter ten bate van helofytenontwikkeling. Door de aanwezigheid van een afslagrand aan de oevers valt in de zomerperiode bij deze verlaging slechts een klein deel van de oevergebieden droog. Bij een droge periode kan in de drooggevallen delen door capillaire werking zout uit diepere lagen in de bovenlaag van de bodem komen. Dit zout kan de kieming van helofyten belemmeren. De oeverrand die direct aan de waterrand gelegen is en daardoor voldoende vochtig blijft, zal niet verzilten en kan kansen bieden voor helofytenontwikkeling.

Om in de toekomst de natuurwaarden in het Volkerak-Zoommeer maximaal te ontwikkelen is een goede samenwerking tussen de verschillende oever- en waterbeheerders noodzakelijk. Voor de evaluatie van het beheer dat wordt gevoerd, is het wenselijk het onderzoek aan het zoutgehalte in de bodem en de vegetatie integraal voort te zetten.

Summary

The Volkerak-Zoommeer was created as a result of the implementation of part of the Delta Act with the completion of the Philipsdam in 1987. Before that time the shores were daily washed over by sea water. After the closure from the sea, the water level was fixed on 0 m - Amsterdam Ordnance Level (AOL) and the lake water desalinated rapidly. The embankment areas which subsequently emerged were a direct result of this constant water level. The Volkerak-Zoommeer area covers 8,000 hectares, 6,000 hectares of which are currently under water and 2,000 hectares consist of flats and former salt marshes. The region has an important ecological value, especially for birds, and has been classified as a key area in the national network of important ecosystems in the Netherlands in the Nature Policy Plan. In 1988 large sections of the embankment areas were granted the status of nature reserve. In 1989 the Ministry of Transport, Public Works and Water Management, which temporarily managed the area, published an area policy. This document describes area development focusing on the development of the natural values.

The Volkerak-Zoommeer is situated in the estuarine area of the southern Netherlands. Soil formation mainly reflects the recent past: the tidal movements of the sea determining sedimentation. The composition of the soil is largely related to its elevation. Generally speaking the higher the layer, the finer and more argillaceous the sand. In addition to open water the landscape can be distinguished in five soil types on the basis of soil formation and elevation:

- salt marshes with a profile of clay on sand;
- salt marshes where clay occurs too deep in the profile;
- the parts of the flats with a relatively coarse sandy soil;
- the fine sandy parts;
- flats with a clayey fine sandy soil.

The closure triggered off soil ripening processes: the clayey soil matured, resulting in an increased permeability and settlement of the soil. On the *Plaat van de Vliet* some sand drifting due to wind erosion was seen directly after enclosure. The controlled and fixed water level and constant wave action resulted in bank erosion. In order to prevent bank erosion, many kilometres of foreshore protection and islands were built in front of the banks.

After the closure a process of desalination commenced in the soil of the emerged embankment areas. Desalination of the soil takes place when the precipitation surplus (precipitation minus evapotranspiration) can penetrate the soil and runs off underground. The saline groundwater is subsequently replaced

by fresh water. Precipitation which evaporates or runs off the surface does not contribute to the desalination of the soil.

There is a great difference in the manner of drainage of precipitation surplus between the flats and the salt marshes: on the flats only a very small percentage of the precipitation surplus penetrates the soil and more than half the precipitation runs off the surface. On the salt marshes an average of more than half the precipitation penetrates the soil and runs off underground. The permeability of the soil and the depth of the groundwater level in the winter (the time precipitation surpluses occur) largely determine the amount of rainwater which can penetrate the soil. There are big differences in the area with regard to the extent of precipitation surplus penetration into the soil. As a consequence there are wide variations in the degree of desalination of the soil. The salt marshes and sandy areas were already considerably desalinated in 1995, whereas the flats were still very saline.

The deterministic model *SWATRE* for soil water flow allows us to simulate the water and salt movement in the soil after calibration and validation. Calculations show that it could take about 20 years before the flats are desalinated up to a depth of 0.25 m. Extensive grazing delays desalination of the soil by approximately five years. A lowering of the lake level by more than 0.2 m will accelerate desalination by five to ten years.

The soil below the water line desalinates through the diffusion of salt into the water of the lake. Hence, up to a depth of half a meter, much of the salt has already disappeared from the soil layer. The deeper layers, however, are still very saline.

Vegetation on the emerged embankment areas has continued to develop since the closure. Various vegetation types have followed each other in rapid succession. The different soil types show some variation in vegetation development. The rapidly desalinating salt marshes with a profile of clay on sand were soon covered with grassland of saline habitats, shortly followed by a tall growing *Hastate orache* vegetation. Then the vegetation grew rough. After a period the rough growth vegetation was replaced by bush grass vegetation. Initially, the sandy areas and the slower desalinating salt marshes with a deep layer of clay were covered with pioneer vegetation of saline habitats, later changing into grassland of saline habitats. These soil types later showed grassland vegetation; rough meadow and herbaceous grassland. In some places this vegetation has been replaced by bush grass vegetation over the past 8 years. These successive vegetation cycles progressed slower on the salt-marshes than on the fine-sandy and lower areas and the coarse sandy areas. Succession was fastest on the latter soil type. During the period of study, the low flats

were covered with saline pioneer vegetation, and later also with saline grassland. As the salinity of this soil type is still very high, the vegetation had not been able to develop any further. All in all, the vegetation in the embankment areas developed in much the same way as described in the area policy document. It has, however, not yet grown into extensive bank vegetation. From an analysis of vegetation and abiotic data, it appears that the vegetation developed under the influence of the changes in the salinity of the soil. It is to be expected that after desalination, when salinity of the soil is no longer determinant, eutrophication and the groundwater regime will bring differentiation in the vegetation in the area.

In 1992 the management tasks of most of the embankment areas were transferred to other authorities (Staatsbosbeheer, Stichting het Zeeuws Landschap and the Vereniging Natuurmonumenten), which then set up grazing management in most areas. This management type has not been included in the evaluation of this report for lack of sufficient information about the effects of management.

Future expectations are that salinity will continue to influence the vegetation types for around twenty to twenty-five years. Once the saline influence has disappeared from the area, the vegetation is expected to grow rough. Finally will appear bush grass vegetation or dry reedlands with the development of ligneous vegetation. Only the nutrient-poorer soils may develop a more open vegetation with a diversity of species. The openness of the future landscape will depend upon the grazing

pressure. Experience in other parts of the Netherlands (the Lauwersmeer area and the Markiezaat area) shows that this process of rough growth will be slowed by moderately extensive grazing, but not stopped.

At this moment the water level of the lake is set at AOL-0 m. However, plans are being developed to install a different management with a more natural course of the water level of the lake throughout the year (AOL-0.1 m in the summer and AOL+0.15 m in the winter period). It is expected that the new watermanagement of the lake will enhance the development of helophytes. Due to erosion of the banks in the past only a small part of the embankment areas will emerge in the summer period after such a lowering. In dry periods capillary rise of groundwater can move salt up from the deeper layers to the top layers of the soil in the emerged areas. This salt may hinder the germination of helophytes. Only for the area which directly borders on the water's edge, the moisture content does not decrease in the summer period. Therefore the salinity level of the soil remains constant at a low level, which makes this area suitable for helophyte development.

To enable the optimum development of the natural values in the Volkerak-Zoommeer area in the future, the cooperation between the various responsible authorities is necessary. In order to obtain the most suitable management for the area, both now and in the future, it is desirable to continue integrated research and monitoring of both abiotic (such as salinity) and biotic (vegetation) factors.

1 Inleiding

1.1 Geschiedenis en karakterisering van het gebied

1.1.1 Ontstaan van het Volkerak-Zoommeer

Aanleiding tot het ontstaan van het Volkerak-Zoommeer was de watersnoodramp in 1953. Als reactie daarop werd het Deltaplan ontwikkeld, waarbij de beveiliging van het land tegen het water voorop stond. Het Deltaplan behelsde de afsluiting van alle getijdengeulen in het deltagebied, met uitzondering van de belangrijkste scheepvaartroutes. Volgens het oorspronkelijke Deltaplan zouden de Oosterschelde en het Krammer-Volkerak een eenheid vormen, afgesloten van de zee door een dichte dam in de Oosterschelde. In de jaren zeventig is echter uit milieuoverwegingen gekozen voor een stormvloedkering in de Oosterschelde. Dat hield in dat er in de Oosterschelde een getijdenbeweging bleef bestaan, maar met een minder groot verschil tussen het hoog- en laagwaterniveau dan voorheen. Om voldoende verschil tussen het hoog- en laagwaterniveau te houden was het gewenst het volume van de Oosterschelde enigszins te verkleinen. Bovendien was met België reeds eerder overeengekomen dat er een getijvrije scheepvaartroute zou komen van Antwerpen naar Rotterdam. Daarom moesten extra maatregelen worden getroffen. Deze maatregelen resulteerden in een compartimenteringsplan waarin de aanleg van de Markiezaatskade, de Oesterdam en de Philipsdam werden gepland. Na de aanleg van deze dammen ontstonden het Markiezaatsmeer (in 1983), het Zoommeer en het Krammer-Volkerakmeer (in 1987). Figuur 1.1 geeft een overzicht van het Deltagebied met de uitgevoerde werken.

1.1.2 Karakterisering van het gebied

Het Krammer-Volkerak was een gebied dat tot 1987 onder getijdeninvloed stond. Lage oevergebieden werden tweemaal per etmaal door zout water overstroomd via de Grevelingen en het Haringvliet. Bij eb kwam vanuit het Hollands Diep zoet rivierwater het gebied in. Na de aanleg van de Grevelingendam in 1965 stroomde zout water het gebied in via de Oosterschelde. Na aanleg van de Volkerakdam in 1970 kwam er nadien veel minder zoet water het gebied binnen, doordat de afvoer van het rivierwater voornamelijk via het

Haringvliet werd geleid. Na de afsluiting met de Philipsdam in 1987 verzoette het Krammer-Volkerak door inlaat van zoet water bij de Volkeraksluizen.

Het Zoommeer was oorspronkelijk het achterste deel van de Oosterschelde, evenals het Markiezaatsmeer. De Oesterdam, die het Zoommeer scheidt van de Oosterschelde, was in 1986 gereed. Tot april 1987 bestond er via de Schelde-Rijnverbinding (de Eendracht) nog een getijdenbeweging in het Zoommeer. Sinds het sluiten van de Philipsdam in april 1987 is de getijdeninvloed verdwenen.

Na het sluiten van de Philipsdam vormen het Krammer-Volkerak en het Zoommeer, verbonden door de Eendracht, een waterstaatkundige eenheid waarin het peil gelijk is. Er loopt een drukbevaren scheepvaartroute door het gebied, de Schelde-Rijnverbinding. In dit rapport zal dit gebied verder worden aangeduid als het "Volkerak-Zoommeer".

Na de afsluiting van de Philipsdam verzoette het meerwater binnen een jaar en kreeg het water een vast peil waardoor uitgestrekte oevergebieden permanent droog kwamen te liggen. Het Volkerak-Zoommeer en de aangrenzende oevergebieden



De drooggevallene oevergebieden worden doorsneden door vele krekens, waarvan sommigen water bevatten. Hier zijn de Hellegatsplaten te zien vanaf de dijk (foto 1996; H. Slager).

Figuur 1.1



Figuur 1.1
Ligging van het Volkerak-Zoommeer in zuidwest Nederland.

Figure 1.1
Location of the Volkerak-Zoommeer area in the south-west of the Netherlands.

Tabel 1.1
Oppervlaktes in hectaren bij een
waterstand die gelijk is aan NAP.

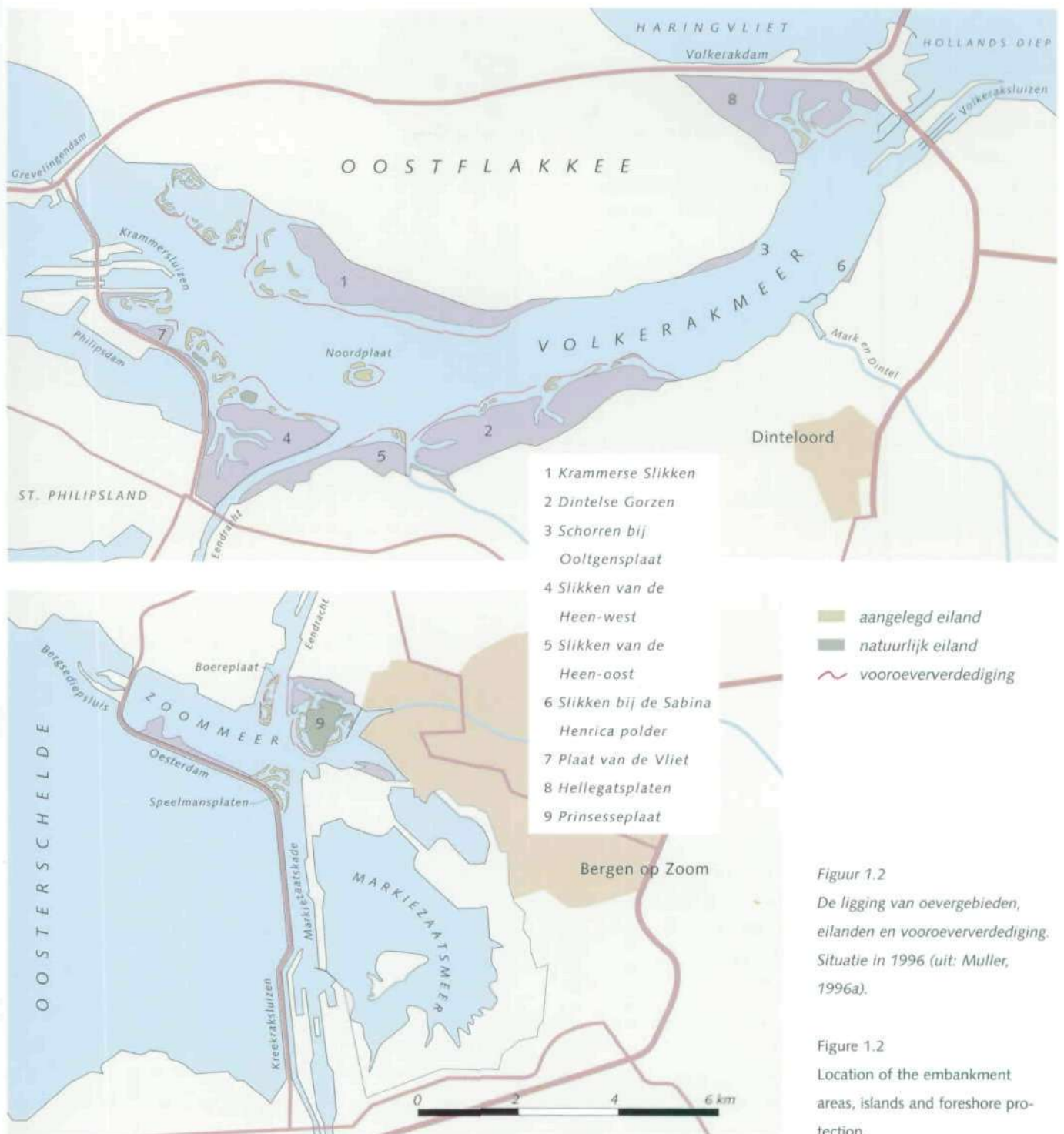
	Diep water > NAP-1,5 m	Ondiep water NAP-0 - NAP-1,5 m	Slikken en Platen	Schorren	Totaal
Krammer-Volkerak	3710	960	1140	640	6450
Eendracht	265	20	0	60	345
Zoommeer	980	85	160	0	1225
totaal Volkerak-Zoommeer	4955	1065	1300	700	8020

Table 1.1
Surface areas in hectares at a water
level comparable with NAP
(Amsterdam Ordnance Level).

bestrijken in totaal een oppervlakte van ruim 8000 ha. Daarvan is nu ongeveer 6000 ha water. De drooggevallen oevers, bestaande uit schorren, platen en slikken beslaan ruw- weg 2000 ha. Op het moment van droogvallen was vrijwel het hele gebied tussen de vroegere hoogwater- en laagwater- lijn onbegroeid. Alleen de schorren hoger dan NAP+0,8 m waren bedekt met vegetatie. In tabel 1.1 staat de verdeling van de oppervlakte van het gebied in water, voormalige schor- ren, slikken en platen bij het huidige peil van NAP.

1.1.3 Gevolgen van de afsluiting

Het vaste peil in het meer had tot gevolg dat de golfbeweging van het water steeds op dezelfde hoogte de oever bewerkte. Dat veroorzaakte meer afslag dan voorheen. Om oeverafslag tegen te gaan en de bestaande geleidelijke overgangen van de oevers naar dieper water in stand te houden is een grote leng- te aan oeeververdedigingen aangelegd. Deze oeeververdediging bestaat uit een dam van basaltblokken die is aangelegd op de lijn waar de waterdiepte bij het huidig peilbeheer 1 m is. Om



Figuur 1.2
 De ligging van oevergebieden, eilanden en vooroeversverdediging. Situatie in 1996 (uit: Muller, 1996a).

Figure 1.2
 Location of the embankment areas, islands and foreshore protection.

een goede wateruitwisseling met de rest van het meer te kunnen garanderen, zijn hierin openingen van enkele meters breed aangebracht. Binnen deze dammen ontstond een beschut deel met ondiep water. Ook zijn er op ondiepe plaatsen eilandjes opgespoten waardoor de oevers minder werden blootgesteld aan golfwerking (figuur 1.2). De aanleg van de vooroevers en de eilandjes dienden echter meerdere doelen. De vooroevers leveren ook een bijdrage aan het bereiken van het streefbeeld van een door roofvis gedomineerd zoetwater-

systeem, waarin de algengroei wordt onderdrukt door zoöplankton. Hierbij speelt de uitbreiding van de helofytenvegetatie een belangrijke rol. Een uitbreiding van dit biotoop betekent een vergroting van het paai- en opgroeigebied van de Snoek, wat een voorwaarde is voor de opbouw en instandhouding van een productieve snoekpopulatie. Door de uitbreiding van de lengte van zachte oevers en de oppervlakte van het ondiepwatergebied werden kansen gecreëerd voor de ontwikkeling van een goed-ontwikkelde helofytenvegetatie (RWS

RIZA, 1991; Iedema, 1992). Door de genoemde ingrepen wordt bovendien de natuurwaarde van het gehele Volkerak-Zoommeer vergroot. Door de ontwikkeling van een gevarieerde moeras- en oeverbegroeiing, geleidelijke overgangen van land naar water, in combinatie met de geïsoleerde ligging van de eilanden, een ijle begroeiing en het ontbreken van grondpredatoren, vormen de eilanden een gunstig biotoop voor watervogels en kustbroedvogels als foerageer-, rust-, broed- en ruigebied (Muller, 1996b).

Als gevolg van de afsluiting verdween de invloed van het zoute water in het gebied en kwam er een proces van ontzilting van de bodem op gang. Dit alles had grote gevolgen voor de flora. Naar de veranderingen in het abiotische milieu en de vegetatie is onderzoek gedaan met als doel kennis van deze ontwikkelingen te verkrijgen om een doeltreffend beheer in dit en soortgelijke gebieden te kunnen voeren. Hierover wordt in dit rapport verslag gedaan. Over de resultaten van soortgelijk onderzoek in het Markiezaat van Bergen op Zoom is reeds gerapporteerd (Röling, 1994). Ook zijn de onderzoeksresultaten van het Lauwersmeergebied, waar dezelfde processen plaatsvonden als in het Volkerak-Zoommeer, gepubliceerd (van Rooij & Drost, 1996).

1.1.4 Status

In het Natuurbeleidsplan van het ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij heeft het Volkerak-Zoommeer de status gekregen van "kerngebied in de ecologische hoofdstructuur van Nederland". De drooggevalle gebieden en aangrenzende ondiepe wateren (tot een diepte van 1,5 m) zijn door de overheid erkend als belangrijke natuurgebieden. Grote delen van het gebied zijn in 1988 tot natuurmonument verklaard en zijn daarmee dus wettelijk beschermd (RWS RIZA, 1991).

1.2 Beheer en doelstellingen

1.2.1 Uitgangspunt: integraal waterbeheer

Het Volkerak-Zoommeer was één van de voorbeeldgebieden waar de "integraal waterbeheer"-gedachte in onderzoek en beheer vorm moest krijgen. Het begrip "integraal waterbeheer" kreeg door de nota "Omgaan met water" meer algemene bekendheid (Ministerie van V&W, 1985). Bij deze benadering van waterbeheer wordt rekening gehouden met de bestaande samenhang op verschillende vlakken: met verschillende belangen die met het water gemoeid zijn, met de vele autoriteiten die bevoegdheden en zeggenschap hebben in beleid en beheer en met het watersysteem zelf dat beperkingen en vaak stuurbare mogelijkheden heeft. Hierdoor kan meer gebruik worden gemaakt van de potenties van watersystemen (Smit *et al.*, 1989).



Voor de oevers zijn stortstenen dammen aangelegd ter bescherming van de oever. Hierdoor ontstaat een luw ondiepwatergebied, wat kansen biedt voor helofytenbegroeiing (foto S. van Rooij).

1.2.2 Planvorming voor de inrichting van de oevergebieden

In 1987 werd een beleidsplan voor het nog te realiseren Volkerak-Zoommeer opgesteld door het Bestuurlijk Overleg Krammer-Volkerak. Dit overleg was in 1983 ingesteld om het toekomstige beleid ten aanzien van dit gebied voor te bereiden. In dit beleidsplan staan de functies beschreven die tot ontwikkeling gebracht zouden kunnen worden op basis van eerder geformuleerd beleid. De in het beleidsplan geformuleerde hoofdfuncties voor het gebied zijn:

- vaarweg voor de beroeps- en recreatievaart;
- natuurfunctie voor oeverzone en aangrenzende ondiepe waterzone, eventueel recreatief medegebruik;
- recreatie-functie (dagrecreatie).

Ook vervult het gebied een functie voor de visserij en de ganzenopvang.

In 1986, een jaar voor de totstandkoming van het Volkerak-Zoommeer, verscheen het rapport "Onderzoeksplan oeverontwikkeling Volkerakmeer en Zoommeer over 1987-1996". In dit rapport werd een onderzoeksplan uiteengezet, waarbij werd ingespeeld op de relatie tussen het land en het water (Ministerie van V&W, 1986). Hierin werden nieuwe richtlijnen geformuleerd en bestaande richtlijnen geëvalueerd voor de inrichting en beheer van natuurwaarden in het:

- terrestrisch milieu;
- water achter de vooroever;
- terrestrisch milieu van de oeverzone.

Deze richtlijnen moesten leiden tot een zo optimaal mogelijk en ecologisch verantwoord functionerend systeem.

In 1987 verscheen het rapport "Beleidsplan Krammer-Volkerak". Uitgangspunt voor de te ontwikkelen natuurfunctie van een zo hoog mogelijke kwaliteit was hierin het streven naar

een zo groot mogelijke *diversiteit, compleetheid en zelfregulatie van het systeem*. Om dit te kunnen bereiken was er behoefte aan een zo groot mogelijke oppervlakte oevergebieden. Om verlies daarvan als gevolg van oeverafslag te beperken werden daarom oeververdedigingen gepland. Bovendien werd gesteld dat andere functies van de oevergebieden niet ten koste mochten gaan van de natuurfunctie (RWS directie Zeeland, 1987).

De ontwikkeling van de natuurfunctie in de oevergebieden en de aangrenzende ondiepe waterzone werd concreet uitgewerkt in een beheersvisie die werd opgesteld door de beheerscommissie en in 1989 door de Minister van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij werd vastgesteld in het kader van de Natuurbeschermingswet (RWS directie Flevoland, 1989). Hierbij werd rekening gehouden met de doelstellingen voor het watersysteem. In deze visie wordt gesteld dat zowel spontane ontwikkeling als gericht natuurbeheer in het gebied aanvaardbaar is. Van belang is dat de landschapstypen die ontstaan bijdragen aan natuurbehoud. De doelstelling voor natuurbeheer is als volgt geformuleerd:

Het beheer van de natuur in het Krammer-Volkerak, de Eendracht en het Zoommeer, zal gericht zijn op het zich zo natuurlijk en volledig mogelijk laten ontwikkelen van ter plaatse thuishorende levensgemeenschappen van bos, halfoopen landschap, moeras, grazig gebied en open water in zo groot mogelijke beheerseenheden.

Dit betekende voor het terrestrische deel van de belangrijkste deelgebieden (RWS directie Flevoland, 1989):

Plaat van de Vliet

Ontwikkeling van duin- en duinvalleivegetatie van vochtige/droge voedselarme gronden.

Slikken van de Heen-west

Ontwikkeling van bos en half open moeras.

Slikken van de Heen-oost

In het westen komt het accent op bosontwikkeling te liggen (het gebied is minder geschikt voor begrazing door de aanwezigheid van diepe krekens). In het oosten is wel begrazing mogelijk en is een open gebied met ruigten en struwelen tot doel gesteld.

Dintelse Gorzen

Gedifferentieerd landschap van bos, struweel en graslanden (nat en droog).

Hellegatsplaten

Gedifferentieerd parklandschap met struweel, ruigte en graslanden (nat en droog). Dit kan worden bereikt door begrazingsbeheer en eventueel het afdammen van krekens, waardoor moerasvorming optreedt.

Krammerse slikken

Ontwikkelen van een grootschalig grazig gebied, met plaatselijk moerasontwikkeling en struweel.

Prinsesseplaat

Ontwikkelen van open grazig gebied ten bate van watervogels.

In de nota "Ganzenopvang in Zeeland" uit 1989 wordt ook ten doel gesteld om tenminste 100 ha van de oevergebieden grazig te houden ten bate van foeragerende ganzen. Hierdoor kan de schade worden beperkt die ganzen aanrichten in omringende landbouwgebieden (Anonymus, 1989).

1.2.3 Beheervoerende instanties

Het waterbeheer in het Volkerak-Zoommeer wordt uitgevoerd door Rijkswaterstaat, directie Zeeland. Het onderzoek ten behoeve van het waterbeheer is opgedragen aan het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA).

Het beheer van de oevergebieden is in de eerste jaren uitgevoerd door de toenmalige Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (RIJP)². Eind 1991 is het beheer van de meeste oevergebieden overgedragen aan de volgende instanties:

- de Dintelse Gorzen, Slikken van de Heen-oost en de Sabina Henricapolder aan de Vereniging Natuurmonumenten;
- de Krammerse Slikken, Schorren bij Ooltgensplaat, Hellegatsplaten en de Prinsesseplaat aan Staatsbosbeheer;
- de Slikken van de Heen-west en de Plaat van de Vliet aan Stichting het Zeeuws Landschap.

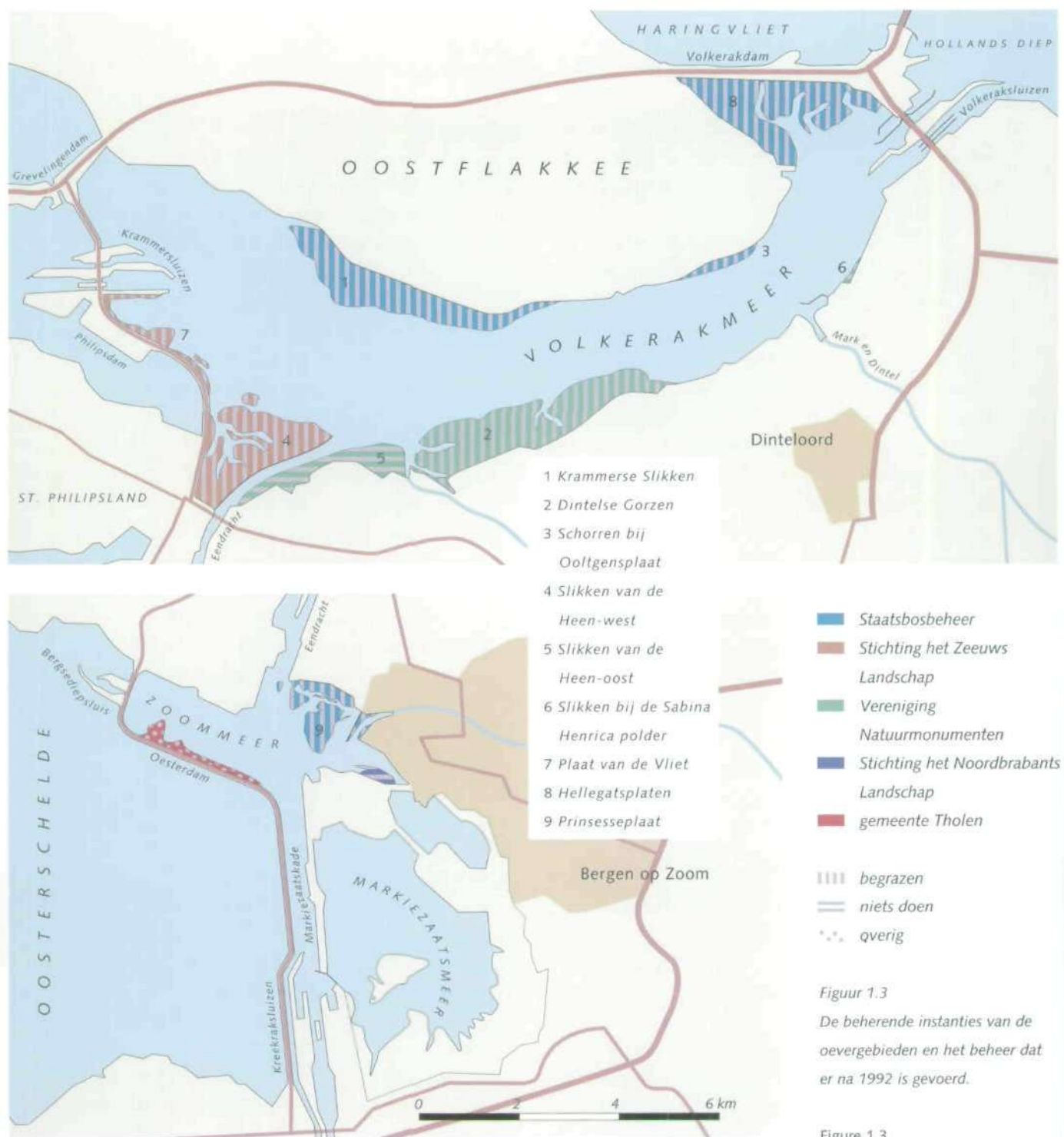
In het gebied zijn in opdracht van Rijkswaterstaat in de loop van de jaren een groot aantal eilandjes opgespoten. Het beheer van deze eilandjes is ook ondergebracht bij de genoemde instanties.

1.2.4 Beheer

In de periode vanaf de afsluiting tot 1992, welke werd gekenmerkt door een snelle verandering van een zout naar een brak en gedeeltelijk zoet milieu, hebben de gebieden zich ongestoord kunnen ontwikkelen. Na de overdracht van het beheer naar diverse instanties werd in de meeste gebieden in 1992 een begrazingsbeheer ingesteld. Zowel jaarrond- als seizoensbegrazing worden toegepast. Er wordt begraasd met paarden, pony's, pinken, Heckrunderen en Schotse hooglanders. Slechts een klein deel van de drooggevallen oevers wordt niet begraasd. Figuur 1.3 geeft aan door welke instantie de oevergebieden worden beheerd en welk beheer vanaf 1992 is toegepast.

1.2.5 Relatie met andere projecten

De helofytenvegetatie, die een belangrijke rol speelt in het functioneren van een compleet aquatisch ecosysteem, ontwikkelde zich slecht na de afsluiting (Geilen, 1993). Daarom is in 1993 in opdracht van Rijkswaterstaat directie Zeeland gestart met het onderzoeksproject 'Planten in de Peiling'. Met dit pro-



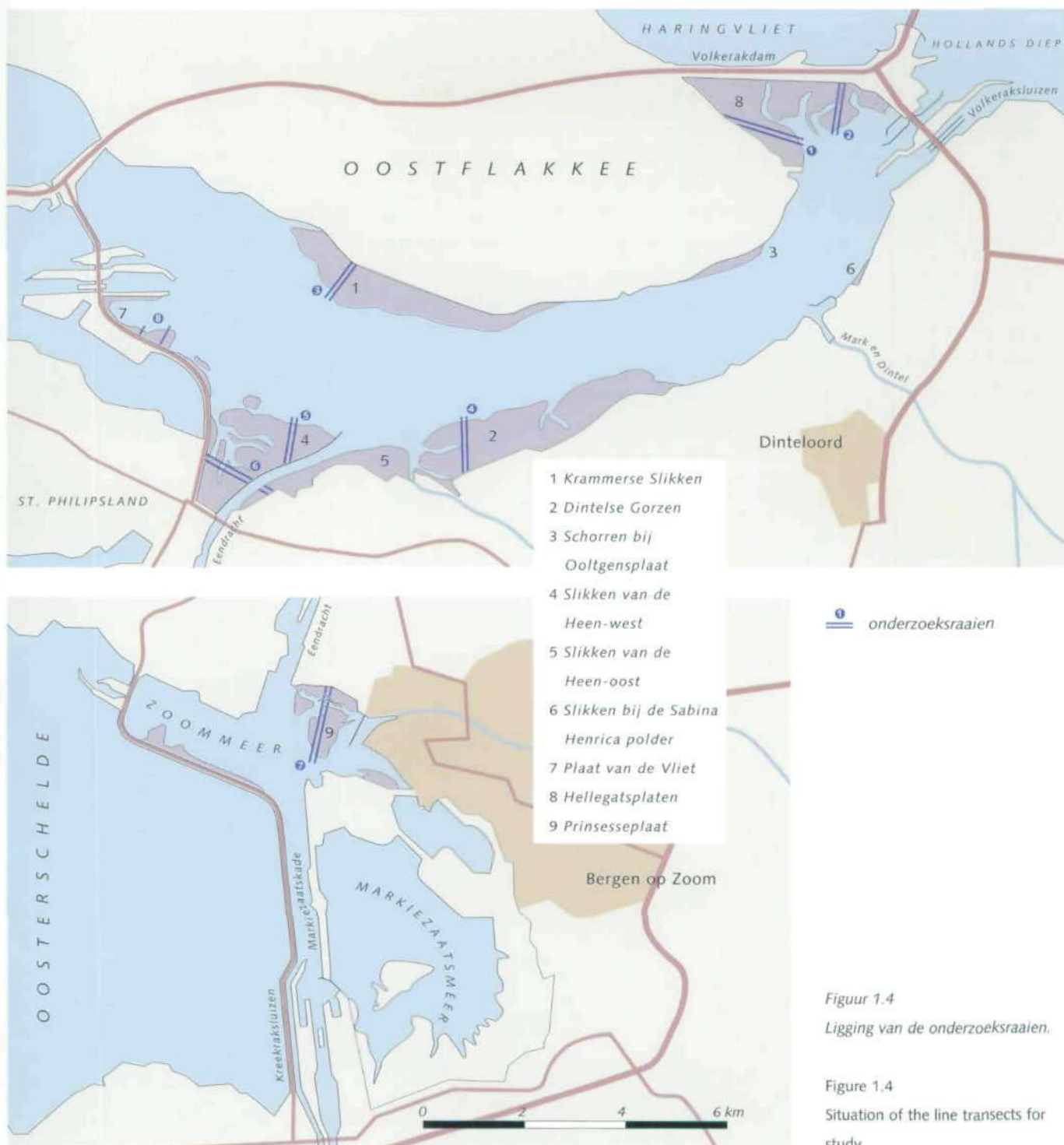
Figuur 1.3
De beherende instanties van de oevergebieden en het beheer dat er na 1992 is gevoerd.

Figure 1.3
The managing authorities of the embankment areas and their management since 1992.

ject wordt getracht de ontwikkelingskansen voor de helofyten onder invloed van een ander peilbeheer vast te stellen. Hiertoe wordt de relatie tussen ontzilt van de bodem bij peilfluctuaties en de vestiging van oeverplanten uitgewerkt. De eventuele belemmeringen in de spontane ontwikkelingen van helofytenvegetaties worden onderzocht (Vulink & Coops, 1995; Vulink *et al.*, 1996).

Ter versterking van het ecologische functioneren van de oeverzone zijn in de periode 1987-1996 grote lengtes vooroeververdediging en vele eilanden voor de kust aangelegd. Deze wer-

den aangelegd om oeverafslag te beperken, het ontstaan van klifrandjes te voorkomen en om een grotere lengte zachte oever en een groter oppervlak luw, ondiep gebied te creëren. Dit met het doel de natuurwaarde van het gehele Volkerak-Zoommeer te vergroten (POVEZ, 1988). Na de afronding van de aanleg vindt een evaluatie plaats van de effecten van deze werken. Deze evaluatie wordt uitgevoerd door het RIZA en zal eind 1998 zijn afgerond.



Figuur 1.4
Ligging van de onderzoeksraaien.

Figure 1.4
Situation of the line transects for study.

1.3 Onderzoek

Op de drooggevalle oevergebieden heeft sinds de afsluiting onderzoek plaatsgevonden naar zowel biotische als abiotische ontwikkelingen. Doel van dit onderzoek was het volgen en vastleggen van de veranderingen die optraden tijdens het proces van verzoeting. De kennis daarover kan gebruikt worden voor het beheer van het gebied.

In het rapport "Onderzoekplan oeverontwikkeling Volkerakmeer en Zoommeer over 1987-1996" is een keuze gemaakt in de ontwikkelingen die gemonitord zouden wor-

den. Ook werd hierin vastgesteld welke parameters gemeten moesten worden, de frequentie waarmee gemeten moest worden en welke instanties de metingen zouden gaan uitvoeren. Een onderdeel van de activiteiten die werden gepland in de oeverzone, was het volgen van de abiotische en biotische ontwikkelingen, zowel in het (ondiepe) water als op het land, zodat deze eventueel met aanvullende maatregelen kunnen worden bijgestuurd. Ook werd in het genoemde rapport een evaluatie van de ontwikkelingen gepland (Ministerie van V&W, 1986).

Het merendeel van het onderzoek in de oevergebieden werd uitgevoerd in acht raaien (breedte 200 m, lopend van de dijkvoet tot in het water; figuur 1.4). De raaien zijn zo gesitueerd dat daarin alle verschillende kenmerken van het vroegere getijdengebied zijn vertegenwoordigd. In de raaien zijn vaste onderzoeksplekken (permanente quadraten; pq's)³ gelegd voor vegetatiewaarnemingen en abiotisch onderzoek. Het abiotisch onderzoek is uitgevoerd in de periode van 1987 tot en met 1995, het vegetatieonderzoek van 1987 tot en met 1994. Alleen de gebieden waarop deze raaien gelegen zijn komen in dit rapport aan de orde. Naast deze oevergebieden liggen er nog een aantal kleine oevergebieden in het gebied. In deze gebieden zijn echter geen gegevens verzameld en worden daarom in dit rapport buiten beschouwing gelaten.

1.4 Inhoud van dit rapport

In het voorliggende rapport wordt verslag gedaan van het onderzoek op de drooggevalle oevergebieden in het Volkerak-Zoommeer. De abiotische kenmerken en veranderingen daarin en de ontwikkelingen in de vegetatie worden uitvoerig besproken en geëvalueerd. De ontwikkeling van de avifauna komt in dit rapport niet aan de orde. De ontwikkelingen in het aquatisch systeem komen slechts summier aan de orde; hierover is al anderszins gerapporteerd (Breukers, 1995; Breukers, 1996).

2 Bodem en geologie

2.1 Geologische wordingsgeschiedenis

Zuidwest Nederland ligt aan de zuidrand van het Noordzeebekken. Dit bekken wordt in het zuiden begrensd door het Massief van Brabant. Sedert haar bestaan daalt de bodem van het Noordzeebekken. Tot op de dag van vandaag vertoont het landoppervlak in zuidwest Nederland een relatieve daling ten opzichte van het zeeniveau.

Pleistocene afzettingen

Tijdens de laatste twee ijsstijden, het Saalien en het Weichselien, raakte het tot dusver vrij vlakke plateau van het Brabants Massief versneden. Hierbij ontstonden erosiedalen. Gedurende de laatste ijs tijd, het Weichselien, lag Nederland geheel boven zeeniveau en zijn periglaciale afzettingen gevormd (Formatie van Twente). De periglaciale afzettingen bestaan voor een groot deel uit eolische zanden (dekzanden). In het Volkerak-Zoommeer bestaat de bovenkant van de pleistocene afzettingen uit deze dekzanden.

In het Volkerak-Zoommeer werden behalve de dekzanden ook fluviatiele afzettingen gevormd. In het deltagebied bevond zich een breed, oost-west gericht, rivierstelsel van de Rijn. De fluviatiele sedimenten die door deze rivier werden afgezet, worden tot de Formatie van Kreftenheye gerekend.

Holocene afzettingen

Het Holocene is de relatief warme periode die na de laatste ijs tijd, het Weichselien, begon en tot op de dag van vandaag voortduurt. Het begin van het Holocene wordt gedateerd op ongeveer 10.000 jaar geleden, toen er een einde kwam aan de laatste ijs tijd.

Door het afsmelten van de ijskappen steeg de zeespiegel van circa NAP-50 m tot het huidige niveau. Het Noordzeebekken vulde zich weer en de waterlijn bereikte ongeveer 7.500 jaar geleden de huidige kustlijn. Als gevolg van de stijgende zeespiegel werd de ontwatering slechter en steeg de grondwaterspiegel. Door deze vernatting ontwikkelde zich veen op het veelal zandige pleistocene oppervlak, het

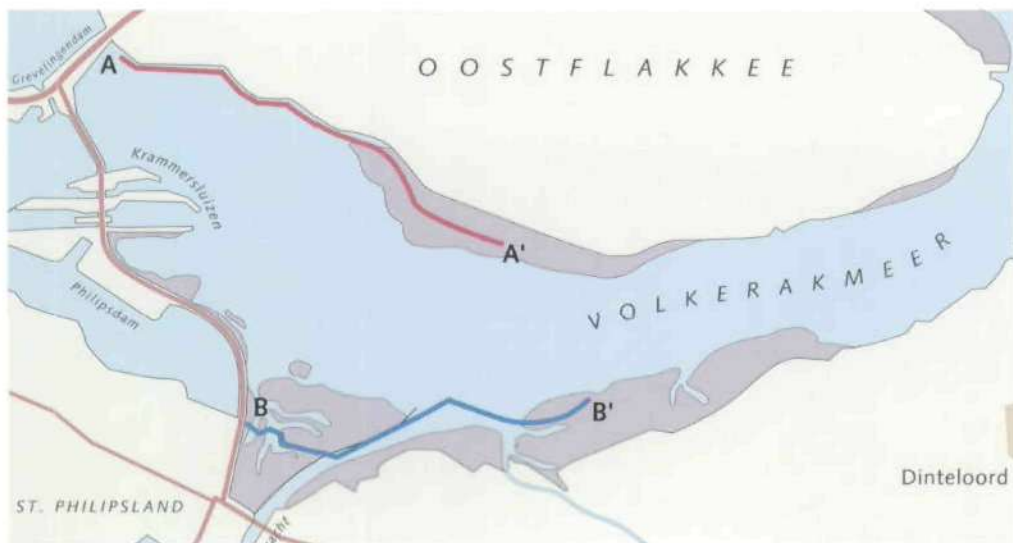
zogenaamde Basisveen. De dikte van het Basisveen in het gebied bedraagt enige decimeters.

Als gevolg van de snelle zeespiegelrijzing verdrong omstreeks 6000 jaar voor Christus het veengebied grotendeels en werden er in het gebied mariene kleien en zanden afgezet. Deze mariene sedimenten behoren tot de Afzettingen van Calais. Het afzettingsmilieu kan worden beschouwd als een waddenlandschap dat werd doorsneden door met de zee in verbinding staande getijdengeulen (figuur 2.1). Deze geulen erodeerden het pleistocene oppervlak vaak tot op grote diepte.

Aan de basis van deze Afzettingen van Calais wordt veelal een dunne, vette kleilaag aangetroffen, de zogenaamde Laag van Velsen (tabel 2.1). Hierop rust een pakket kleien en zandige kleien. Op de Krammerse Slikken bestaan de Afzettingen van Calais veelal uit fijn zand, terwijl deze afzettingen in het gebied van de Slikken van de Heen en de Dintelse Gorzen geheel uit zware, met riet doorgroeide, kleien zijn opgebouwd. De dikte van de Afzettingen van Calais varieert van minder dan 1 m tot meer dan 10 m. Daar waar het pleistoecene zand hoger ligt dan NAP-4 m ontbreken deze Afzettingen van Calais en kon de veenvorming ongestoord verder gaan.

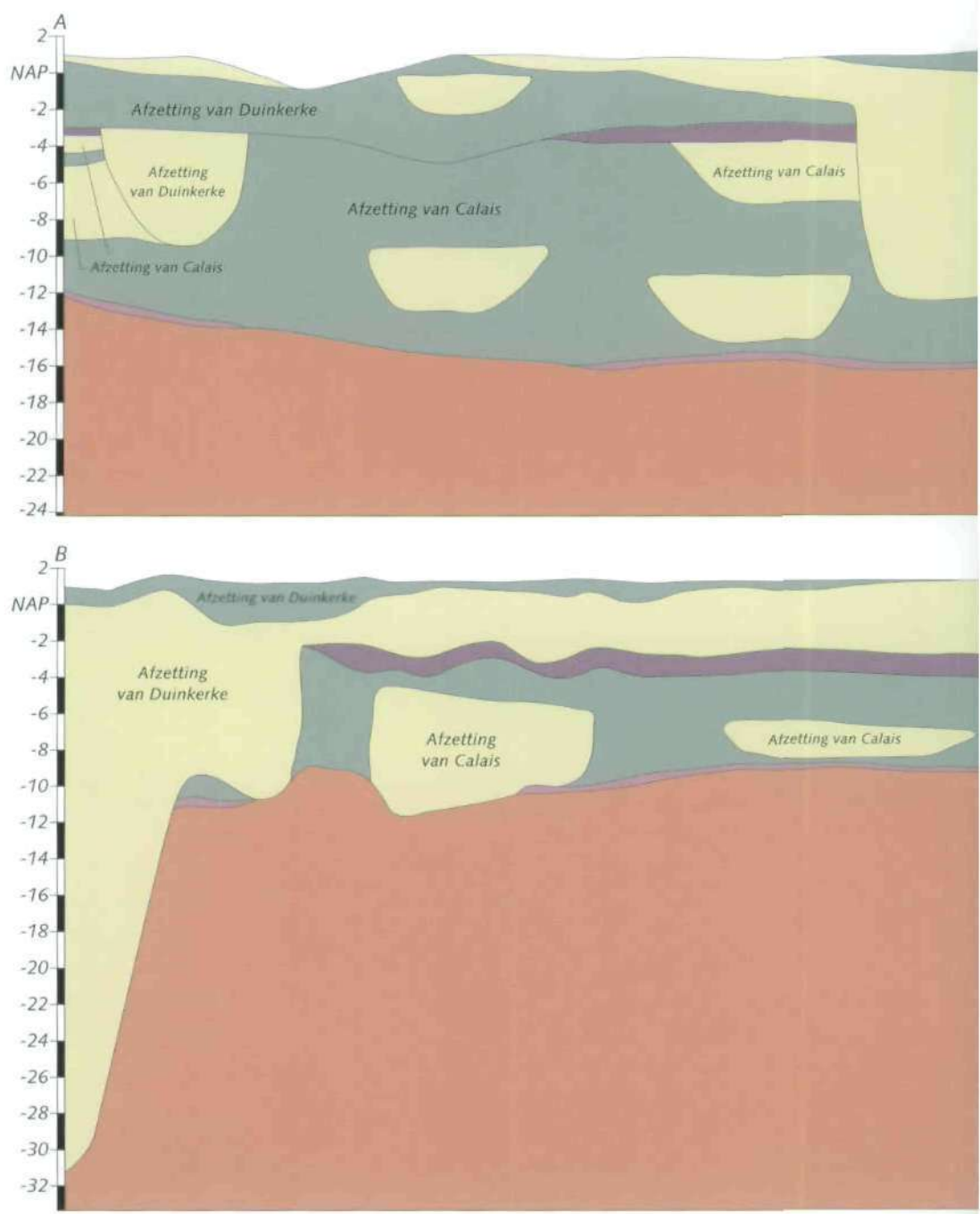
Omstreeks 4500 jaar geleden begon de vorming van de strandwallenkust, waardoor de sedimentatie van de Afzettingen van Calais eindigde. Deze kustbarriere belette voor een groot deel het binnendringen van zout water, zodat een lagune ontstond die onder invloed van het kwelwater uit de hogere pleistocene gebieden en het binnenstromende rivierwater kon verzoeten en waarin zich een veenmoeras kon ontwikkelen. Zo ontstonden er metersdikke (plaatselijk meer dan 3 m) pakketten veen. Dit veenpakket noemt men het Hollandveen. Het Hollandveen is, evenals het Basisveen, onder de druk van de erop liggende sedimenten veelal sterk samengeperst en ingeklonken.

Pas omstreeks 800 jaar na Christus drong de zee vanuit het westen het veenlandschap opnieuw binnen. Aanvankelijk zullen deze inbraken vooral rondom de mondingsgebieden van



Figuur 2.1
Geologische profielen
(naar: RGD, 1976).

Figure 2.1
Geological profiles
(source: RGD, 1976).

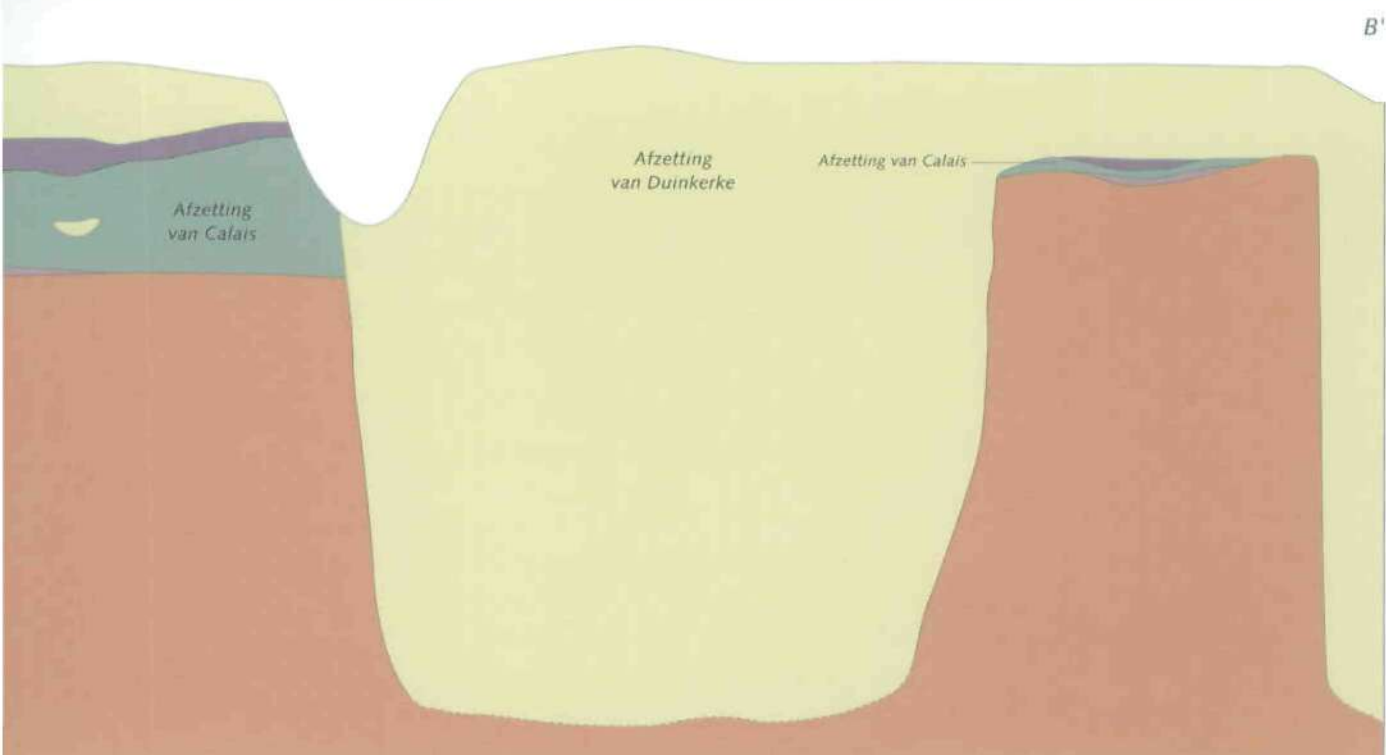
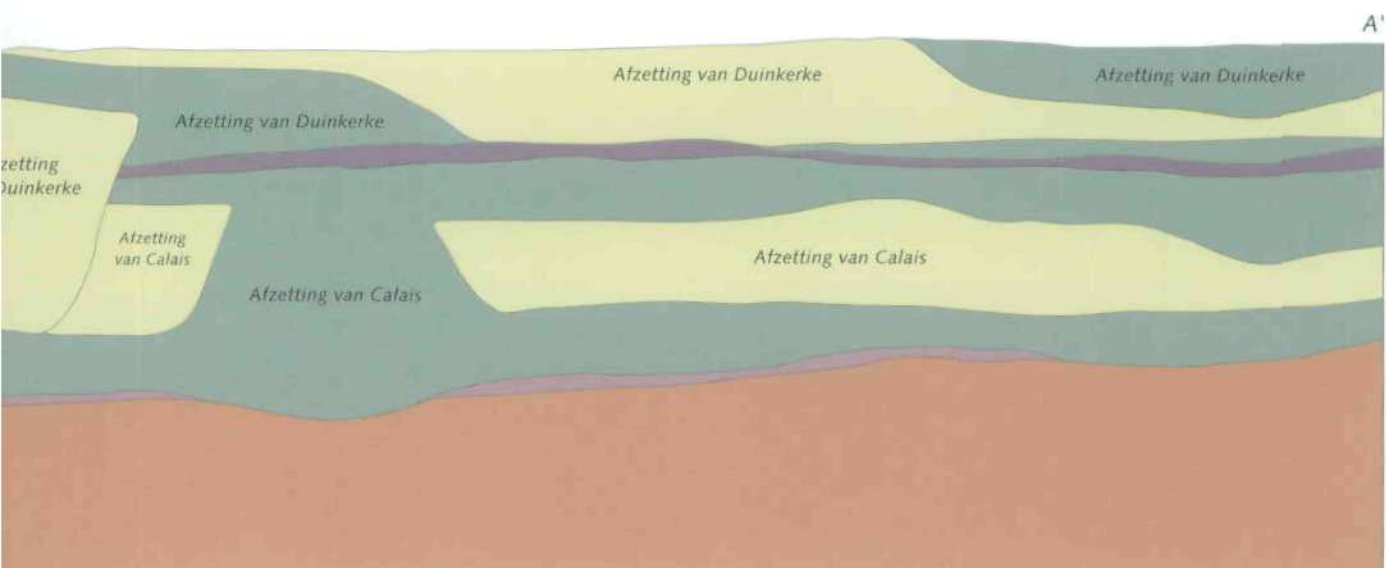


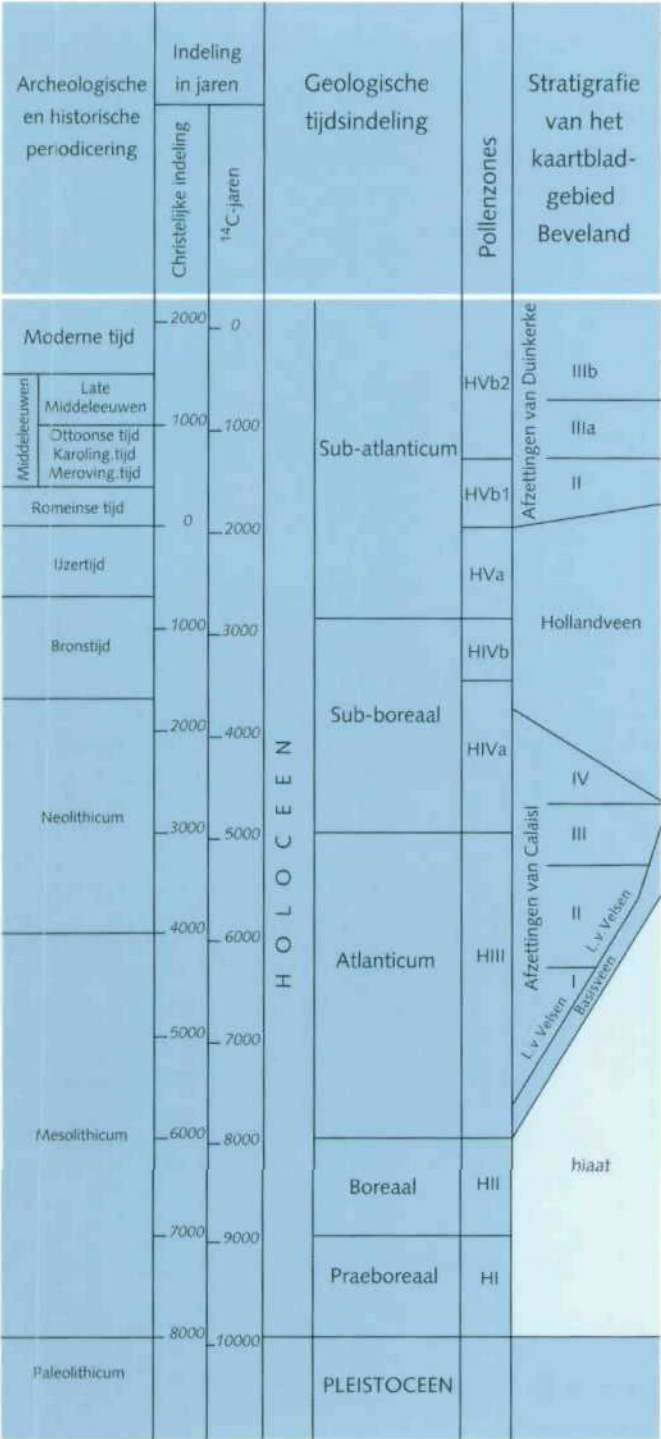
de grote rivieren, de natuurlijke openingen in de strandwallenkust, hebben plaatsgevonden. Plaatselijk zijn tot 30 m diepe erosiegeulen ontstaan (figuur 2.1). In deze inbraakgeulen werd het Hollandveen en soms ook onderliggende kleiafzettingen geërodeerd. De erosiegeulen zijn geheel opgevuld met zand. De in deze fase gesedimenteerde Afzettingen van Duinkerke bestaan voornamelijk uit fijn, kleihoudend zand. Op de Dintelse Gorzen rusten in een klein gebied de Afzettingen van Duinkerke direct op het pleistocene dekzand.

In de late Middeleeuwen kwamen in Zeeland en in het verdere kustgebied van Nederland en België vaak stormen, met als gevolg overstromingen voor. In dit verband moet vooral gedacht worden aan de Elisabeth's vloed in de 15e eeuw en overstromingen in de 16e en 17e eeuw. Als gevolg van de

overstromingen is een deel van de Afzettingen van Duinkerke geërodeerd en elders weer gesedimenteerd. Dit uit zich in de relatief grillige opbouw van de Afzettingen van Duinkerke (figuur 2.1). Grote bedijkingen of bekadingen werden in de gebieden rond het Volkerak-Zoommeer omstreeks 1300 nog weinig aangetroffen. Aanvankelijk werd er waarschijnlijk bedijkt om overstromingen te voorkomen. Vanaf de 15e eeuw vonden er bedijkingen plaats voor het aanwinnen van land.

In 1969 werd de Volkerakdam aangelegd. De invloed van het door de Rijn en Maas aangevoerde zoete water op het Krammer-Volkerak nam daardoor af. De invloed van de zee nam toe, hetgeen onder andere tot uitdrukking kwam in een groter verschil tussen eb en vloed en een toegenomen zoutge-





Tabel 2.1
Schematische stratigrafische indeling van de ondergrond in het kaartblad Beveland (naar: van Rummelen, 1978)

Table 2.1
Schematic stratigraphical classification of the subsoil in Beveland (source: van Rummelen, 1978).

halte. Door de aanleg van de Oesterdam in 1986 en van de Philipsdam in april 1987, viel het getij weg en is het Volkerak-Zoommeer een voormalig intergetijdengebied geworden met een vast waterpeil.

2.2 Geomorfologische processen en bodemvorming na afsluiting

2.2.1 Geomorfologische processen

Oeverafslag

In de getijdensituatie was er een min of meer dynamisch evenwicht tussen erosie en sedimentatie op de oevers in het Volkerak-Zoommeer. Het gemiddelde verschil tussen laag- en hoogwater bedroeg voor de afsluiting ongeveer 3,5 m. De waterlijn verplaatste zich toen in korte tijd over een groot gebied. Golven braken hierdoor op steeds wisselende niveaus, zodat de oevers vrijwel niet afkalfden. Door het wegvallen van de getijdenstroming na de afsluiting werd er een vast waterpeil rond NAP ingesteld. Daardoor zijn de afbrekende en eroderende krachten van golven die kenmerkend zijn voor de situatie met een nagenoeg vast waterpeil overheersend geworden. Golven werken permanent op een smalle zone van de oever in. Een van de gevolgen van de oeverafslag is dat de oorspronkelijk geleidelijke overgang van land naar water verdwijnt en er steile klifrandjes ontstaan. Oeverafslag vindt vooral plaats waar een vrij steil aflopende oever aanwezig is. Het erosieproces wordt verder bevorderd door de golfwerking van schepen. De fijnzandige oevers bieden in het algemeen weinig weerstand tegen de eroderende golfwerking. In 1988 waren de optredende erosieprocessen al duidelijk in het veld waarneembaar (POVEZ, 1988). Vooral langs de zandige oeverlocaties die dicht langs geulen zijn gelegen en die met grote strijklengtes op de overheersende westenwind zijn georiënteerd is in de eerste jaren na afsluiting een achteruitgang van de oeverlijn geconstateerd van meer dan 20 m per jaar. Op de Hellegatsplaten is een achteruitgang van de oeverlijn geconstateerd van maar liefst meer dan 100 m! Langs luw gelegen en kleiige oevers was de erosie weliswaar minder, maar kon ze toch nog enkele meters per jaar bedragen. Het geërodeerde materiaal is grotendeels gesedimenteed in geulen en geulranden in de directe omgeving (Termeer & Schmidt, 1992). Alleen zeer flauwe oevers kalfden in de eerste jaren nauwelijks af (RWS RIZA, 1991). Bij een groot aantal oevers in het gebied zijn in de periode van 1989 tot 1991 oeververdedigingen aangelegd waardoor de oeverafslag sterk gereduceerd is. Vooroevers zijn aangelegd voor de Krammerse Slikken, aan de westzijde van de Hellegatsplaten en voor de Dintelse Gorzen. Het eiland Noordplaat dat door oevererosie onder water was verdwenen, is in 1989 door het aanbrengen van zand en het aanleggen van oeververdedigingen weer boven water gebracht. In de periode van 1991 tot en met 1995 zijn in het Krammer-

Volkerak ongeveer 35 eilandjes aangelegd op de voormalige intergetijdenplaten. De eilanden hadden onder andere tot doel om bestaande geleidelijke overgangen naar dieper water waar mogelijk in stand te houden. In figuur 1.2 is een overzichtskartaat weergegeven van het Volkerak-Zoommeer met daarop aangegeven de aangelegde vooroevers en de opgespoten eilanden.

Verstuiving

Zolang op de drooggevalen gebieden geen of weinig begroeiing aanwezig is, kan vooral op de hoger gelegen zandige gronden verstuiving plaatsvinden. Verwacht werd dat na aanleg van de Philipsdam en het daardoor wegvallen van getij in het gebied, met name de droogvallende, onbegroeide zandgronden op de Slikken van de Heen en de Dintelse Gorzen gevoelig zouden zijn voor verstuiving (RWS RIJP, 1985). Aangezien de reeds voor de afsluiting droogvallende gronden begroeid waren, is na de afsluiting vrijwel geen erosie in de vorm van verstuiving opgetreden (RWS RIJP, 1979). Alleen op de Plaat van de Vliet is enige verstuiving opgetreden.

2.2.2 Bodemvorming

In het bovenste deel van de bodem treden onder invloed van klimaat, waterhuishouding, plantengroei en dierlijke organismen processen op die, wanneer zij lang genoeg werkzaam zijn, de bovenlaag min of meer volledig kunnen veranderen. De som van deze processen waarbij gelijktijdig aan- en afvoer, nieuwvorming en afbraak, zowel van organische als van minerale stoffen plaatsvindt, wordt bodemvorming genoemd. Na de afsluiting van de Philipsdam zijn de oevers in het Volkerak-Zoommeer permanent boven water komen te liggen. Een aantal bodemvormende processen die op deze oevers een rol spelen, zullen in het navolgende kort worden toegelicht.

Fysische rijping

Na het droogvallen en het ontwateren van bodems vinden er verschillende processen plaats. Fysische rijping is één van deze processen. Als gevolg van irreversibel waterverlies neemt het volume van de grond af. Dit resulteert in horizontale richting in scheurvorming en in verticale richting in inklinking, dus daling van het maaiveld. Het water in de bodem is voornamelijk aan lutum en organische stof gebonden. De mate van inklinking neemt dan ook toe bij een hoger lutumgehalte en een hoger percentage organische stof. Verwacht wordt dat op de klei- en zavelgronden in het Volkerak-Zoommeer een inklinking van circa 30% van de (ontwaterde) laagdikte kan optreden (POVEZ, 1988). De orde van grootte van de inklinking in deze gebieden bedraagt dan enkele decimeters. Op zandgronden treedt nauwelijks inklinking op. Door inklinking kunnen de hoogteverschillen tussen de kleiige kommen en de zandige oeverwallen toenemen. De hoogteverschillen tussen

de nabij de dijk gelegen zwaardere gronden en meer naar de oever gelegen zandgronden kunnen wat afnemen.

Op het hoge schor met een profiel van klei op zand was de laag zavel of klei op de goed doorlatende ondergrond snel gerijpt. Op de Hellegatsplaten, langs de dijk van Goeree Overflakkee komen in een brede zone schorren voor waar de klei tot diep in het profiel voorkomt. Deze schorren worden doorsneden door enkele ondiepe kreken. De eerste jaren was het hier erg nat. Na enkele jaren kwam de rijping op gang en ontstonden er grote scheuren in de bovenlaag die erg humeus is. Doordat de kleilaag hier dik is, kan de maaiveldsaling uiteindelijk oplopen tot 0,5 m.

Opbouw organische stof

Over het algemeen wordt er een duidelijk verband gevonden tussen het gehalte aan organische stof en het lutumgehalte. Bij een toenemend lutumgehalte stijgt het gehalte aan organische stof. Na het droogvallen kan er zuurstof in de grond dringen. Hierdoor wordt de daar aanwezige humus afgebroken en komen voedingsstoffen voor planten beschikbaar. Dit proces speelt vooral op de voormalige schorren, waar de bodem lutum- en humusrijker is en bovendien indroogt in de zomer. De scheuren die hierdoor ontstaan maken het mogelijk dat er nog meer zuurstof in de bodem dringt.

Het gehalte aan organische stof van een oudere grond ligt op een niveau, waarbij de vorming van humus en de afbraak elkaar in evenwicht houden. Opvallend is dat in deze evenwichtstoestand het gehalte aan organische stof in de bovengrond groter is dan in de ondergrond. Dit verschil wordt veroorzaakt door de organische-stofomloop in de bodem. In de bovengrond wordt, door de sterkere beworteling, meer organische stof geproduceerd dan in de ondergrond en daarom ligt het evenwichtsgesalte hier hoger. De differentiatie in organische stofgehalte van boven- en ondergrond is een proces van de initiële bodemvorming. Het is waarschijnlijk dat deze differentiatie al vrij spoedig (binnen 60 jaar) optreedt (Zuur, 1961).

Ontkalking

In mariene gronden wordt meestal een relatie gevonden tussen de hoogte van het lutumgehalte en de hoogte van het kalkgehalte. De aanwezigheid van kalk in de bodem zorgt voor een gebufferd milieu. Deze buffering is voor een groot deel bepalend voor het type vegetatie dat in een gebied voorkomt. Als gevolg van een langzame opslibbing is op de schorren onder invloed van de aanwezige vegetatie ontkalking opgetreden. Dergelijke initiële ontkalking zou nauwelijks optreden bij snelle opslibbing. Door de grotere productie en afbraak van organische stof verloopt de ontkalking op de begroeide schorren sneller dan op kaal slik. De kommen op de Slikken van de Heen en de Dintelse Gorzen zijn plaatselijk ontkalkt. De oeverwallen langs kreken hebben een veel geringere ontkalking dan

de ingesloten kommen. Dit moet waarschijnlijk worden toege- schreven aan de snellere opslibbing van de oeverwallen (Stiboka, 1964). Op de overige oevers in het Volkerak- Zoommeer komen nog hoge kalkgehaltes voor (6 à 10%).

2.3 Doorlatendheid

De doorlatendheid van de bodem wordt voornamelijk bepaald door het lutumgehalte en het gehalte aan organische stof. In tabel 2.2 is voor enkele grondsoorten een indicatie voor de doorlatendheid weergegeven. Door rijping van kleigronden ont- staan van bovenaf scheuren in de bodem, waardoor de verticale doorlatendheid toeneemt. Dit verschijnsel komt tot uiting in de verschillende doorlatendheden voor ongerijpte en gerijpte klei.

grondsoort	% lutum	doorlatendheid in m per dag
grof zand	< 1,5%	> 5
fijn zand	3-5%	0,1-1
zavel	5-8%	0,1-0,5
ongerijpte klei	> 25%	< 0,0001
gerijpte klei	> 25%	> 10
veen in diepere ondergrond		0-0,01

Tabel 2.2
Indicatie voor de doorlatendheid van enkele grondsoorten in het Volkerak-Zoommeer.

Table 2.2
Indication for the permeability of some soil types in the Volkerak- Zoommeer area.

Behalve het lutumgehalte en het gehalte aan organische stof is ook de gelaagdheid van het bodempakket van invloed op de doorlatendheid. Een zandpakket gelaagd met aaneengesloten zavel- of kleibandjes heeft hier vrijwel dezelfde verticale door- latendheid van deze zavel of klei. In het Volkerak-Zoommeer zijn de oudere klei- en veenlagen, Afzettingen van Calais en het Hollandveen, vrijwel altijd als slecht doorlatend te beschouwen. Vooral als de ondoorlatende lagen ondiep in het profiel voorkomen (<2 m beneden maaiveld) zijn deze van grote invloed op de waterbeweging in de bodem. In het Krammer-Volkerak is door oude geulen veel materiaal geërodeerd, waaronder het Hollandveen, de kleilagen van de Afzettingen van Calais en ook regelmatig het Basisveen. Deze erosiegeulen zijn met name in het zuiden van het Krammer- Volkerak zichtbaar; over een groot oppervlak bevinden de ondoorlatende lagen zich dieper dan 5 m beneden maaiveld (zie bijlage I). Vergeleken met het zuidelijke deel van het Krammer-Volkerak komen de ondoorlatende lagen in het

noorden van het Krammer-Volkerak hoger in het profiel voor. Op het westelijke deel van de Hellegatsplaten komen de ondoorlatende lagen zelfs al binnen 1 m beneden maaiveld voor.

2.4 Bodemtypen van de buitendijkse gebieden

Sinds de afsluiting van de Philipsdam en daarmee het wegval- len van het getij is het Volkerak-Zoommeer een voormalig intergetijdengebied geworden. In dergelijke landschappen treft men op de oevers over het algemeen slechts geringe hoogte- verschillen aan. De hoogteverschillen zijn gevormd onder invloed van het voormalige getij. In het Volkerak-Zoommeer lopen enkele diepe geulen. De diepte van de geulen ligt rond 10 m met op sommige plaatsen dieptes van maximaal 20 m (bijlage II). Waar de geulen dicht langs de oever lopen, zoals in het zuiden van het Krammer-Volkerak, komen steile oeverta- luds voor. In het noorden waar de geulen ver uit de oever lig- gen, is het oevertalud plaatselijk zeer flauw.

De samenstelling van de bodem hangt sterk samen met de hoogteligging. Over het algemeen geldt dat met toenemende hoogte het zand fijner wordt en het lutumgehalte toeneemt. In het Volkerak-Zoommeer is naast het open water het land- schap op basis van bodemopbouw en hoogteligging onder te verdelen in schorren, slikken en platen.

De schorren zijn de begroeide delen die voor de aanleg van de Philipsdam qua hoogteligging rond het peil van gemid- deld hoog water liggen. De schorren worden doorsneden door een ingewikkeld patroon van zich vertakkende, bocti- ge krekens die plaatselijk zeer diep (maximaal 2 m) zijn en steile kanten hebben. Meestal sluiten de krekens aan op de geulen in het slik. Soms liggen langs deze krekens lage rug- gen, zogenaamde oeverwallen. Kommen zijn de lagere delen op het schor, die begrensd worden door de krekens en de oeverwallen. De kommen hebben een bodem die uit zeer fijn tot fijn materiaal is opgebouwd. De bodem van de schorren bestaat doorgaans uit een kleiig pakket op zand. De hoge schorren, gelegen tegen de dijk, hebben doorgaans het hoogste lutumgehalte (circa 25%, zie bijlage III; Ente, 1980). Naar het slik neemt het lutumgehalte af. Deze zone bestaat uit lichte tot zware zavel (8-25% lutum). De hoge schorren gaan over in jonge en lagere schorren. De bovenlaag van deze jonge schorren is lichter dan op de oude schorren en bestaat uit een lichte tot zware zavel (8-25% lutum). De slikken zijn de delen van het inter- getijdengebied die grenzen aan de schorren, of liggen tussen de schorren en de zandige platen. In het noorden van het gebied (Krammerse Slikken en Hellegatsplaten) zijn zij ook vaak gelegen tegen de dijk. De bodem bestaat overwegend

uit lutumhoudend fijn zand (5% lutum). Plaatselijk komen op de slikken gebieden voor die opgebouwd zijn uit zwaarder materiaal, lichte zavel (8-12% lutum). Platen zijn de delen die het verst van de dijk liggen en die worden omringd door laagtes (vaak ondiepe krekens). Ook kunnen platen midden in het water liggen, omringd door diepe geulen. De platen worden gevormd door de voor aanleg van de Philipsdam onbegroeide delen van het intergetijdengebied die bij eb droogvielen, maar nog volledig werden begrensd door water (de getijdengeulen). De bodem is overwegend zandig (kleiarm zand).

In het Volkerak-Zoommeer worden vijf bodemtypen onderscheiden, die in het navolgende worden toegelicht. De bodemtypenkaart is als bijlage IV in dit rapport opgenomen.

In tabel 2.3 zijn voor de deelgebieden in het Volkerak-Zoommeer, waar het onderzoek heeft plaatsgevonden, met GIS berekende oppervlaktes van de voorkomende bodemtypen weergegeven. De berekende oppervlaktes van de deelgebieden wijken soms af van de oppervlaktes die zijn gegeven in andere rapporten. Het is echter onduidelijk wat hiervan de oorzaak is.

De belangrijkste kenmerken voor de verschillende bodemtypen zijn:

Bodemtype 1: Schor, klei op zand.

Hoog schor met een profiel van klei op zand, de dikte van de kleilaag varieert van 0,3 tot 0,8 m. De hoogte varieert tussen NAP+1 m en NAP+2 m. De hoge schorren gaan over in jonge en lagere schorren. De lichte zavelaag op de jonge schorren is dun (circa 0,2 m). De schorren worden



Het patroon van schorren, slikken en krekens is na de afsluiting nog duidelijk in het landschap herkenbaar. Op deze foto zijn de Dintelse Gorzen te zien.

Vanwege de kaartschaal zijn er binnen de bodemtypen details die niet tot uiting komen omdat de oppervlakte te klein is of de vorm smal en langwerpig is. Te denken valt aan de hoge schorgebieden met daarin de diepe krekens en de erlangs liggende oeverwallen en de lagere kommen. Ook de schorrand, de overgang van hoog naar laag schor en de overgang van schor naar slik zijn te smal om in de kaart weer te geven, maar in het veld duidelijk herkenbaar.

doorsneden door krekens, de diepste delen daarvan zijn permanent waterhoudend. De laag zavel of klei op de goed doorlatende ondergrond was snel gerijpt en daardoor goed doorlatend. De krekens met de aangrenzende oeverwallen en de daarbinnen liggende kommen zijn kenmerkende onderdelen van dit bodemtype. Dit bodemtype komt met name in het zuiden van het Krammer-Volkerak voor.

Bodemtype 2: Schor, klei diep.

Schorren waar de klei tot diep in het profiel voorkomt. Deze schorren worden doorsneden door ondiepe krekten. De schorren hebben een maaiveldshoogte tussen NAP+1 m en NAP+2 m. Door inklinking zal nog enige maaiveldsdaling optreden. Deze schorren worden aan de noordkant van het Krammer-Volkerak aangetroffen, met name op de Hellegatsplaten.

Bodemtype 3: Grofzandige delen.

De hoogste delen op de platen, met een relatief grofzandige bodem. De platen zijn meestal niet hoger dan NAP+1 m.

Bodemtype 4: Fijnzandige delen.

De fijnzandige delen, waarvan de hoogteligging niet meer bedraagt dan NAP+1 m.

Bodemtype 5: Laag en vlak slik.

Slikken met een bodem die bestaat uit lutumhoudend fijn zand. De slikken zijn vlak en geleidelijk afhellend richting het meer; ze liggen laag, tussen NAP en NAP+0,6 m. Van de verschillende bodemtypen en een aantal onderdelen van deze bodemtypen zijn een aantal bodemonsters verzameld. De (gemiddelde) uitkomsten van deze bodemonsters staan in tabel 2.4 weergegeven.

Tabel 2.3
De berekende oppervlakten in ha van de verschillende bodemtypen op de deelgebieden met behulp van GIS.

deelgebied	schor klei op zand	schor klei diep	grofzandige delen	fijnzandige, en minder hooggelegen delen	laag en vlak slik
Hellegatsplaten		80	5	140	100
Krammerse Slikken		30		20	175
Dintelse Gorzen	165		15	120	115
Slikken van de Heen-oost	140				10
Slikken van de Heen-west	230			25	20
Plaat van de Vliet			20	30	
Prinsesseplaat			80		90
totaal	535*	110	120	335	510

Table 2.3
The calculated surface areas in hectares of the various soil types in the different sections with GIS.

* waarvan circa 20 ha grote krekten en oeverwal

bodemtype	onderdeel	hoogteligging m tov NAP	% lutum	% organische stof	% CaCO ₃	M ₅₀ -waarde [†]	GHG m tov mv	GLG m tov mv
1 Schor, klei op zand	kom	1,60	25	8	0,3-3,0		-0,75	-1,62
	oeverwal	1,87	15	3	3		-1,40	-1,99
	kreek	0,20	10	4	5		-0,02	-0,38
	jong schor	1,19	12	3	3	70	-0,46	-1,40
2 Schor, klei diep		1,34	10 - 20	6	6	80	-0,21	-1,31
3 Grofzandige delen		0,67	1	0,5	6	160	-0,58	-0,90
4 Fijnzandige delen		0,66	3	0,5	8	120	-0,17	-0,98
5 Laag en vlak slik		0,33	4	1	9	100	-0,01	-0,82

Tabel 2.4
Gemiddelde hoogteligging en bodemanalyses in de verschillende landschappelijke eenheden. De begrippen GHG en GLG komen in het volgende hoofdstuk aan de orde.

Table 2.4
Average elevation and soil analyses of the various sections of landscape. The GLG (mean lowest water table) and GHG (mean highest water table) come up for discussion in the next chapter.

3 Hydrologie

In dit hoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de hydrologie van het Volkerak-Zoommeer, waarbij het zwaartepunt zal liggen op de grondwaterstanden en de waterbalans van de drooggevalle oevergebieden. In de eerste paragraaf zal kort worden ingegaan op de waterbalans en de waterkwaliteit van het meer. Daarna komen de grondwaterstanden en de waterbalans aan de orde.

3.1 Meer

Vóór de afsluiting stond het Volkerak-Zoommeer in open verbinding met de zee en kende een getijdenbeweging met een hoogwaterstand van ruim NAP+2 m en een laagwaterstand van ruim NAP-2 m. Voorafgaande aan de afsluiting is door Rijkswaterstaat een voorlopig waterbeheer vastgesteld. Daarbij speelden een vrije doorgang van de scheepvaart, waterkwaliteitsaspecten zoals het minimaliseren van de inlaat van vervuild water en het bereiken van een lage chlorideconcentratie en een goede afwatering van de Dintel en de Vliet een belangrijke rol.

Het streefpeil van het meer werd vastgesteld op NAP, met een marge van NAP+0,05 m tot NAP-0,25 m (RWS directie Zeeland, 1987). Deze ruime marge is aangehouden om geen water in te hoeven laten vanuit het Hollands Diep, wanneer de waterkwaliteit te slecht is. Bij een waterstand van NAP bedraagt de inhoud van het meer 313 miljoen m³. De oppervlakte aan water is dan ruim 6000 ha. De waterdiepte varieert sterk van ondiep water (< 0,5 m) tot diepe geulen, waarvan enkelen ruim 20 m diep zijn (bijlage II). Op het moment van afsluiting bedroeg de gemiddelde waterdiepte 5,2 m. Als gevolg van oeverafslag en sedimentatie, heeft de afgelopen jaren mogelijk verondieping van diepe geulen plaatsgevonden.

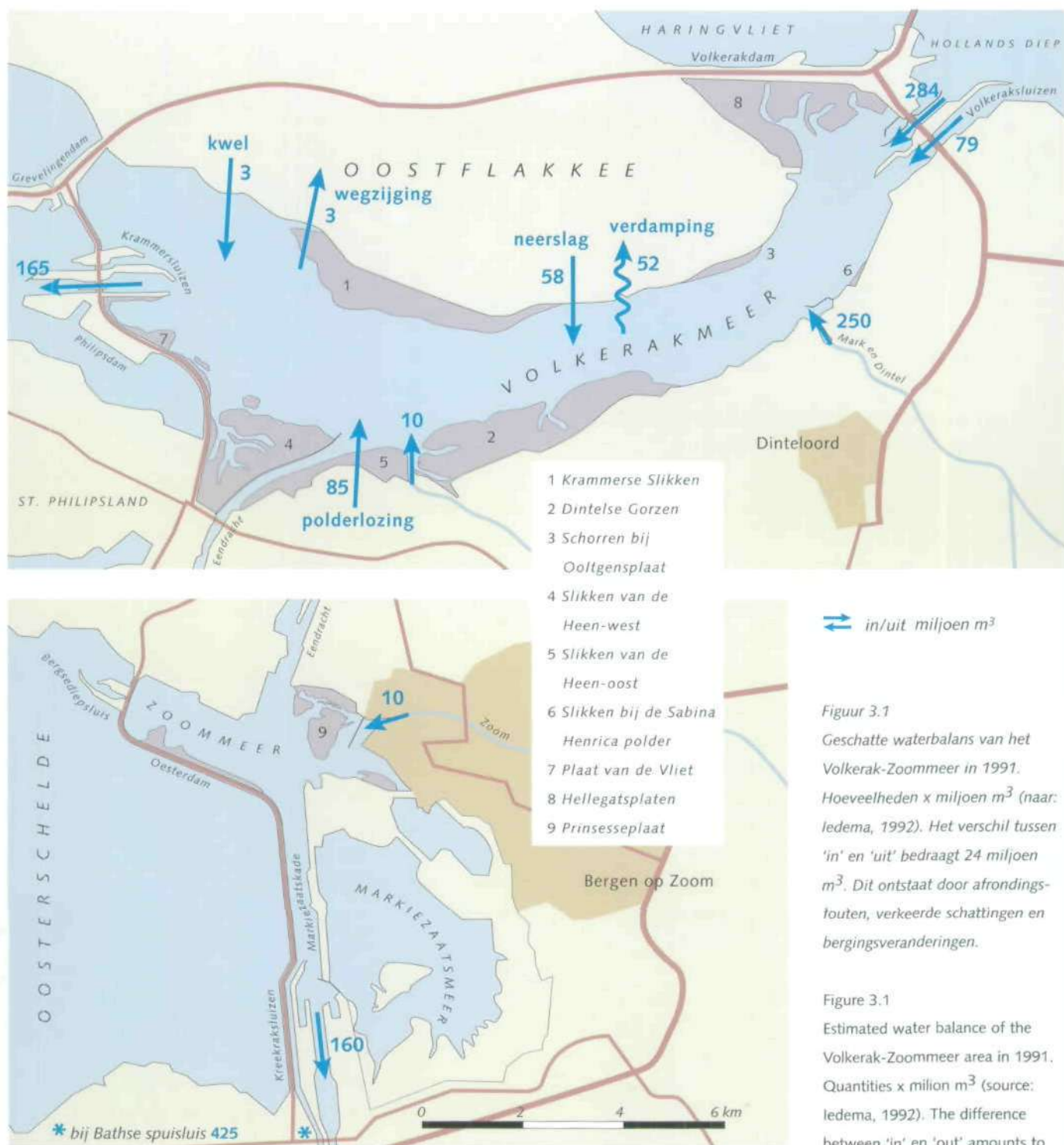
In figuur 3.1 is de waterbalans van het Volkerak-Zoommeer weergegeven. Wateraanvoer vindt plaats door neerslag, inlaat uit het Hollands Diep (via de inlaatsluis in de Volkerakdam), afvoer van de Dintel, de Steenbergse Vliet en de Zoom, het schutten (Volkeraksluizen), lozingen uit de omliggende pol-

ders en kwel. Hierbij zijn de inlaat uit het Hollands Diep en de afvoer van de Dintel de grootste posten. De relatieve bijdrage van de afvoer van de Dintel aan de waterbalans neemt toe in natte jaren. Waterafvoer vindt plaats door verdamping, schutten (via Krammersluizen, Kreekaksluizen en Bergsediepsluis), afvoer naar de Westerschelde via het Bathse spuikanaal en wegzijging. De belangrijkste posten worden gevormd door de afvoer via de spuisluis en het verlies door de sluizen. De onttrekking van water voor landbouw mag worden verwaarloosd.

Het waterpeil van het meer, windrichting en windkracht zijn bepalend voor overspoeling van laaggelegen oevergebieden. Het waterpeil wordt door de directie Zeeland sinds 1987 midden op het meer gemeten. De hoogste waarde van de waterstand per dag is gebruikt om de overschrijdingkans van de waterstand te berekenen (figuur 3.2). Berekend werd dat in ruim 70% van de tijd, de waterstand varieerde tussen NAP en NAP+0,1 m. Waterstanden hoger dan NAP+0,1 m werden incidenteel gemeten in de winterperiode. Door opwaaiing of afwaaiing onder invloed van de windkracht en windrichting, kan het peil langs de oevers afwijken van het peil midden op het meer. Met name door storm kan het water worden opgestuwd en in een dunne laag grote gebiedsdelen overspoelen. Als het peil niet te hoog en de wind afluigend is, vallen lage oeverdelen droog. Een voorbeeld van het verschil in waterstand tussen het midden van het meer en een oever (Krammerse Slikken) is gegeven in figuur 3.3.

De voortdurende schommeling van de waterstand langs de oever (de invloed van de normale windkracht en golfjes) vindt plaats tussen ongeveer NAP en NAP+0,1 m. De oevergedeelten die binnen deze hoogtegrenzen liggen ondervinden dus een wisselende droog-nat situatie. Sterkere schommelingen (met name door invloed van harde wind of storm) komen voornamelijk in de winter voor. De invloed van die overspoeling op de grondwaterstanden van de oeverranden is meestal niet groot, omdat gedurende de winterperiode de grondwaterstand tot in het maaiveld staat.

Op het moment van afsluiting bedroeg de chlorideconcentratie



Figuur 3.1
Geschatte waterbalans van het Volkerak-Zoommeer in 1991. Hoeveelheden x miljoen m³ (naar: Iedema, 1992). Het verschil tussen 'in' en 'uit' bedraagt 24 miljoen m³. Dit ontstaat door afrondingsfouten, verkeerde schattingen en bergingsveranderingen.

Figure 3.1
Estimated water balance of the Volkerak-Zoommeer area in 1991. Quantities x million m³ (source: Iedema, 1992). The difference between 'in' and 'out' amounts to 24 million m³, and is caused by roundings, wrong estimates and changes in storage.

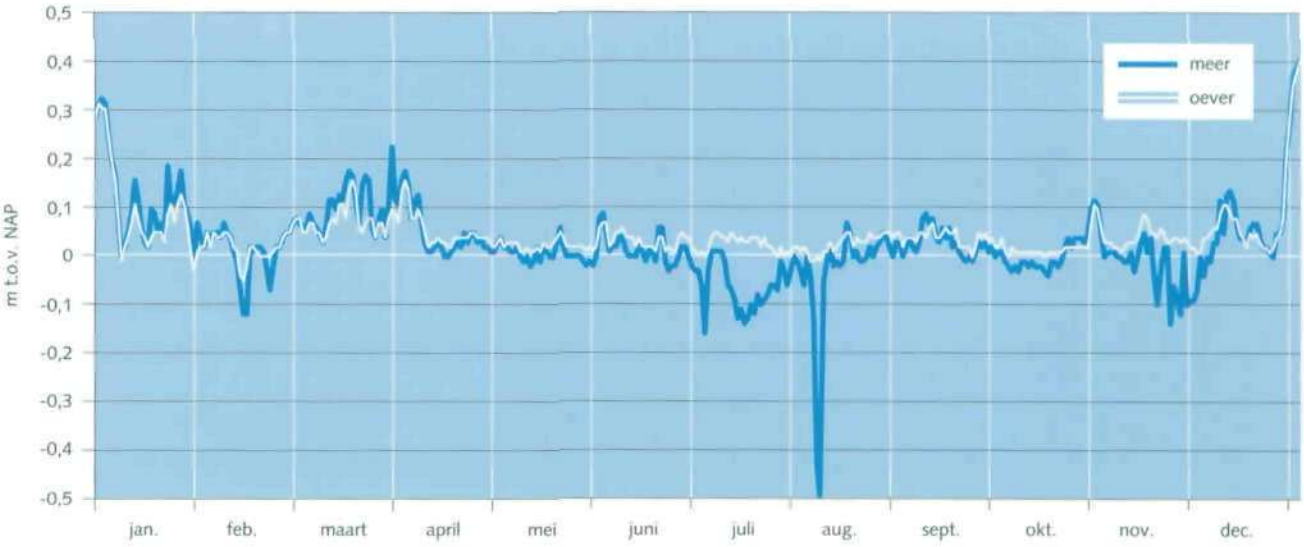
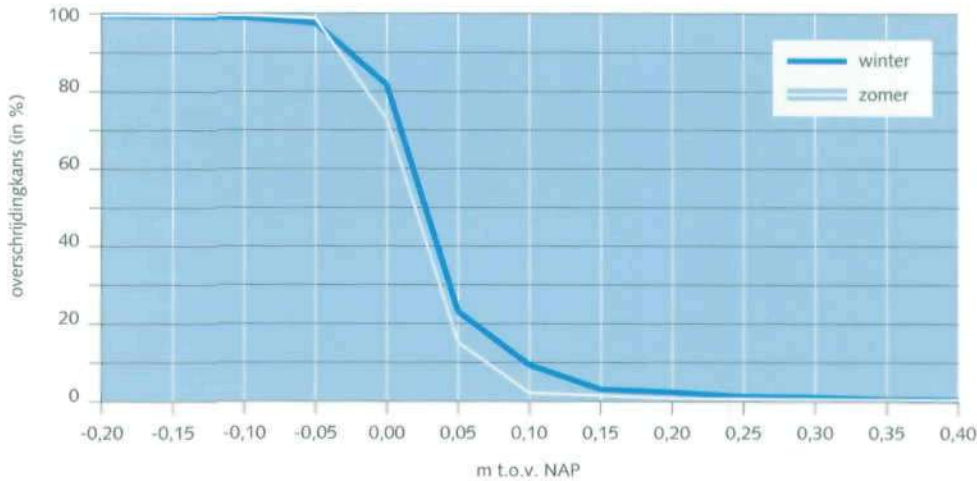
in het meer ongeveer 14 g/l. Door te spoelen met water uit het Hollands Diep, was aan het einde van 1987 de chloride-concentratie gedaald tot het gewenste niveau van 0,4 g/l. Momenteel wordt het meer nog belast met zout afkomstig uit de drooggevalen oevergebieden. In de eerste jaren na bedijking was dit een aanzienlijke hoeveelheid, maar in de loop van de tijd is deze hoeveelheid afgenomen. Hierop zal in hoofdstuk 4 nader worden ingegaan. Daarnaast komt zout het meer binnen via de Krammersluizen in de Philipsdam en de Bergsediepsluis. Het indringen van zout via de Krammersluizen wordt zo veel mogelijk beperkt door een scheidingssysteem van zoet

en zout water waarbij zoet water teruggewonnen wordt. Om de chlorideconcentratie voldoende laag te houden, moet worden doorgespoeld met water vanuit het Hollands Diep. Echter, om de eutrofiëring van het meer te beperken, wordt de inlaat zo veel mogelijk beperkt.

De waterkwaliteitsparameters van het meer zijn opgenomen in tabel 3.1. Uit deze gegevens blijkt dat de concentratie van

Figuur 3.2
Overschrijdingskans van de water-
standen berekend uit de hoogste
waarden per dag in de periode
1987-1995.

Figure 3.2
Water level exceedance probability
calculated from the highest levels
per 24-hour period during 1987-
1995.



Figuur 3.3
Hoogste waterstand per dag in het midden van het meer en op de oever
van de Krammerse Slikken in 1994.

Figure 3.3
Highest water level per 24-hour period in the middle of the lake and on
the banks of the Krammerse Slikken in 1994.

Tabel 3.1
Waterkwaliteitsgegevens van het
Volkerak-Zoommeer, zomergemid-
delden (naar: van Dam & Breukers,
1995).

parameter	1988	1989	1990	1991	1992	1993
totaal-P, mg/l	0,17	0,12	0,08	0,10	0,08	0,11
ortho-P, mg/l	0,10	0,06	0,03	0,03	0,02	0,03
totaal-N, mg/l		4,9	4,3	5,0	5,5	5,0
opgelost-N, mg/l	3,6	4,1	3,5	4,1	4,2	3,7
chlorofyl-a, mg/l	0,025	0,012	0,008	0,010	0,021	0,020
doorzicht (m)	1,9	2,7	3,1	2,6	1,9	1,6

Table 3.1
Water quality data of the Volkerak-
Zoommeer, summer averages (sour-
ce: van Dam & Breukers, 1995).

totaal fosfaat in de periode van 1987 tot 1992 is gedaald van 0,17 mg/l naar 0,08 mg/l. De ortho-fosfaatconcentratie daalde van 0,10 mg/l naar 0,03 mg/l. De concentratie van totaal stikstof bleef ongeveer gelijk. De concentratie van chlorofyl-a varieerde van jaar tot jaar tussen 0,008 en 0,025 mg/l. Het doorzicht nam de eerste jaren toe (van 1,9 m naar 3,1 m), maar nam na 1990 weer af tot 1,6 m.

In tabel 3.2 zijn de concentraties van macro-ionen en nutriënten (indien aanwezig een gemiddelde voor zomer- en winterperiode) gegeven. Indien deze cijfers worden vergeleken met die van de grote rivieren, blijkt dat de waterkwaliteit van het Volkerak-Zoommeer hiermee min of meer overeen komt. Wel is de oorspronkelijke zeeinvloed nog zichtbaar in de relatief hoge chlorideconcentraties. Het meer is als voedselrijk te typeren. Met name de concentratie van stikstof is zeer hoog.

parameter	Concentraties in verschillende watersoorten (in mg per liter)						
	Volkerak-Zoommeer		AMK	zee	Maas	Rijn	regen
	winter	zomer					
Cl ⁻	250	400	200	19800	54	151	3,9
Ca ²⁺	80			422	65	78	0,6
Mg ²⁺	20			1322	7,4	11,6	0,3
K ⁺	17			408	5,1	6,2	0,2
N-tot	0,9	5	2,2		4,5	5,5	
N-NO ₃ ⁻	7,8	3,7		0,1	3	4	0,7
N-NH ₄ ⁺	0,25		0,02	0,03	0,65	1	1,5
P-tot	0,3	0,11	0,15		0,6	0,6	
P-PO ₄ ³⁻	0,1	0,03		0,02	0,25	0,3	0,01
SO ₄ ²⁻	110			2775	57	71	6,4
HCO ₃ ⁻	160			145	161	155	0
Fe-tot	0,7			0,002	0,82	0,01	0,11
Chlorofyl-a		0,02	0,1				

Tabel 3.2
Concentraties in het water van het Volkerak-Zoommeer in de winter en in de zomer en als vergelijking de opgestelde AMK-grenswaarden* en die in zeewater, rivierwater en regenwater (naar: Stuyfzand, 1989).

Table 3.2
The concentrations in the Volkerak-Zoommeer water in the winter and in the summer and, for comparison, the AMK-limiting values (the standard whereby no negative effects occur in the reproduction and growth of organisms; Ministerie van V&W, 1989) and those in sea water, river water and rain water (source: Stuyfzand, 1989).

bodemtype	onderdeel	hoogteligging m tov NAP	GHG m tov mv	GLG m tov mv	% lutum	% organische stof	% CaCO ₃	M ₅₀ -waarde
1 Schor, klei op zand	korn	1,60	-0,75	-1,60	25	8	0,3-3,0	
	oeverwal	1,85	-1,40	-2,00	15	3	3	
	kreek	0,20	-0,02	-0,35	10	4	5	
	jong schor	1,20	-0,45	-1,40	12	3	3	70
2 Schor, klei diep		1,35	-0,20	-1,30	10 - 20	6	6	80
3 Grofzandige delen		0,67	-0,60	-0,90	1	0,5	6	160
4 Fijnzandige delen		0,60	-0,15	-1,00	3	0,5	8	120
5 Laag en vlak slik		0,35	-0,01	-0,85	4	1	9	100

Tabel 3.3 De bodemtypen met de gemiddelde hoogteligging en grondwaterstanden, en de bodemkenmerken.

Table 3.3 The soil types, their average elevation, groundwater levels, and soil characteristics.

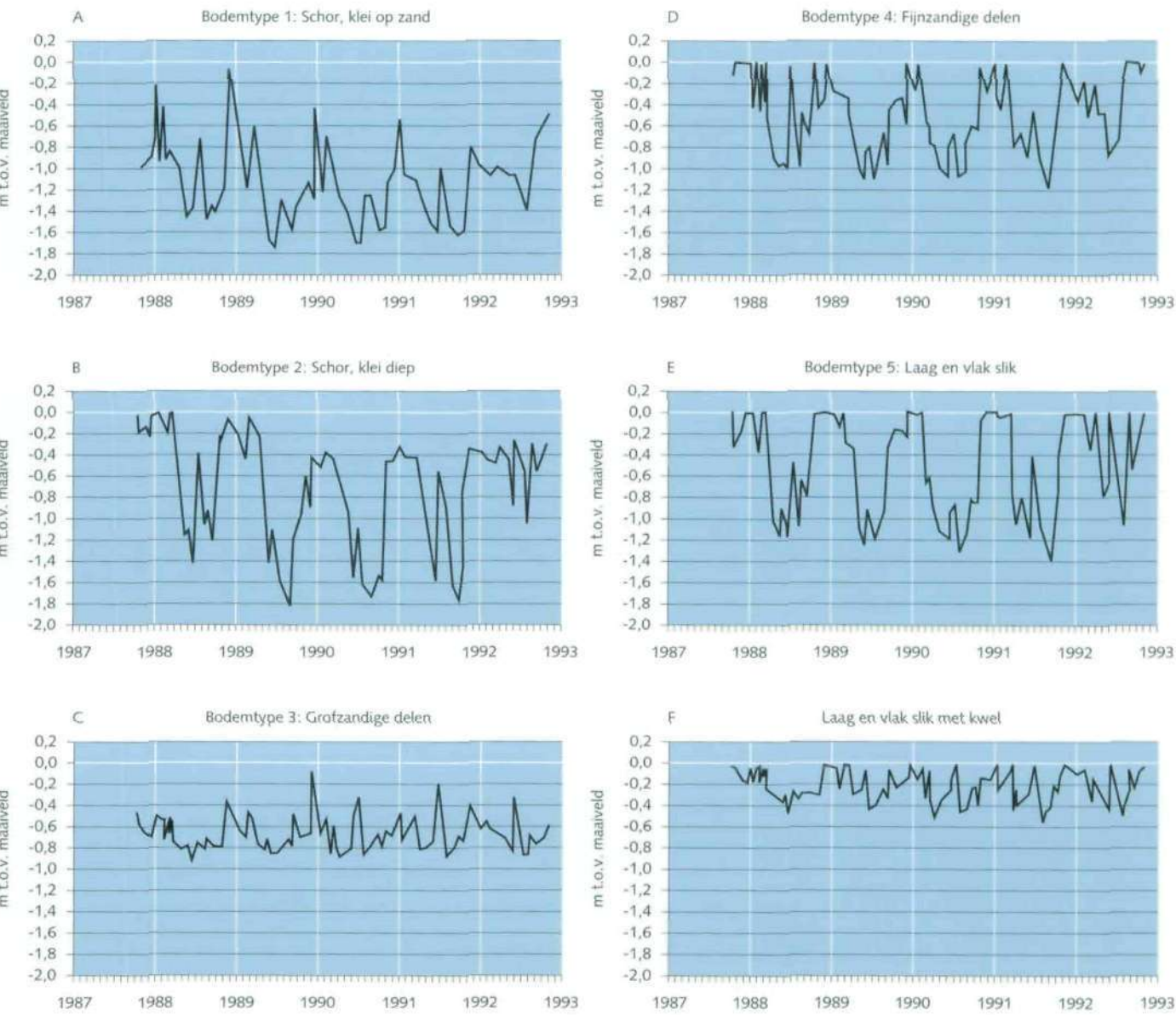
3.2 Grondwater

Onderzoek naar het verloop van de grondwaterstanden is uitgevoerd in de onderzoeksraaien (zie hoofdstuk 1). Op alle plekken in de raaien zijn handmatig grondwaterstanden gemeten. De metingen zijn niet met een vaste regelmaat gedaan, maar er is voldoende vaak gemeten (gemiddeld 1 keer per maand) om de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden te kunnen vaststellen. De metingen zijn gestart in 1987 en voortgezet tot eind 1992. Hierover is tussentijds gerapporteerd door Slager (1989, 1990 & 1993). Een overzicht van de abiotische onderzoeksgegevens die door de jaren heen zijn verzameld wordt nog gepubliceerd (Brongers & Slager, concept). De meetplekken liggen op zeer verschillende maaiveldshoogtes, variërend van de hoge schorren tot de lage slikken. In hoofdstuk 2 is een indeling gemaakt in een vijftal kenmerkende bodemtypen. Voor ieder bodemtype is op een aantal plekken het grondwaterstandsverloop bepaald. Per bodemtype is uit de meetreeks van vijf jaren de gemiddelde hoogste en de gemid-

delde laagste grondwaterstand berekend. Ook is de gemiddelde hoogteligging van het maaiveld berekend (tabel 3.3). Het verloop van de grondwaterstanden zal per bodemtype worden besproken. Van ieder van de vijf verschillende bodemtypen is een kenmerkende plek gekozen. Daarvan is het verloop van de grondwaterstand weergegeven in de periode 1987-1992 (figuur 3.4).

Figuur 3.4
Grondwaterstandsverloop voor de vijf onderscheiden bodemtypen, en het grondwaterstandsverloop op het slik met de aanwezigheid van kwel: (A) Schor, klei op zand; (B) Schor, klei diep; (C) Grofzandige delen; (D) Fijnzandige delen; (E) Laag en vlak slik; (F) Laag en vlak slik met kwel.

Figure 3.4
Groundwater level fluctuation for the five different soil types, and the groundwater level fluctuation on the flats with seepage: (A) Salt marshes, clay on sand; (B) Salt marshes, clay deep; (C) Coarse sandy areas; (D) Fine-sandy areas; (E) Low flats; (F) Low flats with seepage.



Belangrijkste kenmerken voor elk bodemtype zijn:

Bodemtype 1:

Op het hoge schor met een profiel van klei op zand is het vrij droog. De laag zavel of klei op de goed doorlatende ondergrond was snel gerijpt en daardoor goed doorlatend. Met name de oeverwallen langs de kreken liggen hoog en zijn droog, terwijl de kreken zelf nat zijn. Op de jongere delen van de schorren zakken de grondwaterstanden minder diep uit, omdat het maaiveld over het algemeen lager ligt.

Bodemtype 2:

Uit het grondwaterstandsverloop blijkt dat op de schorren met een dik kleipakket de hoogste grondwaterstanden in de loop van vijf jaar steeds dieper zijn geworden. Dit is toe te schrijven aan de rijping van de zware bovengrond. Door de scheurvorming die in de bovenlaag is opgetreden is de doorlatendheid groter geworden en wordt neerslag sneller afgevoerd. Ook de snel groeiende vegetatie heeft door de toename van de verdamping een lagere grondwaterstand tot gevolg gehad. Het is te verwachten dat dit rijpingsproces met name op de schorren met een dik kleipakket de komende jaren nog verder zal vorderen. Bij verdergaande rijping zal de grondwaterstand nog dieper worden.

Bodemtype 3:

Op de zandige koppen is het grondwaterregime bij het relatief grofzandige en goed doorlatende profiel zeer stabiel. Hoe hoger het maaiveld boven het meerpeil ligt, des te droger zal de plek zijn. Bij lage grondwaterstanden zal de kans op vochttekort tijdens de zomer toenemen.

Bodemtype 4:

Op de fijnzandige delen is de hoogste grondwaterstand niet ver beneden maaiveld. Plas-dras situaties komen in natte perioden vaak voor. Vochttekort zal op deze gronden minder snel optreden dan bij bodemtype 3, omdat er meer capillair transport plaatsvindt.

Bodemtype 5:

Op de slikken is het in de winter vrijwel doorlopend nat en dras. In de droge periode kan de grondwaterstand vrij diep dalen. Het grondwaterregime is dynamisch. De slikken lopen meestal langzaam af in het water. Langs de water-rand is er een relatief smalle strook die ook in de zomer vochtig blijft. Deze zone wordt in dit rapport echter niet apart onderscheiden. Op het slik van de Hellegatsplaten treed kwel op vanuit het Haringvliet. Het Haringvliet, dat aan de andere zijde van de Volkerakdam ligt, heeft een gemiddeld peil dat 0,5 m hoger is dan het peil in het Volkerak-Zoommeer. Daardoor is de grondwaterstand op het slik van de Hellegatsplaten ook in de zomer ondiep. De slikken hebben een geringe bergingscapaciteit waardoor de grondwaterstand bij regen ook weer snel kan stijgen tot het maaiveld. Op de slikken zal de vegetatieontwikkeling langzaam gaan. De bewortelingsdiepte neemt in de dichte en fijnzandige grond maar heel langzaam toe, evenals de

verdamping in de groeiperiode. Dat houdt in dat de grondwaterstand gedurende de zomer in de loop van de jaren slechts heel geleidelijk wat lager wordt. Door beworteling wordt de doorlatendheid van het bovenste laagje iets beter. Het is echter niet te verwachten dat dit veel effect zal hebben op de grondwaterstanden in de natte periode.

Omdat de meetplekken in raaien liggen, is het maken van gebiedsdekkende grondwaterstandskaarten niet zonder meer mogelijk. Wel is van iedere plek de maaiveldshoogte bekend en is per jaar de gemiddelde hoogste (GHG) en laagste grondwaterstand (GLG) berekend, door het gemiddelde te nemen van de drie hoogste, respectievelijk de drie laagste gemeten grondwaterstanden per jaar. Per bodemtype is de relatie tussen hoogteligging en de GHG en de GLG bepaald. Met behulp van deze relaties zijn de grondwatertrappenkaarten gemaakt (bijlage V en VI). De grondwatertrappenkaarten zijn dus gekoppeld aan de hoogtekaart en de bodemtypenkaart.

Uit deze grondwatertrappenkaarten blijkt dat in de winter een groot deel van het gebied vrij nat is. De lage slikken zijn langdurig dras. Ook op de laagliggende fijnzandige delen, staat de grondwaterstand in natte perioden tot in het maaiveld. Op de grofzandige delen is het 's winters niet nat. Het regenwater dringt daar snel de bodem in. Op de hogere schorren staat de grondwaterstand in de winter tussen 0,2 en 1,4 m beneden maaiveld, afhankelijk van de hoogte van de plek en de aanwezigheid en de nabijheid van ontwaterende kreken. In de zomer daalt de grondwaterstand op de slikken tot ongeveer 1,2 m beneden maaiveld. Op de grofzandige delen daalt de grondwaterstand tot ongeveer de hoogte van het meerpeil. De onttrekking van water door de verdamping wordt hier gemakkelijk aangevuld via de ondergrond. Omdat de fijnzandiger delen over het algemeen ondoorlatender zijn, daalt de grondwaterstand hier tot beneden de hoogte van het meerpeil.

3.3 Waterbalans van de bodem

3.3.1 Modelleren van de waterbeweging

Gedurende de afgelopen decennia zijn simulatiemodellen ontwikkeld, die ondermeer de bodemwaterstroming en het stoffentransport in de verzadigde en onverzadigde zone beschrijven (van den Broek *et al.*, 1993). Als simulatiemodellen grondig zijn getest met veldgegevens, kunnen sommige intensieve en tijdrovende veldexperimenten worden vervangen door computerberekeningen. Bovendien kunnen voorspellingen worden gedaan naar de toekomst en kunnen effecten van ingrepen worden berekend. De betrouwbaarheid en kwaliteit van de uitkomsten van simulaties is sterk afhankelijk van de kalibratie en validatie van het model.

Doel van het gebruik van hydrologische modellen in het Volkerak-Zoommeer is meerledig. Allereerst worden de modellen gebruikt voor het berekenen en beschrijven van de waterbalans van verschillende bodemtypen. Daarnaast komt het berekenen en beschrijven van de veranderingen van de zouthuishouding in de bodem en de factoren die daarop van invloed zijn aan de orde. Indien het gebruikte model goed is gekalibreerd geeft dit vervolgens de mogelijkheid de snelheid van ontziltiging te berekenen, vegetatieontwikkelingen in te schatten en de effecten van inrichtings- en beheersmaatregelen te voorspellen.

In de modelstudie voor het Volkerak-Zoommeer is gebruik gemaakt van het hydrologisch model SWATRE (Belmans *et al.*, 1983; Feddes *et al.*, 1988). Het model beschrijft de waterstroming in het verzadigde en het onverzadigde deel van de bodem en het berekent de actuele transpiratie, de evaporatie en de interceptie-verdamping. Het is een eendimensionaal, niet-stationair stromingsmodel voor de onverzadigde en verzadigde zone. Naast de stroming van water kan ook de beweging van zout in de bodem met het model worden beschreven.

De toetsing van het model SWATRE vindt plaats in twee fasen. In de eerste fase wordt het model gekalibreerd; de modelparameters worden geoptimaliseerd door de berekende grondwa-

terstand te vergelijken met de gemeten grondwaterstand. In de tweede fase wordt getoetst in hoeverre het model de werkelijkheid nabootst (validatiefase). Hiertoe worden voor een andere periode berekende grondwaterstanden vergeleken met gemeten grondwaterstanden zonder de geoptimaliseerde parameters te veranderen. Is die overeenkomst goed dan kan worden aangenomen dat de ingestelde parameters goed zijn en dat de berekende waterbalans goed is. Daarna kan met dezelfde parameters en met toevoeging van initiële concentraties en de dispersielengte⁶, het zouttransport worden berekend en vergeleken met gemeten waarden. Hier wordt in het volgende hoofdstuk nader op ingegaan.

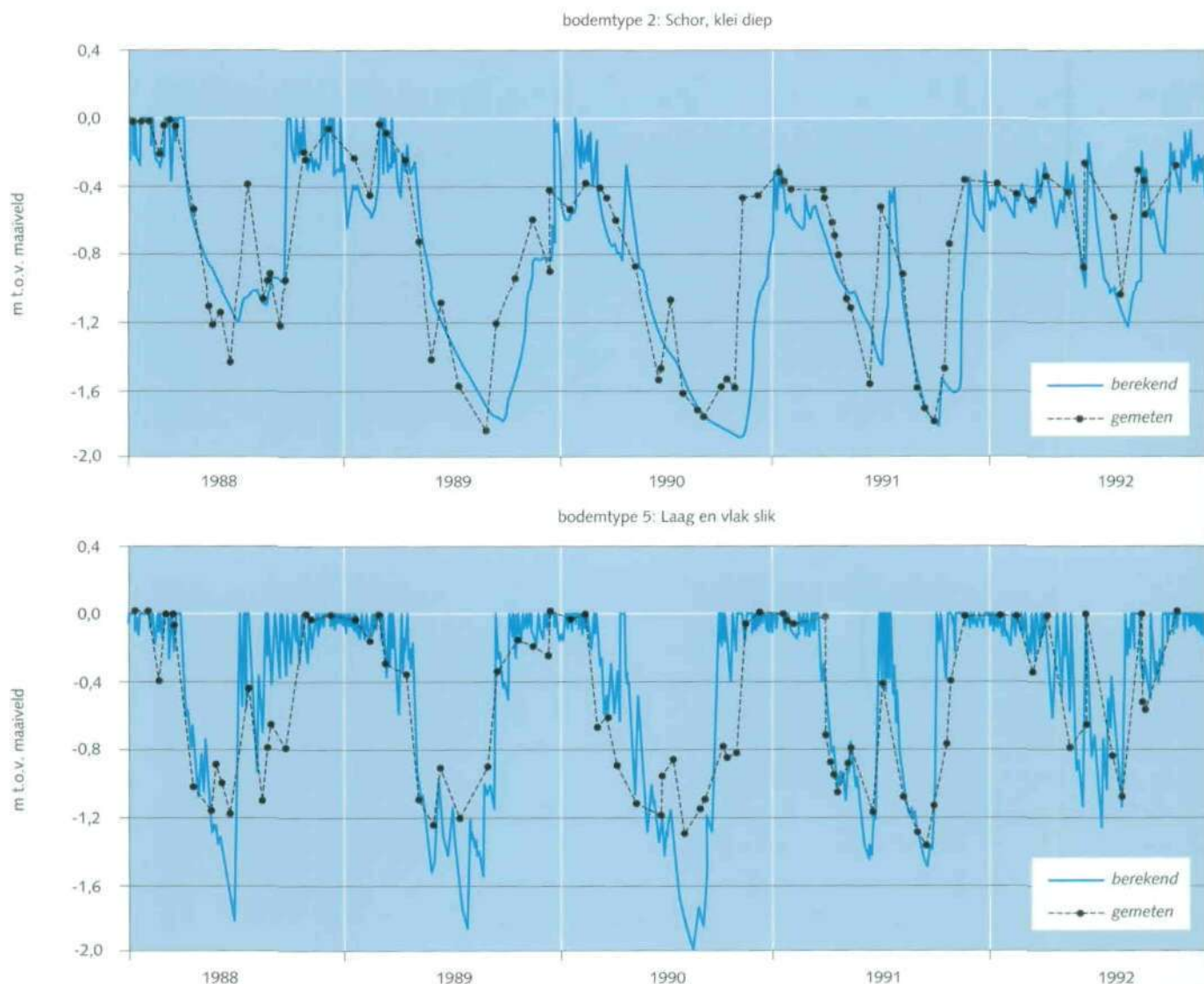
Er zijn voor het model SWATRE een groot aantal invoergegevens nodig. De invoer betreft bodemfysische gegevens, drainagecriteria, meteorologische gegevens en vegetatiekenmerken. De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor twee bodemtypen op de Krammerse Slikken: de laaggelegen en vlakke slikken (bodemtype 5) en de hooggelegen schorren (bodemtype 2). Een globaal overzicht van invoergegevens van deze twee plekken zijn weergegeven tabel 3.4. Voor een uitgebreide beschrijving van de plek op het schor en het slik wordt verwezen naar Groen & Slager, 1993 en 1994.

Voor de jaren 1987 t/m 1992 zijn de grondwaterstanden berekend. De berekende waarden zijn vergeleken met gemeten

parameter		schor bodemtype 2	slik bodemtype 5
profiel		zavel/klei	lutumhoudend fijn zand; enkele kleihoudende laagjes
% lutum	0-1 m	25%	2-4%
	1-2 m	8-15%	in kleilaagjes: 10%
M ₅₀ -waarde		70-80	90-100
diepte ondoorlatende laag		4 m	3 m
doorlatendheid <1 m		0,2 m/d in de eerste jaren	0,25 m/d
		25-50 m/d na rijping	
1-2 m		0,1 m/d	0,02 m/d
maaiveldhoogte		NAP + 1,80 m	NAP + 0,70 m
afstand tot meer		675 m	500 m
afstand tot schorrand		75 m	
vegetatietype		Duinriet, Distel, Wilgenroosje	Zeekraal, Zulte
bewortelingsdiepte		0,5 m (eerste jaren minder)	0,1 m
bedekking		100 % (eerste jaren minder)	30 %
maximale interceptieverdamping		3,2 mm/d	0,9 mm/d
gewasfactor ⁷	winter	0,3-0,5	0,2
	zomer	0,7-1,0	0,9

Tabel 3.4
Beschrijving van de plekken die zijn gebruikt voor de berekening van de waterbeweging in de bodem met behulp van SWATRE. Voor de meteorologische gegevens is gebruik gemaakt van KNMI stations: voor de neerslag van het station in de Anna Jacobapolder en voor de verdamping van het station in Rotterdam.

Table 3.4
Description of areas used to calculate the water motion in the soil with the help of SWATRE. For the meteorological data, the stations of the KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) have been employed: the precipitation data of the Anna Jacobapolder station, the evapo-transpiration data of the Rotterdam station.



Figuur 3.5

Gemeten en berekende grondwaterstand op een plek op de Krammerse Slikken voor de periode 1988-1992 op: bodemtype 2, Schor, klei diep; bodemtype 5, Laag en vlak slik.

Figure 3.5

Measured and calculated groundwater level on a site on the Krammerse Slikken for the period 1988-1992 on: soiltype 2, Salt marshes, clay deep; soiltype 5, Low flats.

grondwaterstanden. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.5. De berekende waarden komen over het algemeen vrij goed overeen met de gemeten waarden. Op de schorren worden zowel de fluctuatie als de hoogste en laagste grondwaterstanden goed berekend. Alleen bij het weer invochtigen van de grond in het najaar komt de berekende grondwaterstand minder snel omhoog dan is gemeten. Op de slikken zijn de berekende laagste grondwaterstanden dieper dan de gemeten grondwaterstanden. Desondanks kan geconcludeerd worden dat het model een betrouwbaar beeld geeft van de waterfluxen die in de bodem zijn opgetreden.

Uit het verloop van de grondwaterstanden op de schorren komt naar voren dat de bovengrond rijpt. Na een aantal jaren komt de grondwaterstand ook in de winter niet meer tot het

maaiveld en oppervlakkige afstroming komt dan niet meer voor. Door verdergaande rijping zal de hoogste grondwaterstand lager worden.

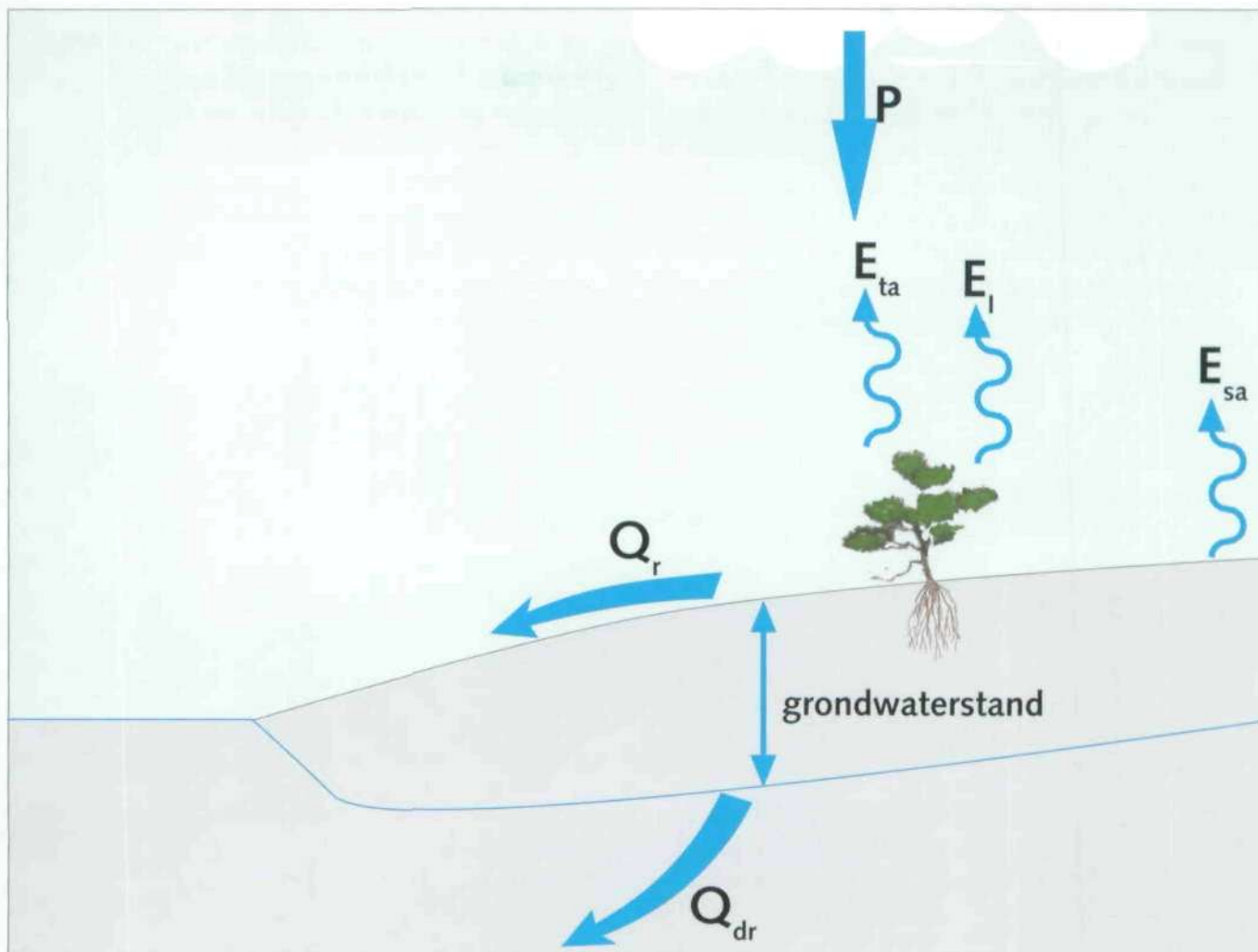
3.3.2 Berekening van de waterbalans

De waterbalans wordt weergegeven door de volgende relatie:

$$\Delta B = P - Q_r - E_i - E_{ta} - E_{sa} - Q_{dr}$$

waarin:

ΔB	= bergingsverandering	(mm/jaar)
P	= neerslag	(mm/jaar)
Q_r	= oppervlakkige afstroming	(mm/jaar)
E_i	= interceptie verdamping ^a	(mm/jaar)
E_{ta}	= actuele transpiratie ^a	(mm/jaar)
E_{sa}	= actuele bodemverdamping	(mm/jaar)
Q_{dr}	= laterale drainage	(mm/jaar)



Figuur 3.6

Schematische weergave van de posten die betrokken zijn bij de waterbalans.

Figure 3.6

Schematic representation of the factors involved in the water balance.

Omdat het profiel in de winterperiode nagenoeg geheel verza- digd is, is het bergingsverschil tussen 1 januari en 31 december verwaarloosbaar klein. De neerslag is dus gelijk aan de som van de actuele verdamping, de laterale drainage en de oppervlakkige afstroming.

Voor de jaren 1987 t/m 1992 is per jaar berekend hoe de ver- deling over de verschillende posten in de waterbalans is geweest voor de in de vorige paragraaf genoemde plekken op het schor en het slik. In tabel 3.5 is het resultaat van de bere- keningen voor de schorren en de slikken gegeven. Uit de resultaten blijkt het volgende:

Oppervlakkige afstroming.

Op de schorren was er in de eerste paar jaar wel enige oppervlakkige afstroming. Door rijping van de bovengrond is de doorlatendheid zo vergroot dat de neerslag daarna allemaal via de bovenlaag naar de kreek of via de onder- grond naar het meer wordt afgevoerd. Op de slikken, waar het maaiveld geleidelijk afloopt naar het meer, stroomt gemiddeld meer dan de helft van alle neerslag oppervlak- kig af. Zelfs in natte zomerperiodes komt oppervlakkige afstroming voor. Hoe groter het neerslagoverschot is, des te groter is het deel dat oppervlakkig afstroomt.

Verdamping.

Op de schorren heeft zich al snel een forse en dichte vege- tatie ontwikkeld met een goed ontwikkelde worteling. De verdamping van die vegetatie (interceptie verdamping en transpiratie) is daardoor hoog, voor een hydrologisch gemiddeld jaar meer dan 50% van de neerslag. Door de aanwezigheid van een dichte vegetatie is de bodemver- damping laag. Op de slikken bestaat de vegetatie uit zout- minnende planten. De bedekking is niet hoog en door de relatief voedselarme zandige bovengrond is biomassa zeer beperkt. De worteling blijft ondiep. De verdamping door de vegetatie (interceptie verdamping en transpiratie) is veel lager dan op de schorren, ruim 20% van de neerslag voor een hydrologisch gemiddeld jaar. De rechtstreekse bodem- verdamping is echter veel hoger door de lage bedekking van de vegetatie.

Laterale drainage.

Laterale drainage is de afvoer van neerslag via de bodem. Deze afvoer bewerkstelligt de ontzilting van de grond. De laterale drainage op de schorren is vrij hoog maar varieert sterk van jaar tot jaar. Het is het hoogst in de natte jaren. Er is een toename in de loop van de jaren in de grootte van de laterale drainage doordat de doorlatendheid van de bodem hoger wordt. De schorren op de Krammerse Slikken hebben een profiel met een dik kleipakket. Het duurt lang voor een dergelijk profiel tot grotere diepte gerijpt en goed doorla-

tend is. Op andere schorren zoals op de Dintelse Gorzen en de Slikken van de Heen is het een profiel van een kleilaag van meestal 0,5 tot 0,8 m dik op een doorlatende zandondergrond. De kleilaag is heel snel gerijpt. Op een dergelijk schorprofiel is het laterale transport veel groter. Op de slikken is de laterale drainage laag, gemiddeld slechts 21 mm per jaar. Er gaat dus maar een minimale hoeveelheid zoet water door de bodem. Er lijkt weinig verschil tussen natte en droge jaren te zijn. Er kan blijkbaar niet meer water door de bodem heen dan ongeveer 20 mm per jaar.

Tabel 3.5
De waterbalans voor de Krammerse Slikken onderverdeeld in (a) Schorren en (b) Slikken voor de jaren 1987 t/m 1992.
P = neerslag;
Q_r = oppervlakkige afstroming;
E_i = interceptie verdamping;
E_{ta} = actuele transpiratie;
E_{sa} = actuele bodemverdamping;
Q_{dr} = laterale drainage.

(a) Schorren						
	P (mm)	Q _r (mm)	E _i (mm)	E _{ta} (mm)	E _{sa} (mm)	Q _{dr}
1987	867	123	108	335	70	231
1988	1032	178	137	366	79	272
1989	697	39	92	308	77	181
1990	737	8	88	366	80	195
1991	728	0	103	367	50	208
1992	902	0	121	304	65	412
gemiddeld	827	58	158	341	70	250
%	100	7	13	41	9	30

Table 3.5
The water balance for the Krammerse Slikken classified in (a) Salt marshes and (b) Flats for the years 1987 up to 1992.
P = precipitation;
Q_r = surface run-off;
E_i = intercepted evapo-transpiration;
E_{ta} = actual transpiration;
E_{sa} = actual soil evapo-transpiration;
Q_{dr} = lateral drainage.

(b) Slikken						
	P (mm)	Q _r (mm)	E _i (mm)	E _{ta} (mm)	E _{sa} (mm)	Q _{dr}
1987	867	498	37	127	182	23
1988	1032	636	42	135	195	24
1989	697	335	34	147	161	20
1990	737	363	35	152	168	19
1991	728	362	44	126	177	19
1992	902	509	41	142	187	23
gemiddeld	827	451	39	138	178	21
%	100	54	5	17	21	3

4 Zouthuishouding van de drooggevalle oevers

4.1 Gemeten chlorideconcentraties in bodem

4.1.1 Uitgangssituatie

Op het moment van de afsluiting (april 1987) was de bodem van de drooggevalle oevergebieden nog zout. De chlorideconcentraties in de bodem waren niet overal even hoog. Verschillen in situering in het gebied ten opzichte van de getijdenstroming en verschillen in hoogteligging hadden voor de afsluiting een verschil in overstromingsduur met zeewater gegeven.

De hoogste chlorideconcentraties kwamen voor op de lage slikkige delen van de Krammerse Slikken, Dintelse Gorzen en de Prinsesseplaat. Op de Hellegatsplaten is in het hele profiel de chlorideconcentratie relatief laag. Dit komt doordat dit gebied voor de aanleg van de Hellegatsdam in een min of meer dode hoek voor de getijdenstroming lag (wantij) en daardoor minder met zout water werd overspoeld. Op de hoge schorren met een profiel van klei op zand is de chlorideconcentratie in de bovenlaag ook relatief laag (tabel 4.1).

4.1.2 Ontzilting van de bodem

Na bedijking vond op de oevergebieden een geleidelijke ontzilting plaats. Deze ontzilting wordt geïnitieerd door een jaarlijks

neerslagoverschot. Indien het regenwater de bodem indringt wordt het zoute bodemwater verdrongen door zoet regenwater (Groen, 1991). De mate waarin het regenwater kan percoleren, hangt af van de grondwaterstand op het moment dat de regen valt. Staat de grondwaterstand tot in het maaiveld dan zal, mede afhankelijk van de helling van het maaiveld, een groot deel van de neerslag oppervlakkig afstromen. Wanneer bijna alle neerslag oppervlakkig afstroomt zal de bodem niet ontzilten. Er kan dan zelfs verzilting optreden doordat in de droge zomerperiode met het capillair opstijgende water zout uit de ondergrond omhoog komt. De snelheid van het ontziltingsproces is sterk afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die de bodem indringt. Dat varieert van jaar tot jaar maar ook binnen het jaar. De meeste neerslag valt in de winterperiode.

Op ruim 20 plekken, verspreid over de vijf onderscheiden bodemtypen, is de chlorideconcentratie in de bodem regelmatig bepaald. Enkele plekken daarvan waren op lage oevers aangelegd, net boven of net beneden de waterlijn. Door oeverafslag zijn daarvan enkele plekken vroegtijdig verdwenen. Op iedere plek is een reeks filterbuisjes geplaatst (op dieptes tussen 0,1 en 3 m), waaruit grondwatermonsters zijn genomen. Deze bemonstering vond jaarlijks plaats in januari, wanneer de grond verzadigd is en de grondwaterstanden

deelgebied	raai	bodem	Cl ⁻ in g/l op 0,3 m diepte	Cl ⁻ in g/l op 2 m diepte
Hellegatsplaten	1	schor, klei diep	9,5	9
	2	slik en zandige delen	9	9
Krammerse Slikken	3	schor, klei diep	10	13
	3	slik	13	14
Dintelse Gorzen	4	schor, klei op zand	5	9
	4	zandige delen en slik	12	13
Slikken van de Heen	5	schor, klei op zand	9	13
Slikken van de Heen	6	schor, klei op zand	9	12
Prinsesseplaat	7	slik en zandige delen	12	15
Plaat van de Vliet	8	zandige delen	8	10

Tabel 4.1
Chlorideconcentratie in de bodem
bij afsluiting in april 1987.

Table 4.1
Chloride concentration in the soil
at the time of closure in April
1987.

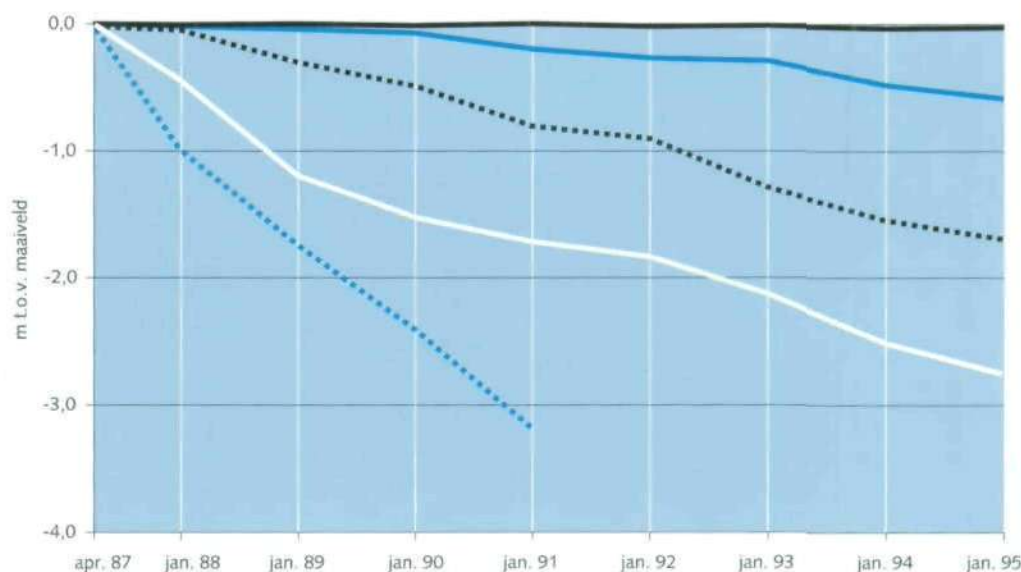
Figuur 4.1

Verloop van de ontziltingsdiepte voor de verschillende bodemtypen.

Figure 4.1

Progression of the desalination depth for the various soil types.

bodemtype 1: Schor, klei op zand
bodemtype 2: Schor, klei diep
bodemtype 3: Grofzandige delen
bodemtype 4: Fijnzandige delen
bodemtype 5: Laag en vlak slik



hoog staan. Van elke plek is dus het verloop van de chlorideconcentratie in het grondwater met de diepte in de opeenvolgende jaren bekend. Uit de meetgegevens is jaarlijks de ontziltingsdiepte van iedere plek vastgesteld. Ook is de gemiddelde ontziltingsdiepte per bodemtype berekend. De grens voor de ontziltingsdiepte is vastgesteld op de diepte tot waar de chlorideconcentratie is gedaald tot minder dan 1 g/l.

Het gemiddelde ontziltingsverloop bij de verschillende bodemtypen laat grote verschillen zien (figuur 4.1). Belangrijkste kenmerken voor elk bodemtype zijn:

Bodemtype 1:

Op de hoge schorren met een zandige ondergrond en veel diepe krekken ging de ontzilting eerst heel snel maar in de latere jaren langzamer. Dat tragere verloop wordt veroorzaakt doordat de neerslag, die wel volledig indringt, in de bovengrond zijdelings naar de krekken afstroomt.

Bodemtype 2:

Op de schorren met een dik kleipakket is de doorlatendheid gering waardoor maar een deel van de neerslag de bodem indringt. Ontzilting vond langzaam plaats. Pas na rijping van de grond komt de ontzilting op gang.

Bodemtype 3:

De ontzilting verliep het snelst op de grofzandige delen. Daar dringt alle neerslag in en draagt volledig bij aan de verdringing van het zoute grondwater.

Bodemtype 4:

Op de fijnzandige delen verliep de ontzilting minder snel dan op de grofzandige koppen. Hier stroomt een deel van de neerslag oppervlakkig af.

Bodemtype 5:

Op de slikken percoleert vrijwel geen neerslag en daardoor is er nog geen noemenswaardige ontzilting opgetreden. Vegetatieontwikkeling kan het proces wel op gang brengen. Planten onttrekken met hun wortels meer vocht aan diepere lagen dan op een niet of schaars begroeide bodem.

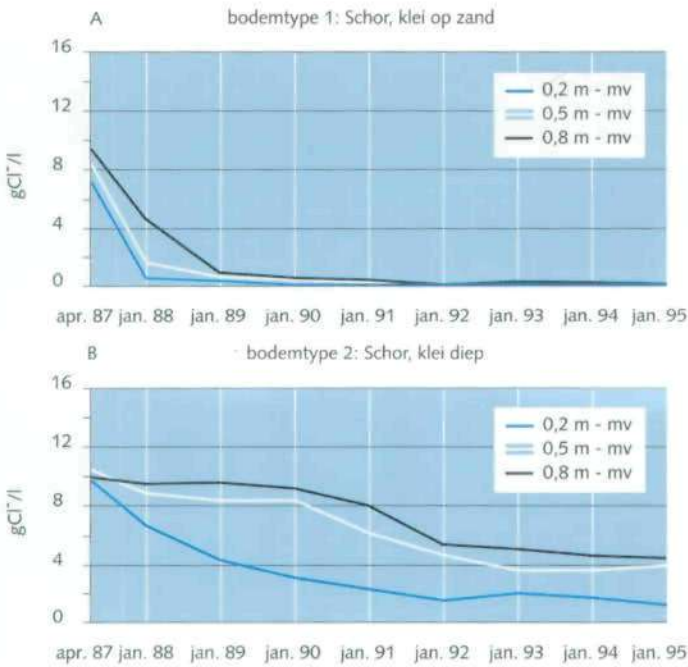
Door de wortels van de planten wordt de doorlatendheid van de grond hoger zodat regenwater gemakkelijker indringt. De vegetatie ontwikkelde zich er echter langzaam.

In de figuur 4.2 is per bodemtype weergegeven hoe de chlorideconcentraties zijn verlopen in de tijd op drie dieptes (respectievelijk 0,2 m, 0,5 m en 0,8 m beneden maaiveld). De chlorideconcentratie op deze dieptes kan invloed hebben op het vegetatietype. Het niveau van 0,2 m is ongeveer de bewortelingsdiepte en vanaf de niveaus 0,5 m en 0,8 m kan door capillair transport zout of brak grondwater omhoog komen. Uit deze figuren blijkt dat overal in de bovenste laag al vrij snel een daling optrad. Een daling naar een lagere chlorideconcentratie zal een verandering van vegetatie teweegbrengen. In de diepere lagen is de chlorideconcentratie steeds hoger. Ook hier wordt duidelijk dat het proces op de slikken zeer langzaam verliep. Enkele jaren na de afsluiting trad zelfs een verhoging van de chlorideconcentratie op. Dat was een gevolg van capillair transport in de zomerperiode. Na verloop van een aantal jaren zakte toch ook de chlorideconcentratie in de bovenlaag.

4.1.3 Invloed van verdamping en capillair transport op de chlorideconcentratie

In de zomer daalt door verdamping het vochtgehalte in de grond. Dit veroorzaakt een verhoging van de chlorideconcentratie. Bij langdurig droog weer, zal met capillair transport water uit de ondergrond omhoog komen. Het water dat uit de diepere lagen omhoog komt, is op veel plaatsen nog zout. Hierdoor zal de chlorideconcentratie in het bodemvocht van de bovenlaag sterk oplopen. Het neerslagpatroon in de zomer bepaalt dus in sterke mate de chlorideconcentratie in de bovengrond.

Gedurende enkele zomers is op aantal plekken de grond bemonsterd om de chlorideconcentratie in het bodemvocht te



Figuur 4.2
Verloop van de chlorideconcentratie op drie verschillende dieptes (0,2, 0,5 en 0,8 m beneden maaiveld voor de vijf onderscheiden bodemtypen: (A) Schor, klei op zand; (B) Schor, klei diep; (C) Grofzandige delen; (D) Fijnzandige delen; (E) Laag en vlak slik.

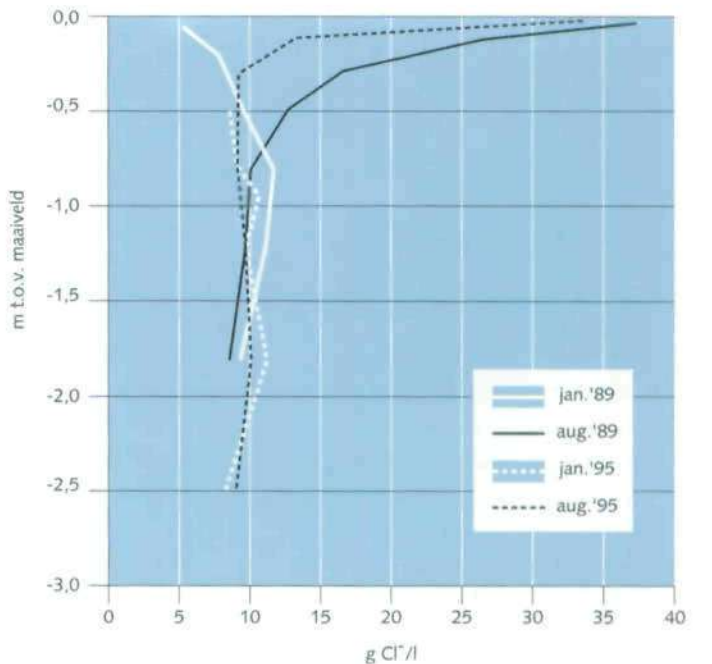
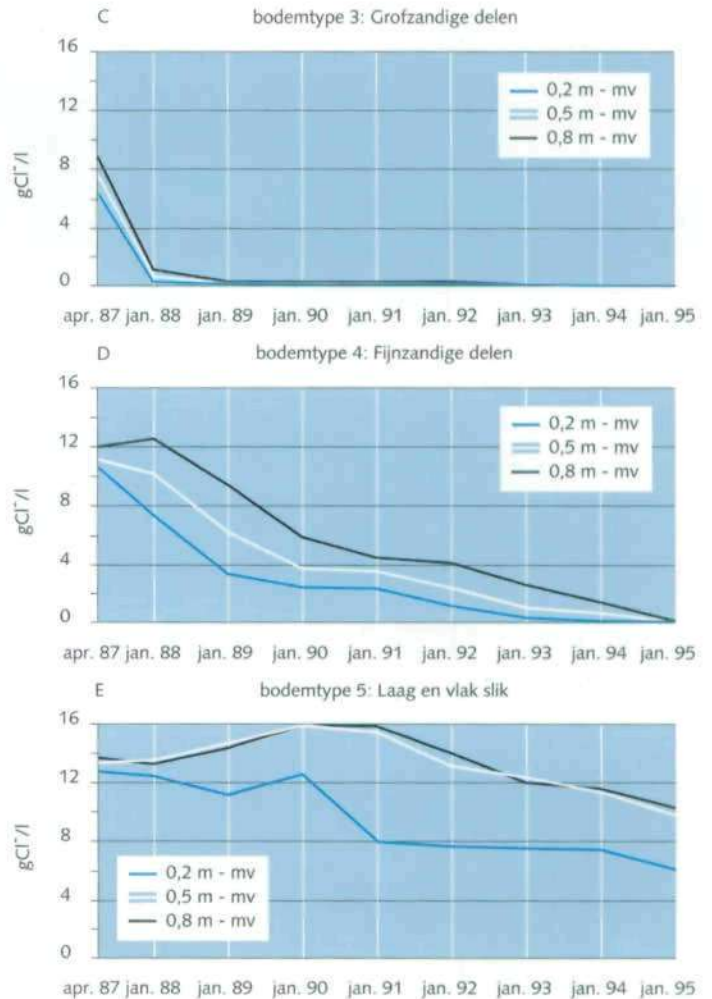
Figure 4.2
Progression of the chloride concentration at three depth levels (0.2, 0.5 and 0.8 m below ground level) for the five different soil types: (A) Salt marshes, clay on sand; (B) Salt marshes, clay deep; (C) Coarse sandy areas; (D) Fine-sandy areas; (E) Low flats.

bepalen. In droge zomers kan de concentratie in de bovenste 5 cm wel oplopen tot 30 à 100 g Cl⁻/l bodemvocht (figuur 4.3). Deze verhogingen komen alleen voor op de slikken waar in de diepere lagen nog veel zout aanwezig is.

4.1.4 Emissie van zout uit de oevergebieden naar het meer

Het zout uit de oevergebieden komt uiteindelijk terecht in het meer en verhoogt daar de chlorideconcentratie. Met behulp van de gemeten chlorideconcentratie in de bodem kan worden berekend hoe groot deze emissie in de achtereenvolgende jaren is. De hoeveelheid zout welke nog in de bodem aanwezig is, is vastgesteld voor de wintersituatie waarbij is aangenomen dat de grond volledig is verzadigd. De volumefractie water is voor alle bodemlagen gesteld op 0,4. De chlorideconcentratie is vermenigvuldigd met de hoeveelheid water per bodemlaag. Door te schatten voor welke oppervlakte elke gemeten plek representatief is, is de totale emissie te benaderen.

Figuur 4.4 geeft de totale hoeveelheid zout die per jaar uit de bodem is verdwenen weer. De emissie was in 1987 en 1988



Figuur 4.3
Verschil in de chlorideconcentratie gedurende de zomer- en winterperiode gemeten in 1989 en 1995.

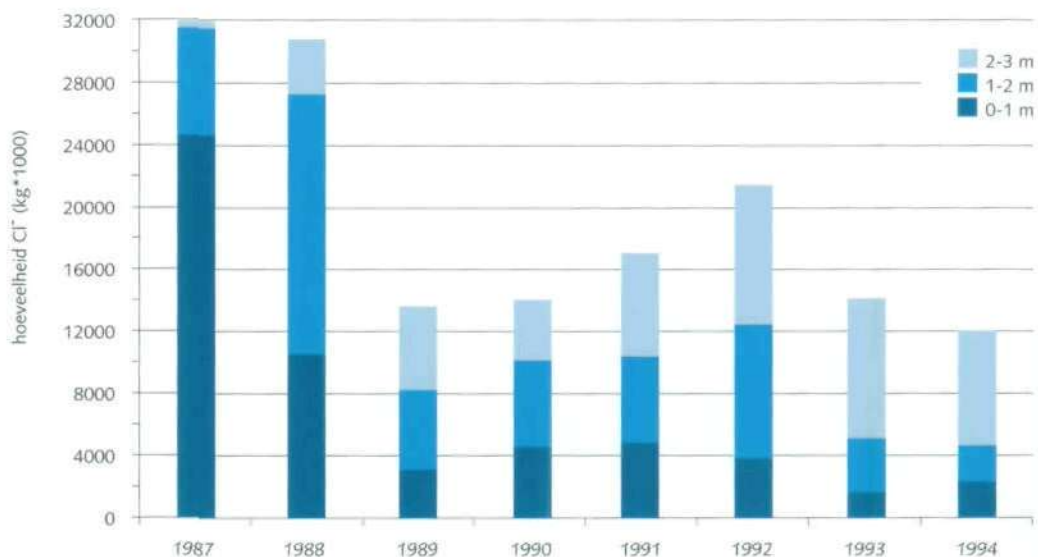
Figure 4.3
Difference in the chloride concentration during the summer and winter periods as measured in 1989 and 1995.

Figuur 4.4

Totale hoeveelheid chloride per laag, op het moment van afsluiting en de hoeveelheid die per jaar is uitgespoeld, berekend over de gehele oppervlakte van de drooggevallen oevers (circa 2000 ha)

Figure 4.4

Total amount of chloride per layer, at the time of closure and the annual amount leached out, calculated over the total surface area of the emerged banks (approximately 2,000 hectares).



het grootst, ruim 30 miljoen kg, circa 13% van de oorspronkelijke totale hoeveelheid die in de laag 0-3 m aanwezig was. In de latere jaren is er aanmerkelijk minder chloride uitgespoeld.

4.2 Modelleren van de ontzilting

4.2.1 Huidige situatie

Voor de twee plekken op de Krammerse Slikken, die reeds zijn beschreven in paragraaf 3.3.1, is met het model SWATRE naast de waterbeweging ook de zoutbeweging berekend. Aan de parameters die gebruikt zijn voor de modellering van de waterbeweging zijn de initiële chlorideconcentratie en een dispersielengte van 5 cm toegevoegd. Bij het berekenen van de concentratieprofielen is aangenomen dat direct na de afsluiting de chlorideconcentratie 14 g/l bedroeg. Als startpunt voor de ontzilting geldt 1 april 1987.

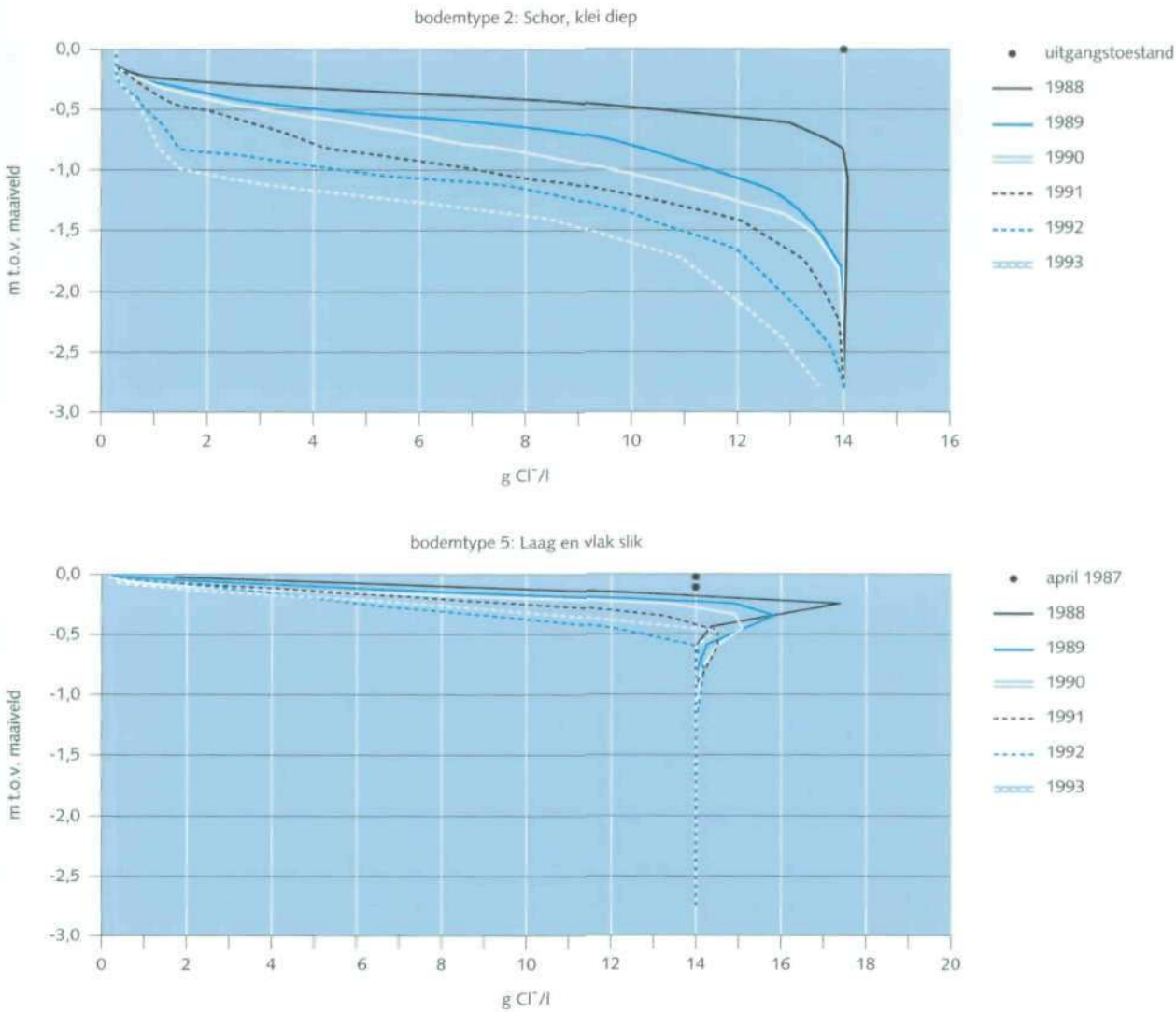
In figuur 4.5 zijn de resultaten gepresenteerd van de gesimuleerde concentratieprofielen voor chloride in de jaren 1988 tot en met 1993. Duidelijk is het verschil in ontziltingsnelheid tussen de schorren en slikken. Op de schorren is een doorlopende daling van de chlorideconcentratie tot op grotere diepte te zien. Op het slik is alleen een geringe daling van de chlorideconcentratie in de bovenste 0,5 m waar te nemen. Voor 1989 en 1993 zijn de berekende chlorideconcentraties vergeleken met de gemeten concentraties (figuur 4.6). Voor de schorren komen de berekende waarden in 1989 goed overeen met de gemeten waarden. In 1993 is de berekende ontzilting trager dan de gemeten ontzilting. Er zal dus waarschijnlijk meer water door de ondergrond zijn afgevoerd dan is berekend. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door wegzijging naar een sloot aan de binnenzijde van de dijk, waar het polderpeil en dus de waterstand lager is dan op de schorren. De simulatie van de chlorideconcentratie op het slik komt zowel in 1989 als in 1993 goed overeen met

de gemeten waarden (figuur 4.7). Uit de berekeningen is gebleken dat de chlorideconcentratie gedurende de zomer sterk kan oplopen. Als illustratie is het verloop van de chlorideconcentratie in de bovengrond met de neerslag- en verdampingscijfers van de droge zomer van 1976 berekend (figuur 4.8). Voor minder droge jaren zal deze situatie uiteraard minder extreem zijn.

Uit de berekeningen blijkt dat de ontziltingssnelheid van de bodem afhankelijk is van de hoeveelheid neerslag die in de bodem kan dringen en wordt dus in sterke mate bepaald door het neerslagoverschot en de doorlatendheid van de bodem. Uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat met het model SWATRE de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de bodem goed is te voorspellen.

4.2.2 Scenarioberekeningen

Gedurende enkele decennia is op verschillende plekken in Nederland (Markiezaat, Lauwersmeergebied en Volkerak-Zoommeer) onderzoek verricht naar de relatie tussen chlorideconcentratie in de bodem en de vegetatie. Uit dit onderzoek blijkt dat in deze van oorsprong zoute gebieden de chlorideconcentratie in de bodem doorslaggevend is voor het type vegetatie dat zich er vestigt. Indien de chlorideconcentratie in de laag van 0 tot 0,2 m beneden het maaiveld hoger is dan 5 g Cl⁻/l, zal de vegetatie bestaan uit zoutminnende planten. Daalt de concentratie permanent beneden de 5 g/l, zal de zoutminnende vegetatie plaats maken voor een zouttolerante vegetatie. Wanneer de chlorideconcentratie verder afneemt tot beneden 1 g/l, zal steeds meer zoete vegetatie verschijnen. Pas als de chlorideconcentratie ook op grotere diepte laag is geworden en met capillair transport in droge perioden geen zout meer in de wortelzone terecht komt, zal alle invloed van het zout op de vegetatie verdwijnen. Op de relatie tussen chlorideconcentratie en vegetatie zal in het volgende hoofdstuk nader ingegaan worden.



Figuur 4.5
Berekende chlorideconcentratie in achtereenvolgende jaren na de afsluiting voor een plek op de Krammerse Slikken op: bodemtype 2, Schor, klei diep; bodemtype 5, Laag en vlak slik.

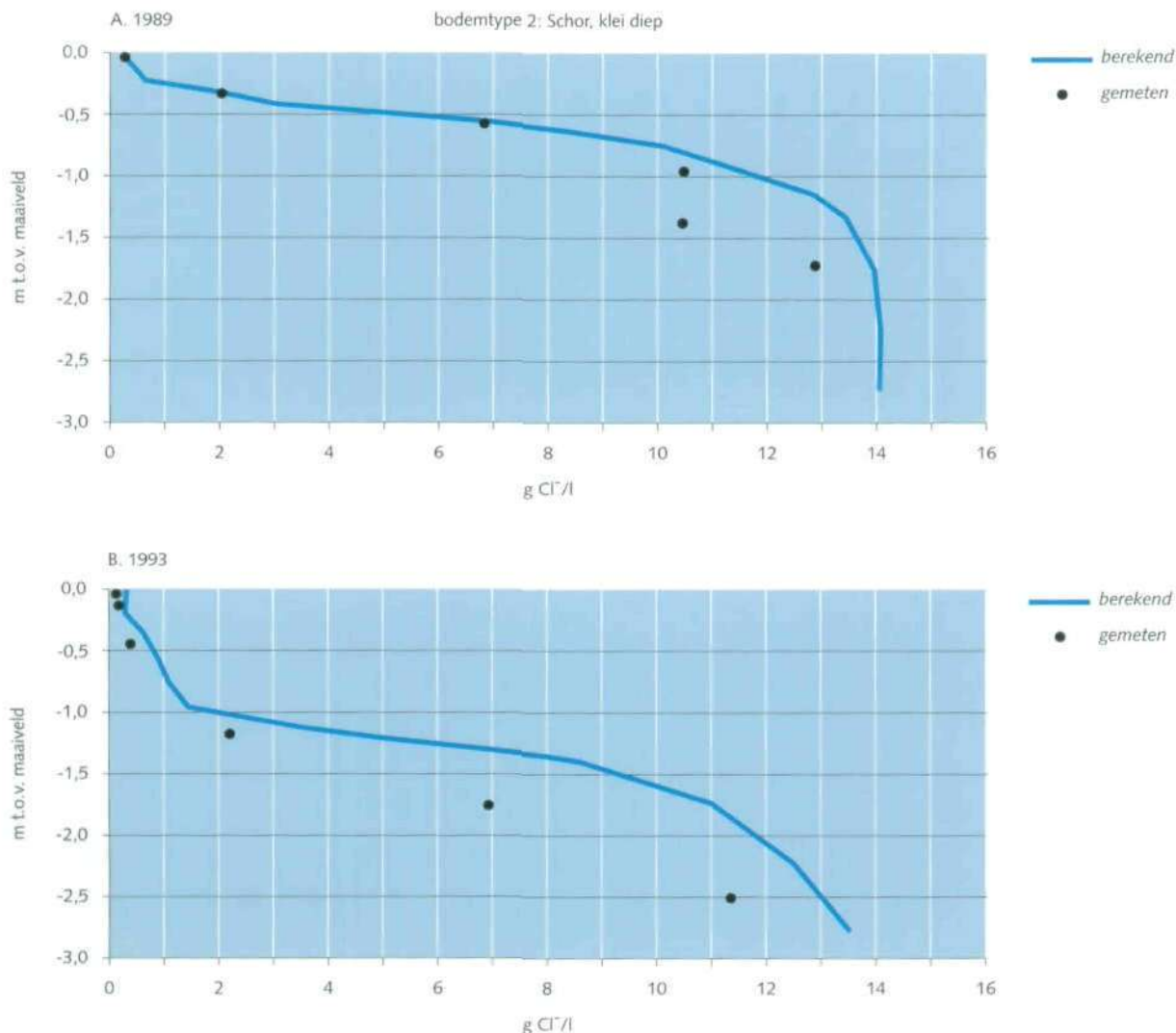
Naarmate de chlorideconcentratie minder overheersend is, zal het type vegetatie dat zich op een bepaalde plek vestigt, afhankelijker zijn van andere factoren, zoals de vochtvoorziening (dynamiek van het grondwaterregime, vochthoudendheid van de bodem) en de voedselrijkdom van de bodem (stikstof, fosfaat, kalium en kalk).

Door de relatief snelle ontzilting op de schorren ontwikkelde zich binnen twee jaar een zoete vegetatie. De chlorideconcentratie was daar al spoedig niet meer overheersend. Berekeningen van de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de toekomst zijn voor de schorren dan ook niet zinvol. Op het slik speelt het zout nog steeds een overheersende rol ook al is de chlorideconcentratie in de bovenlaag wel lager geworden. De chlorideconcentratie is bepalend voor het type vegetatie en de droge stof productie. Indien de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de bodem voor de toekomst bekend

Figure 4.5
Calculated chloride concentration in the successive years after the closure for a site on the Krammerse Slikken on: soiltype 2, Salt marshes; soiltype 5, Low flats.

zou zijn, kan beter worden ingespeeld op beheersvragen over de begrazingsintensiteit. Voor de lage slikken is een aantal scenario's doorgerekend, waarmee een beeld kan worden geschetst van de toekomstige ontwikkelingen (Groen & Slager, concept).

In het eerste scenario wordt de ontwikkeling van het gebied gevolgd tot 75 jaar na de afsluiting bij een onveranderd beheer. In het tweede scenario wordt de invloed van een peilverlaging van het Volkerak-Zoommeer op de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de bodem en de vegetatie-ontwikkeling aangegeven. Het derde scenario schetst een beeld van de invloed van begrazing op de snelheid van de ontzilting en de vegetatie-ontwikkeling.



Figuur 4.6

Gemeten en berekende chlorideconcentratie voor een plek op de Krammerse Slikken op het schor in: (A) 1989; (B) 1993.

Figure 4.6

Measured and calculated chloride concentration for a site on the Krammerse Slikken on the salt marshes in: (A) 1989; (B) 1993.

Scenario 1: Onveranderd beheer

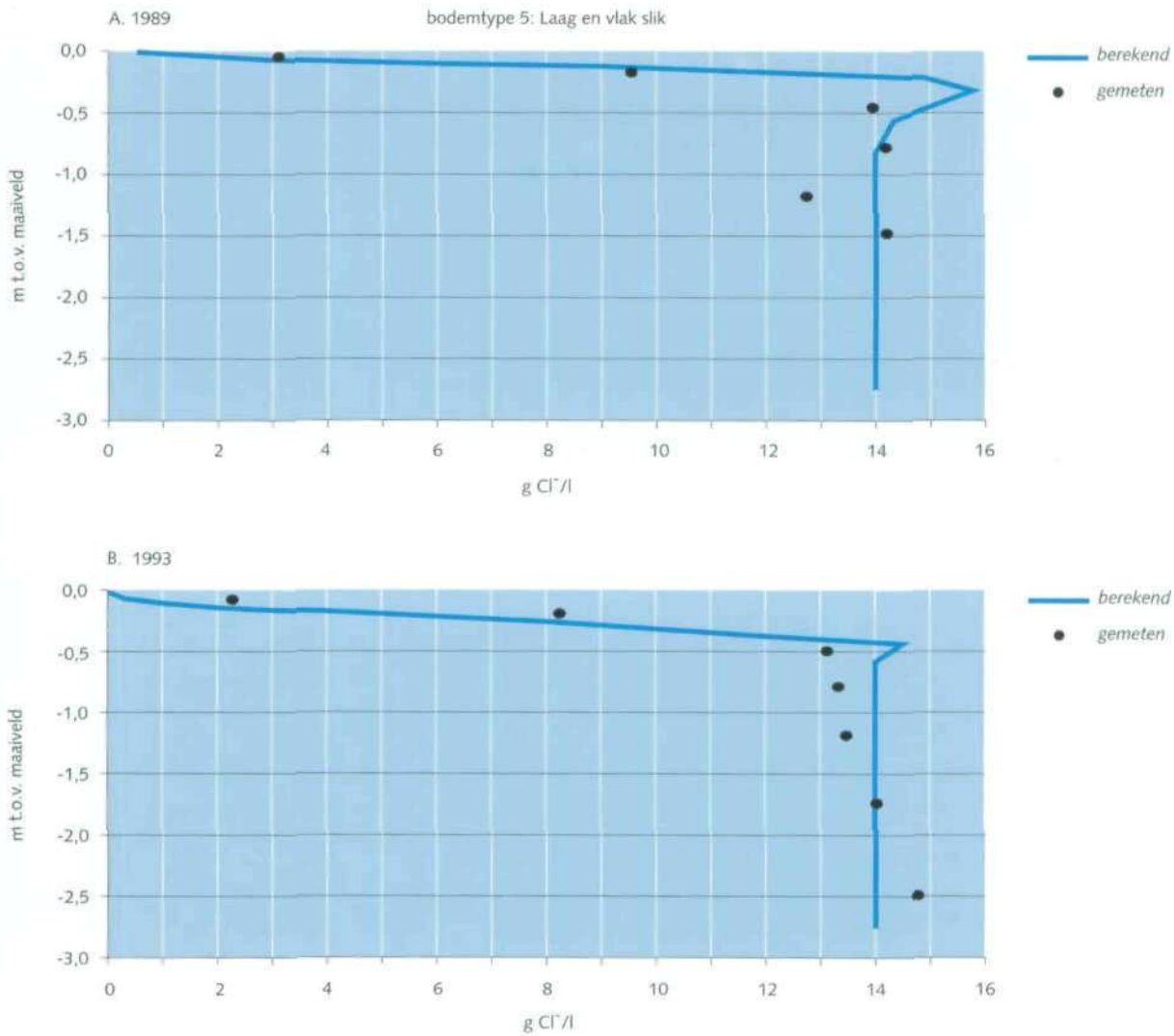
Met behulp van het model *SWATRE* is een voorspelling gedaan van de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de bodem van het slik op de Krammerse Slikken. Hierbij is aangenomen dat:

- de volumefractie poriën 0,44 bedraagt en de doorlatendheid van de bovengrond 0,15 m/d;
- de vegetatie zich verder zal ontwikkelen zodat de transpiratie toeneemt;
- de vegetatieontwikkeling oppervlakkige afstroming in enige mate zal belemmeren;
- de neerslag en verdamping van de jaren 1987 t/m 1992 zich zullen herhalen;
- het meerpeil gehandhaafd blijft op NAP.

De resultaten van de simulatie zijn weergegeven in figuur 4.9. In deze figuur zijn 2 grenswaarden aangenomen voor de chlorideconcentratie in de bodem: 1 g/l en 5 g/l. De uitgesproken

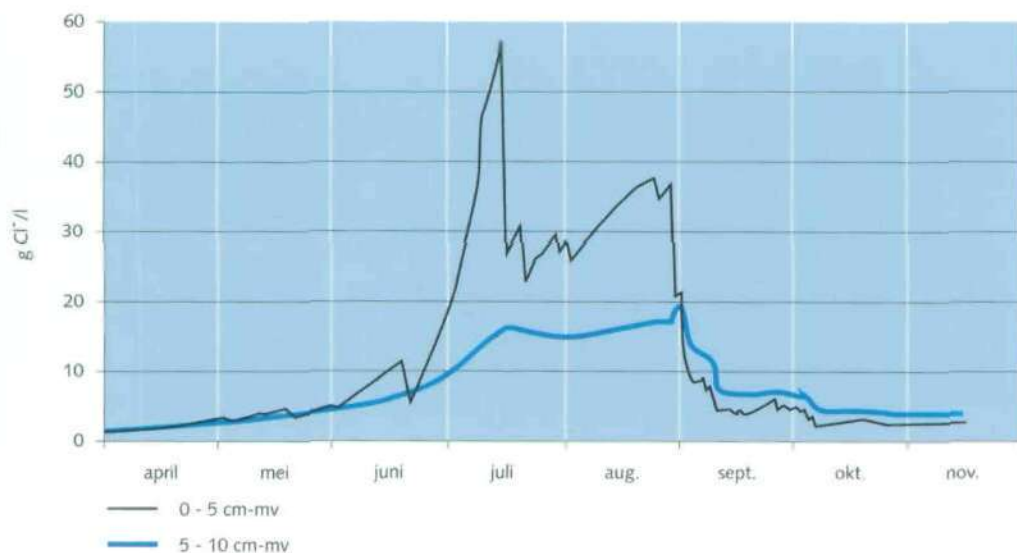
zoute vegetatie (Zeekraal, Schorrenkruid) verdwijnt als de chlorideconcentratie in de laag 0 tot 0,2 m beneden de 5 g Cl⁻/l daalt. Deze situatie zal zich volgens de berekeningen voordoen in 1993, zes jaar na de afsluiting van het Volkerak-Zoommeer. In het veld is deze verschuiving sinds 1992 in geringe mate waarneembaar. In 1993 heeft deze ontwikkeling zich doorgezet. Naast Zeekraal (zoute vegetatie) kunnen nu ook Zilte schijnspurrie, Hertshoornweegbree en Kweldergras (brakke vegetaties) zich handhaven. Volgens deze berekeningen zal na vijftien à twintig jaar de chlorideconcentratie in de laag 0-0,2 m beneden maaiveld gedaald zijn tot minder dan 1 g Cl⁻/l. Dit houdt in dat zich steeds duidelijker een zoete vegetatie gaat ontwikkelen.

Er dient echter wel rekening te worden gehouden met oplopende chlorideconcentraties in de zomerperiode. In de diepere bodemlagen zijn de chlorideconcentraties namelijk veel hoger dan in bovenlaag. In een droge zomer kunnen de chloridecon-



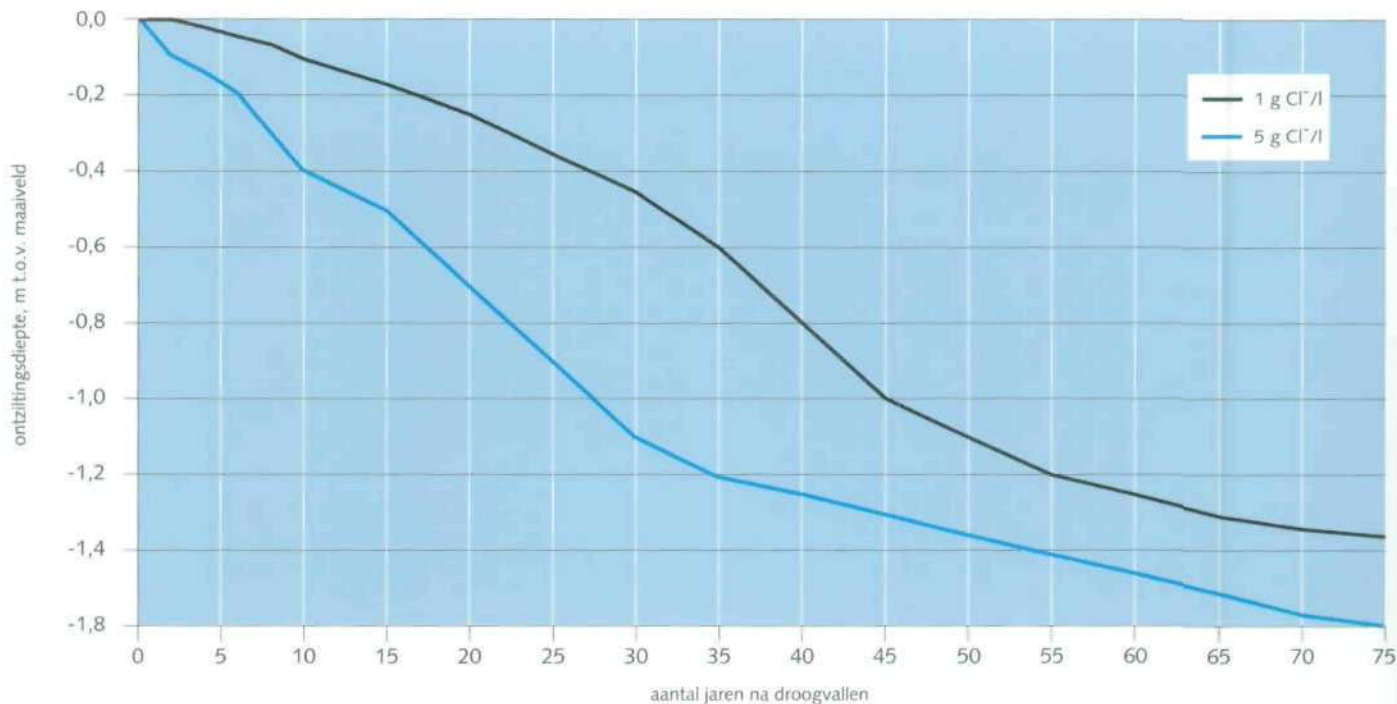
Figuur 4.7
Gemeten en berekende chlorideconcentratie voor een plek op de
Krammerse Slikken op het slik in: (A) 1989; (B) 1993.

Figure 4.7
Measured and calculated chloride concentration for a site on the
Krammerse Slikken on the flats in: (A) 1989; (B) 1993.



Figuur 4.8
Berekend verloop van de chloride-
concentratie in de bovengrond van
de Krammerse Slikken, bij een
extreem droge zomer (meteorolo-
gische gegevens van 1976).

Figure 4.8
Calculated fluctuation of the chlo-
ride concentration in the top soil of
the Krammerse Slikken in an extre-
mely dry summer (meteorological
data 1976).



Figuur 4.9

Berekende diepte van ontziltling in de bodem op een drooggevalen slik op de Krammerse Slikken voor twee chlorideconcentraties (maaiveld NAP+0,7 m; afstand naar het meer 500 m).

Figure 4.9

Calculated depth of desalination in the soil of emerged flats in the Krammerse Slikken for two chloride concentrations (ground level NAP+0.7 m; distance from the lake 500 m).

concentraties tot een zeer hoge waarde oplopen. Deze concentratieverhoging is het sterkst in de bovenste paar centimeters van het profiel. Als de wortels dieper gaan dan deze laag, kunnen de planten een tijdelijke verhoging van de chlorideconcentratie wel overleven. Een gevestigde zoete vegetatie kan echter afsterven wanneer de chlorideconcentratie gedurende een te lange periode te hoog is. Een hoog neerslagoverschot in natte jaren zal over het algemeen weinig invloed hebben op de ontziltlingssnelheid. Hiermee zal alleen de oppervlakkige afstroming toenemen. In natte zomers zal er nauwelijks capillair transport zijn. Door vegetatieontwikkeling verbetert de doorlatendheid van de bewortelingslaag. De vegetatieontwikkeling zal er echter niet snel verlopen omdat de voedselrijkdom op de slikken niet groot is.

Scenario 2: Invloed van begrazing

Begrazing heeft bij zeer langzaam ontziltende gebieden een vertragend effect. Door de betreding bij begrazing wordt de bovenlaag verdicht. Er dringt daardoor minder regenwater in de bodem en er zal meer water oppervlakkig afstromen. Bij metingen in het Lauwersmeergebied verminderde de doorlatendheid van de bovengrond als gevolg van extensief begrazingsbeheer met ongeveer een factor vier. De volumefractie poriën van de bovengrond liep bij een begrazingsdichtheid van 0,2 GVE/ha¹⁰ terug van 0,44 naar 0,39 (Slager et al., 1993).

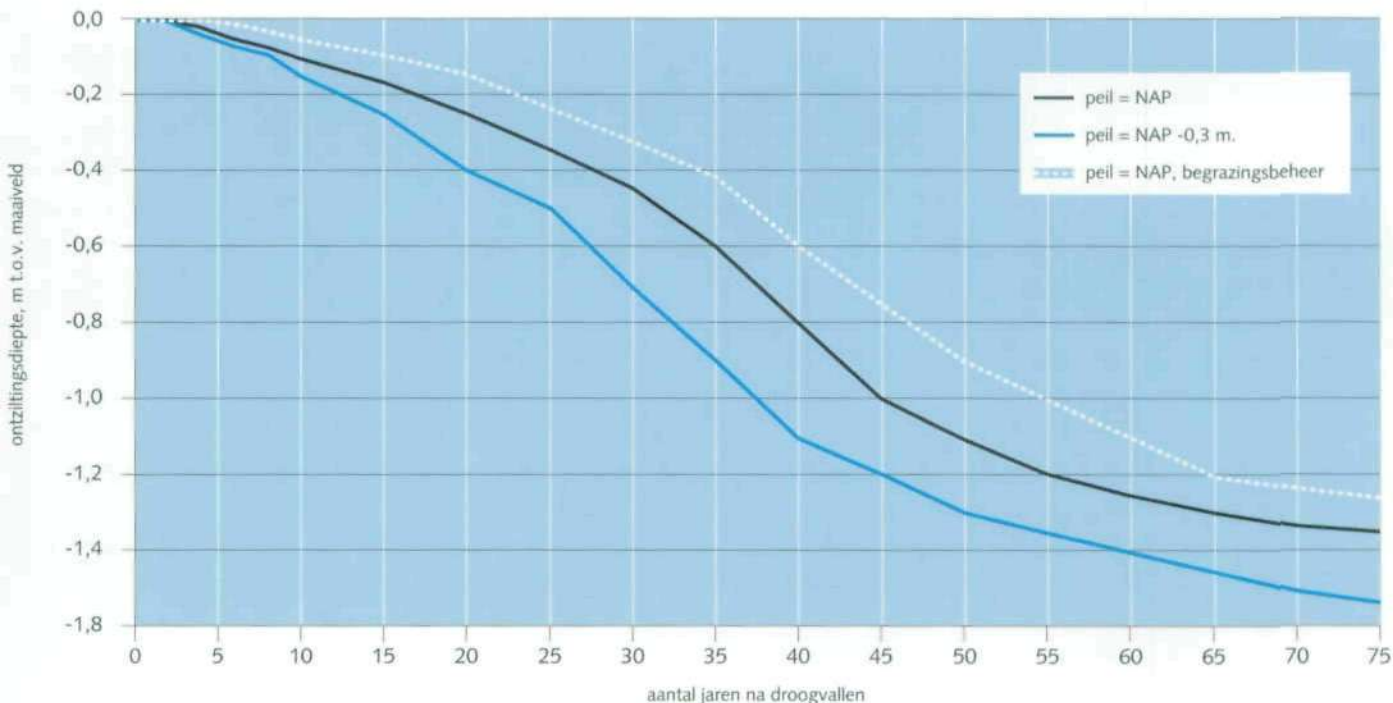
De ontwikkeling van de chlorideconcentratie in de bodem van de Krammerse Slikken is berekend, waarbij rekening gehouden is met het effect van begrazing. Hierbij is aangenomen dat:

- de vegetatie zich nauwelijks verder zal ontwikkelen;
- de neerslag en verdamping van de jaren 1987 t/m 1992 zich in de periode na 1992 zullen herhalen;
- het meerpeil zal worden gehandhaafd op NAP;
- de volumefractie poriën van de bovengrond (0-0,2 m beneden maaiveld) zal afnemen van 0,44 naar 0,39;
- de doorlatendheid van de bovengrond (0-0,2 m beneden maaiveld) afneemt van 0,15 naar 0,04 m/d.

De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in figuur 4.10. Het vertragend effect van begrazing op de snelheid van de ontziltling blijkt voor de slikken ongeveer vijf jaar te zijn.

Scenario 3: Peilverlaging van het meer

In het kader van de ontwikkeling van de oevervegetatie wordt gesproken over de verlaging van het peil van het Volkerak-Zoommeer met ongeveer 0,2 m. Bij de berekening van de invloed van deze maatregel op de chlorideconcentratie is uitgegaan van dezelfde uitgangspunten als bij de berekening bij onveranderd beheer. Alleen de ontwateringsbasis (het meerpeil) is verlaagd tot NAP-0,2 m. De resultaten van de simulaties zijn weergegeven in figuur 4.10. Een peilverlaging van het meer zal de ontziltling op de slikken met vijf á tien jaar versnellen.



Figuur 4.10
 Berekende diepte van ontzilting (< 1 g Cl⁻/l) in de bodem van een droog-
 gevallen slik op de Krammerse Slikken voor drie scenario's (maaiveld
 NAP+0,7 m; afstand naar het meer 500 m).

Figure 4.10
 Calculated depth of desalination (< 1 g Cl⁻/l) in the soil of emerged flats in
 the Krammerse Slikken for three different scenarios (ground level NAP+0.7
 m; distance from the lake 500 m).

4.3 Chlorideconcentratie in de bodem onder ondiep water

4.3.1 Metingen

In verband met de ontwikkelingsmogelijkheden van oevervegetatie bestaande uit helofyten is gekeken naar de chlorideconcentratie in de bodem onder ondiep water. Voor de ontwikkelingsmogelijkheden van oevervegetatie is de chlorideconcentratie van groot belang. De ontzilting van de waterbodem vindt voornamelijk plaats door diffusie. Daarnaast kan de zijdelingse waterbeweging eveneens een rol spelen. Het relatieve belang die beide processen spelen bij de ontzilting is afhankelijk van de bodemopbouw.

Op de Krammerse Slikken en in een ondiepe kreek op de

Dintelse Gorzen is op een aantal plekken rond de waterlijn in 1991 de chlorideconcentratie in de bodem bepaald (op circa + 0,05 m, 0,0 m en -0,15 m ten opzichte van de gemiddelde waterlijn (= NAP). In augustus 1994 is op ongeveer dezelfde plaatsen de bemonstering herhaald. Het blijkt dat op beide plekken hetzelfde patroon optreedt. Op de waterlijn is de chlorideconcentratie in de bodem het laagst. Blijkbaar bevordert het afwisselend droogvallen en overspoelen de ontzilting. Het wisselend optreden van een situatie met capillair transport en diffusie versnelt de ontzilting. Op 0,1 m boven de waterlijn en bij 0,15 m waterdiepte is er in de bovenlaag zout verdwenen maar naar de diepte neemt de concentratie toe. In 1994 is de chlorideconcentratie iets lager dan in 1991. De resultaten van de bemonstering op de Krammerse Slikken zijn gegeven in tabel 4.2.

laag, m beneden maaiveld	mei 1991 m t.o.v. waterlijn (= NAP)			augustus 1994 m t.o.v. waterlijn (= NAP)		
	+0,05	0	- 0,15	+ 0,10	+0,01	- 0,10
0,0-0,1	0,81	0,67	1,42	0,99	0,42	1,04
0,1-0,2	1,34	0,77	2,81	1,45	0,45	2,21
0,2-0,4	2,86	0,86	4,74	1,21	0,49	5,40
0,4-0,6	5,06	1,23	7,85	1,03	0,41	5,74
0,6-0,8				1,07	0,31	8,48

Tabel 4.2
 De chlorideconcentratie (g Cl⁻/l)
 in de bodem rond de waterlijn,
 mei 1991 en augustus 1994, op de
 oever van de Krammerse Slikken.

Table 4.2
 The chloride concentration (g Cl⁻/l)
 in the soil around the water line,
 May 1991 and August 1994, in
 the embankment of the
 Krammerse Slikken.

In de periode van augustus tot november 1994 is een bemonstering uitgevoerd op de oevers rond de waterlijn in het hele gebied (Slager & Groen, 1995). In de waterbodem (bij een waterdiepte van 0,1-0,3 m) bleek in de bovenste 0,2 m het zout als gevolg van diffusie bijna te zijn verdwenen. Naar de diepte nam de concentratie toe.

Op ongeveer eenderde van de plekken was het zout tot 0,8 m geheel verdwenen. Op die plaatsen heeft waarschijnlijk naast diffusie ook dispersie door watertransport een rol van betekenis gespeeld, waardoor de ontzilting sneller is verlopen.

In het proefvak van het project "Planten in de Peiling" is vlak na het moment van droogvallen de uitgangstoestand vastgelegd. (Vulink & Coops, 1995; Vulink *et al*, 1996)

De gemeten chlorideconcentratie van dat moment was het resultaat na acht jaar diffusie in de waterbodem. Gezien de lage ligging, de bodemopbouw en de chlorideconcentraties in al eerder drooggevalen bodem kan worden aangenomen dat op die plek alleen diffusie had plaatsgevonden. Er is op 10 plekken bemonsterd.

De gemiddelde concentratie is weergegeven in figuur 4.11. Op de drooggevalen oevers kan met capillair transport zout water omhoog komen. Dat is ook gemeten op het proefvak. In de droge zomer van 1995 liep de chlorideconcentratie in het bovenste laagje op tot 50 en soms meer dan 100 g Cl⁻/l. Toen na de zomer de bodem weer was ingevocht bleek de chlorideconcentratie aanmerkelijk hoger te zijn dan in de uitgangstoestand (figuur 4.12).

4.3.2 Modellering van diffusie

Ontzilting door diffusie van zout uit een waterbodem naar bovenstaand zoet water wordt bepaald door hoogte van de concentratie in de bodem, de diepte waarop die concentratie voorkomt, de diffusiecoëfficiënt, de porositeit van de bodem en de tijd (Groen & Slager, concept). Met behulp van diffusieformules kan worden berekend hoe snel de waterbodem zal ontzilten.

Voor de waterbodem van de Krammerse Slikken is de ontzilting van de waterbodem door diffusie acht jaar na afsluiting berekend. De gemeten (als gemiddelde van 10 afzonderlijke metingen) en berekende waarden zijn weergegeven in figuur 4.11. De initiële concentratie na bedijking bedroeg 12 g Cl⁻/l. Er is verondersteld dat de ontzilting alleen heeft plaatsgevonden door diffusief transport. Meting en berekening komen

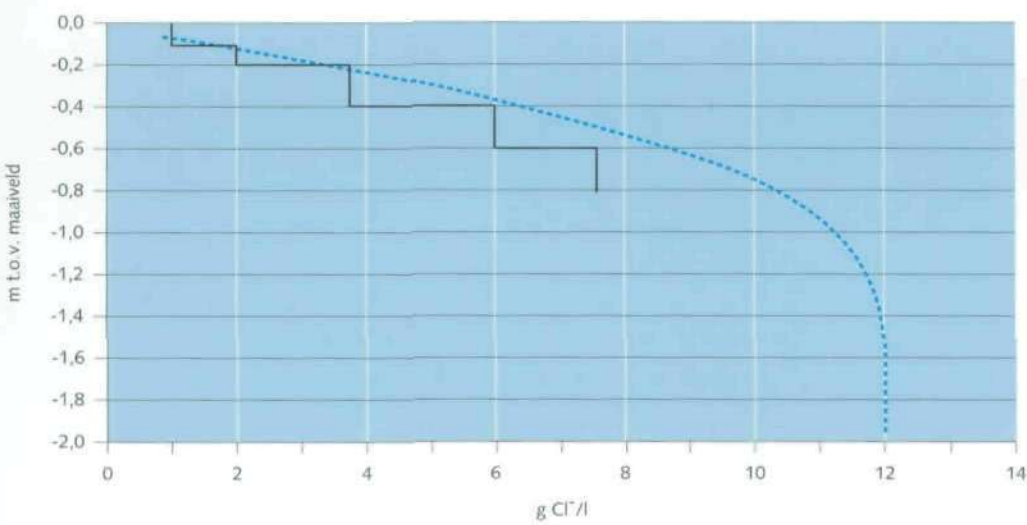
vrij goed overeen, hoewel de gemeten concentraties iets lager zijn dan de berekende. Mogelijk is de diffusie-coëfficiënt van NaCl in poreus substraat iets hoger dan de aangehouden 0,018 m² per jaar. Deze figuur geeft echter aan dat ontzilting door diffusie goed kan worden berekend met de bestaande formules. Eveneens kan worden aangegeven hoe de ontzilting op deze plekken in de toekomst zal verlopen.

4.3.3 Diffusie na peilverhoging

Er wordt momenteel sterk overwogen voor het Volkerak-Zoommeer een peilbeheer in te stellen met in de winter een hoger peil dan in de zomer, met als doel op de oevers van het Volkerak-Zoommeer een helofytenvegetatie tot ontwikkeling te laten komen. Het zout dat nog steeds aanwezig is in de (water)bodem van het Volkerak-Zoommeer en op de oevers kan echter een sterke belemmering vormen voor de ontwikkeling van een helofytenvegetatie. Wanneer het peil van het meer in de zomer zou worden verlaagd, kan gedurende een droge zomer het zout door capillair transport hoger in het profiel komen. Een voorbeeld hiervan is gepresenteerd in figuur 4.12. Ditzelfde effect is waargenomen op de lage oevergedeelten die net boven het huidige waterpeil van NAP liggen. Ook hier lopen de chlorideconcentraties in de zomer zeer hoog op (Slager, 1996).

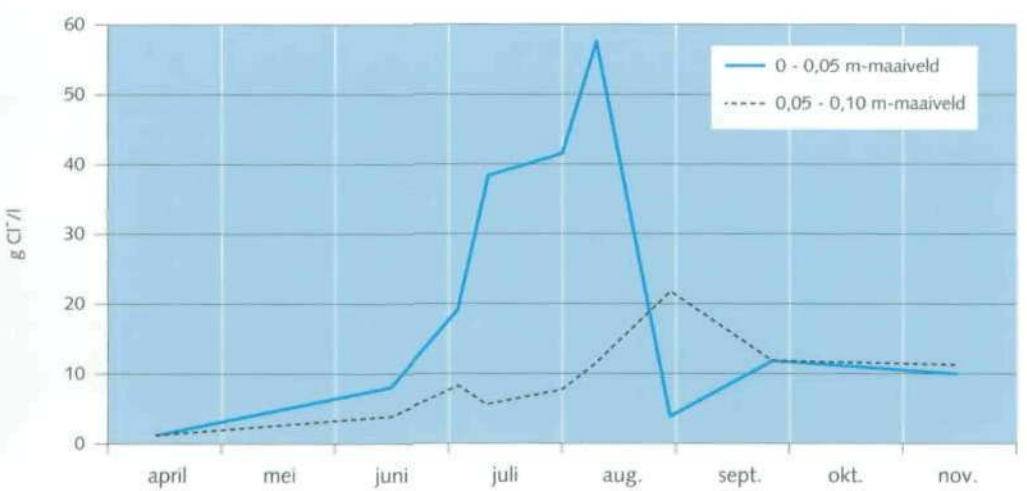
Een tegengesteld effect kan worden bereikt wanneer het waterpeil van het meer wordt opgezet. De bodem van de thans boven de waterlijn gelegen slikken zullen gaan ontzilten door diffusie. De mate waarin ontzilting zal plaatsvinden is afhankelijk van het initiële zoutprofiel en de duur van de inundatie. De diffusie zal het meest zichtbaar zijn in de bovenste lagen van het profiel. Hoe dieper het zout zit, des te kleiner is het effect van diffusie op de ontzilting. Indien het peil in de winter gedurende een periode van 4 maanden wordt opgezet, zal het effect van ontzilting door diffusie tot ongeveer 0,2 m beneden de waterbodem merkbaar zijn (figuur 4.13).

Langere termijn effecten van diffusie op de ontzilting zijn gering. Voor de diepere lagen van het profiel is ontzilting door diffusie een zeer traag proces. Afhankelijk van het initiële profiel zijn de effecten van diffusie in de eerste twee à drie jaar na de inundatie meetbaar. Zodra echter een bodem, waarvan de bovenlaag door diffusie is ontzilt, droog komt te liggen zal in droge perioden de chlorideconcentratie weer toenemen door capillair transport.



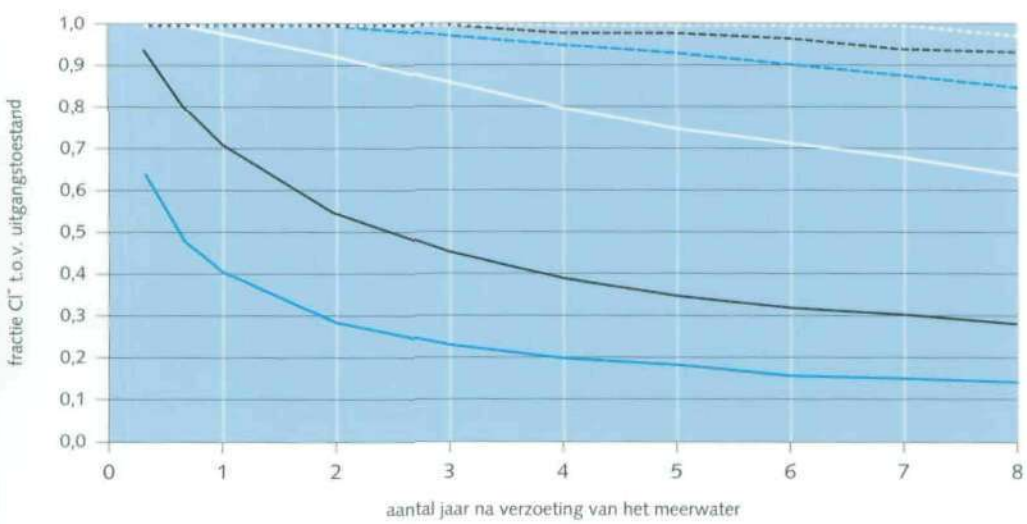
Figuur 4.11
Chlorideconcentratie in de waterbodem na acht jaar diffusie.

Figure 4.11
Chloride concentration in the lake bottom after eight years of diffusion.



Figuur 4.12
Gemeten chlorideconcentratie in het bodemvocht op de Krammerse Slikken op de drooggevalle waterbodem.

Figure 4.12
Measured chloride concentration in the groundwater in the emerged lake bottom of the Krammerse Slikken.



Figuur 4.13
Verandering van chlorideconcentratie in de waterbodem op verschillende dieptes, ten gevolge van diffusie.

Figure 4.13
Change in chloride concentration in the lake bottom at various depths as a result of diffusion.

5 Vegetatie

5.1 Inleiding

In het beleidsplan voor het Volkerak-Zoommeer werd vastgesteld dat de oevers en aangrenzende ondiepe waterzone een natuurfunctie zouden krijgen. Er moest gestreefd worden naar een zo groot mogelijke diversiteit, compleetheid en zelfregulatie van het systeem. De vegetatie speelt hierbij een sleutelrol. Ze vertegenwoordigt zelf een natuurwaarde en schept mogelijkheden voor de ontwikkeling van de fauna die in het ecosysteem thuishoort. De ontwikkeling van de vegetatie is daarom nauwlettend gevolgd. In het rapport "Onderzoeksplan oeverontwikkeling Volkerakmeer en Zoommeer over 1987-1996" is een keuze gemaakt voor de wijze waarop deze ontwikkelingen gevolgd moesten worden (zie paragraaf 1.2). Gekozen werd voor een gebiedsdekkende vegetatiekartering, vegetatieopnamen van permanente quadraten (pq's) en een beschrijving van de vegetatieontwikkeling in een aantal raaien. Deze gegevens waren het uitgangspunt van deze studie.

5.2 Methoden

5.2.1 Permanente Quadraten

Op de oevers zijn een achttal vaste onderzoeksraaien gelegd voor biotisch en abiotisch onderzoek. Deze liggen verspreid over het hele gebied, dwars op de richting van de dijk naar het water (figuur 1.3). Alle kenmerken van de ecotopen van het voormalige getijdengebied zijn zo vertegenwoordigd. In de raaien werden 110 vaste waarnemingsplekken (permanente quadraten = pq's) van 2,5x2,5 m gemarkeerd voor onderzoek naar de autonome vegetatiesuccessie¹¹ in het gebied. In de periode van 1988 tot en met 1991 werden daar jaarlijks tussen eind juli en eind augustus vegetatieopnamen gemaakt, en in het jaar 1994 nog eens. Hierover is tussentijds verslag gedaan door Verkaar (1987) en Ivens (1990, 1991). De vegetatie werd opgenomen aan de hand van de negendelige ordinale schaal van van der Maarel, welke gebaseerd is op die van Braun-Blanquet (van der Maarel, 1979; Braun-Blanquet, 1964). De vegetatieopnamen werden voor deze studie ingedeeld in een aantal vegetatietypen met behulp van het clusterprogramma

TWINSpan (Hill, 1979). In het kader "TWINSpan" wordt dit programma toegelicht en de werkwijze beschreven.

In de pq's zijn ook bodemparameters en grondwaterstanden gemeten en op 26 pq's werden ook gegevens verzameld over de chlorideconcentraties van het bodemvocht (Slager, 1993). De relatie tussen de vegetatieopnamen en het abiotisch milieu van de pq's werd geanalyseerd met behulp van het computerprogramma CANOCO (ter Braak, 1987 & 1994). Een beschrijving van dit programma en de werkwijze wordt gegeven in het kader "CANOCO".

5.2.2 Vegetatiekaarten

In 1989 en 1993 werden ten behoeve van de vegetatiekartering false colour luchtfoto's gemaakt van de drooggevalle oevers van het Volkerakmeer en in 1989 ook van de Prinsesseplaat aan het Zoommeer. Met behulp van deze foto's en veldwaarnemingen werden door de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat twee gebiedsdekkende vegetatiekaarten gemaakt. Voor de gedetailleerde beschrijving van de methodiek wordt verwezen naar Kloosterman (1986). Om de vegetatiekaarten onderling te kunnen vergelijken is het aantal vegetatietypen teruggebracht tot elf. De uiteindelijke vegetatietypen werden gekozen op basis van de TWINSpan van de pq-gegevens.

5.2.3 Proefstroken

Om een goed inzicht in de autonome vegetatie-ontwikkeling in de eerste jaren te krijgen, is in de periode van 1987 tot en met 1991 de vegetatie in zeven proefstroken jaarlijks opgenomen. De ligging en nummering van de proefstroken komen overeen met die van de onderzoeksraaien, waarbij de raai op de Plaat van de Vliet ontbreekt. De proefstroken zijn 200 m breed en hebben een lengte tussen de 600 en 1700 m. Met behulp van een denkbeeldig raster werden de proefstroken door middel van veldwerk gekarteerd per vak van 10x10 m. In 1987 en 1988 zijn de proefstroken gekarteerd aan de hand van vegetatietypen. Hierbij werd gebruik gemaakt van een in 1987 opgestelde typologie, die voor de vegetatie in 1988 werd uitgebreid en aangepast. In 1989 werd afgezien van deze werkwijze. Door de snelle vegetatie-ontwikkeling moest de typologie weer bijgesteld worden, waardoor een onoverzichtelijk geheel van vege-

TWINSpan

TWINSpan (Two Way Indicator Species Analyses) is een computerprogramma dat een groep van vegetatie-opnamen een aantal malen in twee delen opsplijt. Hiertoe worden eerst de opnamen door het programma geclassificeerd. Opnamen die in soortensamenstelling en abundantie van de soorten op elkaar lijken worden in een groep (cluster) bij elkaar geplaatst. Deze indeling wordt gebaseerd op de identificatie van differentiërende soorten. Dit zijn soorten waarvan het presentiepercentage in een bepaald cluster 30% hoger scoort dan in alle andere clusters. De classificatie van de opnamen wordt gebruikt voor de classificatie van de soorten. De soorten die vaak samen in de opnamen voorkomen worden bij elkaar geplaatst.

Het resultaat is een gestructureerde vegetatietabel, waarin een aantal clusters (vegetatietypen) zijn te onderscheiden. Deze clusters kunnen worden gebruikt als basis voor verdere analyses. Met het programma clutab kunnen de differentiërende soorten van de onderscheiden clusters worden achterhaald (Hill, 1979; Sykora, 1993).

Bij de classificatie van de pq-gegevens van het Volkerak-Zoommeer met behulp van TWINSpan, werden alle pq-opnamen die tussen 1988 en 1994 werden gemaakt, meegenomen. Aan een aantal soorten werd een extra gewicht toegekend, waardoor ze zwaarder meetellen in de classificatie van de opnamen. De volgende soorten zijn tweemaal zo zwaar meegeteld: Sierlijk vetmuur (*Sagina nodosa*), Herfstbitterling (*Blackstonia perfoliata subsp. serotina*), Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) en Gewoon Kweldergras (*Puccinellia maritima*). De eerste twee hebben extra gewicht gekregen omdat ze kensoorten zijn van een zeer specifiek en waardevolle vegetatie van duinen en duinvalleien, de laatste twee omdat de aanwezigheid van deze soorten erg bepalend is voor het vegetatietype. Met het zwaarder meetellen van deze soorten konden in de gestructureerde vegetatietabel vegetatietypen worden onderscheiden, die in het veld ook als zodanig waren te herkennen.

tatietypen zou ontstaan. Gekozen werd voor het noteren van de belangrijkste hoofd- en bijsoorten. Ook de presentie van houtigen en van enkele geselecteerde soorten werd genoteerd. Over deze gegevens is in 1992 door Bekker & Spaans gerapporteerd. In 1992 werd de vegetatie op vier van deze proefstroken nog eens vastgelegd door middel van luchtfoto's (schaal 1:2000) en veldwaarnemingen. Hiermee zijn gebiedsdekkende kaarten gemaakt (Heidemij & LB&P, 1992).

5.3 Onderscheiden vegetatietypen

De vegetatieopnamen van de pq's, die gedurende vijf jaar zijn gemaakt, zijn met behulp van het programma TWINSpan geclusterd tot een negental vegetatietypen. In tabel 5.1 worden de dominante en kenmerkende plantensoorten van de onderscheiden vegetatietypen genoemd. In bijlage VII is de bijbehorende synoptische tabel opgenomen, waarin de opnamen van de verschillende vegetatietypen zijn samengevat door de soorten daarvan weer te geven met hun presentieklasse. De vegetatietypen die zijn onderscheiden, hebben als uitgangspunt gediend bij de vereenvoudiging van de legenda van de vegetatiekaarten. De vereenvoudigde vegetatiekaarten van 1989 en 1993 zijn weergegeven in respectievelijk bijlage VIII en IX. Aan de vegetatie-eenheden is het vegetatietype "vege-

tatie met houtigen" toegevoegd. Op de plekken die als vegetatie met houtigen werden aangemerkt was de jonge opslag van houtigen vaak nog nauwelijks hoger dan de kruidlaag. Deze plekken werden als vegetatie met houtigen aangemerkt omdat bij een onbelemmerde ontwikkeling binnen enkele jaren een hoogopgaand struweel zal ontstaan.

5.4 Waarde van de vegetatietypen

Aan een vegetatietype kan vanuit verschillende gezichtspunten waarde worden gehecht, zoals botanische waarde, waarde voor de fauna, landschappelijke waarde en historische waarde. De waarde die aan een vegetatietype wordt toegekend zal hier worden beperkt tot de waarde van de plantensoorten die in het vegetatietype voorkomen. Een plantensoort wordt in dit rapport als waardevol aangemerkt wanneer deze:

- in Nederland zeldzaam tot minder algemeen is (uurhokfrequentieklasse 1 tot en met 5; CBS, 1993);
- in hun voortbestaan bedreigd wordt (uitgedrukt door de rode lijst van bedreigde plantensoorten-aanduiding; Weeda *et al.*, 1990);
- authentiek is voor Nederland en ons land internationaal gezien een relatief grote betekenis heeft voor het behoud van deze soort (getoetst aan het i-criterium¹²).

CANOCO

CANOCO (CANONical Community Ordination) is een computerprogramma waarmee vegetatie-opnamen volgens diverse methoden kunnen worden gerangschikt. Met deze rangschikkings- oftewel ordinatiemethoden kan een relatie worden gelegd tussen de soortensamenstelling van de opnamen en milieuv variabelen. In dit rapport is op basis van de beschikbare gegevens gekozen voor een CCA-ordinatie (Canonical Correspondence Analysis). CCA is een directe ordinatiemethode waarbij soort- en milieugegevens van vegetatie-opnamen tegelijk worden geanalyseerd. Hierbij wordt een verband volgens een optimumcurve tussen de afzonderlijke soorten en een milieuv variabele verondersteld. De soorten worden op basis van de frequentie waarmee ze samen voorkomen en de milieufactoren waarbij ze voorkomen gerangschikt in een ruimte met zoveel dimensies (assen) als er soorten zijn. De rangschikking van een opname in deze ruimte wordt afgeleid van de soorten die erin voorkomen. Het gevolg is dat opnamen die veel op elkaar lijken dicht bij elkaar liggen, en opnamen die veel van elkaar verschillen verder van elkaar verwijderd zijn. De grootste spreiding komt hierbij op de eerste as tot uitdrukking, de spreiding op de tweede as is groter dan die op derde en deze is weer groter dan op de vierde as. In een ordinatiediagram worden alleen de eerste twee assen weergegeven met de verdeling van de opnamen en de soorten over deze assen. De assen in een ordinatiediagram hebben geen betekenis. De ligging van de opnamepunten ten opzichte van elkaar echter wel. De assen kunnen ecologisch worden geïnterpreteerd aan de hand van de correlatie van de meegewogen milieufactoren met deze assen. CCA berekent dan welke (combinatie van) milieufactoren, het verspreidingspatroon maximaal verklaren. De berekende correlaties van de milieufactoren met de assen kunnen in het diagram worden weergegeven door middel van pijlen. De x- en y- component van een pijl drukt de correlatie van de milieuv variabele uit met respectievelijk de eerste en tweede as. De ligging van de opnamen ten opzichte van deze pijlen hebben dus wel een betekenis. Hoe meer de abundantie van een soort samenhangt met een milieuv variabele, hoe verder de soort van het centrum van het assenstelsel geplaatst wordt, in de richting van de pijlpunt, in het geval van negatieve correlatie in de tegenovergestelde richting. Wanneer een soort zich in het centrum van de assen bevindt, hangt de abundantie daarvan niet samen met deze weergegeven milieuv variabelen. Hetzelfde geldt voor de opnamen; de plaats daarvan in het assenstelsel wordt immers afgeleid van de plaats van de soorten die in een opname voorkomen in diezelfde ruimte.

Het is mogelijk te toetsen of het gevonden verspreidingspatroon niet aan toeval is toe te schrijven met behulp van de Monte Carlo permutatietest.

Voor meer details omtrent de verwerking van vegetatiegegevens volgens CANOCO, wordt verwezen naar ter Braak (1987 & 1994) en Jongman *et al.* (1995).

Met de pq-gegevens van het Volkerak-Zoommeer, waarvan behalve de soortensamenstelling ook abiotische gegevens bekend waren, werd een CCA-ordinatie uitgevoerd. Hierbij werden een drietal opnamen buiten beschouwing gelaten. Deze pq's lagen in ondiep water, en waren enkel begroeid met *Snaveurupia* (*Ruppia maritima*). Deze opnamen weken wat betreft de soortensamenstelling zoveel af van andere vegetatie-opnamen, dat in de rangschikking van de opnamen langs de assen vooral het verschil tussen deze twee opnamengroepen tot uitdrukking werd gebracht, en andere verschillen wegvielen.

Oevervegetatie

Bank vegetation

Vegetatie met vooral Heen (*Bulboschoenus maritimus*) en Moerasandijvie (*Tephrosia palustris*). Soorten die er ook vaak voorkomen zijn Blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus sceleratus*) en Veerdelig tandzaad (*Bidens tripartita*).

Zilte pioniervegetatie

Pioneer vegetation of saline habitats

Open vegetatie gedomineerd door Kortarig en Langarig zeekraal (*Salicornia europaea* en *Salicornia procumbens*), samen met Melkkruid (*Suaeda maritima*), Zilte schijnspurrie (*Spergularia salina*) en Zulte (*Aster tripolium*). Soms met Kweldergras (*Puccinellia maritima*) of Spiesmelde (*Atriplex prostrata*).

Zilt grasland

Grassland of saline habitats

Grasland gedomineerd door Zulte (*Aster tripolium*), Kweldergras (*Puccinellia maritima*) en Zilte schijnspurrie (*Spergularia salina*). Komt voor samen met kortarig zee- kraal (*Salicornia europaea*) of Spiesmelde (*Atriplex prostrata*).

Spiesmeldevegetatie

Hastate orache vegetation

Vegetatie gedomineerd door Spiesmelde (*Atriplex prostrata*). Ook hier komen ruigte- en graslandsoorten in een lage bedekking voor zoals Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), Straatgras (*Poa annua*) en Reukeloze kamille (*Tripleurospermum maritimum*).

Kruidenrijk grasland

Herbaceous grassland

Soortenrijke grazige vegetatie met Straatgras (*Poa annua*), Veldbeemdgras (*Poa pratensis*) en Ruw beemdgras (*Poa trivialis*) met uiteenlopende kruiden van schrale of ruige vegetaties: Akker- en Speerdistel (*Cirsium arvense* en *Cirsium vulgare*), Viltige basterdwederik (*Epilobium parviflorum*), Kantige basterdwederik (*Epilobium tetragonum*), Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*), Reukeloze kamille (*Tripleurospermum maritimum*), Harig wilgenroosje

(*Epilobium hirsutum*), Hoornbloem (*Cerastium fontanum*), Bleekgele droogbloem (*Gnaphalium luteo-album*).

Schraallandvegetatie

Rough meadow

Open, grazige vegetatie met soorten als Veldbeemdgras (*Poa pratensis*), Fioringras (*Agrostis stolonifera*), Straatgras (*Poa annua*), Rood zwenkgras (*Festuca rubra*), Canadese fijn- nstraal (*Conyza canadensis*), Brede weegbree (*Plantago major*), Fraai duizendguldenkruid (*Centaurea pulchellum*), Klein streepzaad (*Crepis canadensis*), Reukeloze kamille (*Tripleurospermum maritimum*) en bladmos.

Ruigtevegetatie

Rough growth vegetation

Hoogopschietende vegetatie, vaak met Akkerdistel (*Cirsium arvense*), Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*) en Kantige basterdwederik (*Epilobium tetragonum*). Ook met Strandkweek (*Elytrigia atherica*), Speerdistel (*Cirsium vulgare*) en Viltige basterdwederik (*Epilobium parviflorum*).

Droog rietland

Dry reedlands

Vegetatie gedomineerd door Riet (*Phragmites australis*). Hierin soms ook ruigtekruiden of graslandsoorten, zoals Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), Akkerdistel (*Cirsium arvense*) of Fioringras (*Agrostis stolonifera*) in lage bedekking aanwezig.

Duinrietvegetatie

Bush grass vegetation

Hoogopschietende vegetatie van Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) met Akkerdistel (*Cirsium arvense*), Speerdistel (*Cirsium vulgare*) en Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*).

Vegetatie met houtigen

Ligneous Vegetation

Vegetatie van halfopen of gesloten struweel met soms wat lage bomen (bedekking van houtigen > 20%). Voornamelijk: Schietwilg (*Salix alba*), Katwilg (*Salix viminalis*), Boswilg (*Salix caprea*), Duindoorn (*Hippophae rhamnoides*) en Gewone vlier (*Sambucus nigra*).

Tabel 5.1

Omschrijving van de vegetatietypen die in de legenda van de vegetatiekaarten voorkomen. Deze komen overeen met de vegetatietypen die met behulp van TWINSpan onderscheiden zijn; alleen 'Vegetatie met houtigen' is hieraan toegevoegd. Dit vegetatietype is met TWINSpan niet onderscheiden, maar komt wel op de vegetatiekaarten voor.

Table 5.1

Description of the vegetation types in the key to the vegetation maps. They correspond with the vegetation types differentiated with the help of TWINSpan; only 'Ligneous Vegetation' has been added. This vegetation type has not been differentiated with TWINSpan, it does, however, occur on the vegetation maps.

Op de schrale bodem van de Plaat van de Vliet komt Strandduizendguldenkruid veelvuldig voor (foto 1996; S. van Rooij).



De plantensoorten die op de rode lijst voorkomen, zijn soorten die behalve zeldzaam zijn, in Nederland ook een dalende trend vertonen. Deze aanduiding is daarom het meest veelzeggend voor de waarde van een soort.

Uit de soortenlijst van het Volkerak-Zoommeer zijn de soorten geselecteerd die aan minstens één van deze criteria voldoen en die redelijk frequent in het gebied voorkwamen (zie bijlage X). Deze soorten zijn aan één of meer specifieke vegetatietypen toegewezen. In tabel 5.2 zijn het aantal soorten uit deze selectie per vegetatietype weergegeven. Een aantal soorten voldeden aan meer dan één criterium. Uit deze tabel blijkt dat in het vegetatietype "schraallandvegetatie" het grootste aantal waardevolle soorten voorkomen (11). Hiervan komen er vier op de rode lijst voor, namelijk Herfstbitterling (*Blackstonia perfoliata subsp. serotina*), Fraai duizendguldenkruid (*Centaurium pulchellum*), Parnassia (*Parnassia palustris*) en Sierlijk vetmuur (*Sagina nodosa*). In het vegetatietype zilt grasland zijn vier soorten als waardevol aangemerkt, waarvan er slechts één, Fraai duizendguldenkruid, op de rode lijst van bedreigde plantensoorten voorkomt. Andere vegetatietypen herbergen ook een aantal

waardevolle soorten, maar deze komen niet voor op de rode lijst. De schraallandvegetatie en het zilte grasland vertegenwoordigden in de beschreven periode dus de grootste botanische waarde in het gebied.

Het Volkerak-Zoommeer is een gebied dat door belangrijke aantallen eenden en ganzen wordt bezocht. Deze vogelbevolking vertegenwoordigt een groot deel van de natuurwaarde van het gebied. Het gebied wordt met name in de winter gebruikt om er te foerageren en te rusten. De genoemde soorten foerageren vooral op de pionier- en grazige vegetaties. Ook maken ganzen gebruik van de helofytenvegetatie, waarin ze tijdens hun ruiperiode beschutting en voedsel vinden. Ruigere begroeiing heeft minder waarde voor deze vogelsoorten. Daarnaast kent het gebied nog altijd een belangrijke waarde als broedgebied voor kale grondbroeders (Sterns, Plevieren en Kluten). Naarmate nieuw aangelegde zandplaten achtereenvolgens door pioniers, grazige vegetaties en ruigtebegroeiing overgroeid raken, zal deze waarde van het gebied naar verwachting verdwijnen.

aantal soorten: vegetatietypen:	aantal soorten waarvan UFK ≤ 5	aantal soorten met rode lijst classificatie	aantal i-soorten	Totaal aantal waardevolle soorten
schraallandvegetatie	7	4	5	11
zilt grasland	4	1	3	4
zilte pioniervegetatie	2	-	2	3
oevervegetatie	1	-	1	2
kruidenrijk grasland	1	-	1	2
duinrietvegetatie	-	-	3	3
ruigtevegetatie	-	-	2	2
spiesmeldevegetatie	-	-	1	1
droog rietland	-	-	-	0
vegetatie met houtigen	-	-	-	0

Tabel 5.2
Aantal soorten per vegetatietype die voldoen aan minstens één van de drie criteria voor waardevolle soorten.

Table 5.2
Number of species per vegetation type which comply with at least one of the three criteria for rare species.

5.5 Vegetatieveranderingen

5.5.1 De oevergebieden

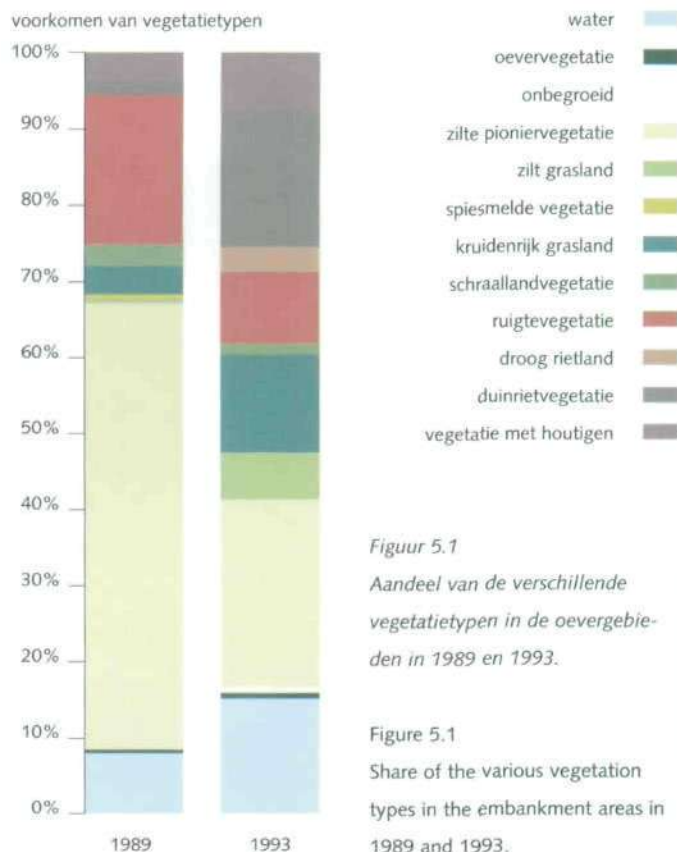
Algemeen

Na de afsluiting van de zee door de Philipsdam was de vegetatie op de voormalige schorren en slikken voortdurend in ontwikkeling. Vegetatietypen, die verschilden in structuur en soortensamenstelling, wisselden elkaar in snel tempo af. Het areaal dat de verschillende vegetatietypen op de oeverlanden in 1989 en 1993 bedekten, is weergegeven in figuur 5.1.

Hierin is te zien dat in 1989, twee jaar na afsluiting van de zee, zilte pioniervegetaties met soorten als Zeekraal (*Salicornia spec.*) en Melkkruid (*Suaeda maritima*) in een groot deel van het gebied het beeld bepaalden. De laaggelegen delen, de in het noorden van het gebied minder laaggelegen delen en de schorren, waren volledig begroeid met deze pioniersoorten. Op de voedselrijkere schorren (op de Hellegatsplaten) kwamen deze zeer weelderig tot ontwikkeling. Op de zuidelijke schorren die snel ontzilt waren kwam een zoete pioniervegetatie op (spiesmeldevegetatie). Deze werd na korte tijd opgevolgd door ruigtevegetatie. In 1989 zijn de schorren bijna volledig begroeid met ruigtevegetatie, met soorten als Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*) en Akkerdistel (*Cirsium arvense*).

Op de wat hogergelegen en zandige delen van de schorren, die snel ontzilt waren, kwamen wilgen tot ontwikkeling. Op de Hellegatsplaten stonden in 1989 al op grote delen jonge wilgen. Ook op de zuidelijke schorren ontwikkelden zich op de schorranden, die zandiger en iets hogergelegen zijn dan de rest van het schor, een beeldbepalende smalle strook wilgen. Dit is goed te zien op de vegetatiekaart van 1993 (bijlage IX). In 1993 was het voorkomen van zilte pioniers in het hele gebied sterk afgenomen tot ongeveer éénderde van het gebied. Alleen op de Krammerse Slikken en delen van de Hellegatsplaten kwamen nog grote oppervlakten van dit vegetatietype voor.

Op de snel ontzilte schorren in het zuiden van het gebied was in 1993 op de lagere en lutumarmere schordelen een uitge-



streckte vlakte van duinrietvegetatie ontstaan. Op de hogere en lutumrijkere schorren domineerde in 1989 ruigtevegetatie, met op de hoogste delen van de schorren duinrietvegetatie. Deze duinrietvegetatie had zich daar in 1993 fors uitgebreid ten koste van de ruigtevegetatie.

In 1993 was het oppervlak van grazige vegetatietypen en hogeropgaande vegetatietypen met een zoet karakter in het hele gebied sterk toegenomen. De vegetatie werd diverser en soortenrijker, en door een toename van zilt grasland en schraallandvegetatie kon de vegetatie steeds meer waardevolle plantensoorten herbergen (figuur 5.1; bijlage VIII & IX). In bijlage XI is een lijst opgenomen van de plantensoorten die in de periode van 1989 tot 1994 voorkwamen in de oevergebieden.



De eerste jaren na de afsluiting bepaalde de zilte pioniervegetatie het beeld. Duidelijk herkenbaar zijn de roodaangelopen Zeekraal en het witte zaadpluis van Zulte (foto 1996; Krammerse Slikken; S.van Rooij).

Door het reliëf op de schorren komen verschillende milieus dicht bij elkaar voor, waardoor ook verschillende vegetatietypen zich vlak naast elkaar ontwikkelen. Bij deze voormalige kreek op de Dintelse Gorzen komen grazige, ruigte- en duinrietvegetaties en vegetatie met houtigen op korte afstand van elkaar voor (foto 1996; H. Slager).



Veranderingen per bodemtype

De veranderingen in de vegetatie vonden niet in het hele gebied op dezelfde manier of met dezelfde snelheid plaats (bijlage VIII & IX). Op grond van bodemsoort en hoogteligging zijn de oevergebieden in een vijftal bodemtypen ingedeeld (zie paragraaf 2.4). Uit hoofdstuk 3 en 4 bleek dat deze bodemtypen een verschillend grondwaterregime hebben, met als gevolg daarvan een verschillende ontziltingssnelheid van de bodem. De heersende abiotische omstandigheden hebben een sterke invloed op de vegetatie-ontwikkeling. Daarom worden de veranderingen in de vegetatie per bodemtype afzonderlijk behandeld (figuur 5.2):

Bodemtype 1:

De schorren aan de zuidkant van het meer, waar de kleilaag op een zandpakket is afgezet, ontziltten in de eerste jaren vrij snel (zie paragraaf 4.1). In 1989 waren deze schorren voor het grootste deel met ruigte begroeid en werd nog slechts een klein gedeelte (ongeveer 15%) bedekt door zilte pioniervegetatie. In 1993 was de ruigtevegetatie voor een groot deel overgegaan in de eveneens hoogopgaande vegetatietypen duinrietvegetatie en vegetatie met houtigen. Een klein deel van de ruigtevegetatie (ongeveer eentiende) ging over in kruidenrijk grasland. De zilte pioniervegetatie ging voor het grootste deel over in duinrietvegetatie. In totaal was slechts ongeveer 5% van dit bodemtype in 1993 nog begroeid met zilte pioniers. Deze kwamen voor in de voormalige krekken.

Bodemtype 2:

De schorren aan de noordkant van het Volkerakmeer, waar de klei tot diep in het profiel voorkomt werd in 1989 nog gekenmerkt door zilte vegetatie: meer dan de helft van het oppervlak was begroeid met zilte pioniersoorten (55%) en ongeveer 10% werd bedekt door zilt grasland. Daarnaast was dit bodemtype begroeid met enige ruigte- (ongeveer 10%) en duinrietvegetatie (ongeveer 5%). Al deze vegetatietypen ontwikkelden zich in 1993 voornamelijk tot ruig-

tevegetatie (totaal zo'n 45% van het oppervlak). Uit de zilte pioniervegetatie ontwikkelde zich een grote oppervlakte schraallandvegetatie (25 van de 60%). Het kleipakket heeft een dun zandig bovenlaagje waarop dit vegetatietype tot ontwikkeling kon komen. Ook ontstond er droog rietland uit de zilte pioniervegetatie.

Duinrietvegetatie ontstond, maar verdween op andere plekken weer, en is in 1993 in mindere mate tot ontwikkeling gekomen dan op de (beter ontwaterende) schorren met een zandige ondergrond.

Bodemtype 3:

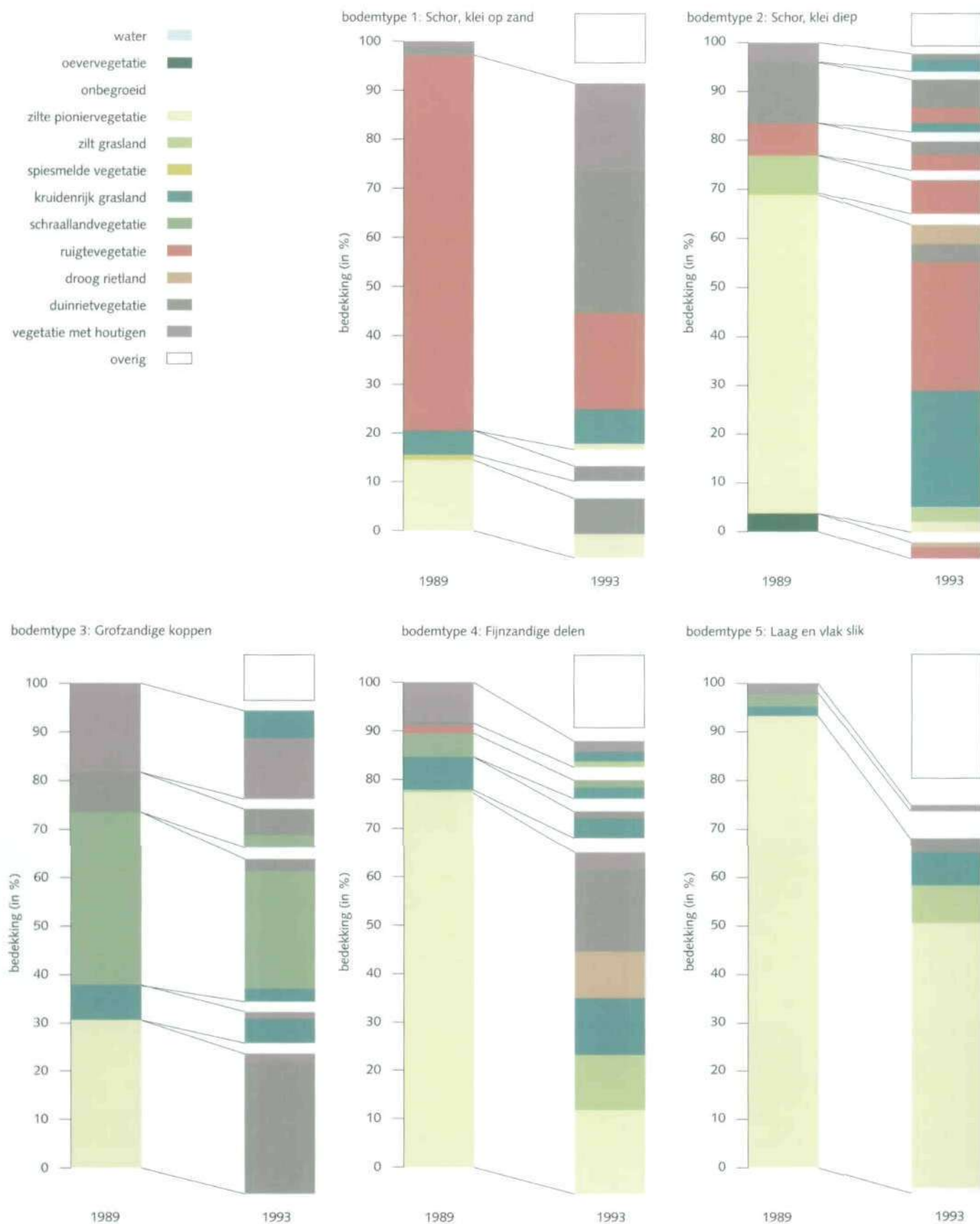
De grofzandige delen waren in 1989 voor ongeveer één-derde begroeid met zilte pioniersoorten, en eenzelfde deel was bedekt met schraallandvegetatie. In 1993 was alle zilte pioniervegetatie bij dit bodemtype verdwenen; deze vegetatie had zich in 1993 grotendeels ontwikkeld tot een duinrietvegetatie. De in 1989 aanwezige grazige vegetatietypen, duinrietvegetatie en vegetatie met houtigen bleken in 1993 grotendeels standgehouden te hebben. De hoogopgaande vegetatietypen namen enigszins af in oppervlakte, dit ten gunste van grazige vegetatie.

Bodemtype 4:

De fijnzandige en minder hooggelegen delen waren in 1989 voor driekwart begroeid met zilte pioniervegetatie. Daarnaast kwam vooral grazige vegetatie en vegetatie met houtigen voor. In 1993 was de zilte pioniervegetatie overgegaan in een scala van vegetatietypen: verschillende typen graslanden, riet- en duinrietvegetatie en vegetatie met houtigen. In 1993 heeft de vegetatie op dit bodemtype vooral een grazig karakter. Opvallend is de afwezigheid van ruigtevegetatie.

Bodemtype 5:

De laaggelegen slikken waren in 1989 vrijwel geheel begroeid met zilte pioniers. Vier jaar later domineerden de zilte pioniervegetatie nog steeds, en kwam daarnaast vooral grazige vegetatie voor (figuur 5.2).



Figuur 5.2

Vegetatieveranderingen tussen 1989 en 1993 voor de vijf onderscheiden bodemtypen (de vegetatietypen die in 1993 uit een vegetatietype van 1989 waren ontstaan en minder dan 1% van het bodemtype bedekten zijn samengevoegd onder 'overig').

Figure 5.2

Vegetation changes between 1989 and 1993 for the five different soil types (the vegetation types which originated in 1993 from a vegetation type in 1989 and which covered less than 1 per cent of the soil type have been grouped under 'others').

Successiereeks

Een nauwkeuriger beeld van de veranderingen in de vegetatie in deze periode kan worden geschetst aan de hand van de pq-gegevens en de gegevens van de proefstroken, die bijna jaarlijks zijn verzameld. In bijlage XIII zijn de vegetatietypen weergegeven die in de opnamejaren in de pq's werden aangetroffen.

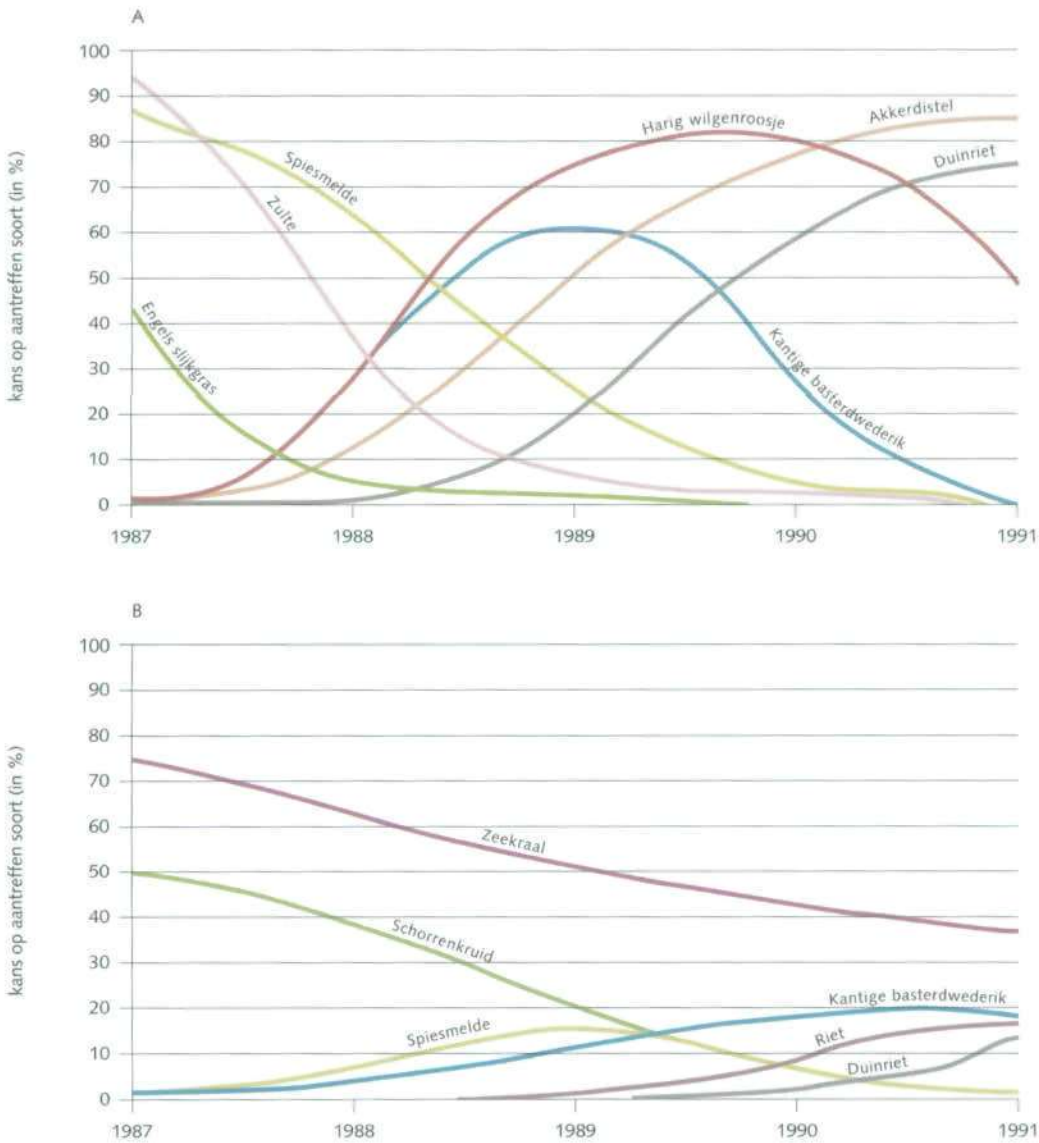
Uit de resultaten van de proefstroken blijkt dat de pioniersoorten niet allemaal tegelijk hun maximale abundantie¹³ vertoonden, maar dat de verschillende soorten in verschillende jaren hun maximum bereikten (figuur 5.3). Het vegetatietype waarin deze soorten voorkwamen veranderde echter niet, waardoor het betreffende vegetatietype steeds een steeds wisselende samenstelling had.

Het tijdstip waarop een soort zijn hoogtepunt qua voorkomen bereikte, verschilde tussen de voormalige schorren en slikken, en was ook afhankelijk van de lutumrijkheid van de bodem (Bekker & Spaans, 1992).

Op de voormalige schorren (bodemtype 1 en 2) kwamen ach-

tereenvolgens in 1987/1988 de pioniersoorten zoals Engels slijkgras (*Spartina anglica*), Zulte (*Aster tripolium*) en Spiesmelde (*Atriplex prostrata*) massaal tot ontwikkeling. In 1989 kwamen ruigtesoorten op zoals verschillende soorten Basterdwederik (*Epilobium spec.*). In 1990 en 1991 piekten distels en Duinriet, waarna in 1991 wilgen (*Salix spec.*) en Grote brandnetel (*Urtica dioica*) begonnen op te komen (figuur 5.3a). Op het voormalige slik (bodemtype 3, 4 en 5) namen Schorrenkruid (*Suaeda maritima*) en Zeekraal (*Salicornia spec.*), pioniersoorten van een zilte bodem, na een piek in 1987 langzaam af. Er trad ook hier een piek op van Spiesmelde in 1989-1990, maar veel lager dan op de schorren het geval was, en bovendien ook twee jaar later. In 1990-1991 trad er een piek in het voorkomen van bladmosen op. De ruigtesoorten begonnen ook hier de zilte pioniersoorten rond 1990 op te volgen, een jaar later dan op de schorren. Ook de opvolging door Riet (*Phragmites australis*) en Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) trad later op (figuur 5.3b).

In de eerste vijf jaren kwamen verschillende soorten Beemdgras (*Poa spec.*) tot ontwikkeling, vooral op de voormalige slikken.



Figuur 5.3
Verandering in abundantie van soorten op: (A) het voormalige schor; (B) het voormalige slik. De curves geven de kans op het voorkomen van de aangegeven soorten in de vakken van 10x10 m van de proefstroken weer (uit: Bekker & Spaans, 1992).

Figure 5.3
Change in the abundance of species on: (A) the former salt marshes; (B) the former tidal flats. The curves indicate the probability of occurrence of the indicated species in the 10 x 10 m squares in the trial strips (from: Bekker & Spaans, 1992).

Bij nadere beschouwing van de pq's per bodemtype kan de opeenvolging van de vegetatietypen op de verschillende bodemtypen worden vergeleken:

Bodemtype 1:

Op het schor met klei op zand vond binnen de pq's een snelle successie van de vegetatie plaats. In 1988 was nog eenderde van de pq's begroeid met zilte vegetatie (voornamelijk zilt grasland), de rest was begroeid met spiesmelde- of ruigte-vegetatie. Binnen de pq's is een successiereeks te zien van achtereenvolgens zilte pioniervegetatie, zilt grasland, spiesmeldevegetatie, ruigtevegetatie naar duinrietvegetatie, waarbij vaak successie-stadia werden overgeslagen. Opvallend is dat bijna alle pq's gedurende enkele jaren waren begroeid met ruigtevegetatie. In 1994 had de vegetatie zich op de meeste pq's ontwikkeld tot duinrietvegetatie.

Bodemtype 2:

De vegetatie binnen de pq's op de noordelijke schorren, waar klei tot diep in het profiel voorkomt en waarvan het bovenste bodemlaagje op sommige plaatsen toch vrij lutumarm is, ontwikkelde zich de eerste jaren volgens dezelfde successiereeks van zilte pioniers naar zilt grasland. De verandering van successiestadium vond er over het algemeen echter in een langzamer tempo plaats. Zo hield zilt grasland op enkele pq's tot in 1990 stand. Daarna ontwikkelden de pq's met zilt grasland zich tot kruidenrijk grasland en schraallandvegetatie. De fase van kruidenrijk grasland was echter kortstondig, en werd binnen de pq's maximaal gedurende 1 jaar aangetroffen. In 1994 waren de meeste pq's begroeid met schraallandvegetatie, met name op de plekken waar de bovenste laagje lutumarm was.

Bodemtype 3:

Op de grofzandige delen was de vegetatie binnen de pq's in 1988 al in het zoete pionierstadium, die de pq's op de hiervoor genoemde bodemtypen vaak pas later bereikten. Ze waren in 1988 allemaal begroeid met een zoete pioniervegetatie met Spiesmelde. De successie die daarna optrad en het tempo waarin verschillende stadia elkaar opvolgden is vergelijkbaar met die van de fijnzandige delen.

Bodemtype 4:

Op de fijnzandige delen vond dezelfde successiereeks plaats als op de schorren van bodemtype 2. De fase van kruidenrijk grasland duurde er echter langer. De pq's waren vaak 2 of 3 jaar met dit vegetatietype begroeid.

Bodemtype 5:

De pq's op de lage slikken bleven tot in 1994 begroeid met zilte pioniervegetatie of zilt grasland. Enkele pq's hadden zich in 1994 ontwikkeld tot schraallandvegetatie. De vegetatie binnen de pq's in de drooggevallene kreek die de schorren doorsnijden, lieten eenzelfde ontwikkeling zien als de vegetatie op de lage slikken. De vegetatie binnen de drooggevallene kreek had in 1994 nog een zilt karakter.

Uit de opeenvolging van de vegetatietypen binnen de pq's kunnen met enige voorzichtigheid twee successiereksen worden gedistilleerd;

De volgende successiereeks vond plaats op de snel ontziltende en voedselrijke bodem van de schorren (bodemtype 1). De vegetatietypen die elkaar opvolgden waren:

zilt grasland

'88



spiesmeldevegetatie '88/'89



ruigtevegetatie

'90/'91



duinrietvegetatie

'94





Op de schorren met een dik kleipakket in het profiel en de zandige delen (*bodemtypen 2, 3 en 4*) volgden de volgende vegetatietypen elkaar op (stadia die tussen haakjes zijn weer-gegeven kwamen minder vaak voor):



	<i>bodemtype:</i>		
	2	3	4
zilt pioniervegetatie	'88		'88
↓			
zilt grasland	'89/'90		'89
↓			
(spiesmeldevegetatie)	('90)	'88	'88/'89
↓			
kruidenrijk grasland		'89/'90/'91	'90/'91
↓			
schraallandvegetatie	'91/'94	'94	'91/'94
↓			
(duinrietvegetatie)			'94

Het specifieke bodemtype lijkt de duur van de successiestadia te bepalen: op de schorren (*bodemtype 1*) bleef de vegetatie langer zilt dan op de zandige delen op respectievelijk fijnzandige delen en de grofzandige delen (*bodemtype 4 en 3*). Op deze plekken bleef de vegetatie langer in het stadium van kruidenrijk grasland.

De successiereeks die op de lage slikken (*bodemtype 5*) optrad was:

zilde pioniervegetatie	'88/'89/'90/'91
↓	
zilt grasland	'94

Dit is het begin van dezelfde successiereeksen die op de andere delen zijn opgetreden. De vegetatie had zich hier echter nog niet verder ontwikkeld.

5.5.2 De eilanden

Algemeen

In de periode van 1991 tot en met 1995 zijn in het Volkerak-Zoommeer ongeveer 35 eilandjes aangelegd op voormalige intergetijdenplaten, die na afsluiting permanent onder water waren verdwenen (figuur 2.2). De aanleg van deze eilanden dient verschillende doelen (zie paragraaf 1.1).

Het sediment waarmee de eilanden werden opgespoten was gebiedseigen grond. Het opgespoten sediment was zandig en bevatte nog veel zout. Tijdens het opspuiten is waarschijnlijk veel van dit zout al uitgespoeld. De zandige bodem was goed doorlatend zodat ontzilting snel verliep. Alleen op delen van de eilandjes waar zich fijner materiaal verzamelde was de bodem dicht en bleef het langer zout.

De eilanden variëren in grootte van 0,04 tot 11,40 ha (Muller, 1996a). Ze verschillen onderling in leeftijd, maar de ontwikkeling van de vegetatie in de tijd komt op de verschillende eilanden goed overeen (De Groene Ruimte, 1995). De ontwikkeling van de vegetatie op de eilanden week enigszins af van de ontwikkeling op de oevers van het Volkerak-Zoommeer. Door een zeer snelle ontzilting van de zandige, goed doorlatende bodem van de eilandjes ontwikkelde zich er een hele andere (pionier)vegetatie dan op de oevergebieden. Op de eilanden kwam naast een zilt/brakke pioniervegetatie vooral een zoete (pionier)vegetatie tot ontwikkeling. Tijdens het eerste groeiseizoen kwam een zoete pioniervegetatie met soorten als Zeegroene ganzenvoet (*Chenopodium glaucum*), Goudzuring (*Rumex maritimus*), Blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus sceleratus*) en Moerasandijvie (*Tephrosia palustris*) tot ontwikkeling. Ook kwamen hier en daar wilgen op. In het tweede groeiseizoen domineerden kruidenrijk grasland en schraallandvegetatie. Het jaar daarop bleef de vegetatie grotendeels grazig maar ontstonden er al echte wilgenstruwelen en ook riet-

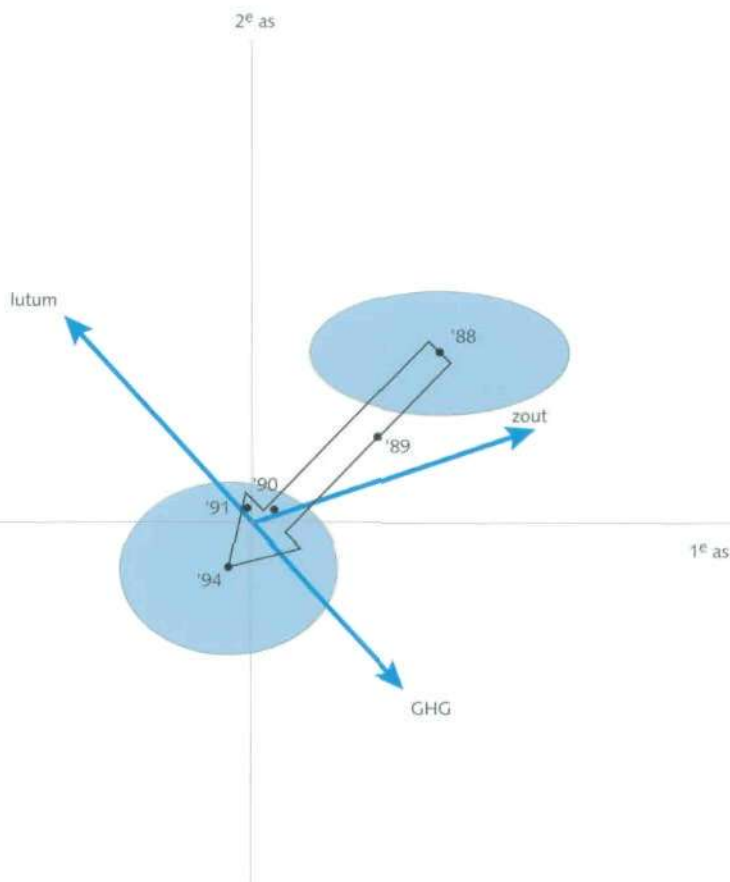
vegetatie. Over het algemeen werd de vegetatie op de eilandjes gekenmerkt door soorten van een zoet en enigszins voedselarm milieu. Soorten van zilt milieu waren in het vierde groeiseizoen inmiddels verdwenen. In het vijfde en zesde groeiseizoen waren de eilanden grotendeels begroeid met ruigte, schraallandvegetatie en wilgen (De Groene Ruimte, 1995). De vegetatie van de oevergebieden bestond in hetzelfde groeiseizoen nog uit plantensoorten van een zilt en brak milieu. De zilte vegetatie kon op de slikken van de oevergebieden in aanzienlijke oppervlakten tot in 1995 (het negende groeiseizoen) standhouden. In bijlage XII is apart een soortenlijst toegevoegd van de plantensoorten die bij de vegetatiekartering van de eilanden in 1995 werden aangetroffen.

5.6 Relatie abiotisch milieu en vegetatie-succesie

Door het optreden van successie is de vegetatie op veel plekken in de loop van de jaren sterk veranderd. De opnamen van de pq's verschillen door de jaren heen sterk in soortensamenstelling. In hoeverre dit samenhangt met de milieuvariabelen kan inzichtelijk worden gemaakt met een CCA-plot (zie kader CANOCO).

In figuur 5.4 is in een CCA-plot de gemiddelde score van de opnamen voor de verschillende opnamejaren weergegeven. Voor de jaren 1988 en 1994 is het 95%-waarschijnlijkheidsgebied rond de gemiddelden aangegeven. De correlaties van de milieuvariabelen met de eerste 2 assen zijn in figuur 5.4 door middel van pijlen weergegeven; de component van deze pijl op de 1^{ste} of 2^{de} as geeft de grootte van de correlatie met de betreffende as weer (zie kader "CANOCO"). Zo heeft in deze figuur het zoutgehalte de grootste correlatie met de 1^{ste} as, en het lutumgehalte en GHG met de 2^{de} as. In deze analyse zijn de volgende milieuvariabelen meegewogen: het zoutgehalte van de bodem ("zout"), de gemiddelde hoogste grondwaterstand, welke representatief is voor het grondwaterregime ("GHG") en het lutumgehalte van de bodem in de laag van 0-0,10 m beneden maaiveld ("lutum").

In figuur 5.4 is te zien dat er tussen 1988 en 1994 een significante verandering in de soortensamenstelling van de opnamen is opgetreden. De richting waarin het zwaartepunt van de opnamen in de loop van de tijd is verschoven is tegengesteld gericht aan de pijl van de milieuvariabele "zout", en loodrecht gericht op die van "lutum" en "GHG". De opnamen bevatten in eerste instantie dus veel soorten die bij hoge zoutgehaltes voorkwamen; zouttolerante plantensoorten. In 1994 is het zwaartepunt meer naar het centrum van de plot verschoven; de soorten zijn nu zelfs (gemiddeld) enigszins negatief gecorreleerd met het zoutgehalte. Zouttolerante soorten worden minder abundant, en zoete soorten die zout slechter verdragen komen steeds meer voor. Bij verdere ontzilting is te verwach-



Figuur 5.4

CCA-ordinatiediagram van 108 pq-opnamen die gemaakt zijn tussen 1988 en 1994. Van de opnamen van de verschillende jaren zijn de gemiddelde scores weergegeven, van de opnamen van 1988 en 1994 ook de 95%-betrouwbaarheidsgebieden. De correlatie van een milieuvariabele met de assen is af te lezen aan de richting en de lengte van de pijl van de betreffende milieuvariabele. In de figuur is te zien dat de vegetatie is veranderd van een zilte naar een gedeeltelijk ontzilte vegetatie.

Zout = zoutgehalte van het bodemvocht op 0,20 m beneden maaiveld (representatief voor de laag 0,10 tot 0,40 m beneden maaiveld); GHG = gemiddelde hoogste grondwaterstand (representatief voor het grondwater-regime); Lutum = lutumgehalte van de bodem in de laag van 0-0,10 m beneden maaiveld. Significantieniveau (berekend met de Monte Carlo permutatietest) van de 1^{ste} as, $p < 0,01$, over all test, $p < 0,01$.

Figure 5.4

CCA ordination diagram of 108 permanent quadrat relevés made between 1988 and 1994. The average scores of the relevés are given over several years, for the relevés of 1988 and 1994, the 95 per cent reliability areas are also given. The correlation of an environment variable with the axes can be read from the direction and the length of the arrow of the relevant environment variable. The figure shows that the vegetation has changed from a saltish to a partly desalinated vegetation.

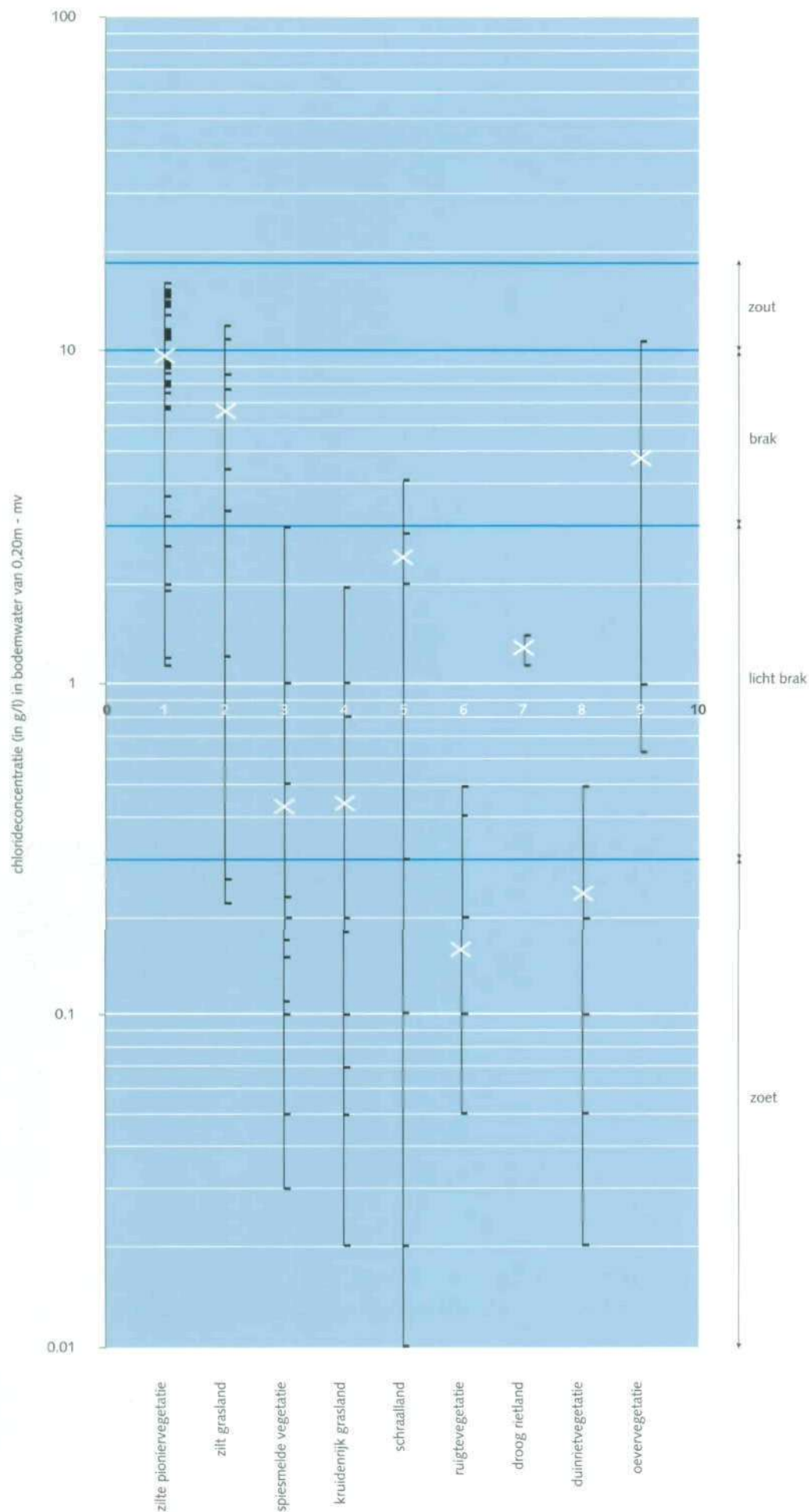
Zout = salinity of the groundwater at 0.20 m below ground level (representative for the layer 0.10 and 0.40 m below ground level); GHG = mean highest water table (representative for the water table regime); Lutum = clay content of the soil in the layer of 0-0.10 m below ground level. Significance level (calculated according to the Monte Carlo permutation test) of the first axis, $p < 0.01$, over all test, $p < 0.01$.

ten dat de gemiddelde score van de opnamen verder naar linksonder zal verschuiven.

De verschuiving van de zwaartepunten in de plot treedt vooral tussen de opnamejaren 1988 en 1990 op. Daarna verschuift het zwaartepunt van de opnamen relatief weinig. Dit klopt ook met het beeld dat in hoofdstuk 3 werd geschetst; grote oppervlaktes van de drooggevalen oevers (de schorren met klei op zand en de zandige delen) waren binnen enkele jaren ontzilt. Het blijkt dus dat de vegetatie daar in soortensamenstelling direct op reageert. Soorten die zout kunnen verdragen worden zodra het zoutgehalte daalt, vervangen door plantensoorten die zout minder goed verdragen en in een zoet milieu concurrentiekrachtiger zijn.

5.6.1 Zoutgehalte

De verschillende vegetatietypen komen voor op een specifieke plaats in de aanwezige zoutgradiënt. In figuur 5.5 is de range weergegeven van de zoutconcentratie in de bodem waarbij de verschillende vegetatietypen voorkwamen. Hieruit blijkt dat zilte pioniervegetatie in een brede range, van 14,2 tot 3,2 g Cl^-/l , voorkwam. Ook zilt grasland kwam in een brede range voor, van 11,9 tot 0,3 g Cl^-/l . Van de meeste opnamepunten was de bodem zout tot brak. Er zitten echter enkele opnamepunten met zoet en licht brak bodemwater bij. Schraallandvegetatie, spiesmeldevegetatie, kruidenrijk grasland, ruigte en duinrietvegetatie kwamen op licht brakke en zoete bodems voor. De gemiddelde zoutconcentratie in de



Figuur 5.5

Gemeten chlorideconcentraties in het bodemvocht bij de verschillende vegetatietypen.

■ = gemeten waarde,

✕ = gemiddelde waarde per vegetatietype.

Zoutconcentratie van het bodemwater is gemeten op 0,20 m beneden maaiveld.

Figure 5.5

Measured chloride contents in the groundwater in the various vegetation types.

■ = measured value,

✕ = average value per vegetation type.

The salt concentration of the groundwater has been measured at 0.20 m below ground level.

bodem lag bij de drie eerstgenoemde vegetatietypen in de licht brakke bodemklasse. De gemiddelden zoutconcentraties in de bodem van ruigte- en duinrietvegetatie lagen in de zoete bodemwaterklasse.

5.6.2 Bodem en grondwater

Twee abiotische factoren die in het Volkerak-Zoommeer nauw met elkaar samenhangen zijn lutumgehalte en grondwaterregime (zie paragraaf 3.2). De zwaardere gronden zijn hoger gelegen en hebben als gevolg daarvan een lagere grondwaterstand (zie figuur 3.4 en 3.5). De effecten van deze factoren op de vegetatie zijn met de beschikbare gegevens niet apart te onderscheiden.

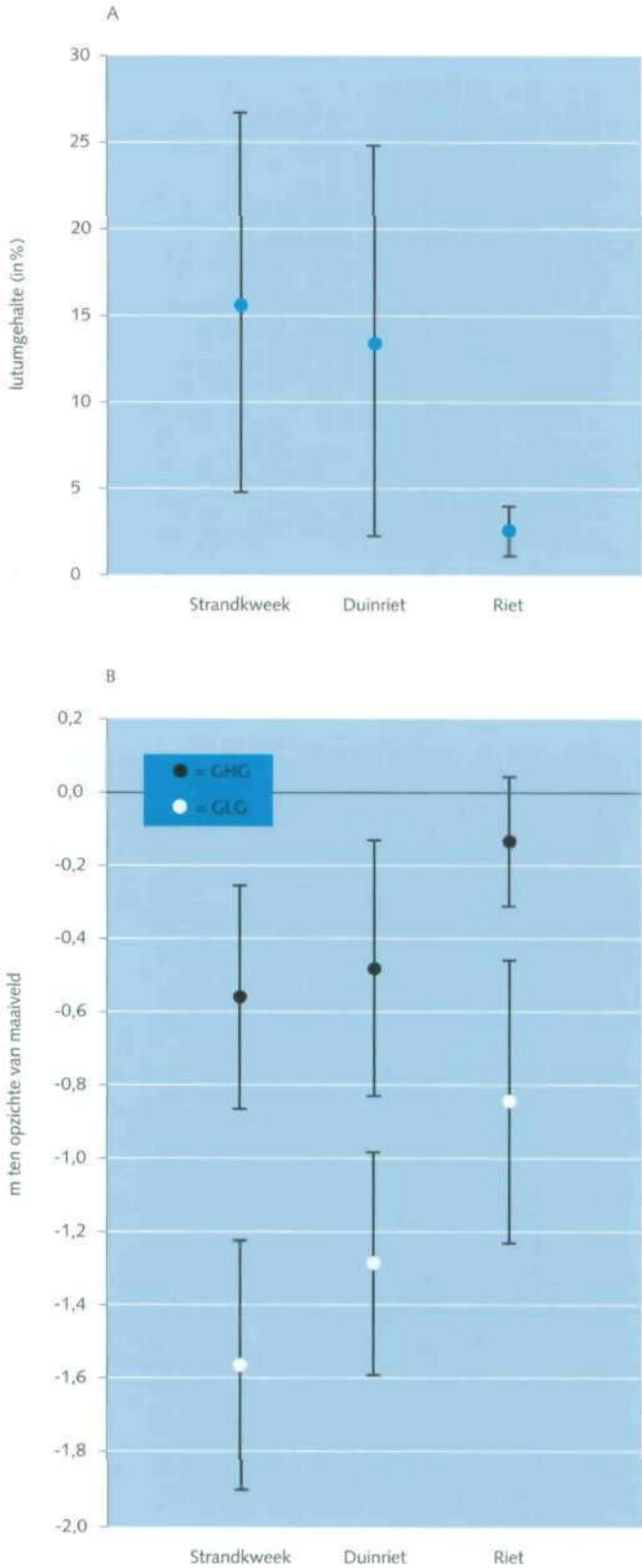
In het gebied komen verschillende soorten grove grassen voor die erg bepalend zijn voor de vegetatie (Riet, Duinriet, Strandkweek; *Elytrigia atherica*). Het voorkomen van deze soorten in het gebied lijkt verband te houden met het grondwaterregime en de bodem. In figuur 5.6 is de spreiding van het lutumgehalte, de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) weergegeven van de pq's waarin deze soorten voorkwamen. Hieruit blijkt dat Riet op zandige en natte (dus ook laaggelegen) plekken werd aangetroffen, terwijl Duinriet en Strandkweek op lutumrijkere bodem voorkwamen, waar het grondwater veel dieper zat. Uit de strookkartering blijkt ook dat Duinriet op hoge, droge schordelen tot ontwikkeling kwam. De GLG en GHG op plekken waar Strandkweek werd aangetroffen, was gemiddeld lager dan op plekken waar Duinriet werd aangetroffen (figuur 5.6). Dit is ook goed zichtbaar in de veldsituatie; Duinriet en Strandkweek kunnen in een mozaïek voorkomen, waarbij Strandkweek vaak op de wat hogere delen groeit.

5.6.3 Beheer

Over het effect van begrazingsbeheer kan nog maar weinig gezegd worden, omdat het begrazingsbeheer pas sinds 1992 wordt toegepast. De Hellegatsplaten, Slikken van de Heenwest, Plaat van de Vliet, Prinsesseplaat en de Krammerse Slikken worden sindsdien zeer extensief begraasd met een intensiteit van ongeveer 0,02 - 0,20 GVE/ha. In de opnamen van de pq's in 1994 van de begraasde gebieden is het effect van begrazing echter wel merkbaar. Om de pq's te markeren werden paaltjes gebruikt, welke een grote aantrekkingskracht hadden op de aanwezige grazers. De pq's werden hierdoor intensiever begraasd dan de rest van de beheerseenheid. Bij de opnamen van de pq's in 1994 bleek dat in vergelijking met de opnamen van 1991, het aantal soorten in aantal was afgenomen. Vooral het aantal en de bedekking van ruigtesoorten nam af.

Figuur 5.6
Spreiding van: (A) het lutumgehalte; (B) de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) en de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) voor de pq's met Strandkweek, Duinriet en Riet.

Figure 5.6
Spreading of: (A) the clay content; (B) the mean lowest groundwater level (GLG) and the mean highest groundwater level (GHG) for the permanent quadrats with *Elytrigia atherica*, *Calamagrostis epigejos* and *Phragmites australis*.



6 Evaluatie

Op de oevergebieden van het Volkerak-Zoommeer speelden in de periode van 1987 tot en met 1994 een aantal processen een rol bij de ontwikkeling van de vegetatie:

- de ontziltling van de bodem (de ontziltlingssnelheid is afhankelijk van hoogteligging en bodemtype);
- de autonome vegetatiesuccessie (hangt samen met het zoutgehalte van de bodem, en in een later stadium met de voedselrijkdom en vochtvoorziening in de bodem);
- begrazing door grote grazers (vanaf 1992) en door watervogels (Joenje, 1978).

De beschreven periode in dit rapport omvat een periode van circa acht jaar. Dit is een betrekkelijk korte periode om iets te kunnen zeggen over een lange termijnontwikkeling van de vegetatie. In de eerste vijf jaar was er een beheer van niets doen en kon de vegetatie zich ongestoord ontwikkelen. Na de overdracht van de oevergebieden in 1992 werd in de meeste deelgebieden een begrazingsbeheer ingesteld. Omdat er geen geschikte gegevens over de begrazingseffecten door watervogels en grote grazers beschikbaar waren, komt in deze evaluatie alleen de vegetatieontwikkeling onder invloed van abiotische factoren aan bod. Momenteel is de invloed van het begrazingsbeheer in het gebied duidelijk merkbaar. De ontwikkelingen in de vegetatie tot 1996 onder invloed van het beheer, zullen op basis van veldkennis daarom kort worden aangestipt. Er zal verder worden vooruitgeblikt op de mogelijkheden die het geplande peilbeheer biedt voor de (oever)vegetatie. Als laatste worden aanbevelingen gedaan voor onderzoek in de toekomst.

6.1 Ontwikkelingen in het gebied

6.1.1 Ingesteld beheer na de overdracht van de oevergebieden

In 1991 werd het beheer van de meeste oevergebieden door Rijkswaterstaat aan een drietal instanties overgedragen: Staatsbosbeheer, Vereniging Natuurmonumenten en Stichting het Zeeuws Landschap. Hierna werd het gebied niet meer integraal beheerd. Om het beheer in de verschillende gebieden onderling af te stemmen is in 1992 door Rijkswaterstaat een

integraal begrazingsadvies uitgebracht (Cornelissen *et al.*, 1992). Hierbij waren de geformuleerde doelen voor natuurontwikkeling in de gebiedsvisie sturend. In het begrazingsadvies werd geadviseerd om de gebieden Slikken bij de Sabina Henrica Polder, de Slikken van de Heen-oost en het oostelijk deel van de Slikken van de Heen-west onbegaasd te laten. Voor de rest van de gebieden werd een extensief begrazingsbeheer met paarden, runderen of schapen geadviseerd.

Door de beherende instanties is na 1992 in de meeste deelgebieden extensief begrazingsbeheer ingesteld. Van de belangrijkste gebieden is alleen de Slikken van de Heen-oost tot in 1996 onbegaasd gebleven. Op basis van de beschikbare gegevens is geen uitspraak te doen in hoeverre het begrazingsadvies door de beheerders is opgevolgd en of het huidige beheer zal leiden tot het landschap en natuurwaarden die in de gebiedsvisie werden geschetst.

6.1.2 Ontwikkelingen in de abiotiek

De oevergebieden bestaan uit een aantal kenmerkende bodemtypen. Hoge schorren met een dunne of dikke kleilaag doorsneden met kreken gaan via lagere schorgedeelten over in lage, flauw afhellende slikken of zandige delen met een voedselarme bodem. Rond de waterlijn is er een zone die afwisselend droog en nat is. Bij enkele deelgebieden gaan de langzaam aflopende oevers over in uitgestrekte ondiepe watergebieden. Door het vaste waterpeil van het meer, concentreert de golfwerking zich steeds op dezelfde hoogte op de oever. Hierdoor heeft een aanzienlijke oeverafslag plaatsgevonden, met name op zandige oevers. Ook op lage, flauw hellende slikoevers is een afslagrand van ongeveer NAP+0,1 m tot NAP-0,15 m ontstaan. Om de oeverafslag te beperken zijn vele kilometers vooroevers aangelegd. Zo zijn grote oppervlakten luw, ondiep water ontstaan. Binnen de aangelegde vooroevers vindt echter nog steeds enige oeverafslag plaats.

Daarnaast vindt in het gebied een proces van bodemrijping plaats, waardoor er inklinking optreedt. De zandige schorranden klonken minder in dan de kleiige kommen, waardoor er meer reliëf is ontstaan. De kleigronden van de schorren zijn voedselrijk. Dit kwam in de eerste paar jaar na de afsluiting

Aan de oostkant van de Plaat van de Vliet komt zoute kwel voor. De laagste delen blijven daardoor erg lang zout en zijn begroeid met het roodgekleurde zeekraal, terwijl de omliggende vegetatie uit kruidenrijk grasland en schraallandvegetatie bestaat (foto 1996; S. van Rooij).



extra naar voren. In de bovenlaag van de bodem was veel humus aanwezig, die na het droogvallen snel werd afgebroken en een grote hoeveelheid stikstof leverde. Na enkele jaren waren deze extreem hoge stikstofconcentraties weer verdwenen. De bodem was in het gehele gebied rijk aan kalk. Na de afsluiting vond ontkalking van de bodem plaats. Plaatselijk in de kommen op de schorren is het kalkgehalte nu al erg laag.

De grondwaterstand is in sommige gebiedsdelen in de loop van de tijd veranderd. De schorren, met klei tot diep in het profiel, waren direct na de afsluiting erg nat. Door rijping van de bodem kreeg de bodem langzaam een toenemende doorlatendheid, waardoor de grondwaterstand dieper werd. Een tegengesteld proces vond plaats doordat het maaiveld daalde door inklinking. Hierdoor daalde de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld minder diep. Op andere delen bleef de grondwaterstand na de afsluiting gelijk.

Zoals verwacht verliep de ontzilting op de grofzandige delen en op de hoge schorren waarbij een laag klei op een zandpakket is gelegen, erg snel. Binnen respectievelijk één en twee jaar was de bodem er tot op een diepte van een meter ontzilt. De fijnzandige delen ontziltten langzamer; de ontzilting van de bovenste meter van de bodem duurde zo'n vijf jaar. Op de schorren met klei tot diep in het profiel, ging de ontzilting aanvankelijk langzaam, maar na de rijping van de bodem kwam de ontzilting ook hier op gang. De bodem van de laaggelegen slikken was in 1995 nog steeds zout, hoewel in het bovenste laagje het zout enigszins was verdwenen. In zeer droge zomers kan het zoutgehalte in de bovenste laag van de bodem weer hoog oplopen door capillair transport van zout bodemwater uit diepere lagen. Uit de bovenlaag van de waterbodem (tot 0,5 m) is een groot deel van het zout verdwenen door diffusie. In diepere lagen zit op veel plaatsen nog wel zout.

De oeversgebieden tussen de Plaat van de Vliet en Hellegatsplaten ondervinden invloed van zoute kwel vanuit de Oosterschelde. Het grondwater is daar binnen een meter diepte nog zout.

6.1.3 Ontwikkelingen in de vegetatie

De vegetatie in het gebied was in de periode na de afsluiting volop in ontwikkeling. In acht jaar tijd volgden vele verschillende plantensoorten en vegetatietypen elkaar op. Deze opeenvolging vond niet overal even snel plaats. Op de verschillende bodemtypen verschilde de snelheid waarmee de vegetatiesuccessie verliep: op de snelontziltende, lutumrijke schorren verliep deze het snelst, daarna volgden respectievelijk de grofzandige delen, de fijnzandige delen en de schorren met klei tot diep in het profiel. Op de lage en lutum-arme slikken verliep de successie het langzaamst. De bepalende factor voor de snelheid van de vegetatieontwikkeling was de verandering van het zoutgehalte in de bodem. Wanneer de bodem ontzilt was en zout geen rol meer speelde, was het lutumgehalte van belang. Het lutumgehalte beïnvloedde ook de hoogte die de planten bereikten en de soortendiversiteit.

Hieronder wordt voor de belangrijkste deelgebieden besproken of de doelstelling voor de natuurfunctie in de onderzoeksperiode is bereikt of in de toekomst zal worden bereikt. Eerst worden de doelen uit de gebiedsvisie nog eens herhaald (zie ook paragraaf 1.2), daarna staan de ontwikkelingen beschreven die plaatsvonden na de afsluiting:

Plaat van de Vliet

Doel: "Ontwikkeling van duin- en duinvalleivegetatie van vochtig/droge voedselarme gronden".

De plaat van de Vliet is een gebied dat zandig is en na een

jaar al grotendeels was ontzilt. Op de lutumarme bodem ontwikkelde zich een grazige, botanisch waardevolle vegetatie; schraallandvegetatie waarin soorten van duinen en duinvalleien voorkomen. In 1989 was vrijwel de gehele plaat hiermee bedekt. In 1993 was een deel hiervan overgegaan in kruidenrijk grasland. Ook schraallandsoorten bleven aanwezig. Door de voedselarme bodem bleef de vegetatie hier ijler dan op andere plekken waardoor meer soorten naast elkaar voor kwamen. In 1996 is het beeld op de Plaat van de Vliet (die na 1992 werd begraasd) nog steeds grazig, en komen er, sommige in grote dichtheden, zeldzame soorten voor van duinvalleien. De uitgerasterde oevers, die voedselrijker zijn door overspoeling met meerwater, zijn inmiddels begroeid met hoogopgaande riet, ruigte en struweel.

Slikken van de Heen-west

Doel: "Ontwikkeling van bos en half open moeras".
Dit gebied bestaat voor het overgrote deel uit schorren, die binnen een paar jaar ontzilt waren. In 1989 waren de schorren dan ook volledig begroeid met ruigtevegetatie. In 1993 had verschil in voedselrijkdom voor differentiatie in de vegetatie gezorgd. De lager gelegen, jongere schorren, waren volledig begroeid met duinrietvegetatie. Op de hoger gelegen, voedselrijkere schorren had zich in 1993 vooral een ruigte- en struweelvegetatie ontwikkeld. Ook kwamen er plekken met duinrietvegetatie voor, die naar verwachting de ruigtevegetatie zal wegconcurreren. Op den duur zal op de schorren bosvorming plaatsvinden. Er zijn geen krekens afgedamd zoals werd voorgesteld in de gebiedsvisie. Er heeft dus ook geen ontwikkeling van halfmoeras in de krekens plaatsgevonden. In plaats daarvan ontwikkelde zich in de drooggevalleien, traag ontziltende krekens, zilte pioniervegetatie en zilt grasland. Deze vegetatie zal zich daar nog een aantal jaren kunnen handhaven. In 1996 is te zien dat de struweelvorming voortschrijdt; plaatselijk intensief begraasde plekken echter blijven vooral langs de krekens grazig.

Slikken van de Heen-oost

Doel: "In het westen ligt het accent op bosontwikkeling, in het oosten is een open, grazig gebied met ruigten en struwelen tot doel gesteld".
De ontwikkeling van het zoutgehalte en de vegetatie is vergelijkbaar met de Slikken van de Heen-west. Er heeft zich in het oosten, waar de bodem lutumarm is, in 1993 een uitgestrekte duinrietvegetatie ontwikkeld. In het westelijk deel, waar de bodem lutumrijk is, ontwikkelde zich ruigte en struweel. Het gebied is dus, conform de doelstelling, begroeid met hoogopgaande vegetatie met houtige soorten, echter zonder grazige gedeelten. Het oostelijk deel is hierbij opener gebleven dan het westelijk deel. In 1996 was nog hetzelfde beeld te zien. In de toekomst is bosvorming te verwachten.

Dintelse Gorzen

Doel: "Gedifferentieerd landschap van bos, struweel en graslanden (nat en droog)".

In de periode tot 1993 ontwikkelde de vegetatie zich tot een afwisselend geheel van ruigte op de hoge, lutumrijke schorren, en duinriet met struweel op de lutumarmere schorren en lagergelegen fijnzandige delen. Op de lager gelegen, langzamer ontziltende slikken, ontwikkelde zich zilte pioniervegetaties en kruidenrijke graslanden. Er is dus een zeer gedifferentieerd landschap ontstaan. Met een begrazingsbeheer sinds 1992 is het gebied in 1996 iets opener geworden.

Hellegatsplaten

Doel: "Gedifferentieerd parklandschap met struweel, ruigte en graslanden (nat en droog)".

Dit gebied ontwikkelde zich heel anders dan de oevergebieden aan de zuidrand van het Volkerakmeer. De bodem ontziltte er heel langzaam, waardoor in 1989 zelfs op de schorren pioniervegetatie voorkwam. In 1993 waren de hogere delen, die het snelst ontziltten, nog begroeid met vooral ruigtevegetatie en wat kruidenrijk grasland. Op de minder hoge delen had zich een mozaïek van zilt grasland, droog rietland en struweel ontwikkeld. De nog erg zilte slikken waren begroeid met zilte pioniers en zilt grasland. Het gebied heeft zich dus tot een afwisselend geheel ontwikkeld, en de vegetatie heeft nog een erg zout karakter. Dat is ook het beeld in 1996. Met het begrazingsbeheer sinds 1992 is het gebied open en grazig gebleven.

Krammerse Slikken

Doel: "Ontwikkelen van een grootschalig grazig gebied, met plaatselijk moerasontwikkeling en struweel.

Ontwikkeling van een uitgebreide oevervegetatie".

In dit gebied verliep de ontziling en daaraan gekoppeld de vegetatie-ontwikkeling zeer langzaam. In 1993 zijn de slikken nog grotendeels begroeid met zilte pioniervegetatie en plaatselijk met zilt grasland. De vegetatie op het smalle stukje schor ontwikkelde zich tot een ruigte- en duinrietvegetatie, waarbij de duinrietvegetatie in 1993 was toegenomen ten koste van de ruigtevegetatie. Er is geen uitgebreide oevervegetatie tot ontwikkeling gekomen. Aan de waterrand had zich soms plaatselijk een smalle rand biezen of riet ontwikkeld. Deze groeiden echter niet het water in. Er is wel een grootschalig grazig gebied ontstaan, met een zilte (pionier)vegetatie. Ontwikkeling naar moeras en struweel hebben niet plaatsgevonden in de beschreven periode. In 1996 is het gebied nog steeds voornamelijk begroeid met zilte pioniervegetatie en zilt grasland en heeft een open grazig karakter. Helofytenvegetatie is slechts op enkele plekken, waar niet begraasd werd, tot ontwikkeling gekomen.

Prinsesseplaat

Doel: "Ontwikkeling van open grazig gebied ten bate van watervogels".

De slikken op de Prinsesseplaat ontziltten heel langzaam. In



Op de oostelijke schorren van de Slikken van de Heen-oost is een mozaïek van ruigte- en duinrietvegetatie ontstaan, met daartussen opslag van houtige soorten (foto 1996; S. van Rooij).

1989 werden de slikken gedomineerd door zilte pioniervegetatie. In 1996 is te zien dat de slikken nog steeds begroeid zijn met zilte pioniers, een deel is overgegaan in grasland. De fijnzandige kop, die sneller ontzilte, is begroeid geraakt met een ijle riet- en duinrietvegetatie met duinvalleisoorten. Op een groot deel van de niet begraasde oevers heeft zich een helofytenvegetatie gevestigd. Vogels maken gebruik van de open slikkige delen en de oevertvegetatie.

Een doelstelling in de nota Ganzenopvang in Zeeland (1989) was het grazig houden van tenminste 100 ha in het gebied als foerageergebied voor ganzen. In de onderzoeksperiode is deze doelstelling ruim gehaald. De Plaat van de Vliet en de Krammerse Slikken waren in 1993 uitgestrekte grazige gebieden. Op de Slikken van Heen-west werd voor dit doel een deel na 1992 intensief begraasd. In 1996 zijn nog grote delen in het gebied volop grazig en wordt het beoogde areaal ruimschoots behaald.

De vegetatie in het gebied was in de onderzoeksperiode volop in ontwikkeling. Tot 1993 ontwikkelde het gebied zich door autonome vegetatiesuccessie. Na deze tijd ontwikkelde het gebied zich onder invloed van het ingestelde begrazingsbeheer. Er kan geconcludeerd worden dat de vegetatie zich in 1993 in de richting heeft ontwikkeld van het in de gebiedsvisie geschetste beeld. In 1996 heeft het gebied zich verder in de gewenste richting ontwikkeld.

6.2 Verwachte ontwikkelingen in het gebied

6.2.1 Abiotiek

Op de schorren van de Hellegatsplaten, met klei tot diep in het profiel, zal door de voortgaande rijping ook de daling van het maaiveld doorgaan. Aan de westzijde, langs de dijk, zal de



Op de Hellegatsplaten houden de grazers grote delen grazig, andere delen verruigen (foto 1996; H. Slager).

meeste klink optreden. Hierdoor kan er een min of meer ingesloten laagte ontstaan die natter wordt.

Ontkalking van de bodem is een langdurig proces. Ook in de deels ontkalkte bodem van de kommen op de schorren zal het nog tientallen jaren duren voor er volledige ontkalking is opgetreden.

De zoutinvloed zal op de slikken nog vele jaren merkbaar zijn. Op basis van berekeningen is te verwachten dat ongeveer over 20 jaar de ontzilting zo ver is gevorderd dat het zout geen invloed meer zal hebben op de vegetatie. Bij een extensief begrazingsbeheer zal het nog zo'n vijf jaar langer duren. De kwel op de slikken van de Hellegatsplaten kan tot gevolg hebben dat deze langer zout blijven, maar op het moment dat het zoete water al het zout uit de ondergrond naar boven heeft weggedrukt kan de bodem vrij snel verzoeten.

De zoute kwel vanuit de Oosterschelde naar de oevertgebieden tegen de Philipsdam zal het zoutgehalte van de bodem blijven beïnvloeden.

Een verandering in het peilbeheer heeft voor het grondwaterregime alleen gevolgen voor de laaggelegen delen. Bij een hogere waterstand in het meer worden deze delen natter, bij een lagere waterstand droger. Wanneer een deel van de waterbodem droogvalt door een verlaging van de waterstand, zal in droge periodes zout water uit de diepere lagen door capillaire werking omhoog komen.

6.2.2 Vegetatie

De vegetatie ontwikkelde zich tot 1994 vooral onder invloed van de verandering van het zoutgehalte in de bodem. Wanneer de bodem ontzilt is, zorgen andere factoren voor differentiatie in de vegetatie, zoals lutumgehalte en grondwaterregime. Ook het beheer speelt een grote rol bij de toekomstige ontwikkeling van de vegetatie. De gebiedsvisie en de plannen

van het waterbeheer geven de gewenste ontwikkeling aan van het gebied.

Een verwachting van de vegetatieontwikkeling kan worden gemaakt met behulp van de ervaringen die zijn opgedaan in soortgelijke gebieden, die al langer afgesloten zijn van zee en waarvan de oevergebieden inmiddels verder zijn ontzilt.

Het *Lauwersmeergebied*, op de grens van de provincie Groningen en Friesland, werd in 1969 afgesloten van de Waddenzee. In de eerste jaren trad een vergelijkbare vegetatie-succesie op als in de oevergebieden van het Volkerak-Zoommeer. De vegetatie-ontwikkeling verliep ruwweg als volgt: van zilte pioniervegetatie eerst naar zilte en later ontzilte graslanden via ruigtevegetatie naar een riet- of duinrietvegetatie en later (dwerg)struweel. Op de droge en lutumrijke plekken ontstond duinrietvegetatie. Op de nattere delen ontstond een vegetatie waarin Riet domineerde. In beide vegetaties kwam struweel op, die zich steeds verder ontwikkelde en het beeld meer en meer bepaalde.

Na 25 jaar waren de onbegaasde delen verruigd met duinriet- of rietvegetatie en struweel. In de meeste gebiedsdelen werd na 13 jaar een begrazingsbeheer (voornamelijk seizoensbegrazing) van 0,3 - 0,9 GVE ingesteld. Door de begrazing werd de succesie van de vegetatie afgeremd, maar niet gestopt. De begraasde gebieden waren na 15 jaar nog enigszins grazig (ongeveer eenderde van het begraasde gebied), na 20 jaar was het areaal grasland ondanks de begrazing sterk afgenomen tot nauwelijks een vijfde van het begraasde deel. Ondanks dit begrazingsbeheer vond een verruiging van het gebied plaats. In het Lauwersmeergebied kwam ook grasland met duinvalleisoorten tot ontwikkeling. Dit vegetatietype ging na een aantal jaar over in brak tot ontzilt grasland, gedomineerd door fioringras, en dwergstruweel. Ook op de begraasde gebiedsdelen ging dit vegetatietype in areaal achteruit, maar langzamer, waardoor dit vegetatietype zich completer kon ontwikkelen. Ook nu komen er nog soorten voor van duinvalleien (van Rooij & Drost, 1996).

Het *Markiezaatsmeer* is in 1983 ontstaan, waarna de oevergebieden ontziltten. Na 1984 werden delen van de oevergebieden begraasd. In 1992 had begrazing op de slikken nog niet tot merkbare verschillen in de vegetatie geleid. De bodem was nog zo zout dat de vegetatie-succesie stagneerde. Op de schorren was het effect van begrazing wel merkbaar; het aantal houtigen en ruigtesoorten in een verruigend gebied werd teruggedrongen (Röling, 1994).

6.2.3 Verwachte ontwikkeling van het gebied

Met de kennis over de ontwikkeling van deze gebieden in het achterhoofd, kan een globale voorspelling worden gedaan over de ontwikkelingen in de toekomst. Vooral het aspect van ontzilting zal voor een aantal gebiedsdelen voorlopig van belang blij-

ven. Daarnaast speelt ook het begrazingsbeheer natuurlijk een grote rol.

Voedselarme, zandige delen, zoals de Plaat van de Vliet en de hoge delen van het eiland van de Prinsesseplaat zullen een vrij ijle vegetatie houden. De situatie kan gaan lijken op die van "de Rug" in het Lauwersmeergebied: een open vegetatie met duinriet, waartussen diverse soorten een plaats kunnen vinden, ook soorten horend bij duin- en duinvallei-vegetaties. Er zullen zich langzaam ook wat struikjes kunnen ontwikkelen maar door begrazingsbeheer zullen die niet snel de overhand krijgen. De wat hoger gelegen, lutumrijke schorren van bijvoorbeeld de Slikken van de Heen-oost en -west, zullen zich, als de begrazingsdruk zo laag blijft als nu, verder tot een dicht struweel ontwikkelen. De situatie zal vergelijkbaar zijn met de westelijke schorren van het Markiezaat. De open plekken die er nu zijn, zijn hoofdzakelijk gerelateerd aan het voorkomen van zout in de kreekbodems. Na ontzilting zullen ze ook meer begroeid raken. De hogere delen zijn vrij lutumrijk en zullen op de rest van de schorren gaan lijken met een duinrietvegetatie. De lagere delen zijn vaak natter en voedselarmer. Bij erg lage begrazingsdruk kan hier een helofytenvegetatie ontstaan, zoals dat nu al plaatselijk het geval is. Een hoge begrazingsdruk zal meer korte grazige vegetatie opleveren, vergelijkbaar met grazige oeverdelen langs de oostelijke platen in het Lauwersmeergebied.

De begraasde schorren zoals op de Dintelse Gorzen en de Krammerse Slikken zullen bij voortzetting van het huidige beheer verder tot strandkweek/duinrietruigte ontwikkelen, met hier en daar struweel. Deze situatie kan zich vele jaren handhaven.

De lage, natte, voedselarme slikken van de Dintelse Gorzen, Krammerse Slikken, Prinsesseplaat, Hellegatsplaten en Slikken van de Heen-west zullen de komende 20 jaar zout blijven en een vegetatie kennen van zilte pioniers en zilt grasland. In het Lauwersmeergebied is dit langs het water "achter de zwarten" ook nog steeds het geval. Naar verwachting zal na ontzilting een vegetatie ontstaan die afhankelijk van de begrazingsdruk vrij grazig zal blijven of meer het karakter van wellicht vrij open, droog rietland zal hebben.

De schorren met een dik kleipakket, langs de westrand van de Hellegatsplaten, ontwikkelen zich nu al richting droog rietland. Gezien de ervaringen op de zuidelijke platen in het Lauwersmeergebied, zal de begrazing dit niet kunnen tegenhouden. Op lange termijn zal zilte vegetatie alleen nog voorkomen op plekken met kwel vanuit de Oosterschelde.

6.3 Ontwikkelingen in het onderzoek

Na de afsluiting van het Volkerak-Zoommeer was de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders interimbeheerder van de oevergebieden. Het monitoringsonderzoek dat Rijkswaterstaat

heeft opgezet was daarom voor een groot deel gericht op het monitoren van de oevergebieden. Na de overgang van de oevergebieden naar Staatsbosbeheer, Stichting het Zeeuws Landschap en Vereniging Natuurmonumenten in 1991 vermindert de onderzoeksintensiteit van Rijkswaterstaat op de oevergebieden. Met name de onderzoeksinspanning op biotische gebied nam af.

Rijkswaterstaat is in eerste plaats de beheerder van het watersysteem. Het onderzoek dat door Rijkswaterstaat is uitgevoerd naar het functioneren van het aquatische ecosysteem is in de loop der jaren sterk geïntensiveerd. De biotische en abiotische ontwikkelingen in het meer werden gemonitord. Daarnaast zijn er maatregelen getroffen voor het bereiken van een helder-watersysteem: aanleg van een snoekenpaargebied, aanleg van eilandjes en vooroevers. Bij deze maatregelen staat de ontwikkeling van een uitgebreide helofytenvegetatie in ondiep water en op de oeverrand centraal. De onderzoeken van Rijkswaterstaat als waterbeheer zijn dus steeds meer richting oevers opgeschoven.

In dit kader loopt er een onderzoek naar de effecten van een ander peilbeheer op de ontwikkeling van een helofytenvegetatie (Planten in de Peiling, door RWS RIZA; Vulink & Coops, 1995; Vulink *et al.*, 1996). Er zijn plannen om in de winter van 1996/1997 een interim peilbeheer in te stellen met een waterpeil van NAP-0,1 m in de zomer en NAP+0,15 m in de winter. Ook wordt er door RWS RIZA in opdracht van RWS directie Zeeland een evaluatie uitgevoerd van de aanleg van de eilanden en de vooroeververdedigingen in het Volkerak-Zoommeer. Deze evaluatie zal eind 1998 zijn voltooid.

In de volgende paragraaf wordt vooruitgeblikt op de effecten van dit peilbeheer op het biotische en abiotische milieu op de oevers.

6.4 Peilbeheer, helofytenontwikkeling en begrazing

De ontwikkeling van een helofytenvegetatie is tot nu toe beneden verwachting. De oorzaak hiervan kan worden gezocht in de aanwezigheid van golfslag, afslagranden, zout in de bodem en vraat door vee en vogels.

Op steile afslagoevers is vestiging van helofyten niet snel te verwachten. Ook op de zeer flauw aflopende oevers van de slikken is een afslagrand ontstaan. Boven dat afslagrandje is het nog dermate zout dat er geen helofyten kunnen vestigen. Er bestaan plannen om het peilbeheer natuurlijker te maken ten bate van de helofytenontwikkeling. De afwateringsfunctie van het meer stelt grenzen aan de mate waarin het peil verhoogd kan worden en de scheepvaart beperkt de marge waarmee het waterpeil verlaagd kan worden. Besloten is om in de winter 1996/1997 een interim-peilbeheer in te stellen

van NAP-0,1 m in de zomer en NAP+0,15 m in de winter. Wanneer het peil wordt verlaagd naar NAP-0,1 m zal er door de aanwezigheid van de afslagranden een zeer smalle zone droogvallen (zie bijlage II). Pas bij een verlaging van de waterstand tot minstens NAP-0,3 m vallen grotere delen van de oevers droog. Op de drooggevallen oevers kan de bodem in droge perioden sterk verzilt door capillair transport van zout water uit diepere lagen (zie paragraaf 4.3.3). Het zout in de bodem zal de kieming van helofyten belemmeren (Ter Heerdt, 1995). Alleen in de zone vlak bij de waterlijn die voldoende vochtig blijft, zal geen capillair transport plaatsvinden en zal zout de kieming van helofyten niet belemmeren.

Vraat speelt waarschijnlijk ook een grote rol bij de helofytenontwikkeling. Te zien was dat op oevers die door grote grazers werden begrast vrijwel geen helofytenvegetatie tot ontwikkeling kwam; op enkele uitgerasterde plaatsen kwam de helofytenvegetatie wel tot ontwikkeling. De invloed van herbivore watervogels op de helofytenontwikkeling is nog onduidelijk. Het onderzoek in het kader van het project "Planten in de Peiling" moet hierin inzicht geven.

6.5 Aanbevelingen voor verder onderzoek

In de beschreven periode werd de vegetatieontwikkeling vooral bepaald door het ontziltingsproces, bodemtype en autonome vegetatiesuccessie. Na deze periode is het beheer, begrazing, een belangrijke rol gaan spelen bij de vegetatieontwikkeling. Om dit beheer te kunnen evalueren en te kunnen nagaan in hoeverre de in de gebiedsvisie en waterbeheer gestelde doelen kunnen worden bereikt, is het van belang om de integrale monitoring van het zoutgehalte en de vegetatie voort te zetten. Het periodiek laten maken van vegetatiekaarten (bijvoorbeeld om de vijf jaar), het voortzetten van het opnemen van de vegetatie en het meten van de zoutconcentratie op de pq's (jaarlijks, of wanneer de vegetatie niet meer veel verandert één keer in de twee jaar) is aan te bevelen. Met deze gegevens kan een integraal overzicht worden gehouden op de ontwikkeling van het gehele gebied, waar de verschillende terreinbeheerders en de waterbeheerder bij gebaat zijn. Bij het verzamelen en uitwerken van de gegevens zou speciale aandacht moeten worden geschonken aan de vegetatieontwikkeling in relatie met het gevoerde beheer en de vegetatieontwikkeling in de oeverzone. Met het verkregen inzicht in de processen die er spelen, het overzicht van de ontwikkelingen in het gebied en een afstemming van het beheer tussen de verschillende beheerders kunnen de potenties van het Volkerak-Zoommeer als geheel met betrekking tot de natuurwaarden maximaal worden ontwikkeld.

Literatuur

Anonymus, 1989.

Overleg ganzenopvang in Zeeland.

Bekker, D.L. & B. Spaans, 1992.

Vegetatie van het Krammer-Volkerak en Zoommeer in 1991.

Intern rapport 1992 - 19 Lio. Rijkswaterstaat directie

Flevoland. Lelystad.

Belmans, C., J.G. Wesseling & R.A. Feddes, 1983.

Simulation model of the water balance of a cropped soil:

SWATRE. *Journal of Hydrology*, 63, pp. 271-286.

Braak, C.J.F. ter, 1987.

CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by (partial)(detrended)(canocical) correspondance analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department. Wageningen.

Braak, C.J.F. ter, 1994.

Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods. *Ecoscience*, vol.1(2), pp. 127-140.

Braun-Blanquet, J.J., 1964.

Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde. 3rd edition. Springer. Wien.

Breukers, C.P.M., 1995.

Volkerak-Zoommeer. Situatie tot en met 1994, korte prognose gekoppeld aan een aanbeveling voor het beheer. RIZA werkdocument 95.088X. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Breukers, C.P.M., 1996.

Evaluatie van natuurontwikkelingen in het Volkerak-Zoommeer in de periode 1987 tot 1994. RIZA nota Rijkswaterstaat, rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Broek B.J. van den, J.G. Wesseling, P. Kabat & A.J. Dolman, 1993.

Bodemwaterstroming- en gewasgroeimodellen in het kwalitatief waterbeheer. Landinrichting, 5, pp. 13-20.

Brongers, I. & H. Slager, concept.

Basisgegevens onderzoek Volkerak-Zoommeer. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

CBS, 1993.

Botanisch basis register. Centraal bureau voor de statistiek. Voorburg/Heerlen.

Cornelissen, P., J.T. Vulink & H.J. Drost, 1992.

Integraal begrazingsadvies Krammer Volkerak, Eendracht, Zoommeer 1992. Flevobericht 348. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.

Dam, E.M. van & C.P.M. Breukers, 1995.

Natuurontwikkelingen Volkerak-Zoommeer 1993. RIZA Nota 95.022. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

De Groene Ruimte, 1995.

Vegetatiekartering eilanden Volkerak-Zoommeer. Projectnr. 95176. De Groene Ruimte in opdracht van Rijkswaterstaat directie Zeeland. Wageningen.

Ente, P.J., 1980 (toelichting/redactie).

Volkerak Krammer Atlas: bodemgesteldheid en hydrologie. RIJP-rapport 1980-15 Abw. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.

Feddes, R.A., P. Kabat., P.J.T. van Bakel, J.J.B. Bronswijk & J. Halbersma, 1988.

Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone - State of the art. *Journal of Hydrology*, 100, pp. 69-100.

Geilen, N., 1993.

Oeverplanten langs het Volkerak-Zoommeer in 1992. Werkdocument 93.008x. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Groen, K.P. 1991.

Geschiedenis van het zoutonderzoek in Nederland. Flevobericht 321. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.

Groen, K.P. & H. Slager, 1993.

De ontzilting van de Krammerse Slikken. Intern rapport 1993 - 18 Lio. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.

Groen, K.P. & H. Slager, 1994.

De ontzilting van de Krammerse Slikken, deel 2 de schorren. Intern Rapport 1994-29 Lio. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.

Groen, K.P. & H. Slager, concept.

Ontzilting door diffusie.

Heerdt, G.N.J. ter, 1995.

Planten in de peiling. Literatuuronderzoek naar de invloed van het zoutgehalte in de bodem op de ontwikkeling van helofyten. RIZA nota 95.041. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Heidemij & LB&P, 1992.

Vegetatiekartering Krammer-Volkerak 1992. Rapportnummer 635/21079.

Hill, M.O., 1979.

TWINSpan, a fortran program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and response. Cornell university. Ithaca, New York.

Iedema, W. (eindredactie), 1992.

En de zee werd meer... Evaluatie waterbeheer Volkerak/Zoommeer. RIZA Nota 92.029, Nota AX 92.087. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling en directie Zeeland.

IKC, 1995.

Handboek natuurdoeltypen in Nederland. Rapport IKC natuurbeheer nr. 11. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, informatie- en kenniscentrum natuurbeheer. Wageningen.

Ivens, E., 1990.

Natuurontwikkeling in de drooggevalen gebieden van het Krammer-Volkerakmeer en Zoommeer in 1989. MI-OL-90-42. Rijkswaterstaat dienst weg- en waterbouw, hoofdafdeling milieu. Delft.

Ivens, E., 1991.

Natuurontwikkeling in de drooggevalen gebieden van het Volkerak/Zoommeer van 1987-1990. Rijkswaterstaat dienst weg- en waterbouwkunde, hoofdafdeling milieu. Delft.

Jans, L. & H.J. Drost, 1995.

De Oostvaardersplassen, 25 jaar vegetatie-onderzoek. Flevovericht 382. Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied. Lelystad.

Joenje, W., 1978.

Plant colonization and succession on embanked sandflats. A case study in the Lauwerszeepolder, The Netherlands. Rijksuniversiteit Groningen. Groningen.

Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren, 1995.

Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press. Cambridge.

Kloosterman, E.H., 1986.

Procedure en methodiek voor de vegetatiekartering. Bijlage 1. Methode. Rijkswaterstaat meetkundige dienst. Delft.

Maarel, E. van der, 1979.

Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. Vegetatio, 39, pp. 97-114.

Meijden, R. van der, L. van Duuren, E.J. Weeda & C.L. Plate, 1991.

Standaardlijst van de Nederlandse flora 1990. Gorteria, 17(5), pp. 75-127.

Meijden, R. van der, 1996.

Heukels' Flora van Nederland. Rijksherbarium/Hortus Botanicus, Rijksuniversiteit Leiden. Wolters-Noordhoff. Groningen.

Ministerie van V&W, 1985.

Omgaan met water. Naar een integraal waterbeleid. Ministerie van verkeer en waterstaat.

Ministerie van V&W, 1986.

Onderzoeksplan oeverontwikkeling volkerakmeer en zoommeer over 1987-1986. Ministerie van verkeer en waterstaat.

Ministerie van VROM, 1989.

Water in The Netherlands: a time for action. Summary of the national policy document on water management. Ministerie van volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer. Den Haag.

Muller, M., 1996a.

Evaluatie van de aangelegde eilanden in het Volkerak-Zoommeer; Een inventarisatie. Nota AX 96.017, Hogeschool Zeeland in opdracht van Rijkswaterstaat directie Zeeland. Middelburg.

Muller, M., 1996b.

Evaluatie van de aangelegde eilanden in het Volkerak-Zoommeer; Ontwikkeling & voorstel tot integraal beheer. Nota AX 96.030, Hogeschool Zeeland in opdracht van Rijkswaterstaat directie Zeeland. Middelburg.

POVEZ, 1988.

Oeverbeschermingen in Volkerakmeer, Eendracht, Zoommeer en Bathse Spuikanaal. Projectgroep POVEZ. Middelburg.

RGD, 1976.

Geologisch onderzoek dijken Oosterschelde. Rapport no. 10185, rijks geologische dienst. Haarlem.

- Rooij, S.A.M. van & H.J. Drost (eindredactie), 1996.
Het Lauwersmeergebied, 25 jaar onderzoek ten dienste van natuurontwikkeling en beheer. Flevobericht 387. Rijkswaterstaat directie IJsselmeergebied. Lelystad.
- Röling, Y.J.B. (eindredactie), 1994.
Markiezaat 10 jaar afgesloten. Flevobericht 351. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.
- Rummelen, F.F.F.E. van, 1978.
Toelichting bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Beveland. Rijks geologische dienst. Haarlem.
- RWS directie Flevoland, 1989.
Beheersvisie Krammer-Volkerak, eendracht, zoommeer. Flevobericht 310. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Voorlopige beheerscommissie Krammer-Volkerak. Lelystad.
- RWS directie Zeeland, 1987.
Beleidsplan Krammer-Volkerak. Rijkswaterstaat directie Zeeland. Bestuurlijk overleg.
- RWS RIJP, 1979.
Perspectief voor natuur op de drooggevalen buitendijkse gronden van Haringvliet, Hollands Diep, Krammer/Volkerak en Grevelingenbekken. Werkdocument 1979-334 Abg/Abw. Rijkswaterstaat rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.
- RWS RIJP, 1985.
Het Krammer-Volkerak, nu en na de afsluiting. Overleg Krammer-Volkerak. Rijkswaterstaat, rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, afdeling Delta. Lelystad.
- RWS RIZA, 1991.
Het Volkerak-Zoommeer, zoet en helder. RIZA nota 91.027, Flevobericht 239, directie Zeeland nota AX 90.057. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling, directie Flevoland, directie Zeeland en dienst weg-en waterbouw.
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder, & V. Westhof, 1995.
De vegetatie van Nederland. Deel 1. Inleiding tot de plantensociologie - grondslagen, methoden en toepassingen. Opulus press. Uppsala. Leiden.
- Slager, H., 1989.
Onderzoek naar de abiotische factoren op de drooggevalen oevergebieden in het Krammer-Volkerak en Zoommeer in 1987 en 1988. Intern rapport 1989-12 Lio. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.
- Slager, H., 1990.
Het onderzoek naar de abiotische situatie op de oevergebieden in het Krammer-Volkerak en het Zoommeer in 1989. Intern rapport 1990-23 Liw. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.
- Slager, H., 1993.
Het onderzoek naar de abiotische ontwikkelingen op de oevergebieden in het Volkerak/Zoommeer in 1990 en 1991. Intern rapport 1993 - 2 Lio. Rijkswaterstaat directie Flevoland. Lelystad.
- Slager, H., 1996.
Ontziltingsverloop in 1995 op de drooggevalen oever in het proefvak op de Krammerse Slikken en op verspreid liggende plekken rondom de waterlijn. Werkdocument 96.147x. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.
- Slager, H. & K.P. Groen, 1995.
Zoutdynamiek in de bodem langs de oevers van het Volkerak-Zoommeer. RIZA nota 95.042. Rijkswaterstaat, rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.
- Slager, H., K.P. Groen & H. Visser, 1993.
Begrazing, betreding en ontziltting. De levende natuur, 94ste jaargang, nr. 3.
- Smit, H., J.E.W. de Hoog & B.P.C. Steenkamp (redactie), 1989.
Integraal waterbeheer Volkerakmeer - Zoommeer. Onderzoek voor beheer en beleid. Rijkswaterstaat dienst binnenwateren en rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Dordrecht.
- Stiboka, 1964.
Bodemkaart van Nederland, blad 43 west Willemstad. Schaal 1:50.000. Wageningen.
- Stuyfzand, P.J., 1989.
Hydrologische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstromingen. H₂O 22(5), pp. 141-146.
- Sýkora, K.V., 1993.
Inleiding vegetatiekunde. Vakgroep plantenoecologie en bodembioogie, F250 - 201. Wageningen.
- Termeer, K. & Schmidt, C.A., 1992.
Ontwikkeling van de waterbodemkwaliteit van het Volkerak/Zoommeer in de periode 1986-1991. Nota 92.024. Rijkswaterstaat rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Dordrecht.

Vaate S.J. bij de, 1976a.

De bodemkundige en geologische gesteldheid van de Hellegatsplaten. Werkdocument 1976-259Bbw. Rijkswaterstaat rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.

Vaate S.J. bij de, 1976b.

De bodemkundige en geologische gesteldheid van de schorren van Dinteloord. Werkdocument 1976-275Bbw. Rijkswaterstaat rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.

Vaate S.J. bij de, 1976c.

De bodemkundige en geologische gesteldheid van de slikken van de Krammer. Werkdocument 1976-276Bbw. Rijkswaterstaat rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.

Vaate S.J. bij de, 1976d.

De bodemkundige en geologische gesteldheid van de Slikken van de Heen en de Schorren van Anna-Jacobapolder. Werkdocument 1976-294Bbw. Rijkswaterstaat rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Lelystad.

Verkaar, H.J.P.A., 1987.

Natuurontwikkeling in de drooggevalen gebieden van het

Volkerakmeer en Zoommeer in 1987. Rijkswaterstaat dienst weg- en waterbouwkunde, afdeling Milieu Onderzoek. Delft.

Vulink, T., & H. Coops, 1995.

Planten in de Peiling, ontwikkeling van oeverplanten in het Volkerak-Zoommeer onder invloed van peilbeheer. RIZA nota 95.037. Rijkswaterstaat, rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Vulink, T., H. Coops & F.J. Stegeman, 1996.

Planten in de peiling, tussenrapportage periode juni 1994/maart 1996. RIZA nota 96.122x. Rijkswaterstaat, rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterbehandeling. Lelystad.

Weeda, E.J., R. van der Meijden & P.A. Bakker, 1990.

Floron Rode Lijst 1990. Rode Lijst van de in Nederland verdwenen en bedreigde planten (Pteridophyta en Spermatophyta) over de periode 1-1-1980 - 1-1-1990. Gorteria, 16, pp. 2-26.

Zuur, A.J., 1961.

Initiële bodemvorming bij mariene gronden. Overdruk uit de mededelingen van de landbouwhogeschool en de onderzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXVI, no. 1, pp. 7-33.

Bijlagen

Bijlage II

Hoogteligging van het maaiveld en meerbodem ten opzichte van NAP

De hoogteligging van de oeversgebieden is berekend aan de hand van hoogtegegevens uit 1987, die zijn uitgevoerd in opdracht van RWS directie Zeeland. Op de Slikken van de Heen en de oost-kant van de Dintelse Gorzen waren echter geen hoogtemetingen uitgevoerd. Met behulp van het geografisch informatie systeem Arc/Info werden de hoogtemetingen geïnterpoleerd en tot een hoogtelijnenkaart bewerkt. Op basis van een hoogtekaart van 1984 werden de hoogtelijnen ingetekend op de delen waar niet gemeten was.

De dieptelijnen zijn gebaseerd op basis van lodingen die zijn uitgevoerd in 1992 in opdracht van RWS directie Zeeland.

De hoogtekaart van de oeversgebieden en de dieptekaart van het meer zijn gecombineerd tot één kaart, die los bij dit rapport is gevoegd.

Bijlage VII
Synoptische tabel

De onderscheiden vegetatietypen met behulp van TWINSpan zijn samengevat door de soorten ervan met hun presentieklasse weer te geven in deze tabel.

Presentieklassen

-	= Soort niet aanwezig in opnamen van cluster
+	= Soort zit in 1 - 5% van de opnamen
I	= Soort zit in 6 - 10% van de opnamen
II	= Soort zit in 11 - 20% van de opnamen
III	= Soort zit in 21 - 30% van de opnamen
IV	= Soort zit in 31 - 40% van de opnamen
V	= Soort zit in 41 - 50% van de opnamen
VI	= Soort zit in 51 - 60% van de opnamen
VII	= Soort zit in 61 - 70% van de opnamen
VIII	= Soort zit in 71 - 80% van de opnamen
IX	= Soort zit in 81 - 90% van de opnamen
X	= Soort zit in 91 - 100% van de opnamen

Differentiërende soorten

Een soort is differentiërend voor een cluster wanneer die soort in presentie 30% hoger scoort dan in alle andere clusters (ter Braak, 1987).

In de weergegeven synoptische tabel is de presentieklasse van een soort vetgedrukt wanneer deze soort differentiërend is voor het bijbehorende cluster.

oeevervegetatie	
droog rietland	
zilt pionierveg­etatie	
zilt grasland	
spiesmelde vegetatie	
schraallandvegetatie	
kruidenrijk grasland	
ruigtevegetatie	
duinnetvegetatie	

Cluster:	12	7	10	8	6	4	5	2	1
Aantal opnamen:	26	25	129	64	57	27	43	69	68
Gemm. aantal srt:	4.2	4.0	5.1	7.4	7.7	14.3	12.6	7.1	7.4
Standaardafwijking:	4.3	3.9	2.0	3.2	4.8	5.9	2.5	2.4	3.0
Ruppia maritima	VI	+	-	-	-	-	-	-	-
Ranunculus sceleratus	IV	+	+	-	I	+	-	-	-
Bulboschoenus maritimus	IV	II	+	I	I	I	+	II	+
Tephrosia palustris	V	I	+	-	+	-	-	-	-
Bidens tripartita	III	+	-	-	-	-	-	-	-
Salicornia europaea	II	-	X	V	I	+	-	-	+
Salicornia procumbens	-	-	III	-	+	-	-	-	-
Suaeda maritima	-	-	IV	I	+	-	+	-	+
Spergularia salina	II	-	VIII	V	II	I	II	-	-
Puccinellia maritima	-	-	IV	VIII	I	+	II	I	+
Triglochin maritima	-	-	+	III	I	+	+	+	+
Atriplex litoralis	-	-	III	I	III	+	+	I	I
Lycopus europaeus	-	II	-	-	I	III	-	-	+
Atriplex prostrata	I	III	IV	VI	X	I	III	III	I
Senecio vulgaris	-	-	I	II	V	+	II	I	I
Phragmites australis	-	X	+	III	I	VI	VI	-	I
Agrostis stolonifera	II	II	I	II	I	V	II	I	I
Juncus ambiguus	II	+	+	II	+	IV	+	-	+
Poa trivialis	-	+	+	+	I	III	-	+	II
Sagina procumbens	-	-	-	I	+	IV	II	-	+
Tussilago farfara	-	+	+	+	I	V	III	+	I
Leontodon autumnalis	-	-	-	+	-	III	+	-	-
Plantago coronopus	-	-	+	I	I	III	+	-	+
Plantago major	I	+	+	+	I	V	I	-	+
Trifolium repens	-	+	-	-	-	III	I	-	+
Centaurium pulchellum	-	I	-	II	+	VI	+	-	I
Blackstonia perfoliata subsp. serotina	-	-	-	-	-	III	-	-	-
Epilobium ciliatum	-	+	-	+	+	IV	-	-	I
Cerastium fontanum	-	+	+	+	I	IV	IV	I	I
Gnaphalium luteo-album	-	-	-	+	II	III	V	I	+
Matricaria maritima	II	I	II	III	IV	V	VIII	III	III
Poa pratensis	-	-	+	II	II	IX	VII	III	III
Taraxacum officinale	-	+	+	I	I	V	IV	+	I
Epilobium parviflorum	I	II	+	III	IV	IV	X	V	IV
Epilobium tetragonum	-	I	+	I	III	II	VIII	IV	III
Lolium perenne	-	+	+	I	II	II	VI	II	+
Poa annua	-	I	II	III	IV	III	IX	+	+
Conyza canadensis	-	+	-	I	II	II	VII	IV	IV
Calamagrostis epigejos	-	-	-	II	I	VI	V	III	X
Cirsium arvense	-	IV	+	II	II	VII	IV	X	X
Cirsium vulgare	+	-	+	I	II	IV	III	VI	V
Elytrigia atherica	-	-	+	+	III	I	+	V	III
Urtica dioica	-	-	-	+	+	-	-	III	IV
Juncus bufonius	I	I	II	III	II	II	II	-	+
Aster tripolium	I	II	VI	IX	I	V	V	I	I
Sonchus arvensis	-	+	-	+	III	III	III	II	III
Epilobium hirsutum	I	IV	+	II	V	VI	VII	VIII	VII
Chamerion angustifolium	-	-	-	+	I	II	III	II	II

Bijlage X

Waardering plantensoorten

Uurhokfrequentieklasse

De zeldzaamheid van de soort uitgedrukt in een geschatte zeldzaamheidsklasse, gebaseerd op het aantal atlasblokken (5x5 km) waar de soort anno 1990 voorkomt (van der Meijden *et al.*, 1991).

Codering

0 = 0		uitgestorven of aanwezig
1 = 1	- 3	uiterst zeldzaam
2 = 4	- 10	zeer zeldzaam
3 = 11	- 29	zeldzaam
4 = 30	- 79	vrij zeldzaam
5 = 80	- 189	minder algemeen
6 = 190	- 410	vrij algemeen
7 = 411	- 710	algemeen
8 = 711	- 1210	zeer algemeen
9 = 1211	- 1677	uiterst algemeen

Rode lijst-classificatie

Soorten die in hun voortbestaan bedreigd worden zijn opgesomd in de rode lijst (Weeda *et al.*, 1990). De plantensoorten in de rode lijst zijn in vijf categorieën verdeeld, die met de cijfers 0, 1, 2, 3 of 4 worden aangeduid.

De betekenis van de classificaties is als volgt:

Rode lijst 0 : plant uit Nederland verdwenen.

Rode lijst 1 : plant recent in 1 - 12 uurhokken voorkomend en achteruitgang tenminste 50%; of plant recent in 13 - 40 uurhokken voorkomend en achteruitgang tenminste 75%.

Rode lijst 2 : plant recent in 1 - 12 uurhokken voorkomend en achteruitgang 25-50%; of plant recent in 13 - 40 uurhokken voorkomend en achteruitgang 50-75%; of in 41 - 225 uurhokken voorkomend en achteruitgang tenminste 75%.

Rode lijst 3 : plant recent in 13 - 40 uurhokken voorkomend en achteruitgang 25-50%; of in 41 - 225 uurhokken voorkomend en achteruitgang 25-75%.

Rode lijst 4 : plant recent in 1 - 60 uurhokken voorkomend, verspreiding min of meer stabiel; huidige voorkomen niet direct bedreigd.

De mate van achteruitgang is bepaald ten opzicht van het geschatte aantal uurhokken van de desbetreffende soort anno 1940. Onder recent wordt verstaan het geschatte (of bekende) aantal uurhokken waarin de soort anno 1980 voorkomt (van der Meijden, 1996).

I-criterium voor hogere planten

De soort is strikt Europees en Nederland heeft een centrale of subcentrale ligging in het verspreidingsgebied van de soort (IKC, 1995).

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Vegetatietype	UHF	rode lijst	i-soort
<i>Blackstonia perfoliata</i> subsp. <i>serotina</i>	Herfstbitterling	schraallandvegetatie	2	4	
<i>Centaureum littorale</i>	Strandduizendguldenkruid	schraallandvegetatie / zilt grasland	5		x
<i>Centaureum pulchellum</i>	Fraai duizendguldenkruid	schraallandvegetatie / zilt grasland	5	3	
<i>Crepis capillaris</i>	Klein streepzaad	schraallandvegetatie	9		x
<i>Elymus athericus</i>	Strandkweek	ruigte-/duinriet-/spiesmeldevegetatie	6		x
<i>Gnaphalium luteo-album</i>	Bleekgele droogbloem	schraallandvegetatie/ kruidenrijk grasland	5		
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte witbol	kruidenrijk grasland	9		x
<i>Juncus ambiguus</i>	Zilte greppelrus	schraallandvegetatie	5		
<i>Leontodon saxatilis</i>	Kleine leeuwetand	schraallandvegetatie	8		x
<i>Limonium vulgare</i>	Lamsoor	zilt grasland	5		x
<i>Limosella aquatica</i>	Slijkgroen	oevervegetatie	4		
<i>Parapholis strigosa</i>	Dunstaart	zilt grasland	5		x
<i>Parnassia palustris</i>	Parnassia	schraallandvegetatie	4	3	
<i>Rumex palustris</i>	Moeraszuring	oevervegetatie	7		x
<i>Sagina nodosa</i>	Sierlijke vetmuur	schraallandvegetatie	5	3	
<i>Salicornia procumbens</i>	Langarige zeekraal	zilte pioniervegetatie	6		x
<i>Salix aurita</i>	Geoorde wilg	duinrietvegetatie	8		x
<i>Sambucus nigra</i>	Gewone vlier	duinriet-/ruigtevegetatie	9		x
<i>Sedum acre</i>	Muurpeper	schraallandvegetatie	8		x
<i>Spartina townsendii</i>	Engels slijkgras	zilte pioniervegetatie	5		x
<i>Suaeda maritima</i>	Schorrenkruid	zilte pioniervegetatie	5		
<i>Trifolium dubium</i>	Kleine klaver	schraallandvegetatie	9		x

Bijlage XI

Soortenlijst hogere planten oevergebieden

Lijst van hogere planten die in de periode van 1987 tot en met 1994 werden aangetroffen in de oevergebieden van het Krammer/Volkerak/Zoommeer. Achter de soorten staat de uurhokfrequentieklasse vermeld, indien deze ≤ 5 was, en de rode lijst classificatie (van der Meijden *et al.*, 1991; Weeda *et al.*, 1990). Voor de betekenis van de codering van deze aanduidingen; zie bijlage X.

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	UFK	rode lijst
<i>Achillea millefolium</i>	Gewoon duizendblad		
<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras		
<i>Alopecurus geniculatus</i>	Geknikte vossenstaart		
<i>Ammophila arenaria</i>	Helm	5	
<i>Arrhenatherum</i>	Glanshaver (G)		
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Glanshaver		
<i>Aster tradescantii</i>	Kleine aster	4	
<i>Aster tripolium</i>	Zulte		
<i>Atriplex</i>	Melde (G)		
<i>Atriplex littoralis</i>	Strandmelde		
<i>Atriplex portulacoides</i>	Gewone zoutmelde	5	
<i>Atriplex prostrata</i>	Spiesmelde		
<i>Bellis perennis</i>	Madeliefje		
<i>Betula pendula</i>	Ruwe berk		
<i>Betula pubescens</i>	Zachte berk		
<i>Bidens frondosa</i>	Zwart tandzaad		
<i>Bidens tripartita</i>	Veerdelig tandzaad		
<i>Blackstonia perfoliata</i> subsp. <i>serotina</i>	Herfstbitterling	2	4
<i>Bromus hordeaceus</i> subsp. <i>hordeaceus</i>	Zachte dravik s.s.		
<i>Bromus hordeaceus</i>	Zachte dravik s.l.		
<i>Bulboschoenus maritimus</i>	Heen		
<i>Butomus umbellatus</i>	Zwanebloem		
<i>Calamagrostis canescens</i>	Hennegras		
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Duinriet		
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Gewoon herderstasje		
<i>Cardamine</i>	Veldkers (G)		
<i>Carex</i>	Zegge (G)		
<i>Carex otrubae</i>	Valse voszegge		
<i>Carex riparia</i>	Oeverzegge		
<i>Centaureum littorale</i>	Strandduizendguldenkruid	5	
<i>Centaureum pulchellum</i>	Fraai duizendguldenkruid	5	3
<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone en Glanzige hoornbloem		
<i>Chamerion angustifolium</i>	Wilgeroosje		
<i>Chenopodium album</i>	Melganzenvoet		
<i>Chenopodium glaucum</i>	Zeegroene ganzenvoet		
<i>Chenopodium rubrum</i>	Rode ganzenvoet		
<i>Cirsium</i>	Vederdistel (G)		
<i>Cirsium arvense</i>	Akkerdistel		
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel		
<i>Cochlearia officinalis</i>	Echt en Engels lepelblad		

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	UFK	rode lijst
<i>Conyza canadensis</i>	Canadese fijnstraal		
<i>Corispermum</i>	Vlieszaad (G)		
<i>Corispermum leptopterum</i>	Smal vlieszaad5		
<i>Crataegus monogyna</i>	Eenstijlige meidoorn		
<i>Crepis capillaris</i>	Klein streepzaad		
<i>Crepis vesicaria</i> (subsp. <i>taraxacifolia</i>)	Paardebloemstreepzaad	5	
<i>Dactylis glomerata</i>	Kropaar		
<i>Daucus carota</i>	Peen		
<i>Dryopteris</i>	Niervaren (G)		
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Smalle stekelvaren		
<i>Dryopteris dilatata</i>	Brede stekelvaren		
<i>Elymus</i>	Kweekgras (G)		
<i>Elytrigia atherica</i>	Strandkweek		
<i>Elytrigia repens</i>	Kweek		
<i>Epilobium ciliatum</i>	Beklierde basterdwederik		
<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgeroosje		
<i>Epilobium parviflorum</i>	Viltige basterdwederik		
<i>Epilobium tetragonum</i>	Kantige basterdwederik s.l.		
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Koninginnenkruid		
<i>Festuca arundinacea</i>	Rietzwenkgras		
<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras s.l.		
<i>Galium aparine</i>	Kleefkruid		
<i>Geranium dissectum</i>	Slipbladige ooievaarsbek		
<i>Geranium molle</i>	Zachte ooievaarsbek		
<i>Glaux maritima</i>	Melkkruid		
<i>Gnaphalium luteo-album</i>	Bleekgele droogbloem	5	
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Duindoorn	5	
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte witbol		
<i>Hordeum</i>	Gerst (G)		
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewoon biggekruid		
<i>Juncus</i>	Rus (G)		
<i>Juncus ambiguus</i>	Zilte greppelrus	5	
<i>Juncus articulatus</i>	Zomprus		
<i>Juncus bufonius</i>	Greppelrus		
<i>Juncus gerardi</i>	Zilte rus		
<i>Juncus inflexus</i>	Zeegroene rus		
<i>Lactuca serriola</i> fo. <i>serriola</i> Fo. <i>serriola</i> v.	Kompassla		
<i>Lemna minor</i>	Klein kroos		
<i>Leontodon autumnalis</i>	Vertakte leeuwentand		
<i>Leontodon saxatilis</i>	Kleine leeuwentand		
<i>Lepidium ruderales</i>	Steenkruidkers	5	
<i>Limonium vulgare</i>	Lamsoor	5	
<i>Limosella aquatica</i>	Slijkgroen	4	
<i>Lolium perenne</i>	Engels raaigras		
<i>Lotus corniculatus</i>	Gewone en Smalle rolklaver		
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfspoot		
<i>Lythrum</i>	Kattenstaart (G)		
<i>Lythrum salicaria</i>	Grote kattenstaart		
<i>Medicago lupulina</i>	Hopklaver		
<i>Odontites vernus</i>	Rode ogentroost		
<i>Oenothera biennis</i>	Middelste teunisbloem		

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	UFK	rode lijst
<i>Parapholis strigosa</i>	Dunstaart	5	
<i>Parnassia palustris</i>	Parnassia	4	3
<i>Persicaria lapathifolia</i>	Beklierde duizendknoop		
<i>Persicaria maculosa</i>	Perzikkruid		
<i>Persicaria mitis</i>	Zachte duizendknoop		
<i>Phragmites australis</i>	Riet		
<i>Plantago coronopus</i>	Hertshoornweegbree		
<i>Plantago major</i>	Grote weegbree s.l.		
<i>Plantago major</i> subsp. <i>major</i>	Grote weegbree s.s.		
<i>Plantago maritima</i>	Zeeweegbree		
<i>Poa</i>	Beemdgras (G)		
<i>Poa annua</i>	Straatgras		
<i>Poa pratensis</i> + <i>Poa angustifolia</i>	Veldbeemdgras + Smal beemdgras-		
<i>Poa pratensis</i>	Veldbeemdgras		
<i>Poa trivialis</i>	Ruw beemdgras		
<i>Polygonum</i>	Duizendknoop (G)		
<i>Polygonum aviculare</i>	Varkensgras		
<i>Populus gileadensis</i>	Ontariopopulier		
<i>Populus tremula</i>	Ratelpopulier		
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Schedefonteinkruid		
<i>Pteridium aquilinum</i>	Adelaarsvaren		
<i>Puccinellia distans</i> subsp. <i>distans</i>	Stomp kweldergras s.s.		
<i>Puccinellia distans</i>	Stomp kweldergras s.l.		
<i>Puccinellia maritima</i>	Gewoon kweldergras		
<i>Pulicaria dysenterica</i>	Heelblaadjes		
<i>Ranunculus sceleratus</i>	Blaartrekkende boterbloem		
<i>Rorippa palustris</i>	Moeraskers		
<i>Rosa</i>	Roos (G)		
<i>Rubus</i>	Braam (G)		
<i>Rubus caesius</i>	Dauwbraam		
<i>Rumex crispus</i>	Krulzuring		
<i>Rumex maritimus</i>	Goudzuring		
<i>Rumex palustris</i>	Moeraszuring		
<i>Ruppia maritima</i>	Snavelruppia	3	3
<i>Sagina nodosa</i>	Sierlijke vetmuur	5	3
<i>Sagina procumbens</i>	Liggende vetmuur		
<i>Salicornia europaea</i>	Kortarige zeekraal		
<i>Salicornia procumbens</i>	Langarige zeekraal		
<i>Salix</i>	Wilg (G)		
<i>Salix alba</i>	Schietwilg		
<i>Salix aurita</i>	Geoorde wilg		
<i>Salix cinerea</i>	Grauwe wilg		
<i>Salix fragilis</i>	Kraakwilg		
<i>Salix viminalis</i>	Katwilg		
<i>Sambucus nigra</i>	Gewone vlier		
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Mattenbies		
<i>Sedum acre</i>	Muurpeper		
<i>Senecio jacobaea</i> subsp. <i>jacobaea</i>	Jakobskruiskruid s.s.		
<i>Senecio jacobaea</i>	Jakobskruiskruid s.l.		
<i>Senecio vulgaris</i>	Klein kruiskruid		
<i>Sisymbrium officinale</i>	Gewone raket		

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	UFK	rode lijst
<i>Solanum dulcamara</i>	Bitterzoet		
<i>Solanum nigrum</i> subsp. <i>nigrum</i>	Zwarte nachtschade s.s.		
<i>Solanum nigrum</i>	Zwarte nachtschade s.l.		
<i>Sonchus</i>	Melkdistel (G)		
<i>Sonchus arvensis</i> var. <i>maritimus</i>	Zeemelkdistel	5	
<i>Sonchus arvensis</i>	Akkermelkdistel s.l.		
<i>Sonchus asper</i>	Gekroesde melkdistel		
<i>Sonchus oleraceus</i>	Gewone melkdistel		
<i>Sonchus palustris</i>	Moerasmelkdistel		
<i>Sorbus aucuparia</i>	Wilde lijsterbes		
<i>Spartina anglica</i>	Engels slijkgras	5	
<i>Spergularia media</i> subsp. <i>angustata</i>	Gerande schijnspurrie		
<i>Spergularia salina</i>	Zilte schijnspurrie		
<i>Stellaria media</i>	Vogelmuur		
<i>Suaeda</i>	Schorrenkruid (G)		
<i>Suaeda maritima</i>	Schorrenkruid	5	
<i>Subularia</i>	Priemkruid (G)		
<i>Tagetes minuta</i>	Geelgroen afrikaantje		
<i>Taraxacum officinale</i> s.s.	Gewone paardebloem		
<i>Tephrosia palustris</i>	Moerasandijvie		
<i>Trifolium dubium</i>	Kleine klaver		
<i>Trifolium fragiferum</i>	Aardbeiklaver		
<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver		
<i>Triglochin maritima</i>	Schorrenzoutgras		
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	Reukeloze kamille		
<i>Trisetum flavescens</i>	Goudhaver		
<i>Tussilago farfara</i>	Klein hoefblad		
<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel		
<i>Veronica</i>	Ereprijs (G)		
<i>Veronica catenata</i>	Rode waterereprijs		
<i>Zannichellia palustris</i>	Zannichellia		

Bijlage XII

Soortenlijst hogere planten op de eilanden

Lijst van hogere planten die in de periode van 1987 tot en met 1994 werden aangetroffen op de eilanden in het Krammer/Volkerak (De groene ruimte, 1995).

Wetenschappelijke naam

Achillea millefolium
Agrostis stolonifera
Alisma plantago-aquatica
Alnus glutinosa
Amaranthus retroflexus
Anaphalus margaritacea
Angelica archangelica
Artemisia vulgaris
Aster tripolium
Atriplex littoralis
Atriplex patula
Atriplex prostrata
Bellis perennis
Bidens connata
Bidens frondosa
Bidens tripartita
Blackstonia perfoliata subsp. serotina
Brassica nigra
Buddleja davidii
Bulboschoenus maritimus
Cakile maritima
Calamagrostis epigejos
Capsella bursa-pastoris
Carex acutiformis
Carex otrubae
Centaureum littorale
Cerastium fontanum
Cerastium glomeratum
Chamerion angustifolium
Chenopodium ficifolium
Chenopodium glaucum
Chenopodium rubrum
Cirsium arvense
Cirsium vulgare
Conyza canadensis
Corispermum intermedium
Coronopus didymus
Crataegus monogyna
Diplotaxis tenuifolia
Echinochloa crus-galli
Eleocharis palustris subsp. palustris
Elytrigia repens
Epilobium ciliatum
Epilobium hirsutum

Nederlandse naam

Gewoon duizendblad
Fioringras
Grote waterweegbree
Zwarte els
Papegaaiekruid
Papierbloem
Grote engelwortel
Bijvoet
Zulte
Strandmelde
Uitstaande melde
Spiesmelde
Madeliefje
Smal tandzaad
Zwart tandzaad
Veerdelig tandzaad
Herfstbitterling
Zwarte mosterd
Vlinderstruik
Heen
Zeeraket
Duinriet
Gewoon herderstasje
Moeraszegge
Valse voszegge
Strandduizendguldenkruid
Gewone en Glanzige hoornbloem
Kluwenhoornbloem
Wilgeroosje
Stippelganzenvoet
Zeegroene ganzenvoet
Rode ganzenvoet
Akkerdistel
Speerdistel
Canadese fijnstraal
Smal vlieszaad
Kleine varkenskers
Eenstijlige meidoorn
Grote zandkool
Hanepoot
Gewone waterbies
Kweek
Beklierde basterdwederik
Harig wilgeroosje

Wetenschappelijke naam

Equisetum arvense
Erodium lebelii
Eupatorium cannabinum
Festuca arundinacea
Festuca rubra
Fragaria x ananassa
Glaux maritima
Glechoma hederacea
Glyceria maxima
Gnaphalium luteo-album
Gnaphalium uliginosum
Helianthus annuus
Holcus lanatus
Honckenya peploides
Hypochaeris radicata
Juncus ambiguus
Juncus balticus
Juncus bufonius
Juncus conglomeratus
Juncus gerardi
Juncus inflexus
Leontodon autumnalis
Leontodon saxatilis
Limosella aquatica
Lolium perenne
Lotus corniculatus subsp. corniculatus
Lotus pedunculatus
Lycopus europaeus
Matricaria recutita
Medicago lupulina
Melilotus albus
Mentha aquatica
Molinia caerulea
Myriophyllum spicatum
Oenothera biennis
Persicaria lapathifolium
Persicaria maculosa
Persicaria minor
Phalaris arundinacea
Phragmites australis
Plantago coronopus
Plantago lanceolata
Plantago major subsp. intermedia
Plantago major subsp. major
Poa annua
Poa pratensis
Poa trivialis
Polygonum aviculare
Populus x canadensis
Potentilla anserina
Prunella vulgaris

Nederlandse naam

Heermoes
Kleverige reigersbek
Koninginnenkruid
Rietzwenkgras
Rood zwenkgras s.l.
Tuinaardbei
Melkkruid
Hondsdrif
Liesgras
Bleekgele droogbloem
Moerasdroogbloem
Zonnebloem
Gestreepte witbol
Zeepostelein
Gewoon biggekruid
Zilte greppelrus
Noordse rus
Greppelrus
Biezenknoppen
Zilte rus
Zeegroene rus
Vertakte leeuwentand
Kleine leeuwentand
Slijkgroen
Engels raaigras
Gewone rolklaver
Moerasrolklaver
Wolfspoot
Echte kamille
Hopklaver
Witte honingklaver
Watermunt
Pijpestrootje
Aarvederkruid
Middelste teunisbloem
Beklierde duizendknoop
Perzikkruid
Kleine duizendknoop
Rietgras
Riet
Hertshoornweegbree
Smalle weegbree
Getande weegbree
Grote weegbree s.s.
Straatgras
Veldbeemdgras
Ruw beemdgras
Gewoon varkensgras
Canadapopulier
Zilverschoon
Gewone brunel

Wetenschappelijke naam

Puccinellia distans
Pulicaria dysenterica
Ranunculus repens
Ranunculus sceleratus
Reseda lutea
Rorippa amphibia
Rorippa sylvestris
Rubus caesius
Rumex crispus
Rumex hydrolapathum
Rumex maritimus
Rumex palustris
Sagina nodosa
Sagina procumbens
Salicornia
Salix alba
Salix aurita
Salix caprea
Salix cinerea
Salix fragilis
Salix purpurea
Salix repens
Salix triandra
Salix viminalis
Samolus valerandi
Schoenoplectus lacustris
Schoenoplectus tabernaemontani
Sedum acre
Senecio jacobaea
Senecio viscosus
Senecio vulgaris
Setaria viridis
Sisymbrium officinale
Solanum dulcamara
Solidago gigantea
Sonchus arvensis
Sonchus asper
Sonchus oleraceus
Sonchus palustris
Spergularia rubra
Stellaria media
Suaeda maritima
Symphytum officinale
Taraxacum officinale s.s.
Tephrosia palustris
Trifolium campestre
Trifolium pratense
Trifolium repens
Tripleurospermum maritimum
Tussilago farfara
Typha angustifolia

Nederlandse naam

Stomp kweldergras s.l.
Heelblaadjes
Kruipende boterbloem
Blaartrekkende boterbloem
Wilde reseda
Gele waterkers
Akkerkers
Dauwbraam
Krulzuring
Waterzuring
Goudzuring
Moeraszuring
Sierlijke vetmuur
Liggende vetmuur
Zeekraal (G)
Schietwilg
Geoorde wilg
Boswilg
Gauwe wilg
Kraakwilg
Bittere wilg
Kruipwilg
Amandelwilg
Katwilg
Waterpunge
Mattenbies s.s.
Ruwe bie
Muurpeper
Jakobskruid s.l.
Kleurig kruiskruid
Klein kruiskruid
Groene naalbaar
Gewone raket
Bitterzoet
Late guldenroede
Akkermelkdistel s.l.
Gekroesde melkdistel
Gewone melkdistel
Moerasmelkdistel
Rode schijnspurrie
Vogelmuur
Schorrenkruid
Gewone smeewortel
Gewone paardebloem
Moerasandijvie
Liggende klaver
Rode klaver
Witte klaver
Reukeloze kamille
Klein hoefblad
Kleine lisdodde

Wetenschappelijke naam

Typha latifolia

Urtica dioica

Veronica anagallis-aquatica

Veronica catenata

Vicia hirsuta

Nederlandse naam

Grote lisdodde

Grote brandnetel

Blauwe waterereprijs

Rode waterereprijs

Ringelwikke

Bijlage XIII
Aangetroffen vegetatietypen op pq's

Vegetatietypen die op de permanente quadraten werden aangetroffen bij de verschillende bodemtypen.
De rijen stellen de permanente quadraten voor, waarbij elke rij één permanent vierkant vertegenwoordigt. De kolommen staan voor de verschillende opnamejaren. Alleen de pq's waarvan elk opnamejaar de vegetatie op was genomen, of waarvan ten hoogste één opnamejaar ontbrak, zijn weergegeven.

	1988	1989	1990	1991	1994
pleknr.					
6.01					
6.11					
5.05					
6.16					
6.15					
6.03					
4.12					
5.04					
6.02					
5.02					
4.06					
4.09					
5.01					
4.08					
4.02					
4.04					
4.1					
6.19					
6.06					
6.12					
6.08					
6.13					
6.04					
6.05					
6.14					
4.07					
6.18					
6.07					
4.11					
4.01					

Bodemtype 1; Schor, klei op zand

- zilde pioniervegetatie
- zilt grasland
- spiesmelde vegetatie
- kruidenrijk grasland
- schraallandvegetatie
- ruigtevegetatie
- droog rietland
- duinrietvegetatie
- oevervegetatie

	1988	1989	1990	1991	1994
pleknr.					
3.02					
3.01					
1.06					
1.03					
1.02					
1.04					
1.05					

Bodemtype 2; Schor, klei diep

	1988	1989	1990	1991	1994
pleknr.					
4.18					
2.08					
2.09					
2.1					
8.01					
8.02					
8.03					

Bodemtype 3; Grofzandige delen

	1988	1989	1990	1991	1994
pleknr.					
7.13					
4.17					
7.12					
8.04					
1.12					
1.13					
7.15					
7.16					
4.15					
4.16					
1.08					
1.09					
1.11					
7.14					
7.11					
2.07					
2.06					

Bodemtype 4; Fijnzandige delen

	1988	1989	1990	1991	1994
pleknr.					
3.05					
7.17					
7.08					
7.18					
7.01					
7.02					
7.03					
7.1					
3.04					
3.06					
4.13					
3.03					
7.04					
7.09					
4.14					
3.07					
2.01					
2.02					
2.04					
2.05					

Bodemtype 5: Laag en vlak slik

- zilde pioniervegetatie
- zilt grasland
- spiesmelde vegetatie
- kruidenrijk grasland
- schraallandvegetatie
- ruigtevegetatie
- droog rietland
- duinrietvegetatie
- oevervegetatie

Noten

- 1
Helofyt: moerasplant, wortelend in de onderwaterbodem. De overwinteringsknoppen bevinden zich onder water, de bloeiende plant bevindt zich boven water (van der Meijden, 1996).
- 2
Begin 1989 is de naam van de RIJP veranderd in: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, directie Flevoland, die op zijn beurt begin 1995 weer veranderde in: Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, directie IJsselmeergebied.
- 3
Permanent quadraat (pq): afgebakend proefvlak in de vegetatie, waarvan op gezette tijden opnamen gemaakt worden (Schaminée *et al.*, 1995).
- 4
M₅₀-waarde: de mediaan van de korrels, groter dan 50 µm.
- 5
AMK-grenswaarden: deze normen voor de algemene milieu-kwaliteit (AMK), de zogenaamde kwaliteitsdoelstelling 2000, zijn in 1989 opgesteld in de derde nota waterhuishouding. Wanneer de concentraties van stoffen in water en sediment lager zijn dan deze normen, treden geen negatieve effecten op bij de reproductie en groei van organismen (Ministerie van VROM, 1989).
- 6
Dispersielengte: maat voor de menging van bodemwater. Dispersie wordt veroorzaakt door de van plaats tot plaats in grootte en richting variërende snelheid van de waterdeeltjes in het poriën-netwerk.
- 7
Gewasfactor: factor waarmee de potentiële verdamping van het referentiegewas gras wordt vermenigvuldigd om de potentiële verdamping van het gewenste gewas te verkrijgen.
- 8
Interceptie verdamping: verdamping van water vanaf planten.
- 9
Actuele transpiratie: verdamping van water uit planten, via de huidmondjes.
- 10
GVE: Grootvee-eenheid ≈ 1 volwassen rund.
- 11
Vegetatiesuccessie: proces van opeenvolging van verschillende plantengemeenschappen op een bepaalde plaats (Schaminée *et al.*, 1995).
- 12
i-criterium voor hogere planten: de soort is strikt Europees en Nederland heeft een centrale of subcentrale ligging in het verspreidingsgebied van de soort (IKC, 1995).
- 13
Abundantie: het aantal individuen van een soort op een bepaalde plaats; in combinatie met bedekking is het een onderdeel van de gecombineerde schatting van de schaal van Braun-Blanquet; als bijvoeglijk naamwoord (*abundant*) heeft het alleen de betekenis "zeer veel" (Schaminée *et al.*, 1995).

Colofon

Coördinatie productie	H. Bos
Vormgeving	F. van der Veen / H. Bos
Omslagontwerp	I. Joustra / F. van der Veen, <i>Haarlem</i>
Cartografie	I. Joustra / F. van der Veen, <i>Haarlem</i>
Figuren	I. Joustra / F. van der Veen, <i>Haarlem</i> B. Zijlstra, <i>Oosterbeek</i> (fig. 3.6, pag.35)
Bewerking kaarten losse bijlagen	B. van de Pas
Lithografie en drukwerk	Evers Litho & Druk bv, <i>Almere-Stad</i>