

NNI 0/201

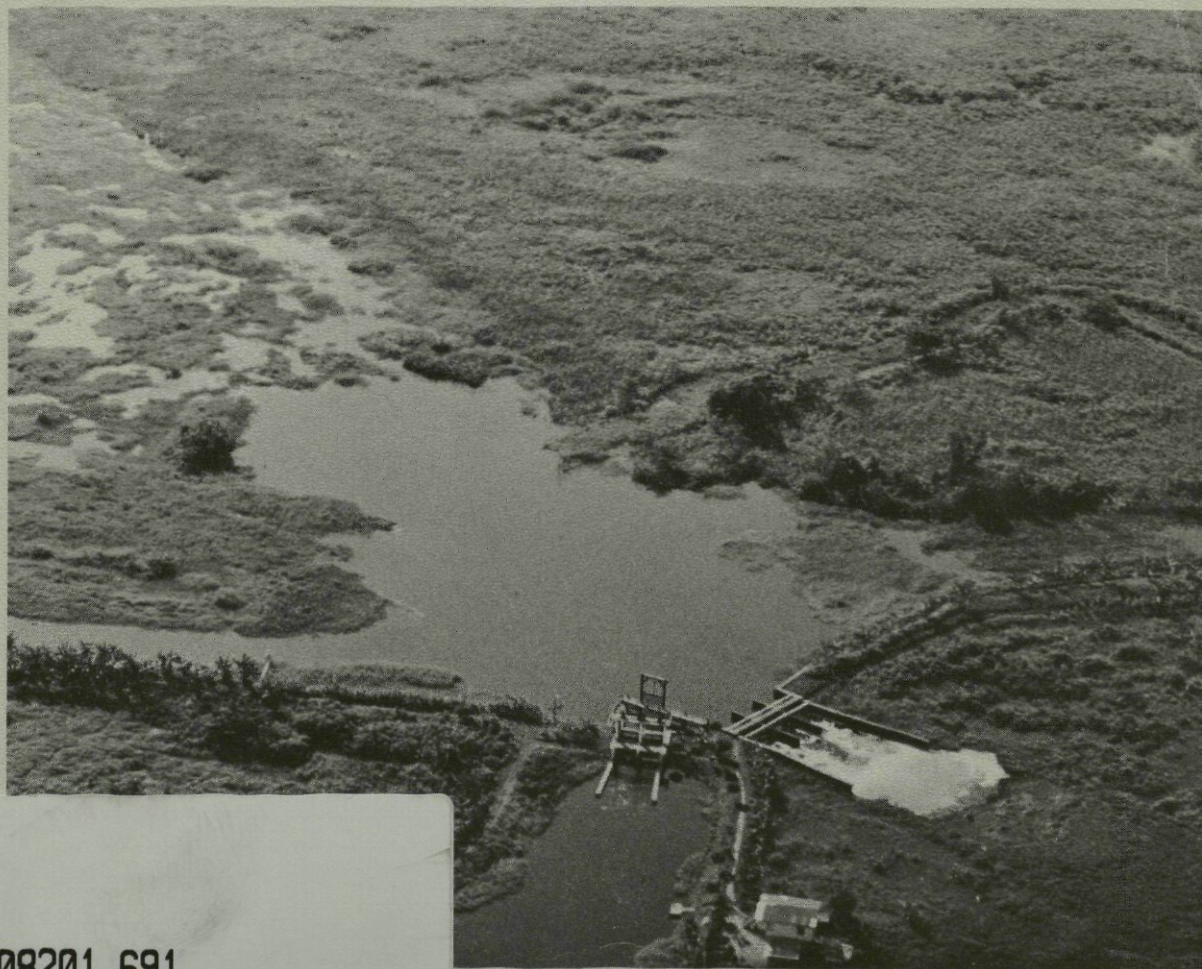
691

C 691

IRRIGATIE UIT EEN MOERAS

Een hydrologische studie
van de Nannizwamp in Suriname

R.J. Sevenhuijsen



NN08201.691

R.J. Sevenhuijsen

IRRIGATIE UIT EEN MOERAS

Een hydrologische studie van de Nannizwamp in Suriname

Proefschrift

ter verkrijging van de graad van
doctor in de landbouwwetenschappen,
op gezag van de rector magnificus,
dr. H.C. van der Plas,
hoogleraar in de organische scheikunde,
in het openbaar te verdedigen
op vrijdag 9 september 1977
des namiddags te vier uur in de aula
van de Landbouwhogeschool te Wageningen



Centrum voor landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie

Wageningen - 1977

Abstract

Sevenhuijsen, R.J. (1977) Irrigatie uit een moeras - Een hydrologische studie van de Nanni-zwamp in Suriname / Irrigation water from a swamp - A hydrological study of the Nanni swamp in Surinam. Versl. landbouwk. Onderz. (Agric. Res. Rep.) 869, ISBN 90 220 0644 1, (viii) + 143 p., 54 figs, 24 tables, 87 refs, Eng. and Dutch summaries.
Also: Doctoral thesis, Wageningen.

Tropical Swamp areas are sometimes suitable for agricultural expansion. In Suriname reclamation of relatively small parts of the coastal swamp has been carried out for centuries. Many of these polders are abandoned or have been made suitable for (wet) rice cultivation. For further development of this type of rice culture more knowledge of hydrology and oecology of the swamps is required.

This study of the Nanni Swamp in N. Suriname covers the following subjects: catchment area survey, water balance of the swamp area, water movement through the overgrown reservoir, irrigation possibilities for rice culture and the influence on the swamp vegetation. Although many details remained unclear a satisfactory understanding of the hydrology of the area was obtained. Knowledge of the potential and the limitations could lead to further development of the area, and can also provide data relevant to situations elsewhere.

Free descriptors: catchment area survey, water balance, calculation model, water movement, vegetation, rice culture.

This thesis will also be published as Agricultural Research Reports 869.

© Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1977.

No part of this book may be reproduced or published in any form, by print, photoprint, microfilm or any other means without written permission from the publishers.

Stellingen

1. In een ontoegankelijk gebied als de Nannizwamp is het idee dat de natuur de mens overheerst aannemelijker dan omgekeerd.

2. De mogelijkheden van watertransport door natuurlijke depressie in de jonge kustvlakte van Suriname zijn tengevolge van de stromingsweerstand zeer beperkt.

Prof. Dr. Ir. W.J. van Blommerstein. Het nationaal ontwikkelingsprogram voor Suriname.

3. De Nannikreek die in het Nannimeer ontspringt en degene die door de Nannizwamp stroomt zijn slechts tijdelijk verbonden geweest, in tegenstelling tot wat op de kaarten is aangegeven.

Dit proefschrift.

4. In de waterbalansstudies van moerasgebieden in de USSR door Bavina wordt geen rekening gehouden met de oppervlakteverandering bij peilveranderingen. In de studie van de Nannizwamp blijkt de peil/oppervlakte-relatie juist een belangrijke rol te spelen.

L.G. Bavina, 1972. Waterbalance of swamps and its computation. Symposium on the hydrology of marsh-ridden areas.

5. De veronderstelling van Eisenlohr dat de evapotranspiratie van begroeide plassen groter zou zijn dan van onbegroeide plassen in gebieden met een lang groeiseizoen, blijkt niet juist te zijn.

W.M.S. Eisenlohr Jr, 1972. Hydrology of marshy ponds on the Coteau du Missouri. In: Hydrology of marsh-ridden areas. Proceedings of the Minsk Symposium. p. 305-311. (publ. 1975)

6. De infrastructuur die nodig is voor geïrrigeerde rijstcultuur leent zich slecht voor andere geïrrigeerde gewassen. Mede hierdoor wordt geïrrigeerde rijstbouw voornamelijk als monocultuur bedreven.

7. Wanneer bij 'recycling' van irrigatiewater het water in een zwampreservoir wordt teruggepompt, is het belangrijk hiervoor een afgescheiden deel te reserveren.

8. Wanneer goedkope bestrijdingsmiddelen met negatieve bijwerking voor het milieu vervangen moeten worden door duurdere, selectief werkende, is het billijk dat deze kostprijsverhoging doorberekend kan worden, in het bijzonder wanneer de produktie in ontwikkelingslanden en de consumptie in ontwikkelde landen plaatsvindt.

9. Aan de kennis van de interactie tussen hydrologie en vegetatie moet bij de opleiding meer aandacht worden geschonken.

10. De verwachtingen ten aanzien van het vinden van z.g. eigen oplossingen voor technische problemen in ontwikkelingslanden zijn te hoog gespannen.

11. De zweetdruppels van de medewerkers van deze studie hebben niet kwantitatief maar wel kwalitatief bijgedragen aan de afvoergegevens.

Woord vooraf

Na drie jaar ijverig plannen maken, als irrigatie-ingenieur bij de afdeling projectplanning van het Ministerie van Landbouw in Suriname, belast met de landbouwprojecten in West-Suriname, bleef het grote waterreservoir, in de vorm van een groot moeras, als grote onbekende over. Koen Roest als praktijkstudent werd erop uitgestuurd en kwam terug met veel gegevens en mooie verhalen. Samen met de bioloog Teunissen van Landsbos-beheer werden enkele verkenningstochten ondernomen. Duidelijk bleek dat het onderzoeken van dit gebied een 'full time job' zou worden. Dank zij de steun van prof. Nugteren en de medewerking van de Wotro-vertegenwoordiger in Suriname, dr. Ruinard, kon op tijd een aanvraag voor een subsidie bij de Stichting voor de bevordering van Wetenschappelijk Onderzoek van de Tropen (Wotro) worden ingediend.

In februari werd de subsidie toegekend en in april namen de voorbereidingen een aanvang. Dank zij de vlotte medewerking van Wotro kon het veldwerk in september beginnen. In oktober bracht prof. Nugteren een bezoek aan het onderzoeksgebied. Ik had hem graag willen bedanken voor zijn stimulerende en waardevolle adviezen. Kort daarna werd het onderzoek getroffen door een ramp waarbij twee medewerkers, de praktijkstudent Loek Fransen en de Surinaamse bootsman Balgobin, in de rivier de Corantijn verdronken. Enige maanden later werd een tweede gevoelig verlies geleden, toen prof. Nugteren plotse-ling overleed. Prof. van der Molen werd bereid gevonden verder als supervisor op te treden. Het gevoel alleen te staan tegenover een gevaarlijk onderzoeksobject werd gelukkig gelijdelijk weggenomen, doordat van verschillende kanten medewerking werd onder-vonden. Veel steun werd in deze periode van gegevens verzamelen verkregen van de volgende Surinaamse overheidsinstellingen en particuliere bedrijven, aan welke ik dan ook veel dank verschuldigd ben: de Waterloopkundige Afdeling, de Dienst Bodemkartering, het Landbouwproefstation, het Celos, het Centraal Bureau Luchtfotokartering, het Bureau Landelijke Opbouw, de Meteorologische Dienst, de Geologisch Mijnbouwkundige dienst, de troepenmacht Suriname, het Ilaco, de Sunecon, de Sescon groep, het aannemersbedrijf Baithali, de vliegers van de 'gebroeders Gummels' en de firma Van Dijk in Nickerie en in het bijzonder de Landbouwvoorlichtingsdienst in Nickerie.

Bijzonder erkentelijk ben ik mijn Surinaamse medewerkers Bisoen Jainarain en Jan Khodabaks die onder alle omstandigheden hun uiterste best hebben gedaan. De praktijk-studenten Daan Ponsteen, Raf Bakker en Hans Willemink dank ik voor hun bijdragen aan dit gedeelte van het onderzoek. Judith, jou bedank ik voor de vele uren posten bij de krakerige zendinstallatie, klaar om hulp vanaf het vasteland te mobiliseren. Ik geloof, achteraf dat het onderzoek jou vaak zwaarder is gevallen dan mijzelf. Vader Sevenhuijsen dank ik voor de vele logistieke diensten die hij vanuit Nederland heeft verleend.

In de periode van uitwerking van de gegevens heb ik veel te danken gehad aan Jan Buis die onmisbare diensten heeft verleend bij de computerverwerking van de

resultaten van de metingen. Prof. van der Molen, U ben ik veel dank verschuldigd voor de uren die U besteed heeft aan de verschillende edities van dit geschrift. Het waren niet alleen leerzame, maar ook aangename zittingen.

Voor de afwerking van het geschrift wil ik graag nog bedanken Zwanet de Jong voor het vele typewerk, de heer Rietveld voor de tekeningen en de heer Van den Heuvel voor de eindafwerking door het Pudoc.

Tenslotte bewaar ik goede herinneringen aan de vele uitgebreide gesprekken over het onderzoek met en de gastvrijheid in Paramaribo bij Pieter en Marga Teunissen, die nu met de uitwerking van hun Wotro-onderzoek bezig zijn; ook naar hen gaat mijn dank uit.

Curriculum vitae

De auteur werd geboren op 3 januari 1943 te Rozendaal bij Velp. In de periode 1955/'61 volgde hij middelbaar onderwijs op diverse plaatsen. In oktober 1963 werd de studie aan de Landbouwhogeschool in de richting Irrigatie en Weg- en waterbouwkunde begonnen. In januari 1969 werd het ingenieursexamen afgelegd met als vakkenpakket Irrigatie, Weg- en waterbouwkunde, Meteorologie en Cultuurtechniek.

Gedurende 1969/'70 was hij als wetenschappelijk medewerker verbonden aan de afdeling Cultuurtechniek van de Landbouwhogeschool Wageningen. Van 1970 tot 1973 werkte hij bij de afdeling projectplanning van het Ministerie van Landbouw in Suriname. Voor het onderzoek van de irrigatiemogelijkheden uit de Nannizwamp (Suriname) werd van 1973 tot 1976 een subsidie ontvangen van de Stichting voor de bevordering van Wetenschappelijk Onderzoek van de Tropen (Wotro). Aanvankelijk stond het onderzoek onder supervisie van prof. Nugteren; na diens overlijden in 1974 werd deze taak overgenomen door prof. van der Molen. Op verzoek van de Surinaamse overheid werd van september tot december 1975 in samenwerking met de Waterloopkundige Afdeling een rapport over de irrigatiemogelijkheden opgesteld. Nadien was de auteur werkzaam in Zambia voor het Ministerie voor Ontwikkelingssamenwerking. Heden is hij voor hetzelfde Ministerie werkzaam in Costa Rica, Centraal-Amerika.

Inhoud

1	<i>Algemene oriëntatie, doelstelling en uitvoering van het onderzoek</i>	1
1.1	Algemene oriëntatie	1
1.1.1	Inleiding	1
1.1.2	Kenmerken van zwampgebieden in de humide tropen	2
1.1.3	Benutting van het zwampwater	5
1.1.4	Invloed op de vegetatie	5
1.2	Doelstelling	6
1.3	Uitvoering van het onderzoek	6
2	<i>De ontwikkeling van de irrigatie uit de Nannizwamp en de peilen in deze zwamp</i>	9
2.1	Inleiding	9
2.2	Perioden	9
2.2.1	Periode 1: vanaf circa 1900 tot 1928	9
2.2.2	Periode 2: vanaf circa 1926 tot 1940	12
2.2.3	Periode 3: vanaf circa 1940 tot 1965	12
2.2.4	Periode 4: vanaf circa 1965 tot heden	14
2.3	Het verloop van de zwampeilen sinds 1935	16
3	<i>Beschrijving van het Nannistroomgebied</i>	18
3.1	Inleiding	18
3.2	Begrenzing van het stroomgebied	18
3.3	Beschikbare gegevens	18
3.3.1	Voorafgaande studies	18
3.3.2	Terreingegevens	19
3.4	Factoren die van invloed zijn op de hydrologie	21
3.4.1	Klimaat	21
3.4.2	Geologie en bodem	22
3.4.2.1	Inleiding	22
3.4.2.2	Zanderijgebied	22
3.4.2.3	Oude kustvlakte	23
3.4.2.4	Jonge kustvlakte	23
3.4.3	Topografie en vegetatie	24
4	<i>Waterbeweging in het stroomgebied ten zuiden van de Nannizwamp</i>	29
4.1	Inleiding	29
4.2	Beschrijving van de deelgebieden	29
4.2.1	Het Zanderijgebied	29

4.2.1.1	Begrenzungen	29
4.2.1.2	Expedities en veldwaarnemingen	30
4.2.1.3	Bodem	31
4.2.1.4	Hoogteligging	31
4.2.1.5	Vegetatie	31
4.2.1.6	Hydrologie	31
4.2.2	Het verdrongen schollenlandschap	33
4.2.2.1	Begrenzungen	33
4.2.2.2	Expedities en veldwaarnemingen	33
4.2.2.3	Bodem	34
4.2.2.4	Topografie en vegetatie	34
4.2.2.5	Hydrologie van de westelijke kom	35
4.2.2.6	Hydrologie van de oostelijke depressie	38
4.2.2.7	Het gedeelte met onregelmatig reliëf	39
4.2.3	Het zwampengebied ten zuiden van de ritsen, behorend tot de Marafase van de jonge kustvlakte	41
4.2.3.1	Begrenzungen	41
4.2.3.2	Expedities	41
4.2.3.3	Bodem	41
4.2.3.4	Topografie en vegetatie	41
4.2.3.5	Hydrologie van het oostelijk zwampgebied	42
4.2.3.6	Hydrologie van het westelijk zwampgebied	44
4.2.4	Het ritsengebied tussen Cupido en MacClemen	45
4.2.4.1	Begrenzungen	45
4.2.4.2	Expedities en veldwaarnemingen	45
4.2.4.3	Bodem	45
4.2.4.4	Topografie en vegetatie	45
4.2.4.5	Hydrologie	46
4.3	Waterverplaatsing naar Corantijn en Maratakka	46
4.3.1	Schatting van de afvoer naar de Corantijn	46
4.3.2	Schatting van de afvoer naar de Maratakka	47
4.3.3	Schatting van de afvoer naar de Nannizwamp	48
4.4	Samenvatting	48
5	<i>Afvoer naar de aangrenzende rivieren</i>	51
5.1	Inleiding	51
5.2	Regiem van de aangrenzende rivieren	51
5.2.1	De Corantijnrivier	51
5.2.2	Kreekafoeren naar de Corantijn	53
5.2.2.1	Beschrijving van het proefgebied Kalabaskreek	53
5.2.2.2	Afvoer van de Kalabaskreek in verband met getijbeweging	53
5.2.2.3	Afvoer van de Kalabaskreek in verband met het zwampeil	58
5.2.2.4	Verlies van zwampwater naar de Corantijn	59
5.2.3	De Maratakkarivier	62

5.2.3.1	Kreekafvoeren naar de Maratakka	64
5.2.3.2	Proefgebiedje Oemankreek	64
5.3	Samenvatting	69
5.3.1	Aangrenzende rivieren	69
5.3.2	Kreekafvoeren	69
5.3.3	Stroming van rivierwater naar de zwampen	70
6	<i>Invloed van de vegetatie op de stroming en de verdamping in de zwamp</i>	71
6.1	Inleiding	71
6.2	Stroming	71
6.2.1	Stromingstype en stromingsweerstand in de zwamp	71
6.2.2	Experimenten en resultaten	73
6.2.3	Het getal van Reynolds	75
6.2.4	Opbolling van de zwamp	75
6.2.5	Stromingsweerstand in de Nannikreek	76
6.3	Verdamping	77
6.3.1	Invloed van de zwampbegroeiing op de verdamping	77
6.3.2	Opzet van de proef	78
6.3.3	Resultaten	78
6.3.4	Vergelijking van de verdamping van <i>Cyperus giganteus</i> (papyrus) en <i>Typha</i> -begroeiing onderling	80
6.3.5	Resultaten van de vergelijking	81
6.3.6	Standplaats en beworteling	81
6.4	Verdamping van bos	82
6.5	Samenvatting	82
7	<i>Waterbalans voor de Nannizwamp</i>	84
7.1	Inleiding	84
7.2	Factoren van de waterbalans	85
7.2.1	De neerslag	85
7.2.2	Afvoer van de droge delen	88
7.2.3	De toevoer uit het zuidelijk zwampgebied	89
7.2.4	De verdamping	91
7.2.5	Waterconsumptie door de landbouw	92
7.2.6	Lek	93
7.2.7	Peilveranderingen van het reservoir	95
7.3	Rekenmodel	96
7.3.1	De neerslag	96
7.3.2	De verdamping	97
7.3.3	Afvoer van de droge gebieden	97
7.3.4	Afvoer uit het zuidelijk gebied	98
7.3.5	Lek uit de Nannizwamp naar de Corantijn	98
7.3.6	Peilverandering in de Nannizwamp	99
7.3.7	Samenvatting	99

8	<i>Toestroming naar de onttrekkingspunten</i>	102
8.1	Inleiding	102
8.2	De Nannikreek	102
8.3	Kanalen langs de oostelijke en westelijke lekbeteugelingsdam (OLD en WLD)	104
8.4	Berekening van de toestroming	107
8.5	Afvoercoëfficiënt	109
8.6	Berekening van het peil bij de afdamming	110
8.7	Toepassing van de berekening voor een periode, die niet bij de modelopstelling is gebruikt	111
8.8	Samenvatting	111
9	<i>Toepassing van het model voor de bepaling van de irrigatiemogelijkheden uit de Nannizwamp en voor de verbetering van de reservoireigenschappen</i>	113
9.1	Inleiding	113
9.2	Waterbehoefte en watergebruik in de rijstteelt van Nickerie	113
9.3	Cultuurschema, waterbehoefte	114
9.4	Watergebruik van de grootlandbouw	114
9.5	Watergebruik kleinlandbouw	116
9.6	Oogstrisico en opbrengstderving	121
9.7	Schatting van het irrigeerbaar rijstareaal	122
9.8	Vergroten van de irrigatiemogelijkheden	123
9.8.1	Vermindering van de toestromingsweerstand	123
9.8.2	Capaciteitsvergroting	123
9.8.3	Vergroting van de aanvoer uit het zuidelijk gebied	124
9.8.4	Benutting van grondwater uit het Zanderijgebied	124
9.9	Beheer van de zwamp als irrigatie-waterreservoir	125
	<i>Samenvatting en conclusies</i>	126
	<i>Summary</i>	132
	<i>Literatuur</i>	137
	<i>Appendix A</i>	141
	<i>Appendix B</i>	142
	<i>Appendix C</i>	143

1 Algemene oriëntatie, doelstelling en uitvoering van het onderzoek

1.1 ALGEMENE ORIËNTATIE

1.1.1 Inleiding

Moerassen in de humide tropen behoren tot de meest ongerepte gebieden ter wereld. De natuurlijke gesteldheid maakt dat de mens die zich langs de rand van deze gebieden vestigde, zich slechts met grote inspanning kon handhaven.

Door de moderne ontwikkelingen op technisch en op medisch gebied is het thans mogelijk dat ook hier de menselijke invloeden zich meer en meer doen gelden. Door de kwetsbaarheid van het biologisch evenwicht der moeraslevensgemeenschappen kunnen deze invloeden ernstige gevolgen hebben.

Voor een juiste beoordeling van de mogelijkheden en gevaren die menselijk ingrijpen in deze gebieden met zich meebrengt, is het belangrijk de kenmerkende aspecten ervan te leren kennen.

Op het symposium over macrophyten, van 1 tot 10 september 1970, georganiseerd door het IBP (International Biological Program) en IHD (International Hydrological Decade) van de Unesco in Roemenië, is door Gillbrich (1971) onder andere de volgende aanbeveling gedaan: 'Preparation of a technical paper on preliminary studies needed before changes can be made in hydrological regimes of basins, and on research practices to obtain improved understanding of the ecology of water-loving plants, both under natural and experimental conditions and in different climatic regions'.

Daarnaast wordt in het intergouvernementeel MAB (Man and the Biosphere)-programma als studiethema nummer vijf aanbevolen: 'Ecologische gevolgen van menselijke bedrijvigheid in stedelijke, industriële en landelijke gebieden voor de hoedanigheid van meren, moerassen, rivieren, delta's, estuaria en kustgebieden, wat betreft hun waarde voor de voedselwinning en voor algemeen nut, recreatie en wildbescherming' (MAB, 1972).

Het gestelde is voor Suriname van bijzonder belang, omdat in dit land circa 80% van de bevolking in een kustvlakte woont die voor het grootste deel uit moerassen bestaat. Ingrepen in de hydrologie van deze moerassen zijn vanaf het begin van de Surinaamse geschiedenis aan de orde geweest.

Mede door het ontbreken van onderzoeksresultaten hebben zich in veel gevallen onvoorziene omstandigheden als wateroverlast, verdroging of verzouting voorgedaan. Dat hierbij de natuurlijke leefgemeenschappen in het gedrang zijn gekomen in een gebied veel groter dan het strikt door mensen bewoonde en geëxploiteerde gedeelte, is vaak niet voldoende onderkend.

De Nannizwamp met aangrenzende gebieden is gekozen als onderwerp van studie, niet alleen met het oog op bovengenoemde problematiek, maar ook vanwege het belang voor de landbouwontwikkeling van West-Suriname.

Het onderzoeksgebied beslaat een oppervlakte van circa 200 000 ha, waarvan de Nannizwamp met een oppervlakte van 43 000 ha van direct belang is voor de watervoorziening ten behoeve van de landbouw. Ze maakt deel uit van een veel groter zwampgebied, dat zich uitstrekt tot aan de hoger gelegen gronden in het zuiden. Het stroomgebied van de Nannikreek omvatte aanvankelijk zowel een deel van deze hoge gronden als de beschreven zwampgebieden; het zal blijken dat dit in de tegenwoordige toestand niet meer het geval is.

Het noordelijkste deel van de Nannizwamp is ingepolderd. De landbouw concentreert zich hier op de natte rijstbouw, waarvoor water wordt onttrokken aan het achterliggende moerasgebied. Bovenstrooms van dit poldergebied komt geen bewoning meer voor, met uitzondering van enkele gezinnen bij Cupido aan de Maratakkarivier. Ook wordt het gebied nauwelijks door de mens betreden. In de loop der jaren is een serie civieltechnische werken tot stand gekomen met het doel de waterleverantie aan de landbouwgronden te vergroten. Recentelijk (1971) is een dam van 33 km lengte dwars door het zwampgebied aangelegd, om wegstromen van het water naar de Nickerierivier te voorkomen.

1.1.2 Kenmerken van zwampgebieden in de humide tropen

Een zwampgebied is een vlak terrein, waar door stremming van de watertoevoer een zodanige toestand is ontstaan, dat zich een hydrofiele vegetatie heeft kunnen ontwikkelen. Door de gestremde afvoer verspreidt het aangevoerde water zich over een oppervlakte die zo groot wordt dat er een evenwicht ontstaat tussen wateraanvoer en waterafvoer. Door de grote uitgestrektheid speelt aan de afvoerzijde de verdamping een grote rol. Stagnatie van de afvoer kan ontstaan door een groot aantal geomorfologische omstandigheden, zoals tektoniek, afzettingen van slib, inklinking van de bodem, relatieve zeespiegelstijging of kunstmatige opstuwing.

Op grond van de herkomst van het water kan een hydrologisch onderscheid gemaakt worden tussen gebieden die alleen door neerslag gevoed worden, 'foodplains' die overstromen bij hoge rivierstanden en kwelgebieden. In het proces van bekkenopvulling ('bodemvorming') kan onderscheid gemaakt worden tussen ingeblazen materiaal, bezinking van slib van ingestroomd water, afslag van kusten door golven en afgestorven plantaardige of dierlijke resten. Bij de 'open' watervlakte die ontstaat door de gestremde afvoer, wordt in de Engelse limnologische literatuur (onder andere Welch, 1935) onderscheid gemaakt tussen een 'lake', 'pond' of 'swamp'. Het begrip 'lake' (meer) wordt gebruikt, indien op het wateroppervlak geen drijvende vegetatie tot het midden voorkomt. In een 'pond' (plas) komt drijvende vegetatie over het gehele oppervlak voor. In een 'swamp' (moeras, zwamp) komt over de hele oppervlakte vegetatie voor die wegens de geringe waterdiepte overal in de bodem kan wortelen.

Volgens de klimaatindeling van Köppen (1936) is het onderzoeksgebied gelegen in de Af-zone. Kenmerkend voor de gebieden in deze zone is een neerslagoverschot en het afwezig zijn van een koude periode, waardoor de vegetatie zich sterk kan ontwikkelen.

Naar minerale rijkdom kan verder onderscheid gemaakt worden tussen mineraalrijk (eutroof) en mineraalarm (oligotroof) water; daartussen spreekt men van mesotroof. Uitgaande van deze indeling van moerasgebieden zijn van de Nannizwamp en van het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied de volgende kenmerken te onderscheiden:

- *Geomorfologisch*: Nannizwamp: stagnatie van de afvoer door uitbouw van de kust door mariene afzettingen; komvorming door klink tussen oeverwallen en strandwallen. Zuidelijk gedeelte van de zwamp: onthoofding en verlanding van Nannikreek en Camisakreek en daardoor stagnatie van de afvoer. Ontstaansperiode Holoceen.
- *Hydrologisch*: Nannizwamp: voeding voornamelijk uit de neerslag die in het gebied zelf valt. Zuidelijk gebied: naast de neerslag op de zwamp een grondwaterbijdrage uit het Zanderijgebied.
- *Opvulling* van het gebied vindt alleen plaats door veenvorming. In het Nannigebied wordt de veenvorming regelmatig teniet gedaan door oxydatie en zwampbranden die bij lage peilen kunnen voorkomen. In het zuidelijk gedeelte heeft het veen plaatselijk een dikte verkregen van 4 - 5 m.
- *Limnologisch*: Nannizwamp: bijna overal moerasachtig, op enkele plaatsen een 'pond'-situatie. Hier komen drijvende grasmatten voor. In het zuidelijk gebied zijn enkele meertjes in het veen open gebleven. Dit gedeelte heeft door haar lage pH (3,5 - 4,5) en lage minerale rijkdom een oligotroof karakter. De Nannizwamp is iets rijker en zou als mesotroof gekarakteriseerd kunnen worden.

Uit de publikatie van Pons (1966) kan geconcludeerd worden, dat de kenmerken van het beschreven Nannistroomgebied voor grote gedeelten van het Guyaanse kustgebied gelden. De totale oppervlakte van dit gebied bedraagt circa 30 miljoen ha. Ook van enkele andere moerasgebieden in dezelfde klimaatzone (Af-zone) zijn beschrijvingen bekend; deze zijn samengevat in tabel 1. Enkele van deze gebieden vertonen overeenkomsten met de Nannizwamp en worden daarom iets uitvoeriger besproken.

De *Rawa Pening*, een zwampgebied in Centraal-Java, is door Polak (1951) beschreven. Hij vermeldt dat dit zwampgebied, evenals de Nannizwamp, is opgestuwd ten behoeve van de irrigatiewatervoorziening. De Rawa Pening is gelegen op een hoogte van circa 450 m boven zeeniveau. Vermoedelijk is de oorspronkelijke zwamp ontstaan, doordat na een vulcanische uitbarsting een gedeelte van het dal is afgesloten. In dit afgesloten dal ontwikkelde zich veen met een dikte van 2 - 6 m.

De afdamming, die in 1916 gereed kwam, deed het peil opnieuw met circa 2 m stijgen. Door het gebruik van water voor de landbouw raakt de zwamp soms leeg; het peil fluctueert zodoende ook met 2 m. De aanvoer van water geschiedt voornamelijk uit de achterliggende heuvels. Het slib dat door de kreken wordt aangevoerd, vult geleidelijk de zwamp op. Daarnaast vindt veenvorming plaats door het afsterven van uitgestrekte drijvende grasmatten, die grotendeels bestaan uit grassen, zeggen en waterhyacinten. Van eventuele wortelverbinding met de moerasbodem wordt geen melding gemaakt. Tussen de grasmatten worden waterwegen open gehouden.

Op de grasmatten worden door de bewoners in vele gevallen drijvende sawahs aangelegd. Men kan stellen, dat van de nood, het verlies van water door verdamping, een deugd gemaakt wordt door de verdamping te laten geschieden via het cultuurgewas rijst.

Het water dat in de zwamp wordt aangevoerd, heeft een hoge pH (7 - 8) en is rijk aan

Tabel 1. Kenmerkende factoren van enkele zwampgebieden in de humide tropen¹.

Kenmerkende factor	Uganda swamp	Rawa Pening	Rawa Lakbok en Nw-Guinea	Malaysia	Cuba
Oorzaak van stagnatie	tektoniek	vulcanisme	kustafzettingen	kustafzettingen	tektoniek
Herkomst van het water	rivieren	rivier	rivier/neerslag	rivier/neerslag	kwel/rivier
Opvulling, bodemvorming	slib/veen	slib/veen	slib/veen	veen	veen
Limmologische rijkdom	mesotroof	eutroof	eutroof	oligotroof	eutroof
Vegetatietype	papyrus/riet	grasmatten	riet/bos	bos	gras/riet
Landbouwkundig gebruik	begin inpoldering	drijfcul-tuur en irrigatie	gedeeltelijk inpoldering	gering	gedeeltelijk inpoldering

1. Bronnen: Coulter (1957), Denny (1971), Grondmij (1964), Junghuhn (1854), Mohr (1944), Nedeco (1957, 1959, 1960) en Polak (1941, 1949, 1951).

Table 1. Characteristics of some swamps in the humid tropics.

mineralen. Het gebied is een voorbeeld van een eutroof moeras. De beschrijving van dit gebied dateert van 1950, terwijl de opstuwing van het zwampeil van 1916 dateert. In de publikatie wordt het probleem van veenvorming in de zwamp in die periode niet vermeld. Vermoedelijk wordt een deel van de veenvorming teniet gedaan, wanneer in droge perioden in de zwamp brand uitbreekt:

In de omgeving van Merauke (Nieuw-Guinea) zijn de mogelijkheden bestudeerd om in de uitgestrekte zwampgebieden aldaar een project op te zetten voor de gemechaniseerde rijstbouw, het zogenaamde Koembe rijstproject (Nedeco, 1957, 1960). Veel van de ideeën die in dit project verwerkt zijn, zijn ontleend aan het werk van de Stichting Machinale Landbouw uit Wageningen, Suriname.

Uit de vegetatiekundige, bodemkundige en hydrologische beschouwingen van het gebied valt op te maken, dat er veel overeenkomsten bestaan met de omstandigheden in de Surinaamse kustvlakte. Zo zijn de zwampen begroeid met zwampbossen en zwampgrassen en kan er bodemkundig onderscheid gemaakt worden tussen een jonge en een oude kustvlakte, waarvan de gegevens, globaal beschouwd, vergelijkbaar zijn met die in Suriname.

De zoetwatervoorziening van het project uit de rivieren levert problemen op door het ver opdrijven van de zouttong in de droge maanden. Het proefproject van 200 ha wordt daarom geïrrigeerd met uit zwampen opgepompt water. Dit pompen was nodig, doordat de twee proefseries elk op een flank van een rits werden geprojecteerd.

Het wooncomplex werd hoog en droog op de rits aangelegd. Op deze wijze bood de

waterafvoer geen probleem, maar was voor de aanvoer een pompgemaal nodig. Voor de uitbreiding tot 3750 ha waren onvoldoende gegevens over irrigatiemogelijkheden uit de zwampen beschikbaar. Een kanaal van ongeveer 33 km lengte door de zwampgebieden met pompstations moest geprojecteerd worden. De kosten van het project werden hierdoor aanzienlijk hoger.

1.1.3 Benutting van het zwampwater

Door de vlakke ligging van de zwampen is men op veel plaatsen overgegaan tot inpoldering voor landbouwkundige doeleinden. In vele gevallen zal men in de humide tropen in de ingepolderde gebieden de natte rijstcultuur willen bevorderen; men zal dan graag op een eenvoudige manier over irrigatiewater beschikken en het ligt voor de hand dit direct uit de naburige zwamp te onttrekken. Zonder het hydrologisch evenwicht te veranderen kan in principe die hoeveelheid aan het zwamp worden onttrokken die vóór de inpoldering door de oorspronkelijke begroeiing werd verdampt. Daarnaast kan ook de natuurlijke afvoer uit het gebied dienstbaar worden gemaakt voor de levering van irrigatiewater.

Doordat het waterbehoeftepatroon niet elk ogenblik zal overeenstemmen met de aanvoer zal een gedeelte van het zwampgebied als buffer dienst moeten blijven doen. Potentiële kateklegebieden komen hiervoor in het bijzonder in aanmerking, omdat ze een minder grote waarde voor de landbouw hebben.

Uit de verdamping van de zwampvegetatie, de aanvoer en het watergebruik van de cultures in de polders zou in principe de verhouding tussen de ingepolderde oppervlakte en de noodzakelijke bufferoppervlakte kunnen worden bepaald. In kustvlakken, waar als regel de rivieren tot ver landinwaarts periodiek zout water bevatten, zijn veelal grote investeringen nodig om zoet water aan te voeren. Daarom is benutting van zoet oppervlaktewater hier vooral van belang. Doordat voor irrigatie uit de zwamp weinig aanvullende werken nodig zijn, ligt hier een mogelijkheid om op een goedkope manier op kleine schaal tot intensieve landbouw te komen.

1.1.4 Invloed op de vegetatie

In het onderzoek is tevens in beschouwing genomen de invloed die een veranderde hydrologie op de vegetatie heeft.

In de Nannizwamp is door de geleidelijke uitbreiding van het ingepolderde areaal en door de afdamming van de natuurlijke afvoer het maximale peil met ongeveer 60 cm gestegen (door deze stijging is het peil van de Nannizwamp tot boven zijn natuurlijke maximum opgelopen, waardoor de afvoer naar begrenzend rivieren bij hoge peilen sterk toeneemt). Door de vlakke ligging van de zwampen beïnvloedt een kleine peilverhoging een relatief groot gebied. Gedeelten die oorspronkelijk tijdelijk droog vielen, kunnen nu permanent geïnundeerd raken. Het vegetatiepatroon, dat zich blijkt aan te passen aan kleine verschillen in waterregiem, kan zodoende over grote oppervlakten sterk veranderen. Verandering in vegetatie heeft op haar beurt weer verandering in hydrologie tot gevolg. Dit aspect heeft bijzondere betekenis voor de hydrologische ontwikkeling in de toekomst, omdat

daaruit implicaties voor het beheer als waterreservoir en als natuurgebied kunnen voortkomen.

1.2 DOELSTELLING

De doelstelling van het onderzoek is inzicht verwerven in de factoren die de hydrologie van de Nannizwamp bepalen en hiervan gebruik maken om de irrigatiemogelijkheden die deze zwamp biedt te onderzoeken. Deze doelstelling kan in enkele onderdelen van meer algemene en van meer toegepaste aard worden gesplitst.

Van meer algemene aard zijn:

1. Het vaststellen van de hydraulische eigenschappen van stroming van water door een moerasbegroeiing. Door de veelal intensieve begroeiing in ondiep water heeft de stroming het karakter van waterverplaatsing door een poreus medium. Doordat met de seizoenregens het waterpeil stijgt en daalt, komt het drijvende deel van de vegetatie verder en minder ver van de bodem. Daarom verandert met het peil ook de stromingsweerstand.
2. Het bepalen van de invloed die de zwampbegroeiing op de verdamping heeft.
3. Het vaststellen van het hydrologisch gedrag van het stroomgebied van de Nannikreek met haar moerassen. Daarbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen de verschillende delen van het stroomgebied, die elk een eigen karakter hebben.

Van meer toegepaste aard zijn:

4. Het vaststellen van de reservoir-eigenschappen en de irrigatiemogelijkheden van de Nannizwamp ten behoeve van de rijstcultuur.
5. Het vaststellen van de ontwikkelingen in de moerasvegetatie ten gevolge van de veranderde hydrologische omstandigheden door de aanleg van de lekbeteugelingsdam in 1971.

1.3 UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Het vegetatiekundige gedeelte van het onderzoek werd uitgevoerd door drs. P.A. Teunissen, vegetatiekundige, verbonden aan het Lands Bos Beheer van Suriname. De invloed die een verandering in hydrologie op de vegetatie kan hebben, werd door hem onderzocht met behulp van proefvakken; de resultaten zijn weergegeven in een afzonderlijke publikatie (Teunissen, 1975).

Het blijkt ondermeer dat de reactie van de vegetatie op een verandering van het waterpeil direct met de standplaats in verband kan worden gebracht. Deze kennis heeft een belangrijke bijdrage geleverd tot de interpretatie van de beschikbare luchtfoto's.

Er waren maar weinig resultaten van hydrologisch moerasonderzoek beschikbaar, die van nut konden zijn bij het opstellen van het programma. Aan de invloed van vegetatie op de verdamping is voornamelijk aandacht besteed onder geheel andere klimatologische omstandigheden. Ten aanzien van de invloed die de vegetatie heeft op de waterverplaatsing in moerassen is helemaal geen literatuur gevonden. Beide onderwerpen, die slechts een onderdeel van het geheel uitmaakten, hadden op zichzelf reeds voldoende stof voor een studie kunnen opleveren. Dit geldt trouwens voor bijna alle facetten van het onderzoek.

Over de terreingesteldheid konden enige gegevens worden achterhaald. Deze lagen verspreid over vele instanties en waren voor een belangrijk deel bedekt met het stof der

vergetelheid.

Op de gerezen problemen kon veelal geen uitputtend antwoord worden gegeven. Er moest gezocht worden naar een benadering, waarmee de verschillende factoren van het hydrologisch proces konden worden geïntegreerd tot een model, dat gebruikt zou kunnen worden om concrete vragen, zoals de punten 3 en 4 van de doelstellingen, op te lossen.

Het predicaat moeilijk toegankelijk moet echter bewaard blijven voor het gebied zelf. Het terrein staat het grootste gedeelte van het jaar voor meer dan de helft onder water. Het is begroeid met haast ondoordringbare moerasbossen en meer dan manshoge grassen. De terreinverkenningen, die de noodzakelijk aanvullende gegevens moesten opleveren, verliepen alleen gemakkelijk vanuit de lucht. Ze leverden dan echter alleen de 'grote lijnen' op.

Per korjaal met buitenboordmotor konden de aangrenzende rivieren worden bevaren. Zo werden de grenzen van het gebied verkend en konden daarlangs instrumenten worden opgesteld. Iedere maand werden over deze rivieren tochten van 100 km heen en 100 km terug gemaakt tot aan de zuidelijke grens van het gebied.

Met een zwampvoertuig (air boat) uit Florida konden aanvankelijk vrij veel gegevens worden verzameld in het met gras begroeide noordelijk gedeelte. Helaas maakten tropische hitte en vocht het mechanisme kwetsbaar, waardoor tochten een riskante onderneming werden. Met een plastic kano en veel spierkracht kon hier het meetnet op een wat bescheidener basis in stand worden gehouden. Hydrologische 'knooppunten' werden, voor zover mogelijk, enkele malen opgezocht door middel van meerdaagse expedities.

Bij deze expedities waren Indianen, die in het gebied woonden, behulpzaam als gids en als dragers. Na enige tijd gelukte het om voor dit werk geschikte medewerkers te vinden, die bekwaam konden aflezen en meten, technisch improviseren en over doorzettingsvermogen beschikten zonder roekeloos te worden. Door bovengenoemde omstandigheden moest het onderzoek breed worden aangepakt en werden alle meetmethoden, die maar enigszins perspectief boden en binnen de mogelijkheden lagen, geprobeerd.

Om de in paragraaf 1.2 vermelde doelstellingen te realiseren zijn zo concreet mogelijke vragen gesteld, waarna aansluitend methoden voor de beantwoording ervan zijn gevonden.

Vraag 1. Hoe is de waterbeweging in het Nannistroomgebied?

Methode:

- Interpretatie van geologische, bodemkundige en topografische gegevens uit kaarten en rapporten;
- luchtfoto-interpretatie van de vegetatie;
- begrenzing van het onderzoeksgebied;
- indeling in deelgebieden met overeenkomstige hydrologische kenmerken;
- veldexpedities naar bereikbare belangrijke 'knooppunten' tussen de deelgebieden;
- op knooppunten met voldoende open water, die niet binnen het bereik lagen van een expeditie, werd vanuit de lucht een onschadelijke kleurstof afgeworpen, waarvan de verplaatsing een tijd lang kon worden gevolgd;
- vergelijking van de watersamenstelling van monsters die op zo veel mogelijk plaatsen in het onderzoeksgebied waren verzameld.

Vraag 2. Hoeveel water is in het hydrologische proces betrokken?

Methode:

- Opzetten van een meetnet waarin regelmatig werden gemeten:
 - meteorologische gegevens waaruit neerslag en verdamping konden worden bepaald;
 - afvoergegevens langs de grenzen van het gebied;
 - peilgegevens;
- voor de bepaling van de samenhang tussen deze kwantitatieve gegevens werden in proef-

gebiedjes gedurende een korte periode dagelijks metingen van neerslag, afvoer en berging gecombineerd met metingen van infiltratie en doorlatendheid van de bodem.

Vraag 3. Hoeveel water is er in het noordelijk gedeelte op ieder moment beschikbaar voor de landbouw?

Methode:

- Een intensief meetnet waarmee met behulp van een waterbalans het reservoirpeil dagelijks berekend kon worden uit de neerslag en de onttrekking door de landbouw;
- bepaling van het onttrekbaar debiet door vaststelling van:
 - . het stromingspatroon in de zwamp uit gemeten peilverschillen;
 - . de invloed van de vegetatie op stromingsweerstand bij verschillende reservoirpeilen.

Vraag 4. Hoe heeft de zwampirrigatie zich ontwikkeld en hoe kan het maximale areaal, dat vanuit de zwamp kan worden geïrrigeerd, worden bepaald?

Methode:

- Literatuurstudie en interviews met mensen die de ontwikkeling hebben meegemaakt;
- analyse van het watergebruik in de landbouw, waarbij gelet wordt op:
 - . het onderscheid tussen watergebruik en waterbehoefte in groot- en kleinlandbouw;
 - . invloed van de zwamp op het watergebruik;
- combinatie van het aanbod van en de vraag naar water in een computerberekening van de waterbalans.

Vraag 5. Welke invloed heeft het gebruik als irrigatiereservoir op de biotoop in de zwamp en welke invloed heeft anderzijds de ontwikkeling van de vegetatie op de irrigatiemogelijkheden?

Methode:

- Analyse van de veranderingen die de vegetatie heeft ondergaan na het sluiten van een dam van 30 km lengte dwars door de zwamp;
- onderzoek naar de invloed die verschillende vegetatietypen op de stromingsweerstand en verdamping hebben op korte en op lange termijn.

2 De ontwikkeling van de irrigatie uit de Nannizwamp en de peilen in deze zwamp

2.1 INLEIDING

Om een beeld te krijgen van de historische ontwikkeling van het gebruik en de distributie van irrigatiewater uit de Nannizwamp voor de landbouw in het Nickeriedistrict zijn binnen het gebied gegevens verzameld. Uit de periode vóór de jaren veertig ontbreken archiefgegevens die op projecten betrekking hebben, zodat volstaan moest worden met navraag te doen bij personen die deze periode als boer en/of als uitvoerder van werken hebben meegemaakt.

Vanaf het begin van de rijstcultuur, omstreeks de eeuwwisseling, is de watervoorziening een belangrijke factor geweest. Watergebruik en distributie zijn direct verbonden met de methode van rijstbouw en de toename van het areaal. In dit verband zijn er vier perioden te onderscheiden:

- vanaf circa 1900 tot 1926 (periode 1);
- vanaf circa 1926 tot 1940 (periode 2);
- vanaf circa 1940 tot 1965 (periode 3);
- vanaf circa 1965 tot heden (periode 4).

Van elke periode zullen het areaal en de cultuurmethode worden beschreven. Daarnaast zullen de uitgevoerde werken en de kennis van de zwamp, die hieraan ten grondslag lag, worden beschouwd. De uitbreiding van het areaal is weergegeven in figuur 1 en figuur 2. Voorts wordt een korte beschouwing gewijd aan het verloop van de zwamppeilen sinds 1935, zoals die zijn waargenomen in het hoofdseizoen van de landbouw. Deze geven namelijk een goed beeld van de voorraad water die in de zwamp aanwezig is.

2.2 PERIODEN

2.2.1 Periode 1: vanaf circa 1900 tot 1926

Voordat de rijstcultuur zich na de eeuwwisseling goed begon te ontwikkelen, maakten enkele suikerrietplantages (Waterloo, Nurserey en Hazard) reeds gebruik van water uit de Nannizwamp. Hiertoe waren geen infrastructurele werken buiten de plantages nodig, omdat deze zwamp zich uitstreckte tot de achterdam. Het water werd door een eenvoudig sluisje binnengelaten. De hoeveelheid en de frequentie van binnenlaten zijn niet achterhaald.

Na het beëindigen van hun contract als geïmporteerde arbeidskracht op de plantages begonnen de Hindoestaanse en Javaanse arbeiders die in Suriname wilden blijven de natte rijstcultuur. Zij begonnen op de plantages Hamptoncourt, Paradise (1898), Waldeck (1903) en Margarethenburg. Deze plantages waren in verval geraakt en in overheidshanden teruggekeerd.

Fig. 1. Overzichtskaart van het rijstareaal in het district Nickerie. 1. Waterloo, 2. Nurserey, 3. Hazard, 4. Hamptoncourt, 5. Paradise, 6. Waldeck, 7. Margarethenburg, 8. Sawmill-kreekpolder, 9. Van Drimmelden polder, 10. Corantijn polder, 11, Klein Henar, 12. Rijstbedrijf Van Dijk, 13. Rijstbedrijf Alibux, 14. Prins Bernhard Polder, 15. SML Wageningen, 16. Bananenplantages A. Samidji-ke-koenakanaal, B. Oostelijke aftakking, C. Gemaal. De zogenaamde westelijke polders bestaan uit 6, 7, 9, 10, 12. De oostelijke polders uit 4, 5, 8, 11, 13, 14.

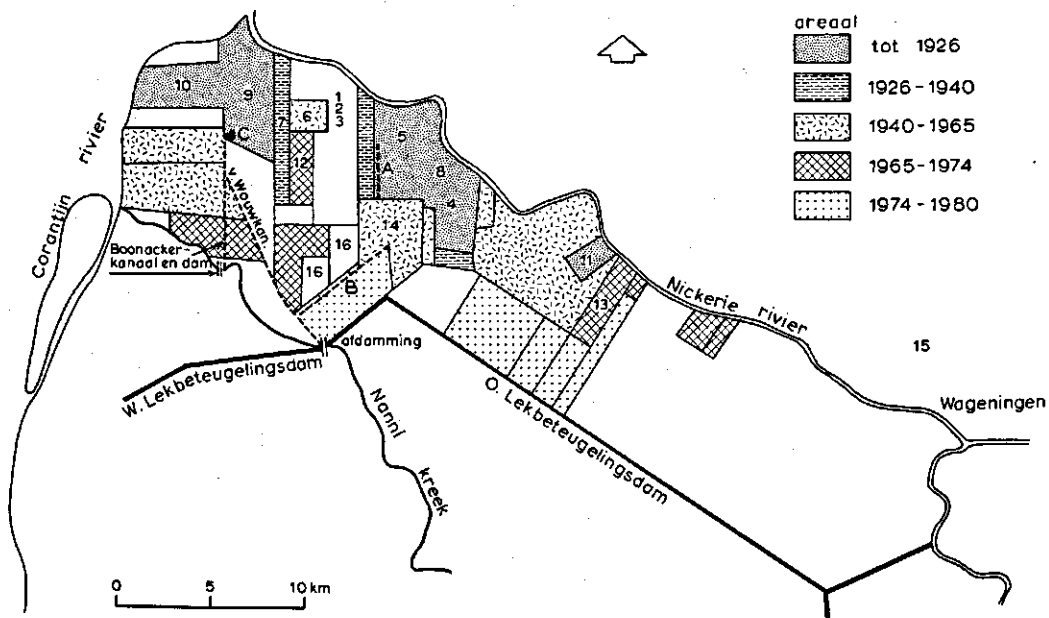


Figure 1. General map of the rice area in the Nickerie District.

Door de goede resultaten en door de toename van het aantal ex-contractarbeiders vindt uitbreiding plaats door de boeren zelf, onder leiding van een voorman (Hamptoncourt serie D, Sawmillkreekpolder, 1909 en 1914). De Van Drimmeldenpolder (1914) en de Corantijnpolder (1919) kwamen tot stand met enige steun van de overheid. In dezelfde periode wordt 'Klein Henar' (fig. 1) door gemengde Creoolse en Hindoestaanse initiatieven aangelegd (1920).

Van de aspirant-boeren werd verwacht dat zij naast het klaarmaken van hun eigen perceel een bepaald gedeelte van de dammen en kanalen voor algemeen gebruik opwierpen (Hewitt, 1922, 1930). Omstreeks 1926 had het rijstareaal een oppervlakte van circa 3900 ha (fig. 2).

De irrigatiewatervoorziening vond plaats direct vanuit de zwamp die achter de betreffende polder lag. Deze dam moest uitgevoerd worden als zogenaamde zwampkerende dam. De hoogte werd bepaald aan de hand van op de bomen aanwezige hoogwatermerken. Profielen van deze dammen zijn nog bekend (fig. 3).

In het algemeen moet er in de zwamp voldoende water zijn geweest om aan de vraag te voldoen, omdat de rijstcultuur alleen in de regentijd werd bedreven. Naar men zegt werd de waterdiepte op de rijstvelden op gemiddeld 20 cm gehouden. Het irrigatieschema bestond uit 20 cm water opzetten en viermaal aflaten om overplanten, onkruidbestrijding, uitstoelen

Fig. 2. Ontwikkeling van het rijstareaal gedurende de periode 1900 - 1974.

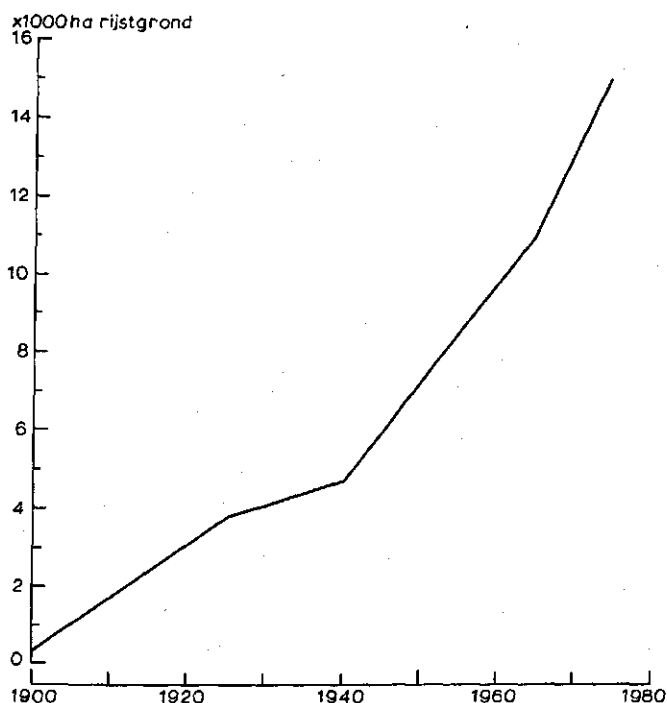


Figure 2. Changes in the area under rice 1900 - 1974.

Fig. 3. Zwampkerende dam anno 1910 vergeleken met zwampkerende dam uit het combinatieplan (1965).

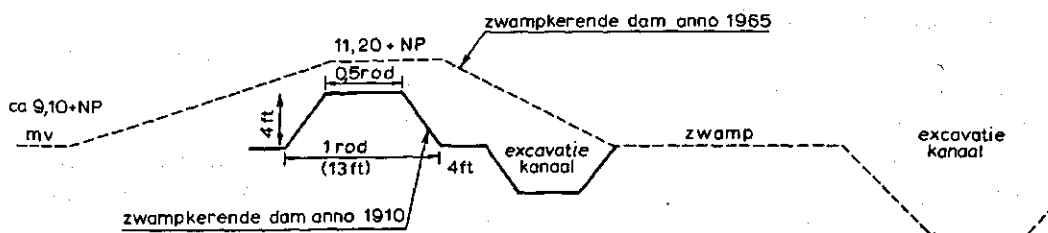


Figure 3. Swamp-holding dike 1910 compared with dam from the combination plan (1965).

en oogsten mogelijk te maken. Waar de lozing gebrekkig was, zoals aanvankelijk in de westelijke polders (fig. 1) werd minder vaak nieuw water op het veld gelaten. De totaal benodigde hoeveelheid irrigatiewater moet ongeveer 800 mm per jaar bedragen hebben.

De kennis van het achterliggende Nannigebied bestond voornamelijk bij de balatableeders (rubbertappers) en houthakkers die werkten op de 'ritsen' (zie overzichtskaart, appendix A). Op kaarten uit deze periode staan hun uitgebreide concessies aangegeven. Deze kennis is helaas verdwenen met het uitsterven van deze generatie. De topograaf Sniphout heeft opnamen van de kreek gemaakt tot circa 50 km van de monding.

2.2.2 Periode 2: vanaf circa 1926 tot 1940

De jaren 1925 en 1926 waren bijzonder droog; de hoeveelheid regenval bedroeg in twee jaar 2200 in plaats van 3900 mm. Toen na deze droogte de zwamp niet voldoende water bood voor de natte rijstbouw, maar de Nannikreek nog wel afvoer had, werd besloten de watervoorziening te verbeteren door een kanaal naar de kreek aan te leggen. Het was voor de rijstpolders het eerste infrastructurele werk voor de watervoorziening van enige omvang. Ook dit werk werd door de direct belanghebbenden uitgevoerd onder leiding van enkele voorlieden uit de polders en met steun van Districtscommissaris Boonacker, naar wie dit kanaal is genoemd.

In een iets later stadium werd de zogenaamde Boonackerdam opgeworpen in de Nannikreek; deze is echter al vrij spoedig in verval geraakt en in 1940 waren nog slechts enkele resten over (Geyskes, 1941). In deze periode werd ook de ontwatering van de Corantijnpolder en de Van Drimmelpolder verbeterd. Dit werd door de overheid uitgevoerd met uit Nederland geïmporteerde bakstenen; sluis 'Rotterdam' ontstond.

In de oostelijke polders was het watertekort aanvankelijk minder nijpend en door de grote afstand tot de Nannikreek het graven van een kanaal kostbaarder. Wel ontstond door de uitbreiding van de rijstpolders in dit gedeelte de situatie dat de oudste polders van de zwamp werden afgesneden. Daarom werd een strook opgehouden, die de verbinding met de zwamp in stand hield. Zo ontstond het Samidji-ke-koenakanaal (fig. 1).

Aanvankelijk geschiedde het overplanten van de jonge rijstplanten, die op een zaaibed gekweekt waren, in de 'pegasse'-laag (planteresten van de voormalige zwampbegroeiing). Enkele jaren na het in cultuur brengen van de grond verdwijnt deze laag door oxydatie. Voor het overplanten moet dan een modderbed worden klaargemaakt. Voor het 'modderen' was een extra watergift nodig, zodat de waterbehoefte uit de zwamp op circa 1000 mm per jaar kwam te liggen (Hewitt, 1930).

De kennis van het Nannigebied werd in deze periode weinig uitgebreid. Gedurende een gedeelte van de jaren 1936, 1939, 1942 en 1953 werden de zwampstanden genoteerd (fig. 4). De areaaluitbreiding, die aanvankelijk vrij snel verliep, werd door de economische wereldcrisis vertraagd. Aan het areaal werd in deze periode slechts circa 1000 ha toegevoegd (fig. 2). Pas na de crisis werden er meer nieuwe plannen gemaakt. In dit verband moet het rapport 'De Vos' genoemd worden en de plannen van Van Wouw die na 1940 tot uitvoering kwamen (De Vos, 1940).

2.2.3 Periode 3: vanaf circa 1940 tot 1965

De watervoorziening liet ook na de aanleg van het Boonackerkanaal en Samidji-ke-koenakanaal te wensen over. De bestaande voorzieningen werden onvoldoende geacht om over te gaan tot uitbreiding van het areaal. In het rapport van De Vos (1940) wordt de oogstderiving over de periode 1925 - 1935 als gevolg van de slechte watervoorziening op 60% geschat.

Het uiteindelijke plan van Van Wouw voorzag in:

- Een verbetering van de watervoorziening door de irrigatie te baseren op het debiet van

Fig. 4. Enkele waterpeilen in de Nannizwamp van 1935 tot 1953.

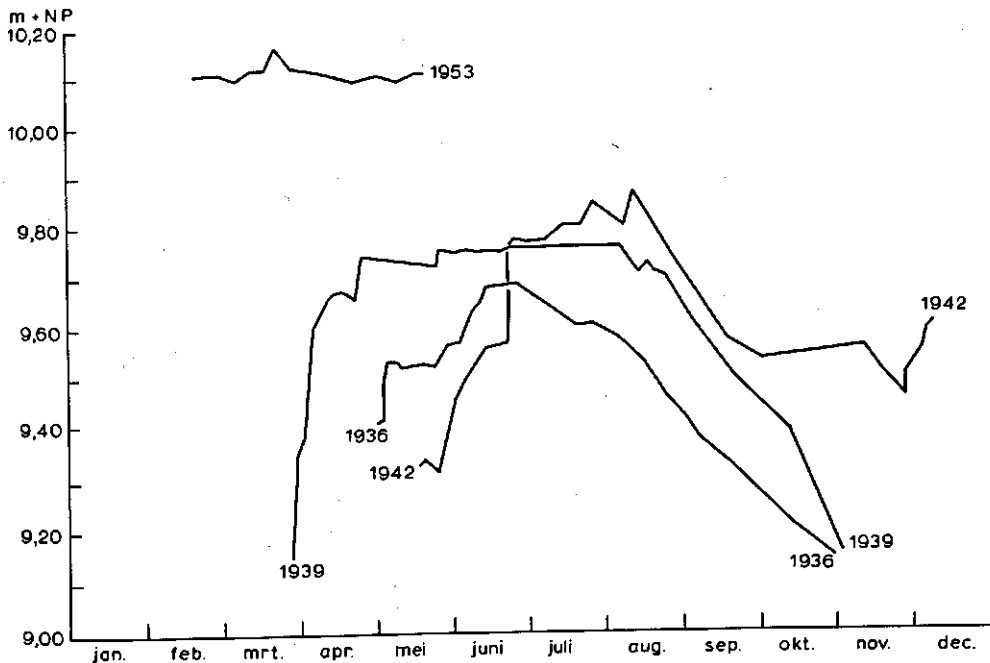


Figure 4. Some water levels in the Nanni Swamp 1935 - 1953.

de Nannikreek. Dit werd geschat tussen 4 en $8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

- Een areaaluitbreiding gebaseerd op een waterbehoefte van $8,6 \text{ mm/dag}$ ($1 \text{ l s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$), overeenkomstig de ervaring uit Indonesië). De totale oppervlakte met rijstcultuur zou dan 5500 ha kunnen beslaan en zou nog uitgebreid kunnen worden tot 8000 - 10 000 ha, wanneer ook de oostelijke polders zouden worden aangesloten.

Een uitspraak over de grootte van het stroomgebied is niet gedaan. Uit het rapport 'De Vos' blijkt dat de Nannikreek gezien wordt als een rivier met een vrij gelijkmatige afvoer en een zekere komberging, terwijl aan het waterleverend vermogen van het moeras weinig waarde wordt toegekend. De Vos stelt hierover: 'bij de tegenwoordige, reeds in cultuur gebruikte gronden wordt hier en daar op primitieve wijze gebruik gemaakt van water uit de zwampen. Dergelijke bevoeding heeft echter weinig waarde'.

In het project 'De Vos' is een gemaal opgenomen voor het oppompen van water uit het Van Wouwkanaal, wanneer dit gedurende een periode een te laag peil zou hebben voor zwaartekrachtirrigatie. Later bleek dat er steeds voldoende afvoer was, zodat dit gemaal geen dienst heeft gedaan.

Uit deze periode van projectresearch dateren ook de verkenningstochten die Geyskes ondernomen heeft om het karakter van de Nannikreek nader te onderzoeken. Het was zijn bedoeling om zo ver mogelijk de kreek op te varen en onderweg behalve algemene biologische gegevens ook diepte en stroomsnelheid van de kreek te bepalen (zie par. 3.3). Hij ont-

dekte daarbij dat deze kreek over grote afstanden was dichtgegroeid en nauwelijks water uit het zuiden aanvoerde (Geyskes, 1941).

In 1942 kwamen de in het rapport 'De Vos' genoemde werken gereed, bestaande uit de afdamming van de Nannikreek, een circa 10 km lange aanvoerleiding, het Van Wouwkanaal, en een gemaal. Voorlopig werd alleen het westelijk poldergebied bediend, maar twee jaar later werd hieraan de zogenaamde Oostelijke Aftakking gekoppeld. Ook de oostelijke polders werden hierdoor in de infrastructuur geïntegreerd. Met georganiseerde irrigatie wordt nu een begin gemaakt.

Bij de rijstcultuur wordt een voorzichtig begin gemaakt met de mechanisatie van het ploegen en dorsen. Dit geldt eveneens voor de toediening van kunstmest, bestrijdingsmiddelen tegen rupsen en slakken, en het zaaïen van veredeld zaaigoed (Reliveld, 1954). In dit verband moet in een iets later stadium ook het baanbrekend werk worden vermeld van de proefpolder van het Welvaarts Fonds, later Prins Bernhard polder genoemd, en de aanleg van het grootlandbouwbedrijf van de Stichting Machinale Landbouw in Wageningen.

Hoewel de onderzoeken vooral waren gericht op toepassing in de grootlandbouw nam de kleinlandbouw het cultuurschema snel over. Dit loopt uit op een zeer sterk gemechaniseerde rijstcultuur anno 1965. Voor het watergebruik heeft dit grote consequenties. Vanaf het moment van grondbewerking en het klaarmaken van het zaaibed moet de watervoorziening volgens een strak schema worden uitgevoerd. Regenval die in dit schema niet past, moet zo snel mogelijk worden afgevoerd. De waterbehoefte stijgt tot circa 1200 mm per gewas.

In de periode 1940 - 1965 is de toename van het rijstareaal circa 6500 ha (gefringeerd uit het Nannibekken). Dit is meer dan een verdubbeling. De verbetering van de watervoorziening door het project 'De Vos' was hierbij een belangrijke factor. De prognose van De Vos (maximaal areaal 8000 - 10 000 ha) wordt ruim overschreden.

2.2.4 Periode 4: vanaf circa 1965 tot heden

In het begin van de jaren zestig komen twee belangrijke studies gereed, die projecten tot gevolg hebben welke na 1965 de watervoorziening gaan beheersen. Het eerste is 'de irrigatiecapaciteit van Surinaamse rivieren', door Ringma (1960) opgesteld onder auspiciën van het Bureau Landelijke Opbouw (BLO).

Deze studie beschouwt het debiet van de Nannikreek als de afvoer van het stroomgebied, zoals dit uit de beschikbare topografische kaarten kan worden afgeleid. De gemiddelde afvoer wordt op $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de piekafvoer op $235 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en de afvoer in de kleine en de grote droge tijd op respectievelijk 5,5 en $7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ geschat. Voor de watervoorziening wordt aanbevolen:

- verbetering van de capaciteit van het Nannibekken door middel van aanleg van spaarbekkens;
- regulering van het debiet van de Nickerie door de bouw van een stuw in de bovenloop (Stondansieproject).

De tweede studie 'Streekplan voor het landbouwgebied Nieuw-Nickerie' door de Grontmij (1961) is eveneens onder auspiciën van het BLO opgesteld. Hierin wordt onder meer de eerste aanbeveling van het rapport Ringma nader uitgewerkt. Er wordt door de

Grontmij hiertoe een studie gemaakt van het Nannibekken. Achter het rivierkarakter van de Nanni wordt een vraagteken gezet. Een expeditie naar het Nannimeer maakt plausibel, dat een belangrijk gedeelte van het brongebied geen water levert aan het zogenaamde Nannibekken. Het Nannibekken zou zich voornamelijk beperken tot de eigenlijke Nannizwamp (vergelijk appendix A en B).

Met deze opvatting is het BLO het niet eens en zij stelt een nota op waarin zij het debiet van de Nannikreek een waarde overeenkomend met die van Ringma toerekent (Bureau Landelijke Opbouw, 1962). Deze nota wordt gesteund door gegevens die zijn verzameld bij een expeditie naar de ritsen en die wijzen op een gemeten debiet van $43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bij de ritsen (Bureau Landelijke Opbouw, 1962).

Op grond van deze gecombineerde gegevens wordt gedurende de jaren 1963 - 1965 het zogenaamde Combinatieplan uitgevoerd. Betreffende de voorziening met irrigatiewater houdt dit in:

- het vernieuwen van de reeds bestaande afdamming van de Nannikreek;
- het veilig stellen van de watervoorziening voor een uitgebreid bananenareaal door middel van een Wadoek (spaarbekken) van circa 350 ha;
- het verbeteren van het Van Wouwkanaal en plaatsing van een groter gemaal aan het benedenstroomse uiteinde daarvan;
- het verbeteren van de wateraanvoer naar de oostelijke polders;
- het omdijken van een areaal van circa 4000 ha;
- het aanleggen van een 'lekbeteugelingsdam' vanaf de afdamming van de Nannikreek tot het oeverwallencomplex van de Corantijn (Westelijke Lekbeteugelingsdam). Deze moet voorkomen dat zwampwater van de afdamming stroomt naar de benedenloop van de Nannikreek;
- het bouwen van nieuwe inlaat-kunswerken in de Nannizwamp ten behoeve van de oostelijke polders.

In de rijstcultuur vindt in deze periode een belangrijke intensivering plaats. Na een aantal experimenten blijkt dat een ander gewas als volggewas op rijst niet voldoende perspectieven biedt (Fortanier, 1962). Naar het voorbeeld van de projecten in de grootlandbouw wordt nu meer en meer gestreefd naar twee oogsten per jaar. Bovendien eist de mechanisatie van de cultuur een zo intensief mogelijke benutting van het machinepark (Glas, 1970).

Het totaal uit de Nannizwamp geïrrigeerde areaal omvat nu ruim 15 000 ha rijst en circa 1100 ha bananen. Deze oppervlakte heeft ten opzichte van 1965 een sterk vergrote waterbehoefte door het volledig invoeren van twee oogsten per jaar. Het jaarlijkse verbruik aan irrigatiewater stijgt daardoor van 1200 tot 2600 mm (Kamerling, 1967).

Het watergebruik is nu ook onderwerp van studie geworden zowel bij grootlandbouw (Scheltema, 1969) als bij de kleinlandbouw (Van Nieuwkoop, 1969; Bipat, 1970; Rittershaus, 1971; Chin Yoe, 1972).

In verschillende jaren is de watervoorziening zeer precair; er wordt dan geen goede opbrengst verkregen, tenzij er door een groot aantal individuele boeren water uit de kanalen wordt gepompt. Pompen wordt een steeds belangrijkere factor in de productiekosten.

Door de sterke vraag naar water wordt het steeds urgenter om de irrigatiecapaciteit

van het Nannibekken te leren kennen. Bovendien zijn de kosten voor polderinrichting zo sterk gestegen, dat misoogsten door watergebrek het project onrendabel kunnen maken. In dit verband is de aanleg van de zogenaamde 'Oostelijke Lekbeteugelingsdam' van belang. Deze circa 30 km lange dam voorkomt lek uit de Nannizwamp naar de Nickerierivier. Het reeds door Ringma geopperde idee om in de bovenloop van de Nickerierivier een reservoir aan te leggen, krijgt als studie gestalte in de vorm van het zogenaamde 'Stondansieproject'. Als alternatief hiervoor wordt watervoorziening uit de Corantijn bestudeerd via het zogenaamde 'Corantijnkanaal' (een irrigatiekanaal vanaf Apoera tot het landbouwgebied Nickerie). Het Stondansieproject wordt vanaf 1972 krachtig gestimuleerd.

Voor een optimaal gebruik van het project moet een integratie met de waterlevering door de Nannizwamp plaatsvinden. Er werd daarom in 1972 een begin gemaakt met het opstellen van een model van het Nannistroomgebied (Roest, 1972). De gegevens waarover beschikt kon worden waren echter zeer summier, zodat het model ook zeer globaal is gebleven. Een meer betrouwbaar model, gebaseerd op meer meetgegevens, bleef gewenst.

2.3 HET VERLOOP VAN DE ZWAMPEILEN SINDS 1935

De peilontwikkeling in de Nannizwamp is helaas niet vanaf het begin van de irrigatieontwikkeling bijgehouden. Gedurende een aantal jaren zijn er peilen in de natte tijd

Fig. 5. Invloed van de aanleg van dammen en de wateronttrekking op het zwampeil.

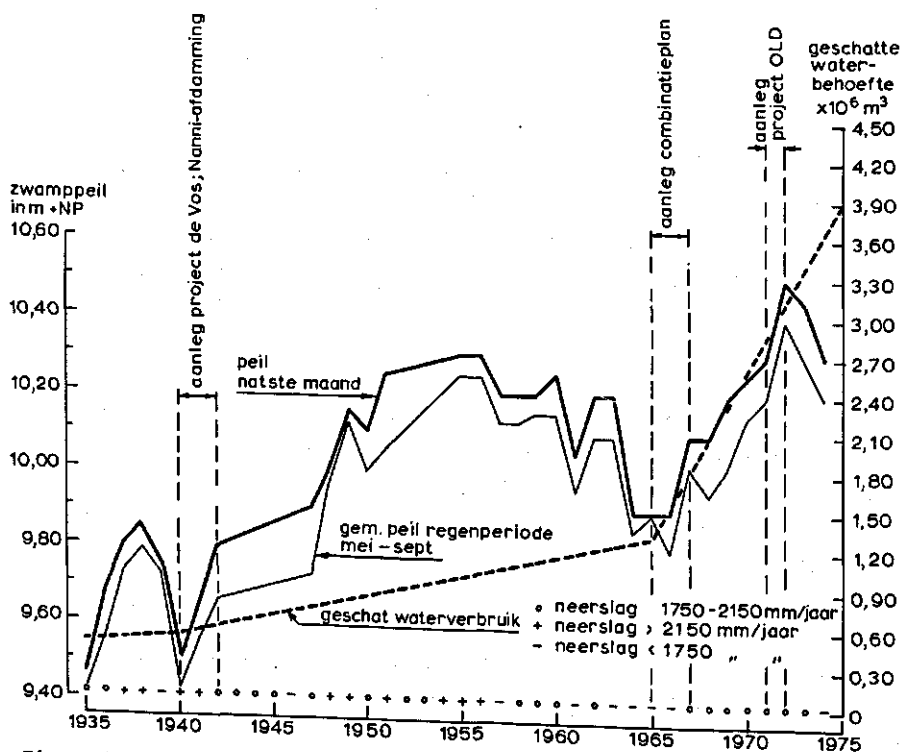


Figure 5. Influence of empoldering and of water withdrawal on swamp level.

geregistreerd (fig. 4); later zijn er door BLO peilwaarnemingen gedaan. Na 1957 zijn door de Waterloopkundige Dienst peilwaarnemingen systematisch geregistreerd. Voor de droge tijd staan slechts weinig gegevens ter beschikking; de zwampeilen in die periode zijn hier dan ook buiten beschouwing gelaten.

De successievelijke inpoldering van het zwampgebied is reeds beschreven. Nadat in 1956 het 'Welvaarts Fonds' beschikbaar kwam, verliep de landaanwinning ongeveer driemaal sneller.

Van de projecten die uitsluitend de verbetering van de irrigatiewatervoorziening op het oog hadden, zijn de aanlegperioden bekend.

Met de in de voorgaande paragrafen genoemde waterbehoefte en het in cultuur gebrachte areaal kan een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid water, die successievelijk uit de Nannizwamp is onttrokken. Deze gegevens zijn in figuur 5 bij elkaar gebracht. Tevens is aangegeven of het jaar natter (+) of minder nat (-) is dan een normaal jaar. In een normaal jaar (0) valt 1750 - 2150 mm neerslag. De peilen zijn aangegeven ten opzichte van het Nickeriepeil (NP), waarvan het nulpunt op 7,56 m beneden gemiddeld zee-niveau is gelegen.

Duidelijk blijkt de invloed van de afdamming van de kreek op het peil (1942). De snelle inpoldering, de daarmee gepaard gaande onttrekking van water na 1956 en een aantal drogere jaren doen de peilstijging weer teniet. Het Combinatieplan doet het peil na 1965 sterk stijgen ook zonder dat er natte jaren zijn. Na de sluiting van de lekbeteugelingsdam in 1972 stijgt ook in jaren met normale neerslag het peil in de natte maand tot NP + 10,50 m. Verdergaande wateronttrekking na inpoldering en een droog jaar in 1974 doen het peil weer snel afnemen.

Het maximale zwamppeil ligt vóór 1940 op ongeveer NP + 9,85 m, tussen 1942 en 1965 bereikt het de NP + 10,30 m en na 1971 stijgt het tot NP + 10,50 m. Zoals in hoofdstuk 4 wordt beschreven, neemt boven de NP + 10,20 m de lek naar de Corantijn sterk toe.

3 Beschrijving van het Nannistroomgebied

3.1 INLEIDING

De hydrologie in een stroomgebied is nauw verweven met de factoren klimaat, bodem, topografie en vegetatie. Deze factoren zullen worden onderzocht met behulp van beschikbare literatuur en er zal gebruik gemaakt worden van de gegevens, die bij mijn onderzoeken zijn verzameld (par. 3.2, 3.3 en 3.4).

3.2 BEGRENZING VAN HET STROOMGEBIED

In het algemeen wordt onder de begrenzing van een stroomgebied de waterscheiding verstaan. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen bijdragen via oppervlaktewater of via grondwater. De waterscheiding neemt meestal een vaste plaats in het gebied in.

Vanaf het begin van het onderzoek bleek dat deze grens in het onderzoeksgebied niet vast lag, maar met het peil van de moerassen over meerdere kilometers kon verschuiven. Alleen in het zuiden en noorden is er een vaste grens. In het zuiden komen hoger gelegen terreinen voor met een vaste waterscheiding tussen het stroomgebied van de Nannikreek enerzijds en de Maratakka en de Kapoerikreek anderzijds (appendix A). In het noorden wordt het gebied begrensd door de zwampkerende dammen van het landbouwgebied en de beide lekbeteugelingsdammen. Aan oost- en westkant worden als begrenzing van het onderzoeksgebied de oevers van de Maratakka en de Corantijn beschouwd; de grenzen van het stroomgebied verschuiven hier in sterke mate.

3.3 BESCHIKBARE GEGEVENS

3.3.1 *Voorafgaande studies*

Door de topograaf Sniphout werd in 1921 van de Nannikreek vanaf haar monding tot circa 50 km stroomopwaarts een profiel opgemeten door loding. De meetpunten zijn in figuur 6 weergegeven.

Het stroomgebied van de Nannikreek als geheel was voor de eerste maal onderwerp van studie, toen omstreeks 1939 plannen werden voorbereid voor een belangrijke uitbreiding van het rijstareaal in het Nickeriedistrict. Van dit onderzoek is een ongepubliceerd verslag bekend, voorzien van een schetskaart met deels vanuit de lucht gemaakte foto's (Geyskes, 1941, 1942, 1946).

Geyskes trachtte het vanuit de lucht waargenomen Nannimeer in de bovenloop van de Nannikreek te bereiken door deze zover mogelijk op te varen vanaf de monding. Het verslag vermeldt dat voorbij km 59 (Doksipan, zie appendix C) de kreek onbevaarbaar wordt door

Fig. 6. Lengteprofiel van de Nannikreek (volgens Geyskes, 1941: met meetpunten van Sniphout, 1921).

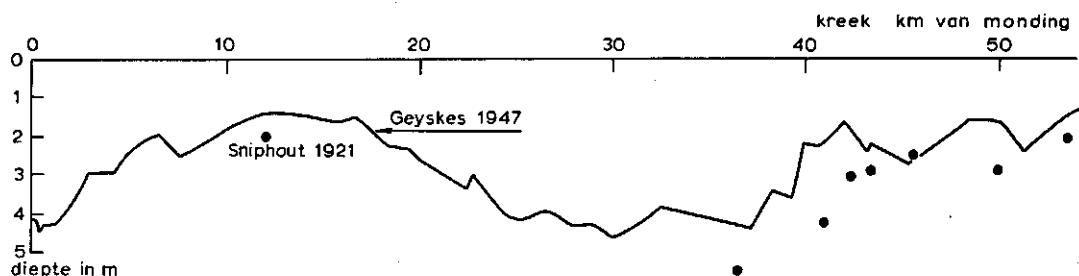


Figure 6. Profile along the Nanni Creek (Geyskes, 1941) with measuring points (Sniphout, 1921).

zware grasmatten waarop struiken en bomen groeien. Vanaf km 35 (Two Mouth-kreek) was er nauwelijks meer sprake van stroming en werden vrijwel ondoordringbare eilanden moko-moko (*Montrichardia arborescens*) aangetroffen. Een profiel van de kreek is uit de metingen van Geyskes samengesteld en in figuur 6 weergegeven. Door Geyskes werd tevens het pH-verloop in het water van de kreek gemeten (zie hoofdstuk 8).

Op deze tocht volgt weers een verkenning uit de lucht. Een groep lijkappers, die erop uit was gestuurd om de bovenloop van de Nannikreek te verkennen, had, zo bleek vanuit de lucht, haar kamp vrijwel op de kreek opgeslagen zonder deze te hebben opgemerkt. Uit de resultaten van deze expeditie werd de conclusie getrokken, dat de bijdrage van de bovenloop van de kreek vrijwel verwaarloosd mocht worden. Naast deze gegevens werd een groot aantal waarnemingen betreffende flora en fauna gedaan. Hiervoor wordt naar het rapport van Teunissen (1975) verwezen.

Zoals reeds in paragraaf 2.2.4 is vermeld, bestond er een tegenspraak over de omvang van het stroomgebied dat irrigatiewater levert aan de polders. Enerzijds waren Ringma (1960) en BLO (1962) van mening, dat het gebied ten zuiden van de ritsen een belangrijke bijdrage levert, anderzijds volgde uit een onderzoek in het kader van het 'Streekplan voor het landbouwgebied Nieuw-Nickerie' door de Grontmij (1961), dat deze bijdrage te verwaarlozen zou zijn.

Deze tegenspraak is niet meer opgelost en het functioneren van het stroomgebied bleef onduidelijk. Nadien zijn er in de voorbereidingsfase van het Corantijnkanaalproject nog wel belangrijke topografische gegevens verzameld - dit project voorzag in de aanleg van een irrigatiekanaal vanaf Apoera tot het landbouwgebied Nickerie -, maar omdat de belangstelling voor dit project taande, zijn deze nooit verder uitgewerkt. Ten behoeve van deze studie van de Nannikreek zijn ze weer bij elkaar gezocht.

3.3.2 Terreingegevens

De topografische gegevens, die voor de studie van het Corantijnkanaal werden verzameld, waren verspreid over diverse overheidsdiensten en particuliere bureaus. Dankzij het beschikbaar stellen ervan kon de interpretatie van de luchtfoto's en de topografische

Fig. 7a. Noord-zuid-profielen in het Nannistroomgebied.

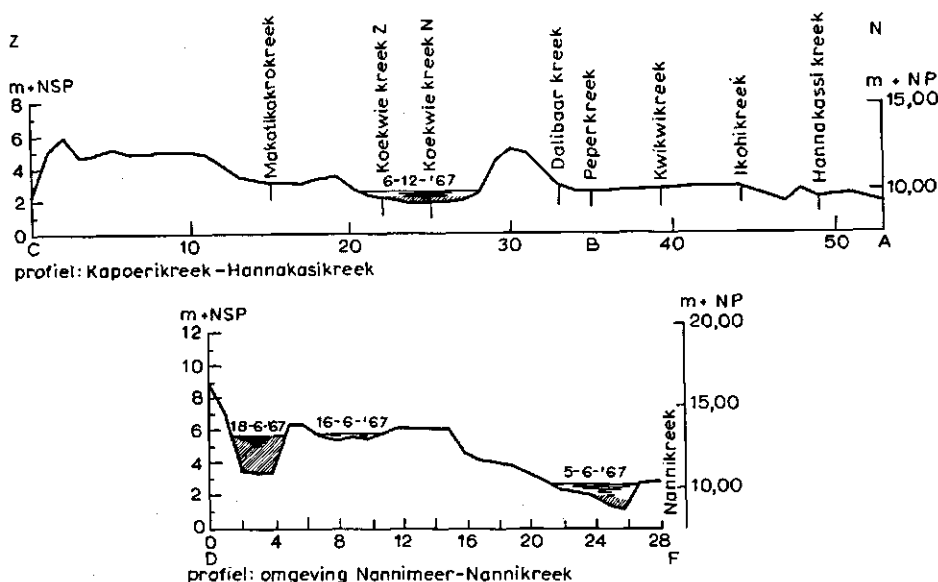


Figure 7a. North-south profiles in the Nanni drainage area.

Fig. 7b. Oost-west-profielen in het Nannistroomgebied.

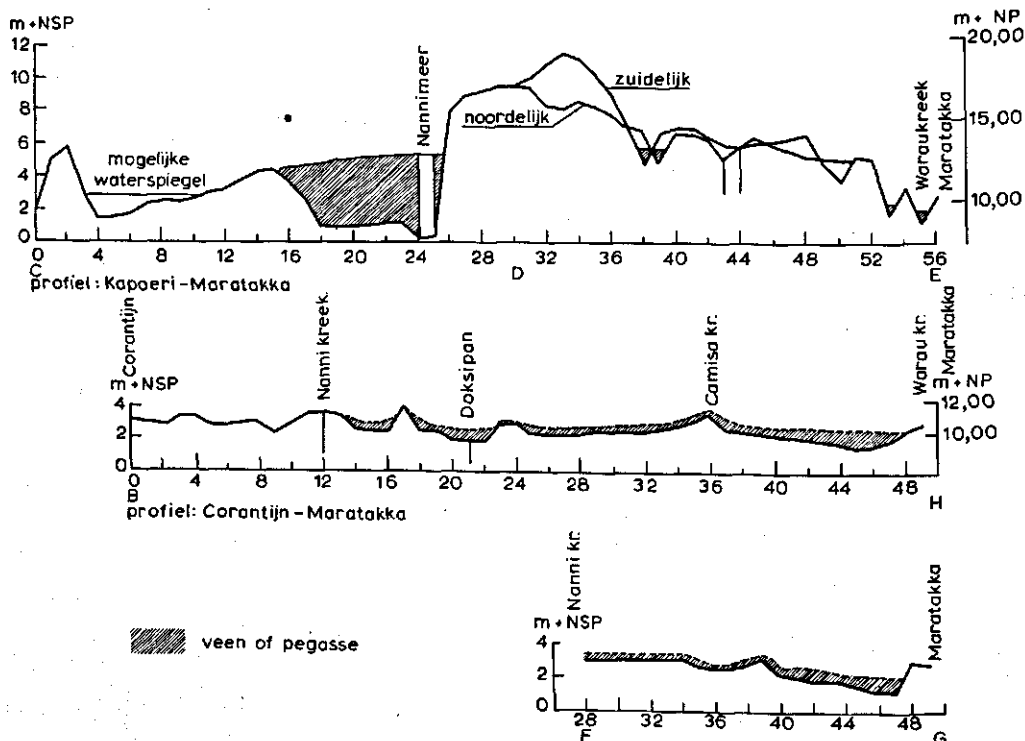


Figure 7b. East-west profiles in the Nanni watershed.

kaarten aanzienlijk worden verbeterd. De voor een deel nog beschikbare waterpasboekjes leverden eveneens belangrijke aanvullingen op. De tracés zijn aangegeven in appendix A; de profielen staan afgebeeld in figuur 7a en 7b.

Van een groot gedeelte van het gebied waren luchtfoto's vervaardigd in 1946, 1956 en 1971; deze werden door het Centraal Bureau Luchtfotokartering (CBL) voor langere tijd beschikbaar gesteld. Tevens werd gedurende dit onderzoek de bestaande overzichtsbodemaankart van de Dienst Bodemkartering (DBK) vernieuwd en aangevuld. Van de ontwerp-kaart kon nog vóór de publikatie gebruik worden gemaakt.

Op het gebied van de geologie waren van de Geologische Mijnbouwkundige Dienst (GMD) diepboringen beschikbaar, verricht in het kader van het onderzoek naar bauxietvoorkomens in het Maratakkagebied en in de omgeving van Apoera. Daarnaast waren er gegevens uit boringen naar drinkwater in het kustgebied aanwezig.

3.4 FACTOREN DIE VAN INVLOED ZIJN OP DE HYDROLOGIE

3.4.1 Klimaat

Door de Meteorologische Dienst van het Ministerie van Openbare Werken en Verkeer is op grond van langere waarnemingsreeksen van een groot aantal stations een regenkaart voor Suriname opgesteld (Meteorologische Dienst, 1960). Volgens deze kaart is circa 25% van het stroomgebied gelegen in een noordelijke zone met een gemiddelde jaarneerslag van 1750 tot 2000 mm en 75% in een zuidelijker gelegen zone met een jaarneerslag van 2000 tot 2500 mm. De spreiding van de jaarsommen ten opzichte van dit gemiddelde is groot. Voor het station-Nickerie heeft 90% van de jaren een neerslag groter dan 1300 mm en 10% van de jaren een neerslag groter dan 2400 mm. Tevens blijkt uit de gemiddelde neerslagverdeling over het jaar dat er een seizoen-effect is, waarbij een grote regentijd en een grote droge tijd, een kleine regentijd en een kleine droge tijd onderscheiden kunnen worden.

Door Boiten (1963) zijn onder andere voor het station-Nickerie frequentiecurven voor maandwaarden opgesteld. Hieruit blijkt dat in één maand van de droge tijd (bij 10% overschrijdingskans) meer regen kan vallen dan in één maand van de regentijd (bij 10% overschrijdingskans). Men moet daarom bij beschouwingen over neerslag en haar verdeling over het jaar rekening houden met grote afwijkingen ten opzichte van het gemiddelde verloop.

Door Lenselink en Van der Weert (1973) is op een wijze analoog aan die van de regenkaartsamenstelling een verdampingskaart opgesteld, gebaseerd op de verdamping van open water. Het onderzoeksgebied is voor circa 25% gelegen in een noordelijke zone met een verdamping van 2000 mm per jaar en voor de overige 75% in een gebied met een jaarver-damping van 1950 mm. Uit deze publikatie blijkt dat de verdamping gedurende het jaar een veel constanter verloop heeft dan de neerslag. De dagverdamping ligt tussen 4 en 6 mm. Uit berekeningen van Lenselink (1972) blijkt dat voor de begroeiing van stroomgebieden een gewascoëfficiënt van 0,7 - 0,9 gehanteerd kan worden voor omrekening van een open water-verdamping tot verdamping van de begroeiing.

Ter informatie: de gemiddelde luchtvochtigheid in Paramaribo bedraagt circa 80%, de gemiddelde windsnelheid is $1,3 \text{ m s}^{-1}$ en de gemiddelde temperatuur 27°C met slechts een kleine amplitudo gedurende het jaar.

3.4.2 Geologie en bodem

3.4.2.1 Inleiding

De geologische opbouw van het gebied komt overeen met die van de gehele Surinaamse kustvlakte. In figuur 8 wordt deze schematisch in doorsnede weergegeven. De in Suriname algemeen gebruikte benamingen voor de landschappelijke eenheden zijn van zuid naar noord: het Zanderijgebied, de oude kustvlakte en de jonge kustvlakte.

Verder naar het zuiden, buiten het stroomgebied, wordt het Zanderijgebied begrensd door residuair gronden van het basaalcomplex. Volgens de beschrijving bij de overzichts-bodemkaart voor de kustvlakte van Suriname door Brinkman & Pons (1968) wordt de Zanderijformatie gerekend tot het tertiair, de oude kustvlakte tot het pleistoceen en de jonge kustvlakte tot het holocene tijdperk.

3.4.2.2 Zanderijgebied

De Zanderijformatie is van fluviatiele oorsprong. Zoals de naam aangeeft is het hoofdbestanddeel zand, dat varieert van grof tot lemig. Belangrijk voor de hydrologie is de plaatselijke aanwezigheid van ondoorlatende kaolien-lagen.

Op grond van de verspreiding over de kustvlakte wordt aangenomen dat veel van het materiaal door de 'historische' Corantijn is aangevoerd. In het onderzoeksgebied heeft de Zanderijformatie een dikte van circa 60 m. Bij verschillende boringen naar drinkwater in het landbouwgebied van Nickerie werd deze formatie aangetroffen op een diepte van

Fig. 8. Schematische weergave van de geologische opbouw van de kustvlakte in noord-zuid-richting (naar Krook & Mulders).

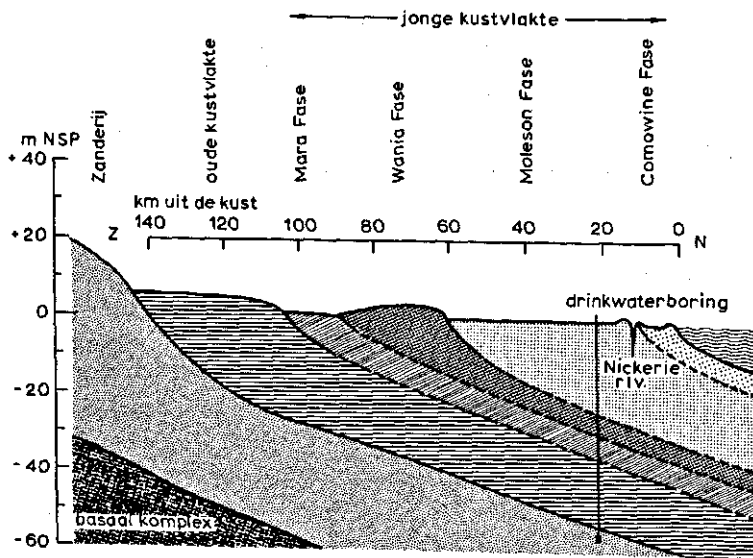


Figure 8. Geological cross-section north-south on the coastal area (Krook & Mulders).

40 tot 60 m. De samenstelling was hier grover, de pH van het aangeboorde water was omstreeks 6 en het gehalte aan NaCl bedroeg 200 - 600 mg l⁻¹. De stijghoogte bleek 30 tot 60 cm boven maaiveld te belopen. Boven in het profiel worden plaatselijk lagen aangetroffen die veel gelijken op oerbanken. In het Zanderijgebied komt deze formatie aan de oppervlakte. Binnen het onderzoeksgebied is de oppervlakte daarvan circa 27 000 ha, overeenkomend met circa 12% van het totaal.

3.4.2.3 Oude kustvlakte

In het noorden wordt de Zanderijformatie afgedekt met een kleipakket dat tot de oude kustvlakte behoort. In Suriname worden twee fasen van afzetting in de oude kustvlakte onderscheiden: de Para- en Lelydorp-afzettingen. De Lelydorp-afzettingen zijn in het onderzoeksgebied niet gevonden; de Para-afzettingen bestaan uit de zogenaamde Coropinaklei.

Deze sedimenten zijn bij hoge zeestanden afgezet, maar zijn tijdens de lage zeestanden van het Weichsel-glaciaal sterk geërodeerd. De erosiedalen zijn later voor een deel opgevuld met jongere klei-afzettingen en voor een deel met dikke veenpakketten. Door deze opvullingen is het gedeelte, waar de Para-afzettingen aan de oppervlakte komen, betrekkelijk gering. Zij bepalen echter wel de landschapsvorm in het gebied. Het patroon is op luchtfoto's herkenbaar en wordt schollenlandschap genoemd. Kenmerkend is in dit gebied het ontbreken van duidelijke kreeklopen.

De Coropinaklei van de oude kustvlakte heeft een kenmerkende stugge consistentie en is rood en paars gevlekt tot op grote diepte. Ze is slecht doorlatend, mineraalarm en heeft een lage pH. Voor landbouwkundige doeleinden wordt zij minder geschikt geacht (Blom, 1786; Van der Voorde, 1957; Veen, 1970).

De afzettingen hebben een dikte van circa 35 m en strekken zich onder de jonge kustvlakte uit. Nabij Nickerie werden zij aangetroffen op een diepte van circa 30 m. Het landschap van de oude kustvlakte beslaat in het onderzoeksgebied 85 000 ha ofwel 39% van het totaal.

3.4.2.4 Jonge kustvlakte

Deze afzetting wordt in vier fasen verdeeld, van zuid naar noord: de Marafase, Wanicafase, Molesonfase en de Comowinefase (fig. 8). De eerste drie fasen worden binnen het onderzoeksgebied aangetroffen. Een belangrijk onderscheid tussen de Marafase en de andere is de wijze van afzetting (Brinkman & Pons, 1968). De Marafase zou afgezet zijn in een periode van langzame zeespiegelstijging, waardoor de laagsgewijs opgebouwde afzetting sterk gemengd is met organisch materiaal en veen.

Over en voor deze afzettingen wordt de Wanicafase aangetroffen. Deze is ontstaan bij ongeveer gelijkblijvend zeeniveau, waardoor geen menging met veen is opgetreden en de rijping dieper is voortgeschreden (Brinkman & Pons, 1968). Ze is afgezet op een iets hoger niveau dan de vorige en volgende afzettingen van de jonge kustvlakte. Van belang zijn de langgerekte van oost naar west lopende strandwallen, ingebed in het kleis sediment, maar er wel boven uitstekend. In Suriname worden zij ritsen genoemd.

Het onderzochte gebied wordt door een dergelijke ritsenbundel in tweeën gedeeld (appendix A). Dit hoger gelegen gebied loopt van Cupido in het oosten naar MacClemen in het westen. Ongeveer midden tussen deze plaatsen breekt de Nannikreek door de ritsenbundel heen. Uit boringen die recent door de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst in het ritsengebied ten westen van Cupido zijn uitgevoerd, blijkt dat de dikte van het zand beperkt blijft tot 2 - 4 m. De ritsen hebben een fijn tot zeer fijn zandige textuur. Op sommige plaatsen waar op de topografische kaarten ritsen staan aangegeven, blijkt alleen sprake te zijn van een hoog gelegen kleiplaat.

De overzichtsodemkaart geeft daar waar de Nannikreek de ritsen van de Wanicafase doorsnijdt een brede strook estuarium- en rivierkleiafzettingen aan, die naar het zuid-oosten tot de Maratakka zouden doorlopen. Deze afzettingen hebben wel eenzelfde minerale samenstelling als de mariene kustafzettingen, maar liggen in het algemeen hoger en zijn daardoor verder gerijpt. Dit geldt in het bijzonder voor de estuarium- en rivierkleiafzettingen langs de Corantijn.

Ten noorden van de Wanicafase wordt de Molesonfase aangetroffen. Deze is eveneens afgezet bij gelijkblijvend zeeniveau, maar is iets lager gelegen, minder gerijpt en van recentere datum. In het onderzoeksgebied worden geen ritsen van deze fase aan de oppervlakte aangetroffen. Wel zijn er bij sonderingen ten behoeve van de bouw van kunstwerken in het ingepolderde gebied hier en daar zandlenzen gevonden.

De Molesonfase heeft een dikte van een tiental meters. Waar zij niet gerijpt is, is zij ondoorlatend. Waarschijnlijk is deze bodem door klink circa 60 cm gezakt ten opzichte van de rivieroever, die door slibafzetting steeds werden verhoogd (Kamerling, 1974). Hierdoor ontstond ten noorden van de ritsengordel een grote kom met een zwampkarakter, de eigenlijke Nannizwamp. Uit deze zwamp wordt water onttrokken voor de rijstbouw.

De oppervlakte van de jonge kustvlakte in het onderzoeksgebied bedraagt circa 107 000 ha ofwel 49% van het totaal.

3.4.3 Topografie en vegetatie

Op grond van de metingen voor het Corantijnkanaalproject, aangevuld met notities uit de meetboekjes, zijn twee noord-zuid-profielen en drie oost-west-profielen samengesteld (fig. 7a, 7b). Deze gegevens, gecombineerd met de in het vorige paragraaf genoemde geologische en bodemkundige formaties, laten in het gebied een globaal verband zien voor wat betreft de hoogteligging (tabel 2).

Naast deze metingen waren van enkele potentiële landbouwarealen detailopnamen gemaakt, namelijk in 1961 tussen de beneden-Nanni en de Corantijn (schaal 1 : 40 000), en in 1963 het oostelijk deel van de Cupido-ritsen (schaal 1 : 10 000). Van de eigenlijke Nannizwamp werd door het bureau Sunecon een geïnterpreteerde hoogtelijnenkaart vervaardigd. Vergeleken met de in de meetprofielen gevonden gegevens bestaat de indruk dat op een aantal plaatsen deze kaart te lage waarden weergeeft.

Waterpeilen zijn maar in weinig gevallen bij de hoogtemetingen opgenomen. Door de toevallige momentopname is van de fluctuatie ervan niets bekend.

De interpretatie van luchtfoto's in dit gebied berust op de combinatie van kennis van

Tabel 2. Globale hoogteligging van de verschillende landschappen.

	NSP ¹ (m)	NP ² (m)
Zanderijgebied	7 - 25	14,50 - 32,50
Oude kustvlakte	4 - 7	11,50 - 14,50
Marafase	≤ 2	≤ 9,50
Wanicafase	2 - 4	9,50 - 11,50
Molesonfase	1 - 2	8,50 - 9,50

1. NSP: Nieuw Surinaams Peil, gemiddelde zeestand te Paramaribo.

2. NP: Nickerie Peil, waarvan het nulpunt op NSP - 7,56 m ligt.

Table 2. General altitude of the landscapes in Surinam.

de gefotografeerde vegetatie (Dillewijn, 1957), gekoppeld aan een aantal representatief geachte hoogten en bodemprofielen. Het aantal hoogtemetingen is hierbij meestal beperkt, doordat ze in deze vrijwel ontoegankelijke gebieden moeilijk te verzamelen zijn.

Het is gebleken dat de vegetatie zich aanpast aan het waterpeil en de fluctuatie daarvan. De vegetatietypen in de kustvlakte zijn dan ook nauw verbonden met het regiem van het oppervlaktewater of grondwater. Als hoofdtypen worden onderscheiden: *mangrove vegetatie* in het getijdegebied: *gras-*, *struik-* en *boszwampen* in gebieden met zoet water, die slechts een korte periode per jaar of helemaal niet droog vallen; *drasbossen* in gebieden met hoge grondwaterstand, die tijdelijk onder water kunnen komen: *drooglandbossen* met diepe grondwaterspiegels (Lindeman, 1953).

Het belang van deze wisselwerking tussen waterpeil en vegetatie bleek zeer duidelijk na het sluiten van de Oostelijke Lekketeugelingsdam (OLD) in 1972 (fig. 9). Het maximum peil van de Nannizwamp steeg ongeveer 40 cm (tot NSP + 3,00 m) en de fluctuatie werd minder. De bosvegetatie reageerde scherp hierop. De gedeelten met een standplaats lager dan NSP + 2,20 m (circa NP + 9,70 m) stierven af en gedeelten met een standplaats boven dat peil schenen geen invloed te ondervinden. In dit verband moeten de onderzoeksresultaten van Schulz (1960), Lindeman (1953), De Graaf (1974) en Teunissen (1975) vermeld worden. Hieruit blijkt, dat een typische houtsoort in zwampen, de Baboen (*Vitola surinamensis*), op droge standplaatsen verdrongen wordt door andere soorten. Anderzijds verdraagt de soort geen langdurige inundatie; in tankproeven van De Graaf (1974) stierven zaailingen na 12 maanden inundatie.

Deze experimentele resultaten komen overeen met waarnemingen van Teunissen (1975). In de door Teunissen onderzochte proefvakken aan de Oostelijke Lekketeugelingsdam bleek, dat na 1,5 jaar in het opgestuwde gedeelte van de Nannizwamp verjonging van typische zwamphoutsoorten alleen nog op vegetatieve wijze plaats vond door opnieuw uitlopen van omgevallen bomen, terwijl kiemplanten ontbraken. Bovendien stierf het bos af, waarbij zich tussen de kale stammen een vegetatie vormde van drijvende waterplanten, grassen en kruiden.

Fig. 9. Invloed van de peilstijging van de zwamp op de vegetatie na het sluiten van de Oostelijke Lekketeugelingsdam. a. Ritsbos gezond, b. ritsbos afgestorven, c. zwampgrassen, d. zwampbos afgestorven, e. zwampbos gezond, f. polderdam van het rijstareaal, Δh is de peilstijging.

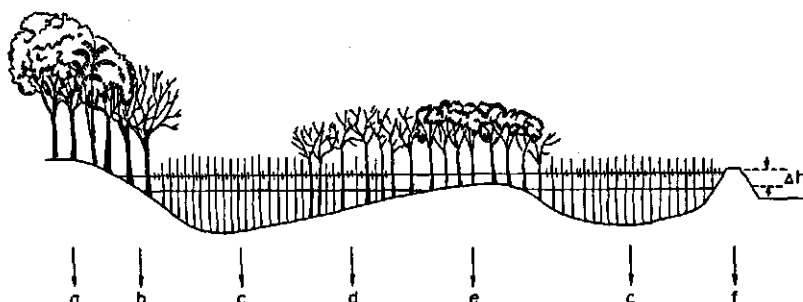


Figure 9. Influence of the rise in level of the swamp on vegetation after closure of the Eastern Division Dike. a. Healthy ridge forest, b. Dead ridge forest, c. Swamp grasses, d. Dead Swamp forest, e. Healthy swamp forest, f. Dike enclosing the rice land, Δh : rise in water level.

Tabel 3. Verband tussen vegetatie en hoogteligging van de Nannizwamp.

Vegetatie	Hoogteligging	
	NP (m)	NSP ¹ (m)
Graszwamp onveranderd	9,50	ca. < 2,00
Zwampbos in verandering	9,50 - 9,70	ca. 2,00 - 2,20
Zwampbos zonder verandering	9,70 - 10,20	ca. 2,20 - 2,70
Drasbos in verandering	10,20 - 10,50	ca. 2,70 - 3,00
Drasbos zonder verandering	>10,50	ca. > 3,00

1. NSP = NP + 7,56 m

Table 3. Relation between vegetation and altitude in the Nanni Swamp.

Vooraf moko-moko (*Montrichardia arborescens*) ontwikkelde zich sterk.

Door het verloop van de bodemhoogte langs de OLD te vergelijken met de verandering van de vegetatie kon een duidelijk beeld worden gekregen van de invloed van de waterstand. Omgekeerd konden nu uit gelijksoortige verschijnselen, die ook elders in de zwamp werden aangetroffen en op de vegetatiekaart van Teunissen zijn aangegeven, conclusies worden getrokken over de hoogteligging van de bodem. Op grond van de gegevens die langs de OLD zijn verzameld is tabel 3 samengesteld.

Deze relatie is alleen bruikbaar in dat deel van de zwamp, waar door het sluiten van de OLD duidelijke verschillen in peil zijn opgetreden. Waar geen veranderingen in vegetatie zijn aangetroffen, mag geconcludeerd worden dat de peilverandering van weinig

betekenis is geweest. Dit geldt bijvoorbeeld voor het westelijk gedeelte, waar het drasbos niet is aangetast. Zoals in paragraaf 5.2.2.3 zal worden beschreven, blijkt dat in dit gedeelte bij peilen boven NP + 10,20 m een belangrijke lek optreedt vanuit de zwamp naar de Corantijn, waardoor de hogere plaatsen hier toch nog droog blijven.

De topografische kaarten zijn voor een belangrijk deel gebaseerd op verschillen in vegetatie zoals die op luchtfoto's te zien zijn. Door de vermelde nauwe samenhang van vegetatie en hydrologie geven deze kaarten indirect aanwijzingen omtrent de hydrologie, in het bijzonder over peil en fluctuatie van de waterstand.

Voor het hydrologische functioneren is daarnaast de verplaatsing van water van belang. In het onderzochte gebied is het bijzonder moeilijk op de luchtfoto's kreekjes te onderscheiden. In de uitgestrekte zwampen zijn helemaal geen sporen van waterverplaatsing waar te nemen. Een interessante uitzondering is wellicht het beeld, dat de luchtfoto's van het verdronken schollenlandschap in de oude kustvlakte laten zien (foto 1).

Een mogelijke verklaring kan gelegen zijn in de uiterste armoede aan minerale bestanddelen in het meters dikke veenpakket dat in de erosiedalen op de Coropinaklei wordt

Foto 1. Vegetatiepatronen in de omgeving van het Nannimeer wijzen op plaatselijke verrijking van het 4 meter dik veenpakket door afspoeling van de schollen.

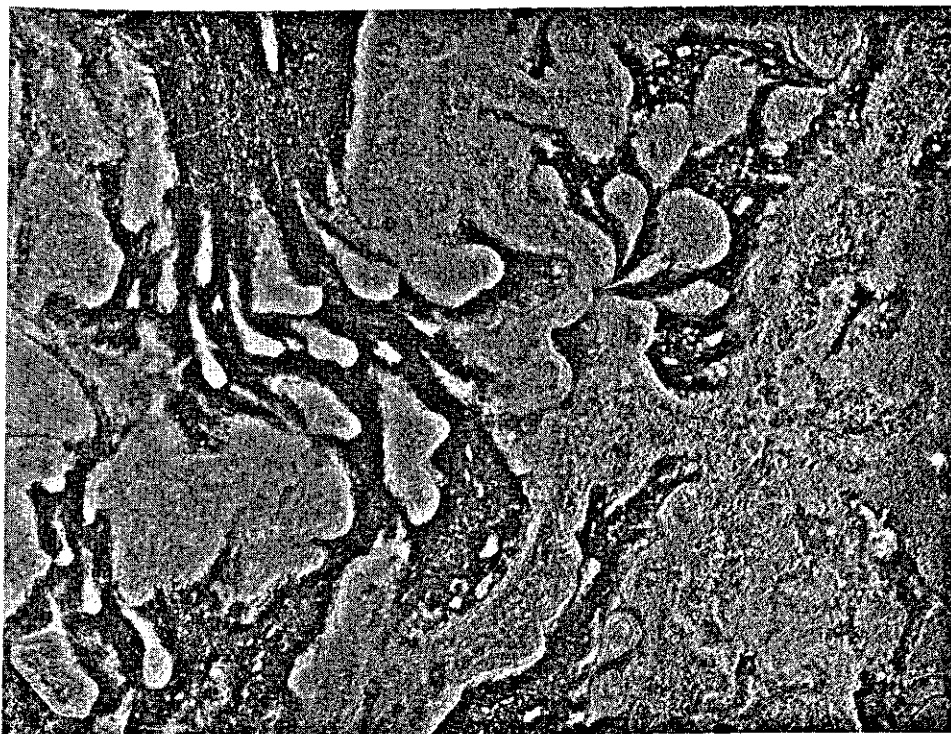


Photo 1. Vegetation patterns near the Nanni Lake show local enrichment of the 4-metre-thick peat layer by run-off from higher areas.

aangetroffen (par. 3.4.2.3). Door deze armoede bestaat de vegetatie slechts uit enkele soorten scherpe schijngrassen en armzalig ontwikkelde, verspreid staande *Montrichardia arborescens* (moko-moko). Op de plaatsen waar als het ware een schol door het veenpakket steekt, worden bij oppervlakkige afvoer extra mineralen in het veen gebracht. Door de zeer geleidelijke waterverplaatsing worden zij meegevoerd en geven plaatselijke verrijking waarvan de vegetatie profiteert (pers. meded. Brinkman & Teunissen, 1975).

Wanneer deze redenering juist is, geeft het patroon van de vegetatie dan direct de richting van de waterverplaatsing weer. De in dit gebied verzamelde watermonsters geven hierover helaas geen inzicht.

4 Waterbeweging in het stroomgebied ten zuiden van de Nannizwamp

4.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk heeft tot doel vast te stellen welke gedeelten van het onderzoeksgebied bijdragen aan de vulling van de Nannizwamp.

Combinatie van de in het vorige hoofdstuk genoemde factoren levert een beeld op van het gebied, waarin het hydrologisch proces plaatsvindt. Op grond hiervan is een indeling van het stroomgebied gemaakt in vijf deelgebieden (appendix A):

- het Zanderijgebied;
- het verdrongen schollengebied van de oude kustvlakte;
- het zwamengebieden ten zuiden van de ritsen, behorend tot de Marafase van de jonge kustvlakte;
- het ritsengebied tussen Cupido en MacClemen (Wanicafase);
- de Nannizwamp ten noorden van de ritsen (Molesonfase).

De eerste vier deelgebieden zullen beschreven worden aan de hand van:

- de begrenzing;
- expedities en veldwaarnemingen;
- samenvatting van de factoren bodem, topografie en vegetatie;
- de hydrologische eigenschappen.

De hydrologie van de Nannizwamp zal apart beschreven worden in hoofdstuk 7 en 8.

4.2 BESCHRIJVING VAN DE DEELGEBIEDEN

4.2.1 *Het Zanderijgebied*

4.2.1.1 Begrenzungen

De op de topografische kaarten duidelijk aangegeven kreeklopen in dit gebied geven een indicatie waar het stroomgebied in het zuiden eindigt. Aan de westzijde (fig. 10) is de begrenzing van het gebied eveneens zeer duidelijk, daar het hier steil uit het aangrenzende veengebied oprijst. Aan de noordzijde is de overgang met het verdrongen landschap van de oude kustvlakte redelijk goed uit de luchtfoto's af te leiden, namelijk waar droog bos overgaat in drasbos.

Fig. 10. Expeditieroute naar het Nannimeer.

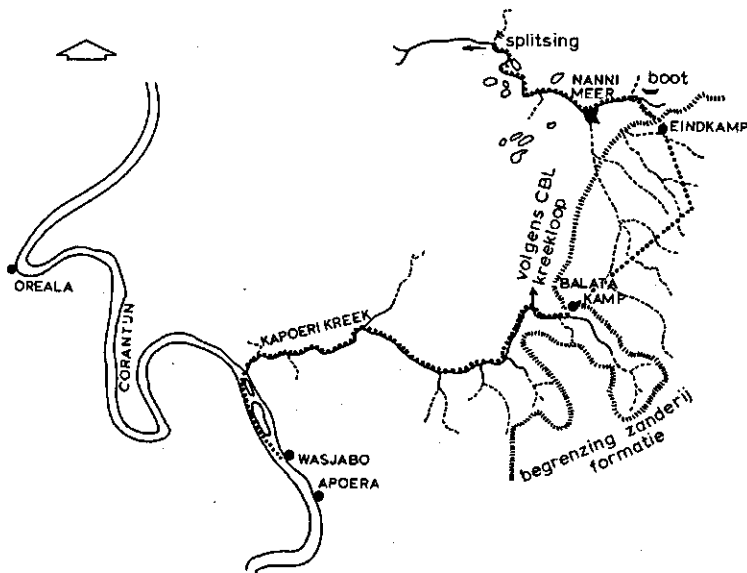


Figure 10. Route of expedition of the Nanni Lake.

4.2.1.2 Expedities en veldwaarnemingen

Bij expedities naar het Nannimeer is het gebied viermaal in noord-zuid-richting doorkruist. Voor eventuele later te houden expedities is de route in figuur 10 aangegeven.

De expedities begonnen vanuit het Indianendorp Wasjabo. Met Indiaanse gidsen en dragers wordt van hieruit per kleine boot met buitenboordmotor de Kapoerikreek opgevaaren. Na ongeveer 23 km maakt de kreek een scherpe bocht in zuidoostelijke richting. Op dit punt gaat volgens de topografische kaart de Kapoeri in noordelijke richting verder. Van deze kreekloop is niets waarneembaar. Ook met kleurstof in het water opgelost is er geen waterverplaatsing uit het noorden aan te tonen. De reisbeschrijving van Geyskes (1973) maakt ook melding van deze totaal dichtgegroeide kreekloop. De veendikte op dit punt is circa 4 m.

De in zuidoostelijke richting afbuigende kreek heeft hier een breedte van 2 m en loodrechte oevers. Circa 2,5 km voorbij dit punt, in een noordelijke bocht, snijdt de kreek het Zanderijgebied aan. Op deze oever vindt men een oud balatableiders-kamp. Een oude meetraai, aangegeven op de kaarten van het Corantijnkanaal-project van het Bureau Waterkracht Werken (BWKW) van het Ministerie van Opbouw, nog voorzien van de piketten met aanduiding A., loopt in oostwestelijke richting. Er is een ijzeren piket (AN) te identificeren aan de hand waarvan de hoogte van de Kapoerikreek kan worden opgemeten. Het kreekpeil bleek op 1975-12-06 een hoogte te hebben van NSP + 3,72 m.

Een tracé in noordnoordoostelijke richting voert in de richting van het Nannimeer. Deze lijn staat niet op de BWKW-kaarten; wel zijn er enkele niet te ontcijferen houten piketten gevonden. Een boring naar grondwater kon hierdoor niet met een gemeten hoogte worden gecorreleerd.

Op circa 10 km van het balata-kamp wordt een lijn in noordwestelijke richting gekruist. Volgt men deze lijn over ongeveer vijf km dan treft men na het oversteken van een zwampachtige kreek het eindkamp. Vanuit dit kamp is het Nanni-meer bereikbaar door de schol in westelijke richting af te lopen en het noordelijk hiervan gelegen kreekje te volgen. Op dit punt is voor latere expedities een vinyl bootje achtergelaten.

Bij het Nannimeer is een peilregistrerend instrument van het type OTT-XX geplaatst. Door gebrek aan vaste punten kon de absolute hoogte hiervan niet worden vastgesteld.

Bij een expeditie langs het oude tracé Nannimeer-Maratakka (DE in appendix A) is gebleken, dat langs de noordflank het Zanderijgebied tot een hoogte van NSP + 6-7 m is afgedekt met klei van de oude kustvlakte. Een steile helling zoals langs de westkant ontbreekt. De erosiedalen van de oude kustvlakte zijn opgevuld met veen dat minder dik is dan aan de kant van het Nannimeer (zie par. 4.2.2).

4.2.1.3 Bodem

Gebleekte en ongebleekte middelgrove zanden, zandige leem tot zandige klei. Diepe insnijdingen deels gevuld met veen.

4.2.1.4 Hoogteligging

Van NSP + 7 m in het noorden tot NSP + 25 m aan de zuidgrens van het stroomgebied; doorsneden met steile dalen van een groot aantal kreken.

4.2.1.5 Vegetatie

Hooglandbos met grote soortenrijkdom. In de kreekdalen komen pinapalmen (*Euterpe oleracea*) veelvuldig voor.

4.2.1.6 Hydrologie

Door een grote doorlatendheid is er weinig oppervlakte-afvoer, behalve op die plaatsen waar leembanken of kaolienbanken aan de oppervlakte komen.

Door de hoge ligging van het maaiveld en het dichte net van kreekdalen bevindt het grondwater zich merendeels op aanzienlijke diepte. Uit deze grondwaterberging worden altijd watervoerende kreken gevoed.

In het westelijk en oostelijk gedeelte van het Zanderijgebied en van de Kapoerikreek zijn watermonsters genomen. De samenstelling is in tabel 4 weergegeven.

In noordelijke richting duikt de Zanderijformatie weg onder jongere afzettingen (zie par. 3.4.2). In de kustvlakte werd bij boringen naar drinkwater de Zanderijformatie op circa 65 m onder het maaiveld aangetroffen. Het water is hier artesisch, met een stijghoogte van omstreeks NSP + 2,50 m (NP + 10,00 m). Uit het aldus te bepalen verhang kan een ruwe schatting worden gemaakt van de afvoer in de richting van de zee. De grondwaterstand ter plaatse van het vanggebied bedraagt circa NSP + 7,50 m, de stijghoogte ter plaatse van de diepboringen NSP + 2,50 m. Bij een verval van 5 m over een afstand van 75 km, een doorlaatfactor van 25 m/etmaal (Dixon, 1971), een dikte van de formatie van 60 m en een breedte van 30 km volgt uit de wet van Darcy een totale afvoer naar zee van 3000 m³/etmaal. Gerekend over de oppervlakte van het vanggebied van 1800 km² komt dit overeen met 16.10⁻⁵ mm/etmaal ofwel slechts 0,6 mm per jaar. Deze ondergrondse afvoer is te verwaarlozen ten opzichte van de afvoer van de kreken, die op ongeveer 735 mm per

Tabel 4. pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in het water van het Zanderijgebied.

Plaats	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Kreek westelijk deel	3,7	0,0	6,4	0,1	0,2
Kreek oostelijk deel	4,2	0,0	2,7	0,0	0,1
Kapoeriekreek (zuid)	3,9	0,0	2,9	0,0	0,1

Table 4. pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($mg\ litre^{-1}$) in water of the sandpit area.

Tabel 5. Berekende afvoer (mm) uit het zanderijgebied (gemiddelde van 12 jaren).

januari	47,2	juli	102,8
februari	49,5	augustus	99,4
maart	44,0	september	64,0
april	51,4	oktober	35,8
mei	83,7	november	20,0
juni	118,2	december	18,8
		per jaar	734,8 \approx 735 mm/jaar

Table 5. Calculated drainage (mm) from the sandpit area. Average for 12 years.

jaar kan worden geschat (tabel 5).

Deze afvoer van de krekken is gevonden op grond van berekeningen met een aan het stroomgebied aangepast model. Het oorspronkelijke model is door Duynisveld & Van der Weert (1974) opgesteld voor het gedeelte van het Zanderijgebied waarin de rivier de Coesewijne ontspringt. Vergeleken met dit gebied is de fractie 'hellingsgronden' welke bovengrondse afvoer kunnen geven in het onderzoeksgebied, kleiner door een vlakkere ligging van het terrein. Hierdoor is de afvoer gelijkmatiger en voor een kleiner gedeelte veroorzaakt door afstroming over de oppervlakte.

Een stroomgebiedje van circa 600 ha, direct bereikbaar via de Maratakkarivier, heeft als proefgebiedje dienst gedaan om het genoemde rekenmodel te toetsen (Willemink, 1976). Het is aangegeven in appendix A. Voor het bepalen van de parameters van het model is de door Van der Weert beschreven procedure gevolgd; de uitkomsten zijn vermeld in tabel 6. Door de korte reeks waarnemingen worden de resultaten niet voldoende betrouwbaar geacht om een berekening van dag tot dag mogelijk te maken. Vooral de afvoercijfers waren moeilijk voldoende nauwkeurig te bepalen, doordat de Maratakka zelfs zo ver in het binnenland nog een getijde-rivier is.

Het model is gebruikt voor een schatting van de maandafvoeren uit het Zanderijgebied.

Tabel 6. Parameters in het afvoermode¹ van Duynisveld & Van der Weert (1974) aangepast voor het onderzoeksgebied.

	Zanderijgedeelte	Coesewijnegebied
Oppervlakte plateaugronden	66%	60%
hellinggronden	24%	33%
kreekdalgronden	10%	7%
Maximale berging in het profiel:		
plateaugronden	140 mm	140 mm
hellinggronden	100 mm	100 mm
kreekdalgronden	-	-
Verdampingscoëfficiënten		
plateaugronden	0,9	1,0
hellinggronden	0,8	1,0
kreekdalgronden	1,0	1,0
Reactiefactor grondwater- reservoir	0,016	0,0095

1. Model: uit de gemeten neerslag en de in deze tabel weergegeven parameters wordt de afvoer uit het gebied berekend.

Table 6. Parameters in the drainage model of Duynisveld & Van der Weert (1974) as adapted in the area studied.

Daarbij is uitgegaan van regen- en stralingscijfers van het station Stondansie over de jaren 1963 - 1974.

De gemiddelde maandcijfers zijn weergegeven in tabel 5. Hieruit blijkt dat het gebied gedurende het gehele jaar water blijft afvoeren.

4.2.2 *Het verdrongen schollenlandschap*

4.2.2.1 Begrenzungen

Ten noorden van het Zanderijgebied ligt het gebied van de oude kustvlakte. In het westen wordt het begrensd door afzettingen van de Corantijn; in het oosten door die van de Maratakka (Marafase). In het noorden grenst het aan de zwampen van de Marafase, behorende tot de jonge kustvlakte.

4.2.2.2 Expedities en veldwaarnemingen

De zwampen van de Marafase in het noorden zijn zeer slecht toegankelijk, zodat het gebied van hieruit vrijwel onbereikbaar is. Vanaf de Corantijn is een expeditie oostwaarts

gehouden, langs de Dalibanekreek (appendix A en B). Vanaf de Maratakka is een expeditie westwaarts langs de Oemankreek uitgevoerd. Vanaf het Zanderijgebied is via het Nannimeer gevaren tot het punt waar de Nannikreek dicht gegroeid is (appendix A, fig. 10). Bij de expeditie van de Maratakka naar het Nannimeer is het zuidelijk gedeelte van het schollen-landschap verkend (appendix A).

Bij deze expedities ging het erom een indruk te krijgen van de terreingesteldheid en vast te stellen wat de richting van de waterverplaatsing was. Met ditzelfde doel zijn vliegtochten ondernomen, waarbij vanuit de lucht kleurstof in open water werd geworpen. De kleurstof (uranine) was met hoge concentratie opgelost in water en verpakt in plastic zakjes. Bij het treffen van het wateroppervlak braken de zakjes open en veroorzaakten een vlek in het water. Met de vanuit de lucht waarneembare verplaatsing van deze vlek kon na een korte periode afgeleid worden in welke richting de stroming plaatsvond (appendix A).

Naaste deze expedities is er informatie over dit deel van het stroomgebied verzameld in een proefgebied bij de Oemankreek aan de Maratakka. Hier zijn ook bepalingen betreffende de infiltratiesnelheid, doorlatendheid en afstroming gedaan.

4.2.2.3 Bodem

De bodem bestaat uit diep gerijpte klei van het Coropina type. Plaatselijk worden in diepe erosiedalen afzettingen van de Marafase aangetroffen. De brede erosiedalen met een diepte van 1 - 6 m zijn voorts gedeeltelijk opgevuld met veenpakketten. In dit veen staat het water tot de oppervlakte. Bij het lopen hierover zakt men 30 - 50 cm weg. In het noorden van de oude kustvlakte is het gebied minder verdrongen door afvoer naar de lager gelegen zwampen (Marafase). Waar geboord is in de omgeving van het Nannimeer, is een stugge ondergrond aangetroffen die op Coropinaklei wijst. Het veen heeft een slappe consistentie; alleen de onderste laag van 50 cm in de omgeving van het Nannimeer is stevig. Tot een diepte van 1 m is het veen warrig van wortels die weinig verteerd zijn. Op de overzichts bodemkaart van Brinkman & Pons (1968) staat het veengebied veel uitgestrekter aangegeven dan in werkelijkheid het geval is. Uit het profiel DF (Nannimeer-Nannikreek, (appendix A, fig. 7a) blijkt dat slechts een klein gedeelte van deze raai nabij het Nannimeer over dik veen loopt.

4.2.2.4 Topografie en vegetatie

Op grond van de bodemkundige en topografische gegevens kan men zich het gebied samengesteld denken uit twee kommen, waar een rug tussendoor loopt. Deze rug valt ongeveer samen met het profiel DF (Nannimeer-Nannikreek, appendix A, fig. 7a).

In de westelijke kom heeft de Coropinaklei een hoogte van NSP + 1 - 2 (NP + 8,50 - 9,50 m), terwijl het maaiveld op ongeveer NSP + 5 m ligt (NP + 12,50 m). De sterke veenvorming heeft hier waarschijnlijk plaats gevonden onder invloed van voortdurende toevoer van water uit het Zanderijgebied (vergelijk tabel 6). Een constante aanvoer van water is kenmerkend voor een laaglandzwamp (Bavina, 1972). Het Nannimeer heeft een kleibodem. Op deze plaats ligt het klei-oppervlak het diepst.

De kom wordt aan de noord- en zuidkant begrensd door afzettingen van de oude kust-

vlakke op NSP + 6 - 7 m (NP + 13,5 - 14,5 m) en in het oosten door het Zanderijgebied met een hoogte van NSP + 12 m (NP + 19,5 m). Hier en daar steekt in de kom een restant van de geërodeerde oude kustvlakte omhoog; deze resten worden schollen genoemd. Aan de westkant liggen rivierafzettingen met wisselende hoogte. Ter hoogte van de Koekwikreek (appendix B) ligt een depressie in het oeverwallengebied, waarin een groot zwamp gelegen is met een bodem op NSP + 2 m (NP + 9,5 m) (zie profiel ABC in fig. 7a). De oeverwallen van de Corantijn hebben een hoogte van NSP + 3,50 - 4,00 m (NP + 11,00 - 11,50 m).

De oostelijke kom heeft de vorm van een brede depressie, eveneens met verspreide schollen. Midden door de kom loopt de thans vrijwel dichtgegroeide Camisakreek.

Deze laagte wordt aan de oost-, zuid- en westzijde door de hoger gelegen oude kustvlakte begrensd. Aan de noordzijde mondt de depressie uit in een zwampgebied van de Marafase met een hoogteligging van NSP + 1,5 - 2,0 m (profiel FG in appendix A en fig. 7b). Ook in dit deel komt veen voor, hoewel minder dik dan in de westelijke kom.

De vegetatie op het veen in de kommen is eenzijdig en bestaat slechts uit enkele grassoorten en struikjes. Tussen het gras bevindt zich veenmos en hier en daar zonnedauw. Deze armoede en de slechte ontwikkeling moet gezien worden als een gevolg van voedseltekort en een lage pH. Daar waar oppervlaktewater van de schollen afstroomt vormt zich in de richting van de waterverplaatsing een spoor van meer en beter ontwikkelde soorten (zie par. 3.4.3 en foto 1). De droge gedeelten van de oude kustvlakte hebben een begroeiing van drasbos. Langs de grenzen met het veengebied komt een brede strook met Mauritiëpalmen (*Mauritia flexuosa*) voor. Door de vrij steile overgang tussen nat en droog komt het zwampbostype weinig voor. In de depressie in de Corantijnafzettingen (raai AC in fig. 7a) komen wel uitgestrekte zwampbossen voor. Hetzelfde vindt men aan de oostkant, waar in veel gevallen Mara-afzettingen de depressies tussen de schollen hebben opgevuld.

4.2.2.5 Hydrologie van de westelijke kom

De kreekjes uit het Zanderijgebied convergeren naar het Nannimeer. Vanaf het moment dat zij het veengebied binnenstromen, raken zij overgroeid en zijn zij moeilijk te herkennen. Het laatste gedeelte naar het meer stromen zij als het ware door een tunnel in het veen.

Het gehele Nannimeer is omzoomd met een rand moko-moko, ook op die plaatsen waar kreekjes uitmonden en waar de Nannikreek het meer verlaat. Het Nannimeer heeft een diepte van 4 - 5 m. (Door Ivanov (1972) is een classificatie van veenmeren gemaakt). De Nannikreek heeft even na het meer een diepte van 3 m. Naar het noorden toe wordt de kreekloop smaller. Op een afstand van ongeveer 10 km van het meer, langs de kreek gemeten, verbreedt de kreek zich. Een zijkreek die hier van het westen bij de Nanni komt voert geen water aan, integendeel, via deze zijkreek stroom het water naar het zwampgebied langs de Corantijn. De Nannikreek zelf is vanaf dit punt dichtgegroeid. Uit boringen ter plaatse blijkt de klei op ongeveer 4 - 5 m diepte voor te komen (fig. 11).

In mei en november 1974 zijn hier afvoermetingen gedaan. Het debiet dat uit het zuiden wordt aangevoerd komt overeen met het debiet dat in westelijke richting verdwijnt. Waterverplaatsing richting Nannikreek is niet meetbaar; slechts uit de verplaatsing van opge-

Fig. 11. Situatieschets van de splitsing van de Nannikreek.

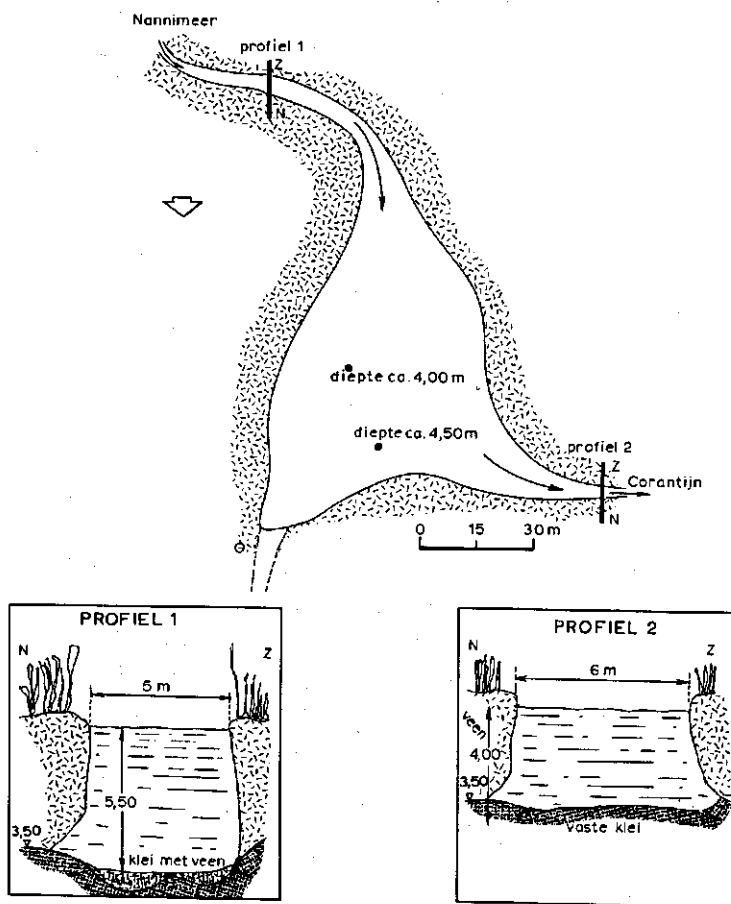


Figure 11. Sketch map of the split in the Nanni Creek.

loste kleurstof blijkt een zeer zwakke stroming naar het noorden. Pas circa 50 km verder, gemeten langs de geheel overgroeide kreekloop naar het noorden, wordt weer een watervoerende kreek zichtbaar (appendix C).

Zoals in paragraaf 3.4.3 is vermeld, is het waarschijnlijk dat uit het vegetatiepatroon in de omgeving van de schollen de waterverplaatsing door het veen mag worden afgeleid. Bestudering van dit patroon wijst op een afstroming van de hogere delen in het oosten in de richting van de Corantijn. In vele gevallen is de richting onafhankelijk van de Nannikreek. Het geleidelijk smaller worden van de kreek en het dichtgroeien verder van het meer af wijzen erop dat de drainage van het gebied slechts gedeeltelijk via deze kreek verloopt. Behalve deze Nannikreek zijn er geen waterlopen in het gebied.

Om een indruk te krijgen van de doorlatendheid van het veenpakket zijn op een drietal plaatsen in het gebied proeven in een profiel genomen. 'Ongestoorde' veenmonsters, gestoken met een blikje met scherpzand, zijn genomen op 10 cm en 1 m diepte; met de steekboor werd de veenlaag boven de vaste klei op 3 - 4 m diepte bemonsterd. De doorlatendheid van deze

monsters werd in een veldopstelling met de Mariottefles bepaald. Op een diepte van 1,50 - 2,00 m werd gewerkt met een peizometer volgens de methode van Kirkham. Op één lokatie werden verschillende bepalingen gedaan. Aan de oppervlakte blijkt de doorlatendheid te variëren van 20 tot 100 m/etmaal, op een diepte van 1 m van 2 tot 40 m/etmaal, op een diepte van 2 m van 0,5 tot 4 m/etmaal en dicht boven de vaste klei 0,02 m/etmaal. De doorlatendheid neemt dus met de diepte sterk af. Op grond hiervan mag men verwachten dat de waterverplaatsing door het veen voornamelijk door de allerbovenste laag plaats vindt en onafhankelijk is van het erosiepatroon in de ondergrond.

Voor het bepalen van de peilfluctuatie in het gebied werden hoogwatermerken op stammen op de vaste wal opgemeten. Deze hadden in mei 1974 een hoogte van circa 16 cm boven de waterspiegel. Tevens is een registrerende peilschaal geplaatst op 6 m lange palen in de omgeving van het Nannimeer. Dit instrument heeft van 12 mei tot 12 november 1974 peilen geregistreerd. Bij controle op 1974-11-12 bleek de nylon transportband in het mechanisme uiteengevallen te zijn; de datering van de peilen is hierdoor onbetrouwbaar. De peilverandering tussen begin- en einddatum bedroeg 7 cm. De maximale peilstijging heeft in die periode 18 cm bedragen. In paragraaf 4.3 is over deze periode een globale waterbalans opgesteld. Grote fluctuaties zijn in dit gebied niet te verwachten.

In veengronden moet men bij de beoordeling van de peilfluctuatie rekening houden met een verandering van het poriënvolume in het veen. Bij een daling van het waterpeil zakt het veen mee, waardoor het poriënvolume afneemt.

Betreffende het ontstaan van deze situatie moet men bedenken dat door de uitbreiding van de kustvlakte de afstand naar zee steeds toenam. Het verval in die richting werd daardoor steeds kleiner. Bij gelijk blijvende afstroming werd daardoor het peil aan de bovenstroomse kant hoger. De veengroei hield daarmee gelijke tred.

Op de plaats waar de kom de Corantijn het dichtst nadert, bleef het verval echter groot. Door de geleidelijke peilverhoging in de kom ontstond een afvoermogelijkheid over lage gedeelten van de oorspronkelijke waterscheiding met de Corantijn. Afname van de stroming in de vroegere richting veroorzaakte dichtgroeien van de Nannikreek, totdat uiteindelijk de afvoer geheel van richting veranderde (appendix B).

Wanneer in de toekomst de afstroming naar de Corantijn wordt afgesneden door een dam ten behoeve van een verbindingsweg tussen Nickerie en het ontwikkelingsgebied van Apoera, kan de afvoer van dit gebied via een excavatiekanaal weer naar het noorden worden geleid (par. 9.8.3).

In het gebied zijn op verschillende plaatsen watermonsters genomen (tabel 7 en appendix B). Per meetpunt werden meerdere monsters genomen; de bepalingen kwamen goed overeen. Opvallend zijn de verschillen tussen water aan de oppervlakte en in de diepte van het Nannimeer.

Het water van de Dalibanekreek wijkt sterk af van dat van het Nannimeer. Dit moet toegeschreven worden aan de aanrijking door afstroming van de schollen. De Dalibanekreek heeft een groot deel van haar stroomgebied in hoger gelegen gedeelten van de oude kustvlakte, dichtbij de Corantijn (appendix B).

Uit het vegetatiepatroon op de luchtfoto's van het centrale gedeelte van het schollen-

Tabel 7. pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in het water van het oude kustvlakte-gebied.

Plaats	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Nannimeer opp. water	3,7	0,0	2,1	0,0	0,1
Nannimeer 4 m diep	4,2	1,4	2,9	0,7	0,4
Koekwikreek	4,4	0,0	3,9	0,1	0,4
Dalibanekreek	4,9	0,4	4,0	0,1	0,4
Oostelijke kom	4,4	0,0	2,5	0,1	0,1
Maratakkakreek	4,1	0,1	3,1	0,1	0,2
Waraukreek	3,8	2,0	4,0	0,6	1,4

Table 7. pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($mg\ litre^{-1}$) in water of the old coastal plain.

landschap kan een waterscheiding tussen de westelijke en de oostelijke kom worden vastgesteld.

4.2.2.6 Hydrologie van de oostelijke depressie

Het oostelijk gebied vertoont symptomen die overeenkomen met die van het westelijk gebied, al zijn zij minder duidelijk. Ook zijn er minder gegevens verzameld.

De Camisakreek (appendix C) doorsnijdt deze kom van het zuiden naar het noorden. In het zuiden is de kreek begroeid vanaf het punt waar zij het Zanderijgebied verlaat tot aan een meertje dat in het veengebied ligt. Voorbij het meertje is zij over enige afstand open, maar groeit al spoedig weer geheel dicht. In november en december 1974 is er uit de lucht kleurstof in het open gedeelte geworpen. De stroming bleek in noordelijke richting te verlopen. Vermoedelijk loopt het water daarna in de richting van de Maratakka; afvoer naar de Nannikreek is onwaarschijnlijk (zie ook par. 4.3.2).

Er ontbreekt een duidelijk zijkreek in de richting van de Maratakka. Op de luchtfoto's van dit gebied is wel een kreekje waarneembaar dat als zodanig zou kunnen functioneren. Bij een expeditie in maart 1974 werd dit echter niet aangetroffen (het is in dit gebied moeilijk zich in het manshoge gras te oriënteren). Wel werden een tweetal geulen in het aangrenzende schollengebied gevonden, waarin water in noordoostelijke richting stroomde. Ze hadden echter meer het karakter van een brede overlaat dan van een kreek.

Het patroon van de vegetatie bij de geïsoleerde schollen in het veen is vergeleken met de westelijke kom minder duidelijk. Het veen blijkt ook minder dik te zijn: 1,5 - 2 m. De vegetatie bestaat uit dezelfde soorten als in de westelijke kom. De verschillende soorten groeien echter dichter op elkaar en zijn hoger. De wortelmat is wat steviger.

In het gebied zijn geen peilwaarnemingen gedaan, maar in de periode april 1974 tot en met februari 1975 zijn debietgegevens verzameld van de twee belangrijkste krekken die het gebied ontwateren: de Maratakkakreek op de noordgrens van het schollengebied en de

Waraukreek in het zuiden (appendix B). Hier tussenin liggen een aantal kleinere krekken - onder andere de Oemankreek -, die de oever van de Maratakkarivier en de direct daarachter liggende strook ontwateren. In paragraaf 5.2.3.1 wordt ingegaan op de afvoer van deze krekken.

De samenstelling van de watermonsters, die in dit gebied zijn verzameld worden in tabel 7 weergegeven. De lage pH van het water uit de Waraukreek lijkt op die van het Zanderijgebied. Het zou kunnen zijn dat de Waraukreek veel water uit het Zanderijgebied afvoert, waardoor de oostelijke kom weinig water uit dit gebied ontvangt (appendix C). De samenstelling van het water in de oostelijke kom lijkt meer op die van de Maratakka-kreek. De oostelijke kom wordt in die situatie voornamelijk gevuld met water dat van het schollengebied afstroomt en met de directe neerslag.

4.2.2.7 Het gedeelte met onregelmatig reliëf

Naast deze twee grote met veen gevulde kommen in het schollenlandschap is er een gedeelte met minder uitgesproken reliëf. De erosiegeulen zijn hier voor een deel opgevuld met jongere Marakleien; voor een deel zijn ze niet opgevuld. Om een indruk te krijgen van het functioneren van dit gebied is langs de Maratakkarivier, bij de monding van de Oemankreek, een proefgebiedje onderzocht (Bakker, 1976).

Het gebiedje (appendix A en fig. 25) bestond uit een kom van circa 180 ha, omsloten door schollen. Met een korte ondiepe kreek was de kom verbonden met de Maratakka (Oemankreek). De kreek liep door tot in de kom. Naburige kleine kommen stonden door middel van laagten tussen de schollen in verbinding met de grote kom. Deze laagten hadden het karakter van een brede overlaat. De hoogwatermerken op de boomstammen in een gebied met verschillende kommen kunnen verschillende hoogten hebben. Blijkbaar liggen de 'overlaten' tussen de kommen op verschillende niveaus. De klei van de schollen heeft een zeer geringe infiltratiecapaciteit (tabel 8). Bij neerslag komt dan al een groot gedeelte tot oppervlakkige afvoer.

Langs de flanken van de schollen werd in veel gevallen een microreliëf aangetroffen dat bekend staat als Cowfoetoes. Dit microreliëf komt algemeen voor op drasse plaatsen en ontstaat door activiteit van bodemorganismen. Van boven gezien maakt het de indruk van een labyrint. De hoogteverschillen kunnen een halve meter bedragen; het is een moeilijk begaanbaar terrein. De afvoer uit het gebiedje naar de Maratakkarivier is in paragraaf 5.2.3.2 nader beschreven.

Wanneer in dit gedeelte van het schollengebied de neerslagintensiteit groter is dan de infiltratie, stroomt er water van de schol af naar de kommen. De verhouding droog/nat bepaalt de hoeveelheid water die de kom opvult en de snelheid waarmee het peil stijgt. Bij een peil waarbij lage gedeelten onderlopen, kan waterverplaatsing naar naburige kommen optreden. De afvoer uit een gebied wordt tenslotte bepaald door een drempelhoogte waarboven het water via een kreek naar de aangrenzende rivier kan stromen. In deze situatie is het bijzonder moeilijk een neerslag-afvoerrelatie op te stellen zonder over uitgebreide topografische gegevens te beschikken. Afhankelijk van de berging in een groot aantal kommen kan eenzelfde neerslag verschillende afvoeren tot gevolg hebben.

De vegetatieverschillen, zoals die uit luchtfoto's waarneembaar zijn, geven een ge-

Tabel 8. Infiltratiecapaciteit, $V(H_2O)/A$ t (mm min⁻¹) van de schollen en oeverwallen aan de Maratakka-zijde.

	$I_{cum.}^1$	$I_{inst.}^2$
Schollen	4,0 t ^{0,7}	2,8 t ^{-0,3}
Oeverwallen	4,0 t ^{0,6}	2,4 t ^{-0,4}

Opm. t in minuten.

1. $I_{cum.}$ = cumulatieve infiltratie.

2. $I_{inst.}$ = momentane infiltratie.

Table 8. Infiltration capacity, $V(H_2O)/A$ t (mm min⁻¹) of the marine and coastal banks on the Maratakka side.

Tabel 9. Oppervlakte van schollen in de oude kustvlakte.

	Oppervlakte (ha.10 ³)	Schollen (%)	Kleine kommen (%)	Grote kommen (%)
Afwaterend op:				
Corantijn				
incl. oeverwallen	45,2	30	20	50
Nannikreek	11,6	47	53	-
Maratakka	28,3	33	59	18
Totaal oude kustvlakte	85,1	34	33	33

Table 9. Area of marine banks in the old coastal plain.

middeld beeld van de delen waar het meestal nat is en meestal droog. Op grond van een momentopname uit de lucht zijn zo op de topografische kaarten de schollen weergegeven. Een overzicht geeft tabel 9.

Aan de noordflank van het schollengebied ontbreekt de afvoer naar een rivier. Uit de luchtfoto's blijken hier, veel duidelijker dan in de rest van het gebied, veel erosiegeulen in de richting noordzuid te lopen. Het water stroomt door deze geulen naar het zwampengebied ten zuiden van de ritsen (Marafase van de jonge kustvlakte). Uit het profiel (DF in fig. 7a) Nannimeer-Nannikreek blijkt dat het terrein, na een sprongetje van 6 m naar 4,5 m, geleidelijk van 4,5 m naar 2 m daalt (hoogten ten opzichte van NSP). Dit patroon is vermoedelijk ontstaan, doordat vlak hiervoor een oude kustlijn heeft gelegen. Na de erosieperiode zijn bij stijgende zeespiegel deze dalen gedeeltelijk weer gevuld met Marakleien.

4.2.3 *Het zwampengebied ten zuiden van de ritsen, behorend tot de Marafase van de jonge kustvlakte*

4.2.3.1 Begrenzungen

Dit gebied bevindt zich ten noorden van de geërodeerde oude kustvlakte die hiervoor is beschreven. In het westen en oosten wordt het respectievelijk begrensd door rivierafzettingen van de Corantijn en Maratakka. In het noorden wordt het begrensd door het ritsengebied.

4.2.3.2 Expedities

Het gebied is slecht toegankelijk, doordat het varen over de Nannikreek sterk bemoeilijkt wordt door de talloze grasmatten en moko-moko eilanden. Er zijn aan het begin van het onderzoek een viertal tochten tot Blackawatrakreek (appendix C) ondernomen en op het eind van het onderzoek nog twee. Vanaf de Maratakka is over de Cupidoritsen een tocht gemaakt langs het oostelijk gedeelte van deze zwampen. (appendix A). Vanuit het westen is over de oeverwallen van de Corantijn een tocht ondernomen naar de westelijk gelegen zwampgedeelten zonder dat deze zijn bereikt. Om de stroomrichting in het westelijk deel van de Nannikreek te bepalen is kleurstof uit de lucht afgeworpen op plaatsen waar open water in de kreek zichtbaar was. Er bleek sprake van een zwakke waterverplaatsing in oostelijke richting (appendix A en C).

4.2.3.3 Bodem

In dit gebied is de Maraklei over de oude kustvlakte afgezet bij stijgende zeespiegel, waardoor een afwisseling van klei en veen is ontstaan. Omdat weinig rijping is opgetreden heeft de bodem een slappe consistentie. Drooglegging van deze gebieden zou vorming van katteklei tot gevolg kunnen hebben. Wanneer in droge perioden deze zwampen droog vallen treedt door oxydatie zuurvorming op (fig. 12). Bij opnieuw onderlopen van dit gebied in de regentijd lost dit zuur voor een deel op in het oppervlaktewater, waardoor dit eveneens een lage pH krijgt.

In een lager stadium zijn voor en op sommige plaatsen over de Marafase kleiplaten afgezet van de Wanicafase. Tot deze fase behoort ook de ritsenformatie die het gebied in het noorden begrenst. In lage gedeelten komt een veenlaag voor tot circa 75 cm dikte, op de kleiplaten slechts van enkele centimeters (tracé FG in fig. 7b).

4.2.3.4 Topografie en vegetatie

Het profiel BH (fig. 7b) geeft een beeld van de hoogteligging in oost-west-richting. Het profiel DF (fig. 7a) doorkruist het gebied in noord-zuid-richting. Waar deze lijn de Nannikreek treft maakt zij een hoek en loopt verder in oostelijke richting tot de Maratakarivier (profiel FG in fig. 7b). Dit profiel ligt 4 km ten noorden van het eerder genoemde oost-west-profiel (BH).

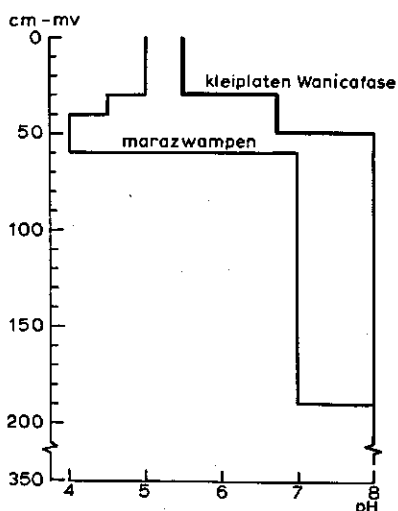


Fig. 12. pH-verloop in het gedeelte van de jonge kustvlakte ten zuiden van de ritsen (uit waarnemingen van de Dienst Bodemkartering).

Figure 12. pH in the young coastal plain south of the ridges (measured by the Soil Survey Service).

Uit deze gegevens, gecombineerd met de luchtfoto's en topografische kaarten, kunnen twee deelgebieden worden onderscheiden:

- Een oostelijke zwamp (profiel FG) met de klei op NSP + 1 - 2 m met aan de oostzijde de Maratakka, in het noorden het ritsengebied en in het zuiden de oude kustvlakte. In het westen een iets hoger gelegen kleiplaat, op ongeveer NSP + 3,25 m (circa NP + 10,75 m). Deze kleiplaat is in oost-west-richting enkele kilometers breed. Of deze plaat aansluit op de hoger gelegen oude kustvlakte is niet zeker; ze is althans in profiel BH nauwelijks terug te vinden.
- Westelijk van deze plaat ligt een zwampgebied dat zich tot aan het oeverwallencomplex van de Corantijn uitstrekt. Deze zwamp heeft een bodemhoogte van NSP + 2 - 3 m. In dit gedeelte komen kleiplaten of schollen met een hoogteligging van NSP + 4 m (circa NP + 11,50 m) voor, maar deze zijn minder uitgestrekt als eerder genoemde plaat. De zwampgebieden zijn begroeid met zwampbos. De kleiplaten hebben voornamelijk een drasbos-begroeiing.

4.2.3.5 Hydrologie van het oostelijk zwampgebied

Het oostelijk zwampgebied tussen de Maratakka en de oude Camisaloop functioneert als berging van het water dat geleidelijk door de oostelijke kom van het schollengebied wordt afgevoerd en het van de ritsen in zuidelijke richting afstromende water.

Uit het zwampgebied stromen twee grote kreek naar de Maratakka, de Stonkreek en de Maratakkakreek (appendix B). De afvoer van deze kreek is uitgesproken seizoengevoelig. Vooral bij de Stonkreek neemt het debiet in een droge periode weer snel af (zie ook par. 5.2.3). Blijkbaar speelt een geleidelijke nalevering uit het Zanderijgebied en uit veengebieden, zoals bij de Koekwikreek aan de Corantijn, geen grote rol. De Maratakka-kreek heeft een wat gelijkmatiger debiet dan de Stonkreek. Uit de luchtfoto's blijkt dat de oude loop van de Camisakreek tot aan de Nannikreek helemaal is dichtgegroeid.

Uit de afvoermeting die in februari 1975 op het punt van samenstromen met de Nanni is gedaan (appendix C) bleek slechts een uiterst klein debiet uit de oude Camisaloop te komen. Ook het punt Two mouth-kreek gaf geen waterverplaatsing te zien. De in 1962 gedane afvoermetingen in dit gebied gaven voor de Camisa eveneens een onmeetbaar debiet aan, terwijl toen het debiet van de Nannikreek een grootte van $43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bereikte. Hieruit mag geconcludeerd worden dan onder de huidige omstandigheden de afvoer van de Camisa naar de Nanni verwaarloosbaar is en dat de afwatering naar de Maratakka plaatsvindt.

Het is denkbaar dat zuidelijk van de hogergelegen kleiplaat waterverplaatsing optreedt naar het westelijk zwampgebied en vandaar naar de Nannikreek. Van december 1974 tot maart 1975 is er een zelfregistrerende peilschaal ten zuiden van de Cupidoritsen geplaatst ongeveer ter hoogte van de oostflank van de eerder genoemde kleiplaat (appendix A). Behalve de fluctuatie van dit peil was de absolute hoogte van groot belang om in de bovenstaande problematiek enig inzicht te krijgen. Het instrument is daarom aangemeten vanaf een vast punt aan de Maratakka. Het peil blijkt in deze periode te stijgen van NSP + 3,09 m tot NSP + 3,37 m (NP + 10,65 m tot NP + 10,93 m); in figuur 13 is het peilverloop uitgezet.

Eveneens is een raming van de neerslag en verdamping gemaakt en cumulatief uitgezet (neerslag van Wageningen, verdamping via straling en een gewascoëfficiënt van 0,8). Het peil blijkt na de neerslagperiode van de eerste helft van januari plotseling te stijgen tot boven dit cumulatieve neerslagoverschot. Daarna daalt het peil sneller dan uit het neerslagoverschot te verwachten is. Hieruit blijkt dat aanvankelijk de toestroming van droge delen overweegt, terwijl later de afvoer gaat overheersen. Het water beweegt zich vermoedelijk in de richting van de Stonkreek en de Maratakkakreek, die in de Maratakkarivier uitmonden (appendix B). In deze richting is het verval het grootst.

Fig. 13. Peilverloop in het oostelijk gedeelte van het zuidelijk zwampgebied vergeleken met het neerslag overschot (N-V).

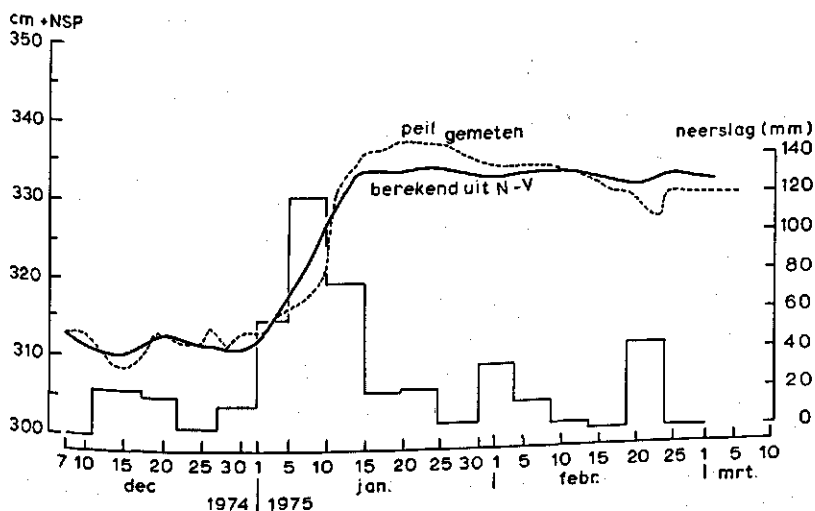


Figure 13. Changes in water-level (cm above sea-level) of the eastern part of the southern swamp area and surplus rainfall (mm).

In dezelfde periode loopt het peil in de Nannizwamp bij Bigi Draai (appendix C) op van NSP + 2,60 m tot NSP + 2,85 m (NP + 10,16 m tot NP + 10,41 m). Van deze peilschrijver haperde helaas de tijds aanduiding.

De beschikbare gegevens wijzen op twee afzonderlijke systemen, de oostelijke en de westelijke zwamp, waarbij de eerder beschreven kleiplaat bij lage waterstanden als waterscheiding fungeert. Eventuele uitwisseling van water tussen beide systemen bij hoge peilen zal onder invloed van zeer kleine verhangen optreden en kan geen groot debiet veroorzaken. De Camisakreek is voor de afvoer van geen betekenis.

4.2.3.6 Hydrologie van het westelijk zwampgebied

De westelijke zwamp wordt gevuld uit de afstroming van een gedeelte van de oude kustvlakte, van de ritsen en rechtstreeks uit de neerslag (appendix B). Op grond van de topografie kan bij hoge peilen ($> \text{NPS} + 3,50 \text{ m}$ ofwel $> \text{circa NP} + 11,00 \text{ m}$) een belangrijke lek naar de Corantijn ontstaan via de Dalibanekreek (raai BH in fig. 7b).

De waarnemingen van de uit het vliegtuig afgeworpen kleurstoffen in de lussen van de Nannikreek (appendix A) bevestigen de waarnemingen van Geyskes. De waterverplaatsing van de kreek is zeer zwak ($< 1 \text{ cm s}^{-1}$). Verder is geen stroming vanuit de noordelijke lussen rechtstreeks naar de Nannizwamp geconstateerd. De belangrijkste afvoer van de westelijke zwamp naar de Nannikreek vindt waarschijnlijk plaats door de Blackawatrakreek, in de eerste zuidelijke lus. Het is mogelijk dat de stromingsweerstand langs de omslachtige weg van de lussen in de dichtbegroeide kreek groter is dan in het zwampgebied zelf, zodat het water pas bij de laatste lus rechtstreeks naar het noorden stroomt (appendix B en C).

De verzamelde watermonsters zijn in tabel 10 vermeld. De watermonsters van de oostelijke en westelijke kom hebben een vergelijkbare samenstelling. Vergeleken met het water van de oude kustvlakte (tabel 7) is de pH iets hoger en vooral is er een toename van de Ca- en Mg-gehalten. Dit zou toegeschreven kunnen worden aan de afvoer van de ritsen.

Table 10. pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} (mg l^{-1}) in het water van het zuidelijke zwampgebied van de Marafase.

Plaats	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Blackawatrakreek	4,4	1,0	7,5	0,5	0,6
Two mouth-kreek	4,4	0,4	7,7	0,6	0,7
Nannikreek westelijk					
van Blackawatrakreek	4,7	0,2	6,8	0,5	0,6
Stonkreek	4,9	0,4	8,8	1,1	0,7

Table 10. pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} (mg litre^{-1}) in water of the Southern swamp area of the Mara period.

4.2.4 Het ritsengebied tussen Cupido en MacClemen

4.2.4.1 Begrenzungen

Het ritsengebied strekt zich uit van de Maratakka bij Cupido tot de Corantijn bij MacClemen in een strook van 5 - 7 km breedte. In het midden breekt de Nannikreek door deze strook heen. Ten noorden van het ritsengebied ligt de Nannizwamp; in het zuiden de eerder beschreven zwampen van de Marafase.

4.2.4.2 Expedities en veldwaarnemingen

Vanaf post MacClemen loopt een gekapt tracé langs de Peperkreek in oostelijke richting (tracé BH in appendix A). Het terrein wordt na 3 - 4 km vlak en drassig door het stagnerende regenwater. Waarschijnlijk heeft men hier te doen met een hoger gelegen kleiplaat van de Wanicafase. Vanaf Cupido is een oud tractorpad van circa 10 km lengte in westelijke richting gevolgd. Daarna is in westzuidwestelijke richting een lijn gekapt van ongeveer 6 km lengte (appendix A). Hier zijn een aantal met moko-moko en papagaai-tongo (*Heliconia* sp.) begroeide kreeklopen aangetroffen. De stroming was hier alleen met kleurstof aantoonbaar en verliep in zuidwestelijke richting. Verder in zuidwestelijke richting begint de in de vorige paragraaf besproken kleiplaat met oude kreeklopen van de Camisa.

4.2.4.3 Bodem

De zandritsen liggen ingebed in kleiplaten van de Wanicafase en steken daar ongeveer 1 m bovenuit. Zij zijn enkele tientallen meters breed, kilometers lang en lopen parallel aan elkaar. Uit metingen van de Geologisch Mijnbouwkundige Dienst van het Ministerie van opbouw (GMD) blijkt de zandlaag meestal niet dikker te zijn dan ongeveer 2 - 4,5 meter. In het westen gaat dit gebied over in het overwallencomplex van de Corantijn.

4.2.4.4 Topografie en vegetatie

Het ritsencomplex heeft een hoogteligging van NSP + 3,50 - 4,50 m en vormt een natuurlijke barrière tussen het zuidelijk zwampengebied en de Nannizwamp. De noordzijde van de barrière heeft een steile kant, de zuidzijde loopt geleidelijk af. De Nannikreek ten zuiden van deze barrière is gekenmerkt door zigzag meanders, beschreven door Zonneveld (1950).

In veel van de noordelijke lussen zijn oude kreekloopjes in noordelijke richting te onderkennen. Bij het samenstromen met de Camisakreek die gezien de strook met rivierafzettingen waarschijnlijk vroeger een grote afvoer heeft gehad, kon tijdens de vorming van de ritsen een opening naar zee in stand gehouden worden. Het residu van het toenmalige Nammi-estuarium heeft het typische model van een met dichtslibben bedreigde riviermonding (Zonneveld, 1950). In de huidige situatie is de Camisakreek geheel dichtgegroeid; de Nannikreek is tot de Blackawatrakreek nog open, maar bovenstrooms van dit

Tabel 11. pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in het water van het ritsengebied.

Plaats	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Kreekjes bij het kamp					
aan Cupido zijde	5,9	2,2	18,7	0,9	2,0
Grondwater in rits	7,1	0,7	5,6	9,9	1,6
Peperkreek (MacClemen)	5,8	1,1	5,2	0,7	0,8

Table 11. pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in water of the ridge area.

punt grotendeels overgroeid. In 1941 kon Geyskens nog de Nannikreek opvaren tot Doksipan, circa 25 km verder stroomopwaarts.

In het ritsengebied wordt evenals in het schollengebied het microreliëf van Cowfoetoes veelvuldig aangetroffen. De begroeiing bestaat uit drasbos. Tussen de parallel lopende ritsen groeit soms zwampbos.

4.2.4.5 Hydrologie

Door de geleidelijke helling van de zuidflank heeft een kleine peilstijging in de zuidelijke zwampen de inundatie van een groot oppervlak tot gevolg.

Op de hoge zandritsen (op circa NSP + 4,50 m of NP + 12,00 m) bleek de grondwaterstand medio januari op circa 1,50 m beneden maaiveld te liggen. De grondwaterafvoer van de zandritsen is door de geringe dikte en geringe oppervlakte slechts beperkt.

De afvoer van de ritsengordel verloopt voornamelijk in zuidelijke richting. Op enkele plaatsen in het gebied zijn watermonsters genomen (zie tabel 11). Opvallend hoog is het Ca-gehalte van het grondwater. Waarschijnlijk komt dit door de aanwezigheid van schelpen in de ritsen. (Meer naar het oosten zijn de ritsen bekend om hun schelpvoorkomens). De hoge pH hangt hiermee samen. De lagere waarden voor de andere elementen in het grondwater vergeleken met het kreekwater zouden verklaard kunnen worden door de uitspoeling van oplosbare zouten in de goed doorlatende ritsen. De kleiplaten hebben daarmee vergeleken een grotere nalevering van goed oplosbare elementen.

4.3 WATERVERPLAATSING NAAR CORANTIJN EN MARATAKKA

4.3.1 Schatting van de afvoer naar de Corantijn

Uit de in paragraaf 4.2 gegeven beschrijving van de deelgebieden blijkt dat het zuidwestelijk gedeelte van het onderzoeksgebied naar de Corantijn afwatert (appendix B). Met de gegevens die in dit gebied zijn verzameld kan voor de periode van 1974-05-25 tot 1974-11-12 een ruwe schatting van de waterbalans van dit gebied worden gemaakt.

- Op 1974-05-12 en 1974-11-12 is de peilverandering bij het Nannimeer opgenomen. Er bleek in deze 6 maanden een stijging van 70 mm te zijn optreden.
- De gezamenlijke afvoer van de grote kreken uit dit gebied naar de Corantijn bedroeg $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (zie hoofdstuk 5).
- De neerslag in het gebied bedroeg 1169 mm (gemiddelde MacClemen en Wakay). De verdamping van open water kan geschat worden op 987 mm; bij een gemiddelde gewasfactor van 0,85 bedraagt de verdamping van de zwampen 839 mm (zie hoofdstuk 6). De afvoer van de natte gedeelten (neerslag-verdamping) bedraagt dan 330 mm.
- De afvoer van de Zanderijformatie bedraagt in die periode 274 mm (par. 4.2.1.6); de afvoer van de schollen en de oeverwallen 294 mm (zie hoofdstuk 7).
- De totale afvoer is dan:

	Oppervlakte (ha 10^3)	Afvoer (mm)	Volume ($\text{m}^3 \cdot 10^6$)
zanderijformatie	7,0	274	19,2
schollen en oeverwallen	13,6	294	40,0
westelijke kom en zwampgebieden	31,6	330	104,3
totale aanvoer			163,5

Vergelijking van de afvoer en de aanvoer geeft:

Aanvoer - Afvoer = $163,5 \cdot 10^6 - 140 \cdot 10^6 = 23,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Op het gedeelte westelijke kom en zwampen betekent dit een peilstijging van 74 mm, terwijl een peilstijging van 70 mm gemeten is. Uit deze globale benadering blijkt dan dat er uit dit gebied nauwelijks ruimte over is voor een afvoer in noordelijke richting.

4.3.2 Schatting van de afvoer naar de Maratakka

Van het zuidoostelijk gedeelte van het onderzoeksgebied, dat afwatert op de Maratakka kan op dezelfde wijze als in paragraaf 4.3.1 is gebeurd een schatting van de waterbalans worden gemaakt.

- In de periode april 1974 tot en met december 1974 bedroeg de gezamenlijke afvoer van de kreken naar de Maratakka circa $86,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (zie hoofdstuk 5). Deze periode van 9 maanden omvat, in tegenstelling tot de meetperiode voor het zuidwestelijk gebied, de droge maanden april en december.
- De neerslag in het gebied bedroeg 1171 mm en de verdamping van open water 1491 mm (gegevens van het station Wageningen en regenmeters langs de Maratakka). De correctie voor de verdamping van zwampbossen en zwampgrassen bedraagt gemiddeld een factor 0,85 (zie hoofdstuk 5). De verdamping van het zwampgedeelte (bos en gras) bedraagt circa 1268 mm. Het verdampingsoverschot in deze periode is circa 100 mm (kommen en zwampen).
- De afvoer van de droge gedeelten (schollen en ritsen) wordt gelijk gesteld aan de afvoer van de droge delen in de Nannizwamp in die periode, namelijk 370 mm (zie hoofdstuk 6). De afvoer van het Zanderijgebied bedraagt 354 mm (zie hoofdstuk 4).

- De totale aanvoer is dan:

	Oppervlakte (ha . 10^3)	Afvoer (mm)	Volume (m^3 . 10^3)
ritsengebied	3,0	370	11,1
zwamp	16,3	-100	-16,3
oude kustvlakte kommen	17,2	-100	-17,2
schollen	8,5	370	31,5
zanderijgebied	20,0	354	70,8
totale aanvoer			79,9

Het verschil tussen afvoer en aanvoer bedraagt $86,6 - 79,9 = 6,7 \cdot 10^6 m^3$. Over de gezamenlijke natte oppervlakte van 36 100 ha is dit een peildaling van ruim 17 mm.

Er zijn geen peilmetingen in het gebied gedaan waaruit een verschil in berging zou kunnen blijken. Vergeliken met het zuidwestelijk gebied (par. 4.3.1) lijkt dit, mede gezien de eerder genoemde droge maanden, niet onredelijk.

4.3.3 Schatting van de afvoer naar de Nannizwamp

De afvoer van het gebied dat naar de Nannikreek afwatert, wordt in hoofdstuk 7 nader beschouwd.

4.4 SAMENVATTING

In figuur 14 zijn voor de verschillende deelgebieden de belangrijkste factoren die de hydrologie bepalen schematisch weergegeven. In het Zanderijgebied is het de grondwaterberging, die de belangrijkste rol in de afvoer speelt.

De stugge klei van de oude kustvlakte beperkt de infiltratie in belangrijke mate, waardoor oppervlakkige afvoer overheerst. In dit gebied is de grillige verdeling tussen schollen en kommen bepalend voor de berging. Zonder uitgebreide topografische gegevens kan de afvoer moeilijk worden benaderd.

Bij de zandritsen spelen de infiltratie en doorlatendheid wel een belangrijke rol. Door de geringe omvang van de door zware klei begrensde zandlichamen heeft de berging slechts een kleine capaciteit. Kwel en oppervlakkige afstroming treden spoedig op bij aanhoudende neerslag.

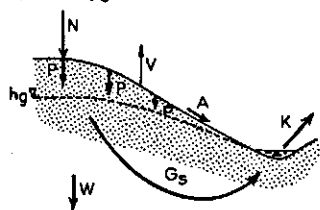
In de zwampen van de jonge kustvlakte speelt eveneens de verhouding droog/nat oppervlak een belangrijke rol in de vulling van de waterberging. Omdat hier de topografie veelal minder gecompliceerd is, is een goede schatting van de hydrologische factoren mogelijk.

In tabel 12 is de gemiddelde samenstelling van het water in de verschillende deelgebieden weergegeven.

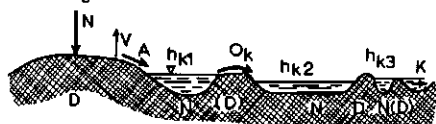
De waterverplaatsing in het gebied ten zuiden van de Nannizwamp is weergegeven in

Fig. 14. Schema van de hydrologische factoren in de deelgebieden.

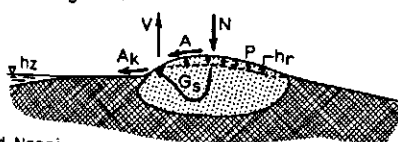
a. zanderij gebied



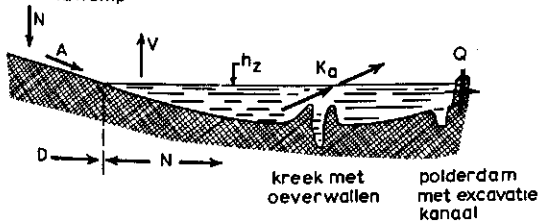
b. schollengebied



c. Ritsengebied



d. Nannizwamp



- N Neerslag
- V Verdamping
- A Afstroming
- P Percolatie
- K Kreekafvoer
- G_s Grondwaterstroming
- W Wegzijging
- h_g Grondwaterpeil
- h_{k1} Waterpeil in kom 1
- O_k Overloop van kom 1 naar kom 2
- D, N Oppervlakte variabel droog en nat
- h_r Grondwaterpeil in rits
- h_z Waterpeil in zwamp
- A_k Kwelafvoer uit rits
- K_a Kreekaanvoer en afvoer
- Q Onttrekking

Figure 14. Scheme of hydrological factors in different part of the area. N, Rainfall; V, Evaporation; A, run-off; P, percolation; K, creek drainage; G_s, groundwater flow; W, flow to deep levels; h_g, watertable; h_{k1}, waterlevel in Pool 1; O_k, overflow from Pool 1 to Pool 2; D, N, surface variable dry and wet; h_r, watertable in ridge; h_z, water level in swamp; A_k, flush (surface flow) from ridge; K_a, creek influx and drainage; Q, drawing off (for irrigation).

Tabel 12. pH en concentratie van K⁺, Na⁺, Ca²⁺ en Mg²⁺ (mg l⁻¹) in het water van de deelgebieden.

Plaats	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Zanderijgebied	3,7	0,0	6	0,1	0,2
Schollengebied	4,0	0,0	3	0,1	0,1
Zuidelijke zwamp	4,6	0,4	7	0,5	0,6
Ritsen	5,9	1,5	15	0,9	1,4
Nannizwamp (hoofdstuk 8)	3,3	1,0	7	0,6	1,1

Table 12. pH and mass concentration of K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ (mg litre⁻¹) in water of the different areas.

appendix B. Het Zanderijgebied heeft grondwaterafvoer via kreken naar de westelijke en oostelijke kom in het schollengebied. Beide kommen worden door de begrenzendende rivieren gedraineerd. Ongeveer een kwart van het schollengebied heeft afvoer naar het zuidelijk van de ritsen gelegen zwampgebied. Dit gebied kan eveneens in een oostelijk en westelijk gedeelte worden verdeeld. Het oostelijk deel voert water af naar de Maratakka. De westelijke zwamp stroomt via de Blackawatrakreek en de Nannikreek naar de Nannizwamp. Het ritsengebied voert voornamelijk in zuidelijke richting af naar de zuidelijk gelegen zwamp.

Van het gebied ten zuiden van de Nannizwamp levert zodoende slechts 22% van het oppervlak een bijdrage aan de vulling van de Nannizwamp.

5 Afvoer naar de aangrenzende rivieren

5.1 INLEIDING

Reeds bij het begin van het onderzoek bleek dat een waterscheiding tussen de Nannikreek en de aangrenzende rivieren moeilijk kon worden vastgesteld. Dit werd niet alleen veroorzaakt door de slechte toegankelijkheid van het moerasachtige gebied, maar ook doordat de waterscheiding geen vaste plaats in het zeer vlakke terrein bleek in te nemen. Zij bleek met het waterpeil in de zwampen te verschuiven. Zie ook hoofdstuk 7.

De grenzen van het onderzoeksgebied werden daarom langs de oevers van de aangrenzende rivieren gekozen. Voor een inzicht in de waterbalans van het onderzoeksgebied moesten hierdoor de afvoeren naar deze rivieren mede worden bepaald. Door de aanwezigheid van oeverwallen is deze afvoer geconcentreerd in een aantal krekken. Er werden daarom regelmatig tochten over deze rivieren ondernomen, waarbij van de belangrijkste krekken de debieten werden gemeten.

Door de vlakke ligging van de kustvlakte is er tot aan de zuidgrens van het gebied getijwerking op de rivier. De afvoermetingen werden hierdoor aanzienlijk gecompliceerd. Het onderzoek naar de kreekafvoeren werd daarom geconcentreerd op proefgebiedjes, waarna is nagegaan in hoeverre extrapolatie mogelijk is. Op grond van rapporten van de Waterloopkundige Afdeling (1969, 1970) moest bovendien bij hoge afvoergolven rekening gehouden worden met de mogelijkheid van stroming van de rivier naar de aangrenzende zwampen van het onderzoeksgebied.

5.2 REGIEM VAN DE AANGRENZENDE RIVIEREN

5.2.1 *De Corantijnrivier*

Het estuarium van de Corantijnrivier heeft ter hoogte van de noordgrens van het beschouwde gebied (monding Nannikreek) een breedte van ongeveer 6 km. Ter hoogte van de zuidgrens heeft de rivier nog een breedte van ongeveer 1200 m. Langs de stroomdraad van de rivier gemeten is de afstand hiertussen ongeveer 110 km (fig. 15). In de monding zijn eilanden en modderbanken gelegen. Volgens Van Heerde (1971) zijn deze niet stabiel en kan de rivier bij grote afvoer in de regentijd haar monding vrij van slib maken. Bij lang aanhoudende kleine debieten in de droge tijd kunnen grote hoeveelheden slib, die door de Guyanastroom langs de kust worden getransporteerd, in de monding worden afgezet. De slibbelasting in de eerste 40 km van de monding van de rivier varieert van 1 tot 10 gram per liter. De afvoer van de rivier varieert tussen 300 en 4000 m³ s⁻¹, gemeten ter hoogte van Mataway, waar geen getijbeweging meer bestaat.

Door deze grote afvoerverschillen verschuift ook het zoutgehalte in de monding sterk.

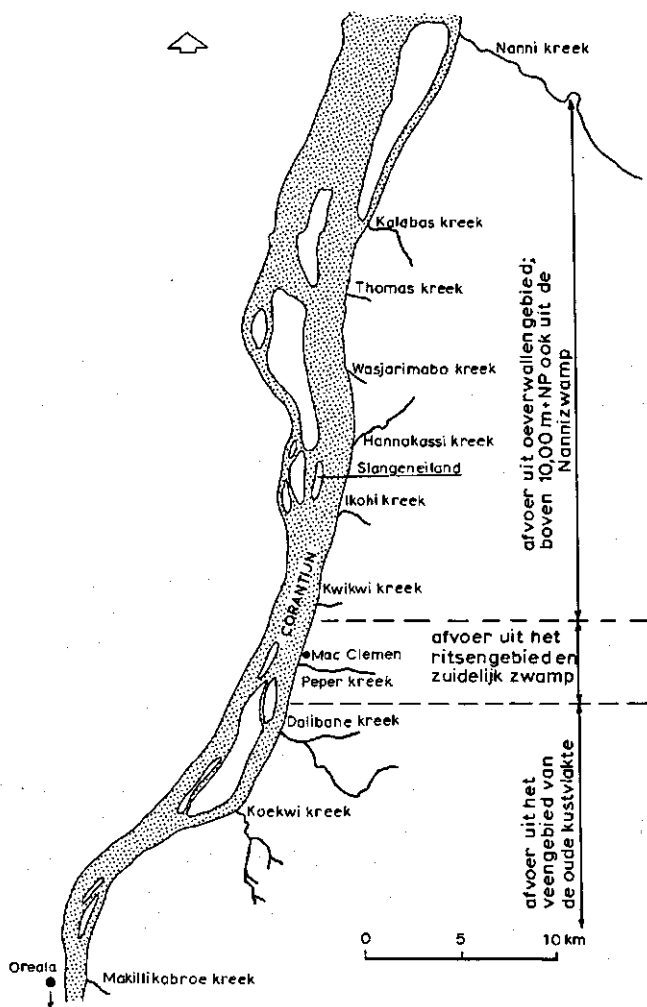


Fig. 15. Overzicht van de Corantijnrivier, de westelijke grens van het gebied.

Figure 15. General map of the Corantyn River, western boundary of the area.

In de eerste 40 km vanaf de monding varieert dit van $60 - 8000 \text{ mg l}^{-1}$ (Waterloopkundige Afdeling, 1969; Van Heerde, 1971).

Vergeleken met het getijdebiest in de monding is de eigen afvoer gering. Het peil in de monding wordt tot ongeveer bij MacClemen daarom voornamelijk bepaald door het getij. Het tijverschil heeft bij halftij een waarde van ongeveer 2,50 m in de monding en ongeveer 1,90 m bij Oreala. De hoogwaterstand ligt iets boven de gemiddelde maaiveldhoogte van het oostelijk van de rivier gelegen Nannizwamp. Bij hoge waterstanden zou in principe water uit de rivier de zwamp kunnen binnenstromen, als deze geheel zou zijn uitgedroogd. De rivier heeft echter met het vele aangevoerde slib een oeverwallensysteem opgebouwd tot een hoogte, waarbij bij hoge rivierstanden geen water in de richting van de zwamp kan stromen. Omgekeerd kan de zwamp bij hoge peilen wel naar de rivier afwateren (par. 5.2.2.3).

Door het grote tijverschil hebben de in de rivier uitstromende kreek bij hun monding

een diepe bedding in deze oeverwallen uitgeschuurd. Iets verder van de rivier loopt de kreekbodem echter vrij snel op, waardoor in dit gedeelte bij laag water een sterk verval optreedt.

5.2.2 Kreekafvoeren naar de Corantijn

In het meetprogramma van de krekken met afvoer naar de Corantijn waren een elftal krekken opgenomen (fig. 15). De noordelijke zeven ontvangen soms water uit de Nannizwamp; de zuidelijke vier ontwateren het zuidwestelijk deel van het onderzoeksgebied. Om de metingen onderling vergelijkbaar te houden werd in alle gevallen op eenzelfde moment van de getijcyclus gemeten, namelijk vlak voor laag water. Hiertoe werd zo goed mogelijk voor het opkomende getij uitgevaren.

De metingen vonden plaats in een vast profiel per kreek. Tijdens de meting werd in de laatste onderzoekingsfase tevens een watermonster genomen. Naast deze metingen van de belangrijkste krekken werd de Kalabaskreek in het bijzonder onder de loep genomen om de invloed van de getijbeweging en van het zwampeil op de afvoer nader te bestuderen.

5.2.2.1 Beschrijving van het proefgebied Kalabaskreek

Als onderzoeksobject is de Kalabaskreek gekozen, omdat van dit gedeelte van het oeverwallencomplex de meeste gedetailleerde kaarten bestonden (fig. 16) en deze kreek vanaf het bewoonde gebied rond Nickerie het gemakkelijkst te bereiken was. Daarnaast was er in dit gedeelte van het oeverwallencomplex over de hoogste gedeelten een wegtracé verkend vanaf het landbouwgebied van Nickerie naar de omgeving van Slangeneiland, waar een nieuwe havenlocatie moet komen. De kaartgegevens zijn uitgebreid met luchtfoto's en terreinverkenningen.

Uit de verzamelde gegevens blijkt dat tussen de Corantijn en de Nannizwamp een aantal ruggen en depressies voorkomen, die in noordoostelijke richting van de rivier afbuigen. Het complex oeverwallen heeft ter plaatse van de Kalabaskreek een breedte van ongeveer 10 km. De hoogste gedeelten liggen op NSP + 3,50 m (NP + 11,00 m) en bestaan uit fijnzandige ruggen of kleiplaten met een begroeiing van drasbossen. De laagten zijn voor het merendeel tot ongeveer NSP + 2,50 m (NP + 10,00 m) opgevuld met veen (pegasse) en dragen een zwampbosbegroeiing. In enkele laagten ontbreekt de pegasse, waarschijnlijk als gevolg van branden die in zeer droge perioden kunnen voorkomen.

De Kalabaskreek begint in één van de parallel aan de rivier lopende depressies. Ongeveer 2 km voor de monding komt er uit een wat meer noordoostelijk gelegen kom een ongeveer even grote zijkreek bij. Bij de Corantijn doorsnijdt zij de vrij hoge oever loodrecht.

5.2.2.2 Afvoer van de Kalabaskreek in verband met getijbeweging

Afvoermetingen zijn gedaan bij de monding en vlak na het punt van samenstromen met eerder genoemde zijkreek. De profielen zijn weergegeven in figuur 16 en 17. De getijbeweging in de kreek werd sterk afgedempt: van ongeveer 2,20 m in de monding tot

Fig. 16. Overzichtskaart van de Kalabaskreek en het oeverwallencomplex van de Corantijn.

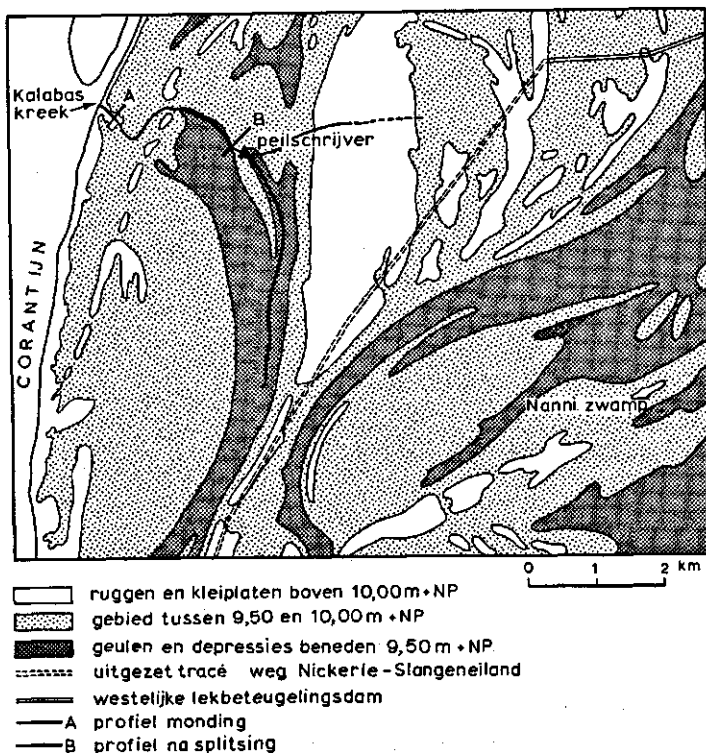


Figure 16. General map of the Kalabas Creek and the levels of the Corantijn.

ongeveer 0,90 m bij het punt van samenstromen (gemiddelde verschillen bij halftij). Door deze getijbeweging was afvoerbepaling uit een Q,h-relatie niet mogelijk.

Getracht is het getijdebiet van het eigenlijke kreekdebiet te scheiden door een stuw te bouwen op ongeveer 1,5 km van de monding. Nadat met peilregistratie (fig. 17) een indruk was verkregen hoe hoog het vloedpeil ter plaatse kon worden, kon de gewenste stuwhoogte worden vastgesteld op circa NSP + 2,00 m (NP + 9,50 m). Bij deze hoogte mocht verondersteld worden dat de afvoer van de zwamp naar de Corantijn niet zou worden beïnvloed. Na ijking van de stuw zouden de kreekafvoeren bepaald kunnen worden uit de overstorthoogten die uit peilregistraties bovenstrooms van de stuw konden worden afgeleid. Het grote peilverschil achter de stuw, ontstaan bij eb, veroorzaakte helaas na enkele weken ernstige onderloopsheid van het bouwwerk.

Tenslotte is de afvoer bepaald uit het verschil tussen eb- en vloedvolume. Deze methode is niet erg aantrekkelijk omdat:

- Als het eigen kreekdebiet klein is ten opzichte van de getijdebieten, het verschil tussen de eb- en vloedvolumemeting in de orde van de meetfout komt te liggen.
- Een 24-uurs-meting is gewenst, omdat in een eb- en vloedcyclus van 12 uur een dagelijkse ongelijkheid voorkomt. Een 24-uurs-meting is echter vanwege de ongunstige werk-

Fig. 17. Getijbeweging in twee profielen van de Kalabaskreek.

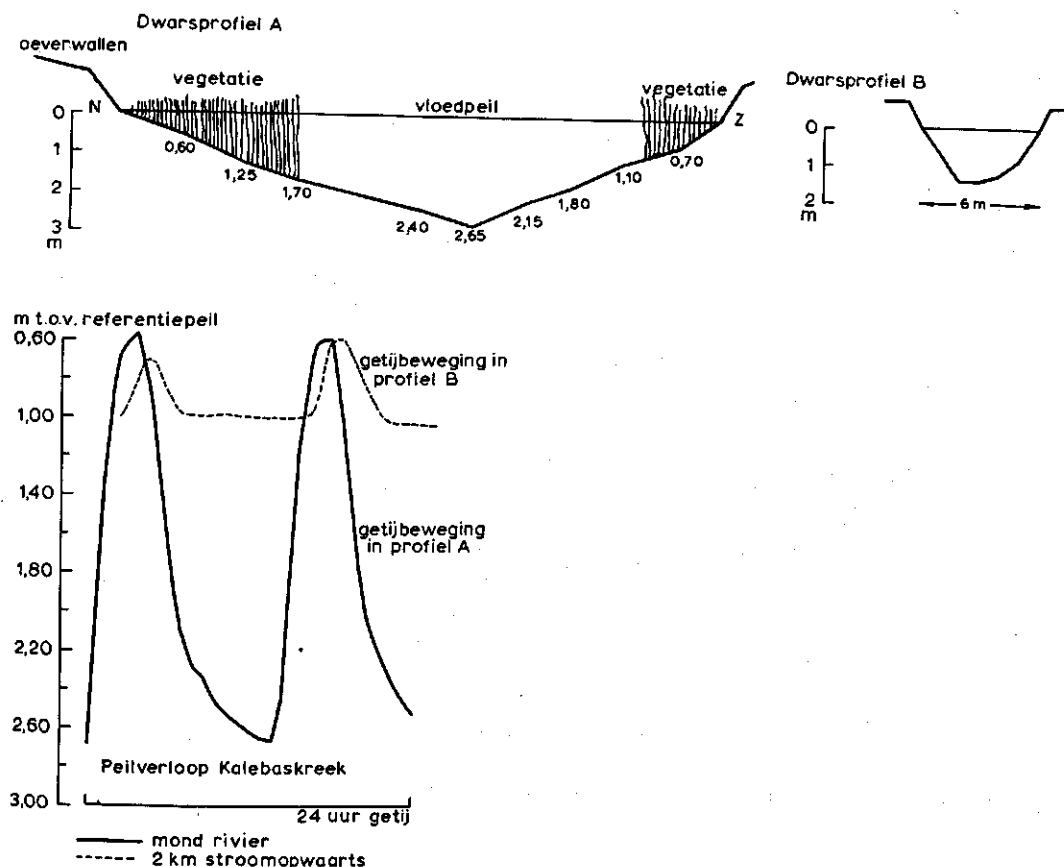


Figure 17. Tidal changes in level in two profiles of the Kalabas Creek.

omstandigheden bij nacht zeer moeilijk.

- Bij uitwerking deze methode veel rekenwerk vraagt, waardoor correcties gedurende het meten moeilijk uitvoerbaar zijn.

Niettemin zijn uit een groot aantal debietmetingen vlak voor de kreekmonding enkele afvoerverlopen samengesteld. Hierbij werden gedeelten die bij overeenkomstige getij-situaties (springtij, halftij en dood tij) en achterliggende zwamppeilen behoorden, gecombineerd (fig. 18). Als kreekdebiet is het verschil tussen eb en vloedvolume berekend en door de tijdsduur gedeeld.

Uit figuur 18 blijkt dat:

- Voor het moment van laag water er een tijd lang een vrijwel constant debiet optreedt. Dit blijkt redelijk overeen te komen met de berekening (netto) kreekafvoer (tabel 13). Dit verloop komt overeen met de in het Upang-project in Sumatra, Indonesië, gemeten afvoer van een drainagekanaal (Schoemaker & Stuij, 1976).
- Dit stadium langer duurt, naarmate het gemiddeld kreekdebiet lager is.

Fig. 18. Verloop van de afvoer Q ($m^3 s^{-1}$) in dwarsprofiel (fig. 16) bij verschillende getijsituaties.

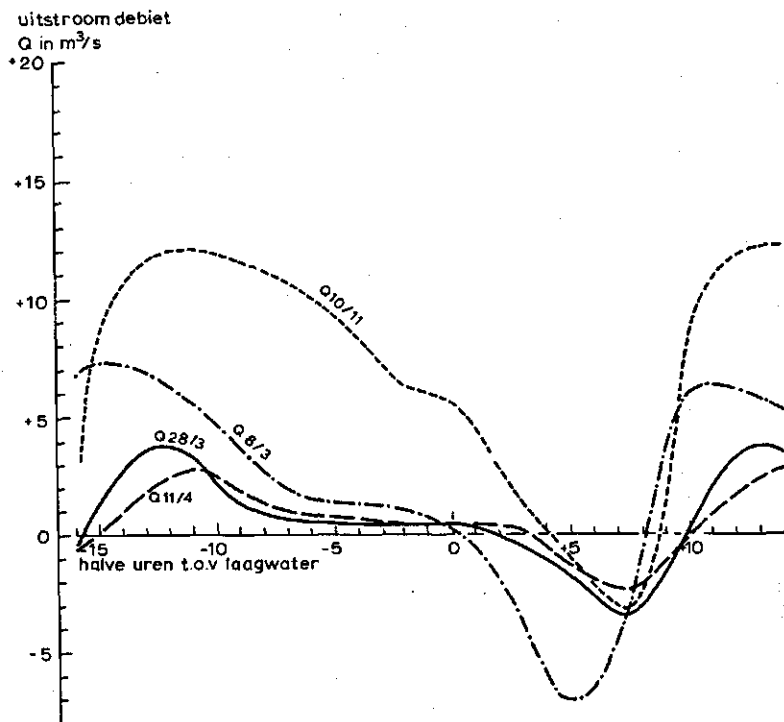


Figure 18. Discharge Q ($m^3 s^{-1}$) in transverse section (Fig. 16) at various states of tide.

Tabel 13. Berekende netto kreekafvoer en gemeten afvoeren vlak voor laag water bij verschillende getijsituaties.

Datum	Getij	Q berekend uit tijvolume ($m^3 s^{-1}$)	Q constant deel ($m^3 s^{-1}$)	Duur $Q \approx$ constant (uur)	Geborgen volume (m^3)
10/11	spring	6,0	5,5 - 6,4	1	96800
08/03	spring	1,5	1,3	2	70800
28/03	half	0,4	0,4	3	29200
11/04	half	0,4	0,5	3	22300

Table 13. Calculated net drainage through creeks and measured drainage just before low tide during spring tide and medium tide.

- Naarmate het tijdsverschil kleiner is, het tijdvak waarover het debiet vrijwel constant blijft, langer is.

De resultaten zijn in tabel 13 samengevat.

Naarmate de getijbeweging sterker is treedt er een grotere berging op in de kreekmonding. De vulling van deze berging vindt plaats voor opstuwing van eigen afvoer en door binnenstromen van water van de Corantijn. Naarmate de eigen afvoer groter is neemt deze een groter gedeelte van de berging voor haar rekening. Deze situatie wordt duidelijk zichtbaar, doordat het water van verschillende afkomst sterk van kleur verschilt. Het donkere kreekwater bij een kleine eigen afvoer wordt bij springtij meer dan 2 km de kreek ingedreven. Bij een grote afvoer bevindt het grensvlak zich in de monding (foto 2). In principe zou het mogelijk moeten zijn uit de ligging van deze scheiding de eigen kreekafvoer te bepalen.

Door van het gemeten debiet het gemiddelde kreekdebiet af te trekken vindt men het debiet dat betrokken is bij het vullen en leeglopen van de berging. In figuur 19 is nagegaan of dit debiet volgens een vast patroon verloopt met de getijbeweging. Dit blijkt niet het geval te zijn, zodat uit een debietmeting op een willekeurig moment in de getij-

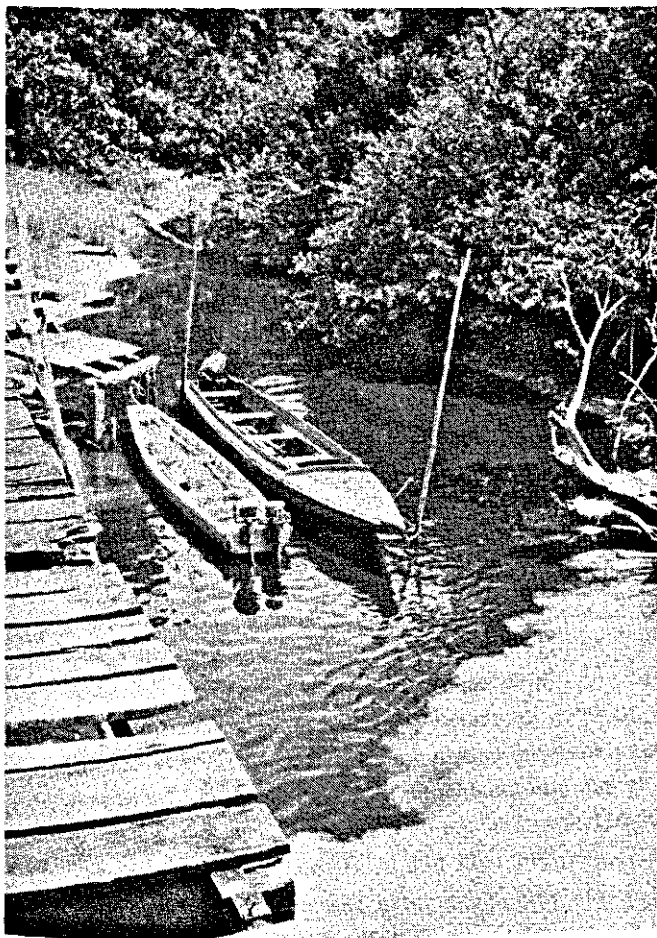


Foto 2. Het 'Blacka Watra' uit de achterliggende zwampen mengt zich met het rivierwater van de Corantijn.

Photo 2. 'Blacka Watra' from the swamps at the rear, mingles with the river water of the Corantyn.

Fig. 19. Het berekende debiet voor de opvulling van de berging in de kreek als percentage van het bergingsvolume in de getijcyclus.

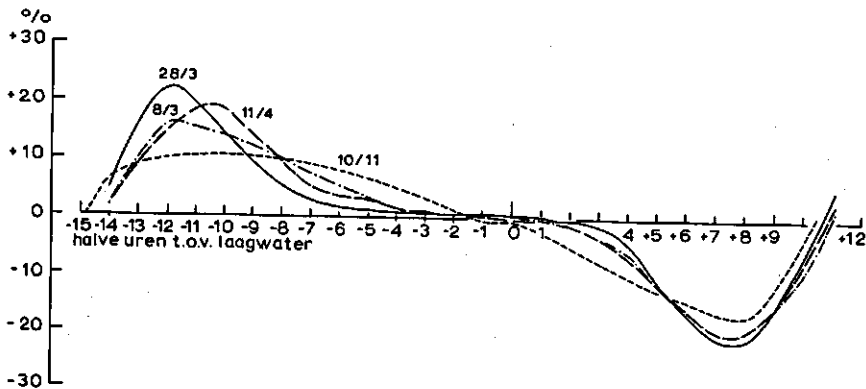


Figure 19. The calculated discharge to replenish the creek as percentage of the discharge in a tidal cycle.

cyclus het gedeelte dat bij de vulling van de berging is betrokken niet kan worden geïsoleerd.

Nabij de monding is de storing van het kreekdebiet door het getij het grootst; meer stroomopwaarts neemt zij af. Uit de peilwaarnemingen in de kreek, die in profiel B op 2 km van de monding waren gedaan, blijkt dat alleen nog maar bij hoog water een kleine opstuwning merkbaar was (fig. 17). De debietmetingen, die op deze plaats werden uitgevoerd, vertoonden het effect dat het gemiddelde debiet voor laag water gemeten kan worden over de gehele periode dat het peil bij eb constant bleef. Blijkbaar treedt als gevolg van een oplopende kreekbodem verder van de monding bij een bepaald debiet een evenwichtsdiepte op. Deze wordt niet meer beïnvloed door een positieve of negatieve stuwkromme, veroorzaakt door het getij in de kreekmonding. Op grond van deze waarnemingen zijn de kreekafvoeren nadien altijd vóór laag water bepaald en zo ver mogelijk stroomopwaarts. Er is verder afgezien van 12-uurs-metingen in dit gebied van de Corantijn.

5.2.2.3 Afvoer van de Kalabaskreek in verband met het zwampeil

Gedurende de periode van onderzoek is de afvoer van de kreek 13 maal gemeten. Beneden een zwampeil van circa NP + 10,20 m, gemeten bij de Nanni-afdamming, blijkt de afvoer van de kreek tussen $0,1 - 1,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ te blijven. Tussen de NP + 10,20 m en NP + 10,50 m loopt de afvoer sterk op tot $6,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. In de meetperiode is het peil van de zwamp nauwelijks gestegen boven de NP + 10,50 m. De sterke toename van de afvoer stemt overeen met de verschuiving van de stroomgebiedsgrens tussen Nannikreek en Corantijn die langs de Westelijke Lekbeteugelingsdam is waargenomen (hoofdstuk 7). Ze kan verklaard worden uit de hoogteligging van het oeverwallencomplex van de Corantijn, waarvan de laagste plaatsen ongeveer op NP + 10,00 m liggen. Het peil bij de afdamming moet van NP + 10,00 m tot NP + 10,20 m stijgen, voordat de afstroming over deze lage plaatsen tussen de oeverwallen goed op gang komt. Beneden een zwampeil van NP + 10,00 m functioneert de

Kalabaskreek blijkbaar alleen als afvoer van het oeverwallengebied.

Gedurende één van de 12-uurs-metingen van het kreekdebiet regende het, zodat de directe invloed van een bui op de afvoer kon worden nagegaan (fig. 20). De snelle reactie op de neerslag wijst erop dat de afvoer afkomstig was van oppervlakkige afstroming uit de onmiddellijke omgeving van de kreek.

Onderscheid tussen afvoer uit het oeverwallengebied en afvoer van de zwamp is verder niet gemaakt, omdat de tijd ontbrak om voldoende gegevens hieromtrent te verzamelen.

In figuur 21 zijn de gemeten debieten op dubbel logaritmisch papier uiteengezet tegen de zwampeilen. Uit de ligging van de punten kan een verband tussen debiet en peil worden geconcludeerd dat door de formule $Q = 25 H^{2,8}$ wordt benaderd (H zwampeil boven $NP + 10,00$ m). De hoge exponent kan verklaard worden door zich een overlaat voor te stellen, waarbij een kleine toename van H gepaard gaat met een grote toename van de breedte. Boven een peil van $NP + 11,00$ m, waarbij alle oeverwallen onder water staan, mag verwacht worden dat de exponent kleiner is.

Uit de constatering dat pas boven een peil van $NP + 10,00$ m water uit de Nannizwamp naar de Corantijn gaat stromen, mag omgekeerd geconcludeerd worden dat, wanneer bij een hoge springvloed het peil in de rivier tot 9,50 m stijgt (overschrijdskans circa 1% van het aantal gemeten getijden) er geen stroming in de richting van de zwamp kan optreden.

5.2.2.4 Verlies van zwampwater naar de Corantijn

Op grond van de beschikbare topografische gegevens kan aangenomen worden dat het gebied langs de Corantijn tussen het landbouwgebied en MacClemen een vergelijkbare opbouw heeft als het gedeelte waarbinnen de Kalabaskreek is gelegen. In dit gebied zijn een zevental krekken gelegen. Van noord naar zuid: de Nannikreek, de Kalabaskreek (proefgebiedje), de Thomaskreek, de Wasjarimabokreek, de Hannakassikreek, de Ikohikreek

Fig. 20. Verloop van peil en debiet Q ($m^3 s^{-1}$) op 1975-10-05 in profiel B van de Kalabaskreek.

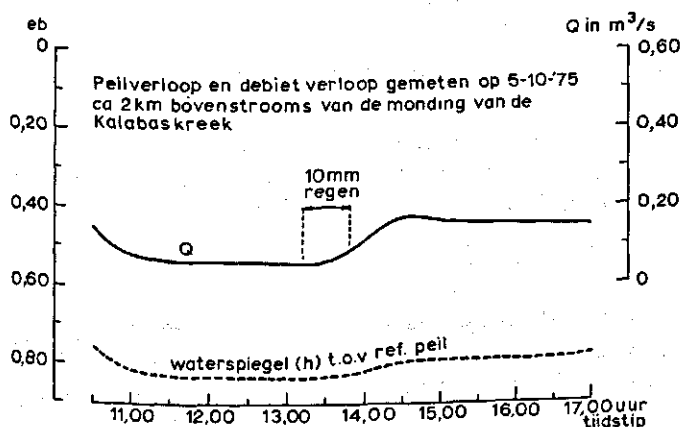


Figure 20. Changes in water level (left axis) and discharge ($m^3 s^{-1}$) on 1975-10-05 in Profile B of the Kalabas Creek.

afvoer Kalabaskreek in m³/s

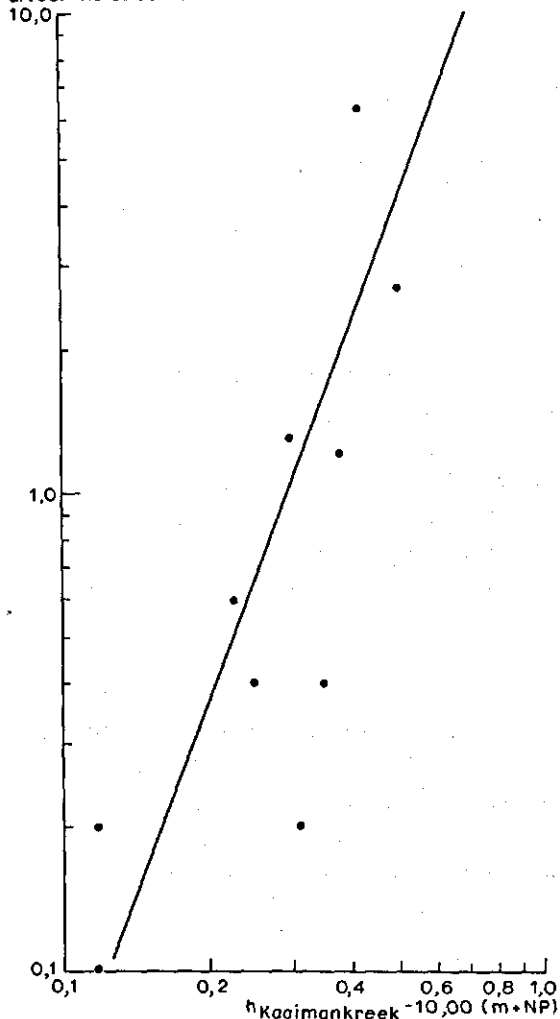


Fig. 21. Afvoer van de Kalabaskreek als functie van het zwampeil.

Figure 21. Discharge from the Kalabas Creek as a function of water level in swamp.

en de Kwikwikreek. De Nannikreek neemt hierin een bijzondere plaats in, omdat deze afgedamd is.

Wanneer bij hoge peilen van de zwamp er gevaar voor overstroming van het poldergebied bestaat (tot 1976 bij NP + 10,30 m, daarna bij NP + 10,60 m), wordt de overlaat in deze afdamming geopend. Van de gemeten afvoer bij de monding van de Nannikreek moet daarom het debiet van de overlaat worden afgetrokken om het wegstromen over de oeverwallen te kunnen bepalen.

De afvoeren van de kreek werden zesmaal gemeten. Er werd voor het opkomend tij uitgevaren en binnen de kreek werd op een vast punt het debiet met een Ott-molen opgemeten. De gemeten afvoeren bleken evenals die van de Kalabaskreek in sterke mate door de zwamphoogte te worden bepaald.

Tussen de totale afvoer van de Nannizwamp richting Corantijn en de afvoer van de Kalabaskreek kon een factor 6 worden geschat. Voor de totale 'lek' van deze zwamp naar

de Corantijn is zodoende de formule $Q = 150 H^{2,8}$ gehanteerd.

Ten zuiden van MacClemen ontwateren de krekten het zuidwestelijk gedeelte van het onderzoeksgebied (hoofdstuk 4, appendix B). De Dalibane-, Koekwi- en Makilikabroekreek, die hier zijn gemeten, hebben dan ook, vergeleken met de noordelijk gelegen krekten, een veel groter profiel, een grotere en ook regelmatigere afvoer. Dit laatste is verklaarbaar door de grote komberging en de regelmatige afvoer uit het veengebied dat op zijn beurt een vrij regelmatig debiet uit het Zanderijgebied ontvangt.

In de laatste fase van het onderzoek zijn tijdens de debietmeting watermonsters verzameld, die in het Bodemkundig Laboratorium en het Landbouwproefstation te Paramaribo werden geanalyseerd (tabel 14).

In de periode dat de monsters genomen zijn, bleef het peil van de Nannizwamp beneden de NP + 10,00 m, zodat voor de noordelijke krekten het water afkomstig was uit het oeverwallencomplex. Waarschijnlijk wordt de watersamenstelling in deze periode beïnvloed door de ligging van de kreek ten opzichte van de monding van de Corantijn. Zowel het gehalte aan slib als de zoutconcentratie van het Corantijnwater nemen in zuidelijke richting geleidelijk af.

De zuidelijke krekten hebben een afwijkende watersamenstelling overeenkomend met die van het water uit de westelijke kom. Dit is eveneens in overeenstemming met een afvoer uit het zuidwestelijk gedeelte van het onderzoeksgebied (vergelijk par. 4.2.2.6 en tabel 7).

Tabel 14. Oorsprong, pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in het water van de krekten langs de Corantijn. Gegevens van de Nannizwamp zijn ter vergelijking opgenomen.

	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Oorsprong
Kalabaskreek	6,3	1,7	20,7	0,8	1,5	oeverwallencomplex tussen Nannikreek en MacClemen
Thomaskreek	6,2	1,2	19,2	1,3	2,2	
Wasjarimabokreek	6,0	0,8	13,8	1,0	1,2	
Hannakassiekreek	6,2	0,9	10,7	1,2	1,4	
Ikohikreek	5,5	1,2	12,3	1,1	1,7	
Kwikwikreek	5,2	2,3	7,4	0,8	0,9	ritsengebied en zuidelijk zwamp
Perperkreek	5,8	1,1	5,2	0,7	0,8	
Dalbibanekreek	4,9	0,4	4,0	0,1	0,4	veengebied v.d. oude kustvlakte
Koekwikreek	4,4	0,0	3,9	0,1	0,4	
Nannizwamp	5,3	1,0	7	0,6	1,1	

Table 14. Origin, pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($mg\ litre^{-1}$) in water from creeks along the River Corantyn. Comparative data from the Nanni Swamp are included.

De westelijke oever van de Maratakka is als oostelijke grens van het onderzoeksgebied aangehouden. De westelijke oever van de rivier is tot aan het Zanderijgebied verkend (fig. 22). Ze is een uitgesproken meanderende rivier. Hoewel ze voldoende breed en diep is, is ze voor scheepvaart van weinig belang. Ook als bron van zoet water is haar nog geen betekenis toegekend (zie ook par. 10.5.3). Van haar afvoer zijn geen waarnemingen bekend. Door de ruime bedding bereikt het rivierwater alleen in de nabijheid van Wageningen, tijdens eb, een snelheid van meer dan $0,5 \text{ m s}^{-1}$. Stroomopwaarts van het Indianendorp Cupido, voorbij de vrij smalle doorgang in het systeem van ritsenbundels, is de getijbeweging gedempt en de stroming altijd beneden $0,2 \text{ m s}^{-1}$. In het bijzonder in de droge tijd is er veel drijvend blad en hout dat niet door de stroming wordt afgevoerd, waardoor het varen met een buitenboordmotor bemoeilijkt wordt.

Van de peilfluctuaties zijn alleen die bij het samenstromen met de Nickerierivier (Wageningen) uitgewerkt in een rapport van de Waterlooppkundige Afdeling (WLA) (1970).

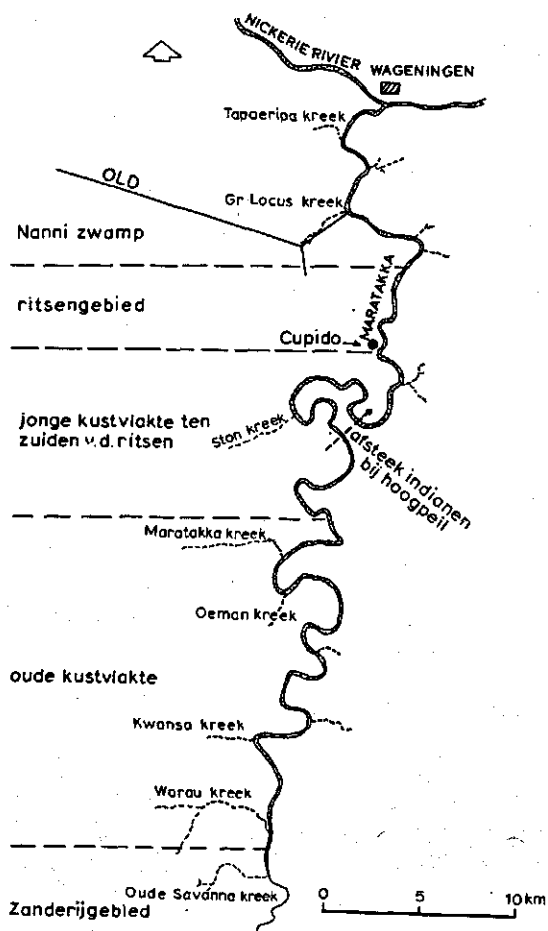


Fig. 22. Overzichtskaartje van de Maratakkarivier, de oostelijke grens van het onderzoeksgebied.

Figure 22. General map of the Maratakka River, the eastern boundary of the area studied.

In de periode 1967-02-28 tot 1968-12-18 heeft bij de Waraukreek, ongeveer 74 km stroomopwaarts van Wageningen, een peilschrijver gestaan. De bijbehorende stroken zijn door het Bureau Waterkracht Werken (BWKW) ter beschikking gesteld. Gedurende het onderzoek is op dezelfde plaats een peilregistrerend instrument geplaatst. Daarnaast is er bij de Stonkreek nog een instrument geplaatst van 1974-12-01 tot 1975-03-01 om een indruk te krijgen van het tijverschil ter hoogte van deze belangrijke zijkreek op ongeveer 32 km van de monding.

In tegenstelling met het estuarium van de Corantijn is het peil van de Maratakka veel meer afhankelijk van de eigen afvoer van de rivier. Uit de frequentieverdeling die uit de peilgegevens ter hoogte van de Waraukreek is opgesteld voor hoog- en laagwater kan daarom niet, zoals bij de Corantijn, een goede schatting van de getijbeweging worden gemaakt bij springtij, halftij en dood tij.

Uit deze gegevens blijkt dat boven een gemiddelde waterstand van NSP + 2,00 m (NP + 9,50 m) de getijbeweging geheel verdwijnt. Dit gebeurt alleen tijdens een hoge afvoergolf van de rivier. Bij lagere afvoeren lijkt de getijbeweging niet te worden beïnvloed. Het getijverschil bij halftij bij de Waraukreek is dan ongeveer 30 cm, bij springtij 40 cm en bij dood tij 20 cm.

Bij de Stonkreek blijkt het getijverschil bij springtij ongeveer 65 cm te bedragen en bij dood tij 35 cm. Op deze plaats is er geen waterstand geregistreerd waarbij het getijverschil verdwijnt. In de onderzoeksperiode is het voorgekomen dat de lus in de rivier, waar de Stonkreek zich in de buitenbocht bevindt, door het rivierwater werd afgesneden. Hoewel er nog verschillende grote lussen in de rivierloop zijn te vinden, is een dergelijke bochtafsnijding alleen op deze plaats bekend.

Stroming van het water van de rivier naar de aangrenzende zwampen aan de westelijke oever is in de onderzoeksperiode niet geconstateerd. Uit de kreekafvoer en peilmetingen is gebleken dat hoge afvoeren van de krekken optreden, als op hetzelfde moment het peil in de rivier hoog is. Stroming naar de omliggende zwampen, zoals wordt beschreven in een rapport van de Waterloopkundige Afdeling (1964, 1971) voor de middenloop van de Nickerierivier, lijkt dan ook voor de Maratakka minder waarschijnlijk. In tegenstelling namelijk met het gebied van oorsprong van de Nickerie dat uit lateriet bestaat, bestaat dat van de Maratakka grotendeels uit zand. Een hoge afvoerpiek zal hierdoor bij de Maratakka niet voorkomen.

Het water van de Maratakka bevat geen slib, waardoor er tussen het rivierwater en het water uit de kreekjes geen kleurverschil bestaat. De afstand waarover het rivierwater bij vloed de kreek binnendringt, is hierdoor niet zichtbaar zonder kleurstof te gebruiken.

Door de afwezigheid van slib ontbreekt ook een goed ontwikkeld oeverwallencomplex, zoals bij de Corantijn. De zijkreekjes worden dan ook niet met dichtslibben bedreigd. Er was wel temperatuurverschil tussen het water uit de krekken en van de Maratakka. Het water van de Maratakka is enkele graden warmer, doordat in de rivier de zon direct op het wateroppervlak schijnt.

Door de aanleg van de Oostelijke Lekbeteugelingsdam tot aan de ritsen bij Cupido kan thans geen water uit de Nannizwamp naar de Maratakka stromen. Alle onderzochte zijkrekken van de Maratakka voeren dus water af, dat zijn oorsprong vindt in het zuidoostelijk gedeelte van het onderzoeksgebied (appendix B).

5.2.3.1 Kreekafvoeren naar de Maratakka

Tussen Cupido en het Zanderijgebied zijn op de kaarten van het Centraal Bureau Luchtfotokartering (CBL) een 17-tal krekken aangegeven. Deze kaarten berusten in dit weinig betreden gebied merendeels op foto-interpretaties en niet op terreinverkenning. Slechts een viertal van deze krekken is op de kaart van een naam voorzien.

Van de drie grootste krekken zijn regelmatig (eenmaal per maand) afvoeren gemeten. Van drie kleinere zijn incidenteel metingen gedaan. Naar de kreek die als Oemankreek staat aangeduid, is intensief gezocht zonder haar te vinden. Waarschijnlijk is zij onjuist op de kaart aangegeven en wordt de iets zuidelijker gelegen kreek bedoeld. Die kreek is als onderzoeksobject voor afvoer uit de oude kustvlaktegebied bekeken.

Van de grootste krekken (Warau-, Ston- en Maratakkakreek) zijn de kreekafvoeren gemeten over een periode van 12 uur. De daaruit verkregen gemiddelde afvoeren zijn weergegeven in figuur 23b. In dezelfde figuur is het gemiddelde peil van de Waraukreek aangegeven op de dagen dat de afvoermeting is gedaan (fig. 23a). Uit de gegevens van de peil-schrijver aan de monding van de Waraukreek blijkt dat de in de figuur weergegeven lijn wel de trend van de peilverandering weergeeft, maar dat op tussenliggende tijdstippen kleine afwijkingen kunnen voorkomen. Vermoedelijk geldt ditzelfde voor de gemeten afvoeren en zou voor een juiste weergave intensiever gemeten moeten worden. In hoofdstuk 4 is vermeld dat het oostelijk deel van de oude kustvlakte afwatert naar de Maratakka. Dit feit wordt bevestigd door de hoge debieten van deze krekken, die wijzen op een omvangrijk stroomgebied.

De kreekbeddingen liggen allemaal vol dood hout en zijn daardoor bij een laag peil slecht toegankelijk. In de ondiepe gedeelten groeit veel moko-moko, wat de doorvaart eveneens sterk bemoeilijkt. In sommige gevallen, zoals bij de Oemankreek, moest daarom worden overgegaan tot het kappen van een pad langs de oever.

Hoewel de genoemde krekken bij de monding een duidelijk profiel in de oever van de Maratakka hebben gesneden (fig. 24), blijken ze enkele kilometers stroomopwaarts nauwelijks meer als kreekloop herkenbaar te zijn. Het water stroomt daar traag door ondiepe kommen die vermoedelijk direct met het achterliggende zwampgebied in verbinding staan. Bij de monding in de Maratakka hebben zij een minder diep profiel dan de krekken aan de Corantijn. Ook loopt de bodem in de lengterichting van de kreek veel minder steil op. Aan de Maratakka is het afvoerterloop van één kreek, de Oemankreek, nader onderzocht.

5.2.3.2 Proefgebiedje Oemankreek

Het gedeelte van het onderzoeksgebied dat aan de Maratakka grenst, is opgebouwd uit verschillende deelgebieden (zie appendix A). De Oemankreek ligt in het oude kustvlaktegedeelte. Van de afvoer uit het oude kustvlaktegebied waren in Suriname nog geen onderzoeksresultaten bekend. Voorzover uit kaarten en luchtfoto's kon worden nagegaan was binnen het oude kustvlakte-gedeelte de Oemankreek het meest geschikt voor het bestuderen van de afvoer. (Vermoedelijk is al het water dat via deze kreek wordt afgevoerd van het schollenlandschap afkomstig). Daarbij is het gebied via de Maratakka goed bereikbaar.

Fig. 23 a. Gemiddeld peil van de Maratakka ter hoogte van de Waraukreek. b. Debiet van de drie kreen, die uitmonden in de Maratakka.

peil bij Waraukreek in m+NSP

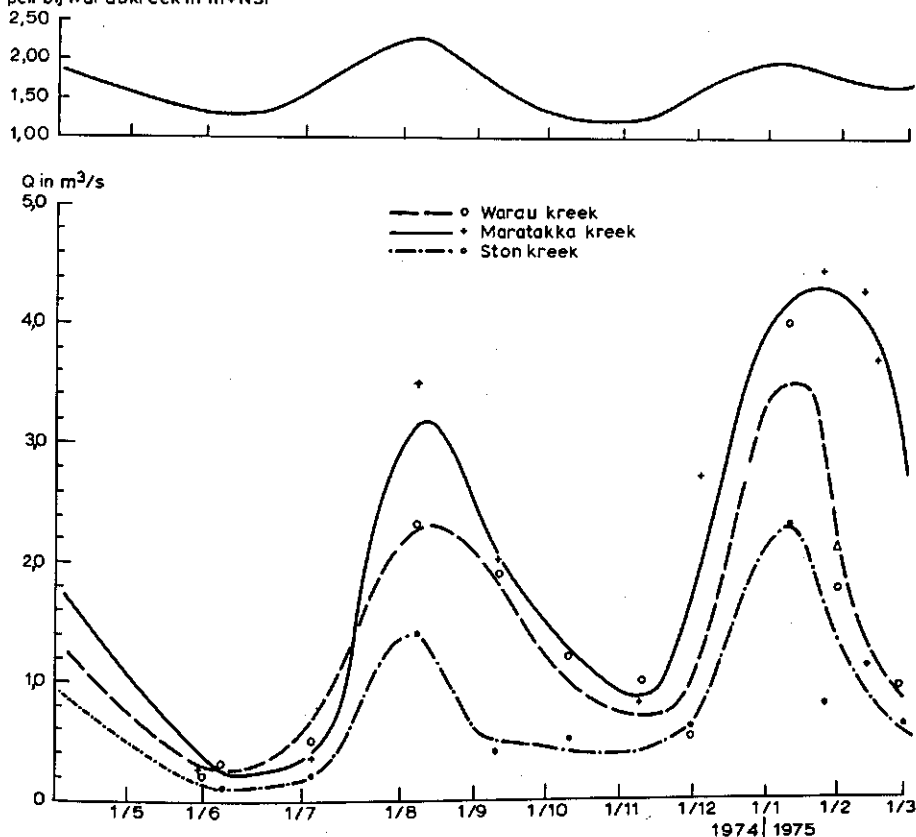


Figure 23 a. Average level of the Maratakka River near the Warau Creek. b. Discharge from the three largest creeks entering the Maratakka River.

Fig. 24. Dwarsprofielen van de Warau-, Maratakka-, Ston- en Oemankreek.

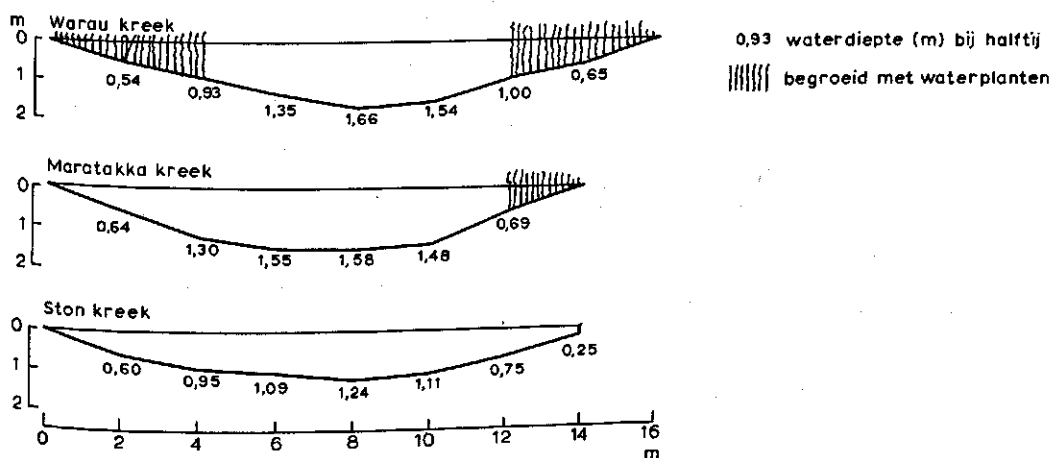


Figure 24. Cross-sections of the Warau, Maratakka, Ston and Oeman Creeks.

In paragraaf 4.2.2.7 is reeds een beknopte beschrijving van de topografie gegeven. In figuur 25 is het gebied weergegeven. De kreek verbindt een komvormige depressie met de Maratakkarivier en is slechts ongeveer 500 m lang.

Van 1975-01-21 tot 1975-02-14 zijn in dit gebied waarnemingen gedaan. Aan boven- en benedenstroomse zijde van de kreek is het peil gemeten; daarnaast op twee plaatsen in de zwamp, zoals op het kaartje aangegeven. In figuur 26 zijn de getijverschillen aan beide zijden van de kreek weergegeven. Het blijkt dat de getijbeweging in de kreek gelijkmatig wordt afgedempt (in tegenstelling tot wat bij de Kalabaskreek werd gevonden, vergelijk fig. 17). Bij hoge zwamppenilen blijkt het getij bij het bovenstroomse meetpunt bijna geheel weg te vallen.

Hoewel de peilen langs de kreek niet zijn aangemeten, kunnen zij toch met elkaar in verband worden gebracht doordat op 1975-01-29 tijdens vloed op de Maratakka om elf uur het water in de Oemankreek tot stilstand kwam. Blijkbaar was er op dat moment geen verval, zodat over deze zeer korte afstand de afgelezen peilen aan elkaar gelijk gesteld konden worden.

Fig. 25. Overzichtsk kaart van de Oemankreek en het schollengebied.

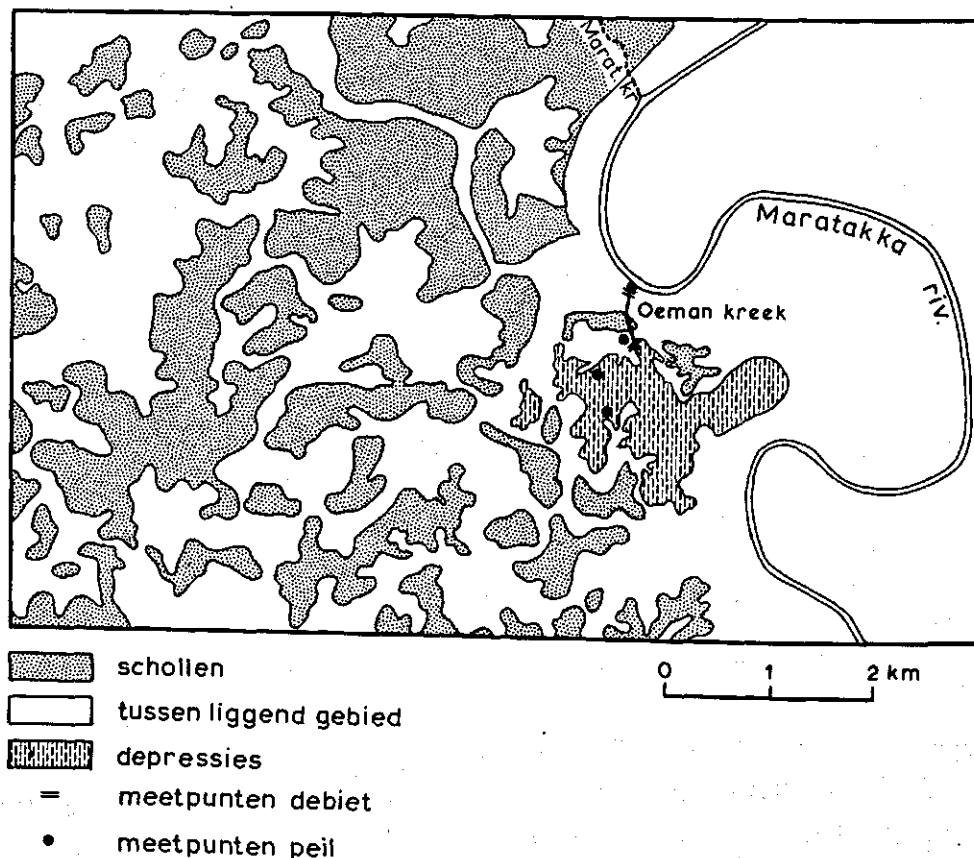


Figure 25. General map of the Oeman Creek and the sandbanks ('schollen') area.

Fig. 26. Peilverloop aan boven- en benedenstroomse zijde van de Oemankreek (1974).

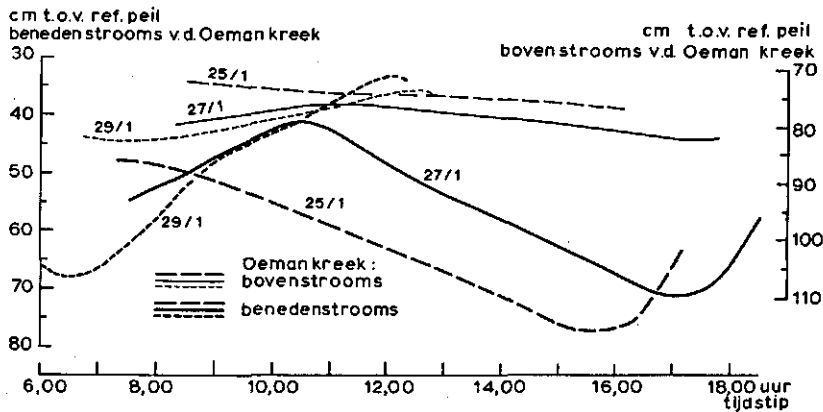


Figure 26. Changes in water level upstream and downstream of the Oeman Creek (1974).

Het peil in de zwamp (fig. 27) is tot 1975-01-30 ongeveer gelijk aan het peil in het bovenstroomse gedeelte van de kreek. Tot 1975-01-29 was er bij dit begin van de kreek nog nauwelijks getij-invloed merkbaar. Het peil bij de twee meetpunten in de zwamp en het peil bij het begin van de kreek zakten aanvankelijk in gelijke mate. Ze zijn in figuur 27 tot 1975-01-29 dan ook gelijk. Van 1975-01-29 tot 1975-02-06 daalde het peil in de zwamp ongeveer 9,5 cm; het peil bij het begin van de kreek daalde in die periode ongeveer met 30 cm, terwijl het gemiddelde peil van de Maratakka circa 50 cm daalde. In die periode kan de neerslag minus de verdamping op -3,9 cm worden geschat. Blijkbaar ontwikkelde zich in die periode een duidelijk verval in de zwamp naar de kreek toe. Door het zakken van het peil zijn de met veen bedekte hogere gedeelten van de ondergrond tot aan het wateroppervlak gekomen waardoor de stromingsweerstand aanzienlijk moet zijn toegenomen.

In figuur 27 is eveneens de afvoer uit het gebied weergegeven. Deze blijkt een gelijk-

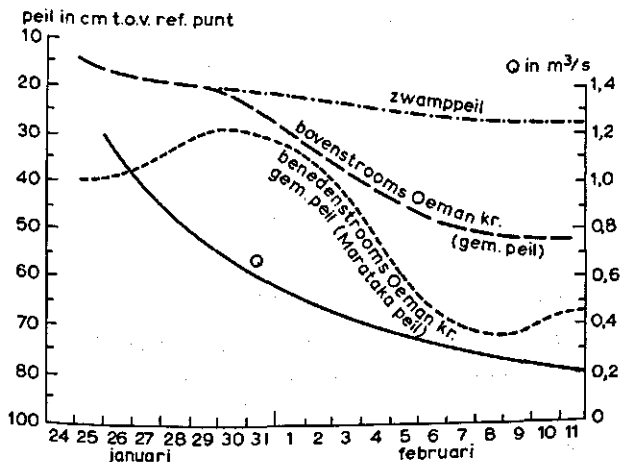


Fig. 27. Vergelijking van het peilverloop op drie plaatsen in het stroomgebied van de Oemankreek.

Figure 27. Comparison of the water level at three points in the drainage area of the Oeman Creek.

matig afnemend verloop te hebben. Vergeleken met het verloop van het peilverschil in de kreek blijkt er tussen debieten en verhang geen eenvoudig verband te bestaan.

Evenals bij de debietmetingen van de andere krekken van de Maratakka waren bij kleine afvoeren de stroomsnelheden dikwijls te gering om met een Ott-molen te kunnen meten. In die situatie werd per meetverticaal in het profiel kleurstof op het wateroppervlak gegoten en werd de verplaatsingssnelheid van die kleurvlak over een vaste afstand gemeten. De snelheid aan het oppervlak kon tot een gemiddelde snelheid in de verticaal omgerekend worden door uit te gaan van een logaritmische snelheidsverdeling. Door de vele obstakels op de kreekbodem en de geringe waterdiepte is dit waarschijnlijk maar in weinig gevallen juist. Aan deze debietmetingen bij lage peilen en lage afvoeren moet daarom maar een beperkte waarde worden gehecht.

De getijbeweging op de Maratakka is veel geringer dan op de Corantijn. De invloed op de afvoer van de krekken is hierdoor ook minder. Gedurende een 12-uurs-meting bij de Stonkreek verliep het debiet tussen 0,3 en 0,5 m³ s⁻¹ bij een peilfluctuatie van ongeveer 50 cm. (Bij de Corantijn kunnen bij een grote afvoer deze verschillen liggen tussen -2 en 12 m³ s⁻¹ bij een getijverschil van meer dan 2,50 m).

Uit de 12-uursmetingen bleek dat het effect van een korte periode van constante afvoer vóór het moment van laag water, zoals bij de Kalabaskreek was gevonden, bij de Maratakka-krekken niet voorkwam. Dit verschil zal waarschijnlijk moeten worden toegeschreven aan de verschillen in vorm van de kreekbeddingen, die een gevolg zijn van de geringere getijbeweging en slibbelasting van het rivierwater. De kreekafvoeren zijn dan ook steeds als gemiddelden over een meetperiode van circa 12 uur bepaald.

Tijdens de debietmetingen van deze kreekjes zijn eveneens watermonsters genomen (tabel 15). De Stonkreek vertoont een hoger Ca-gehalte, vermoedelijk onder invloed van water dat van de ritsenbundel afstroomt.

Tabel 15. Oorsprong, pH en concentratie van K⁺, Na⁺, Ca²⁺ en Mg²⁺ (mg l⁻¹) in het water van de krekken langs de Maratakka.

	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Oorsprong
Oude Savannakreek	4,6	0,1	1,4	0,3	0,4	oostelijke kom en
Waraukreek	4,1	0,1	3,1	0,1	0,2	Zanderijgebied
Kwansakreek	4,1	0,5	4,2	0,2	0,6	schollengebied
Oemankreek	4,5	0,3	6,3	0,1	0,7	
Maratakkakreek	4,1	0,1	3,1	0,1	0,2	oostelijke kom
Stonkreek	4,9	0,4	8,8	1,1	0,7	zuidelijk zwampgebied

Table 15. Origin, pH and mass concentration of K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ (mg litre⁻¹) in water from creeks along the River Maratakka.

5.3 SAMENVATTING

5.3.1 Aangrenzende rivieren

Getijbeweging in de:		90% L W. ¹ (m)	10% H W. ¹ (m)	1% H W. ¹ (m)
Corantijn	Nickeriemonding	- 1,10	+ 1,75	+ 2,00
	MacClemen	- 0,95	+ 1,90	+ 2,10
	Oreala	- 0,60	+ 2,00	+ 2,30
Maratakka	Wageningen	- 0,45	+ 1,45	+ 1,60
	Waraukreek	+ 0,60	+ 2,00	+ 2,45

1. Overschrijdingskans van Laag Water en Hoog Water in NSP + m (NP X m = NSP Y m + 7,56 m) als percentage van het aantal gemeten getijden.

Gehalte aan:		Rivier
Slib	Corantijn	1 - 10 gr l ⁻¹
	Maratakka	verwaarloosbaar
Cl	Corantijn	60 - 8000 mg l ⁻¹
	Maratakka	<50 mg l ⁻¹

5.3.2 Kreekafoeren

- Kreekafoeren ten noorden van de ritsen:

Corantijn: boven een zwampeil van NP + 10,00 m (circa NSP + 2,50 m) sterk afhankelijk van zwampeil.

$Q_{\text{tot}} = 150 H^{2,8}$, $H_{\text{zwampeil}} \geq \text{NP} + 10,00 \text{ m}$.

Maratakka: geen afvoer meer als gevolg van de aanleg van de Oostelijke Lekketeugelingsdam.

- Kreekafoeren ten zuiden van de ritsen:

Corantijn: gelijkmatige afvoer uit veengebied van oude kustvlakte.

Maratakka: kreekafoer, wel permanent, afhankelijk van regenval in achterliggende zwampen verloopt geleidelijk.

- Meten van afvoer: aan de Corantijn kan de gemiddelde kreekafoer bepaald worden door de kreek zo ver mogelijk binnen te varen en te meten op een uur tot een half uur voor het moment van laag water; aan de Maratakka met behulp van een 12-uursmeting.

5.3.3 *Stroming van rivierwater naar de zwampen*

- Binnenstromen van rivierwater naar de zwampen:

Corantijn: onmogelijk door hoge ligging oeverwallen.

Maratakka: niet waarschijnlijk doordat:

- . hoge rivierpeilen, veroorzaakt door hoge afvoeren, samen blijken te gaan met hoge kreekafvoeren;
- . bij lage rivierstanden de hoogwaterstanden te laag zijn.

6 Invloed van de vegetatie op de stroming en de verdamping in de zwamp

6.1 INLEIDING

De meeste factoren in het hydrologische proces die de waterbeweging in de Nanni-zwamp bepalen, zijn verbonden met de geografie. Het stromingsproces is sterk afhankelijk van de plaatselijke topografie en daardoor niet direct overdraagbaar naar andere moerasgebieden.

Voor de verdamping en de stromingsweerstand van de zwampbegroeiing geldt dit in mindere mate. Ook buiten het onderzoeksgebied komen dezelfde vegetatietypen voor. De invloed van de vegetatie op de genoemde factoren is daarom apart bekeken.

6.2 STROMING

6.2.1 Stromingstype en stromingsweerstand in de zwamp

Betreffende de aard van de stroming is bekend dat in poreuze media als klei, zand en veen de stroming laminair zal zijn en in grotere waterlopen vrijwel altijd turbulent. Stroming door een moerasbegroeiing neemt een tussenpositie in. Wij zullen de moerasbegroeiing voorlopig opvatten als een poreus medium met veel grotere porie en een veel hogere poriefunctie dan klei of zand. Naar de porositeit van moerasbegroeiing kan in het betreffende gebied onderscheid worden gemaakt tussen grasmatten, stengel- en bosbegroeiing.

Bij een grasmat is er een fijnmazig net van dunne sprietten en wortels, dat weerstand geeft bij waterverplaatsing. Het aantal sprietten per vierkante meter doorstromingsprofiel ligt tussen de honderd en driehonderd. Als belangrijkste soorten in deze drijvende grasmatten kunnen genoemd worden:

Leersia hexandra (alesie grassie)

Cyperus sp.

Ceratopteris thalictroides (moerasvaren)

Polygonum sp. (waterzuring)

Eichhornia sp. (waterhyacint)

Hydrocotyle umbellata (waternavel)

Ipomoea sp. (drijfwinde)

Nyphaea sp. (pankoekoe wirie, waterlelie)

Licania sp.

In een stengelbegroeiing (lange grassen en kruiden) bedraagt het aantal stengels per vierkante meter doorstroombrofiel meestal enkele tientallen.

De belangrijkste soorten zijn:

Cyperus giganteus (parasolgras, papyrus)

Typha angustifolia (paja grassie)

Cyperus articulatus (biezen)

Ludwigia affinis (teunisbloem)

Montrichardia arborescens (moko-moko)

Heliconia sp. (paloe loe, popo gai tongo).

Verder zijn er grote complexen zwampbossen met per vierkante meter doorstroombroef minder dan 1 stam. De belangrijkste soorten, die in de Nannizwamp voorkomen, zijn:

Pterocarpus officinalis (watra bebe)

Tabebuia insignis (panta)

Erythrina glauca (koffie mama)

Triplaris surinamensis (mierenhout)

Virola surinamensis (baboen)

Cecropia obtusa (bospapaja)

Euterpe oleracea (pina palm).

Voor een volledig overzicht van de vegetatie moet verwezen worden naar Teunissen (1975).

In deze volgorde (grasmatten, stengel- en bosbegroeiing) neemt de remmende werking van de begroeiing op de stroming af. Gras en stengelbegroeiing komen meestal gemengd voor, waarbij soms de ene soms de andere dominant kan zijn. De weerstand voor doorstroming blijkt in sterke mate afhankelijk te zijn van het waterpeil.

In figuur 28 is weergegeven hoe bij verschillende peilen een gras-stengelvegetatie in een doorstroombroef is verdeeld. Bij hoog peil drijft de grasmatt grotendeels aan de oppervlakte tussen de stengels (situatie a). Slechts enkele wortels zijn met de pegasse

Fig. 28. Stroming door een zwampgrasbegroeiing bij verschillende waterpeilen.

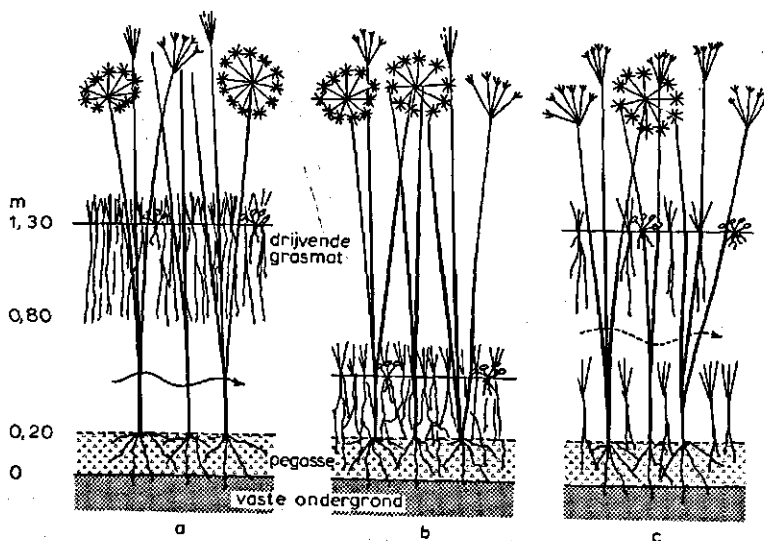


Figure 28. Flow through a swampgrass area at different levels of water.

of de kleibodem verbonden. Zakt het peil dan komt de grasmat op de bodem te liggen en verdicht zichzelf evenals de pegasselaag. De wortels hechten zich nu veel meer aan de pegasse en de bodem (situatie b). Wanneer het peil nu snel stijgt, is de grasmat voor een groot deel verankerd en kan maar voor een klein deel boven water komen (situatie c). Blijft het peil enige weken hoog, dan stelt zich de eerstgenoemde situatie (a) weer in.

Doordat de vegetatie tijdelijk niet in evenwicht is met de waterdiepte, is het verband tussen stromingsweerstand en waterdiepte niet éénvoudig en treedt hysteresis op (zie ook hoofdstuk 8).

6.2.2 Experimenten en resultaten

Bepaling van de stromingsweerstand in de zwamp bleek praktische moeilijkheden op te leveren door de slechte toegankelijkheid, de geringe stroomsnelheid en de invloed van plaatselijke intensieve buien op de stromingsrichting van het water. Meer mogelijkheden boden bedijkte stukjes moeras waarin de stroomrichting en snelheid binnen bepaalde grenzen konden worden gereguleerd. In deze proefpercelen kon bij verschillende stroomsnelheden het verval in de stroomrichting worden gemeten.

Met een kleurstof (uranine) werd eerst het stroomlijnenverloop in het perceel vastgesteld tussen inlaat- en uitlaatkunstwerk. In een recht gedeelte van de stroomlijnen werden op een afstand van 200 m van elkaar twee piketten geslagen. De stroomsnelheid werd bepaald over een afstand van 10 m. Hiertoe was een loopplank boven het water gebouwd. Aan de bovenstroomse kant werd kleurstof in het water gespoten. De tijdsduur over elke afgelegde meter werd genoteerd. Bij de piketten werd op dat moment de waterstand afgelezen. De onderlinge hoogteligging van de piketten is gemeten door middel van hydrostatische waterpassing waarbij een tweehonderd meter lange slang, gevuld met water, in het moeras werd uitgelegd tussen de piketten (Waalewijn, 1966). Op proefperceel 1 (een moerasgebiedje van circa 50 ha met een stengelbegroeiing met *Typha* als de belangrijkste soort) is op deze wijze bij verschillende stroomsnelheden het verval bepaald. De metingen hiervoor moesten worden verspreid over enkele weken en enkele malen worden herhaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur 29.

In geval van laminaire stroming geldt dat de stroomsnelheid evenredig is met het verval, met als evenredigheidsconstante de hydraulische doorlatendheid (Darcy). Bij turbulente stroming geldt een evenredigheid tussen de stroomsnelheid en de wortel uit het verval, met als evenredigheidsconstante een factor die mede afhankelijk is van de waterdiepte. In ons geval levert de lineaire evenredigheid de beste correlatiecoëfficiënt op ($r_{lin} = 0,93$ $r_r = 0,89$). Er zal daarom van uitgegaan worden dat de stroming onder deze omstandigheden laminair verloopt. De hydraulische doorlatendheid bedroeg in dat geval circa 300 m s^{-1} . De stroomsnelheid was nooit meer dan enkele mm per seconde.

Op proefperceel 2 (6 ha) kon niet voldoende variatie in stroomsnelheid en verval worden gecreëerd om een verband zichtbaar te maken. Bij dit perceel werd een lineair verband tussen het optredende verhang en de stroomsnelheid bepaald.

Helaas deed zich geen situatie voor om in een proefperceel metingen met een fijnmazig grasmat en een grofmazig boszwamp te doen. In geval van de grasmatten zal bij de gegeven

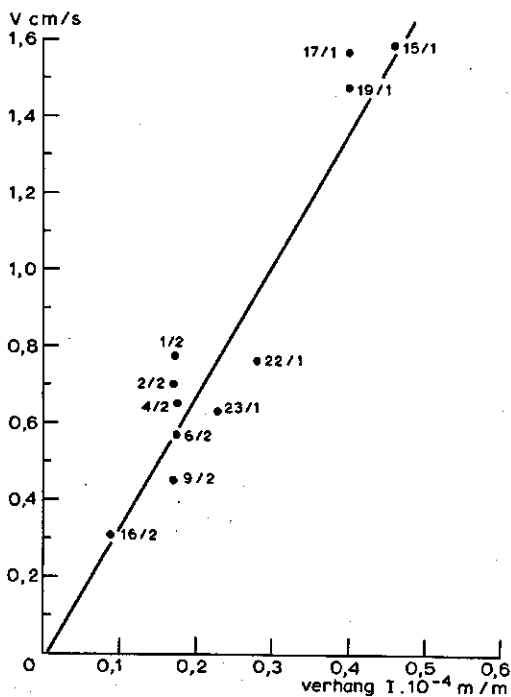


Fig. 29. Gemeten Verhang I en stroomsnelheid V in de wadoek van Van Dijk (1973, 1974).

Figure 29. Measured slope I and rate of flow in the Van Dijk storage basin (1973, 1974).

snelheden zeker een getal van Reynolds (Re) gevonden worden kleiner dan 100. Voor de boszwamp is de afstand tussen de bomen groter dan de waterdiepte, zodat als karakteristieke maat voor het getal van Reynolds de waterdiepte genomen moet worden. De situatie wordt dan vergelijkbaar met die van een breed bakvormig profiel waarvoor een getal van 600 kritisch is voor de overgang van laminair naar turbulent en de waterdiepte de karakteristieke maat is.

In de omstandigheden van de Nannizwamp varieert de waterdiepte van 0 tot maximaal 130 cm boven de veenlaag op de bodem. Voor de waterdiepte van 1,30 m mag dan de stroomsnelheid niet groter worden dan $7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ om een Re van 600 niet te overschrijden. Dit is een factor 10 kleiner dan in de experimenten in de *Typha*-zwamp.

De werkelijk in de zwamp voorkomende snelheden kunnen geschat worden uit de gemeten toestroming uit de zwamp naar de begrenzendende kreken en kanalen. Bijzonder geschikt hiervoor was de Oostelijke Lekbeteugelingsdam (OLD) met het aan zwampzijde lopende excavatiekanaal. Deze dam van circa 30 km lengte verhindert de natuurlijke wegvloeiing naar de Nickerierivier. Aan de oostkant sluit zij aan op de permanent boven de zwamp liggende ritsen; in het kanaal is hier de stroomsnelheid nul. Aan de westzijde sluit zij aan op het landbouwareaal, waar water wordt onttrokken; hier is de stroomsnelheid maximaal.

Op zes plaatsen langs het kanaal is regelmatig de stroomsnelheid gemeten om de toestroming over verschillende trajecten uit de zwamp te onderzoeken (de resultaten van deze metingen zijn in par. 8.3 vermeld). In het bosgedeelte langs de dam treedt de grootste toestroming op tussen km 21 en km 25. Het toegestroomde debiet bedraagt

circa $0,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$ bij een waterdiepte van circa 1,30 m. De snelheid bedraagt dan ongeveer $4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$. De begroeiing bestond op dit perceel uit stengels met daartussen drijvende grassen. De doorlatendheid bedroeg in dit geval ongeveer 50 m s^{-1} .

6.2.3 Het getal van Reynolds

De overgang van laminaire naar turbulente stroming wordt gekarakteriseerd door een getal van Reynolds, dat kritisch wordt genoemd, indien de stroming nog juist laminair is.

Het getal van Reynolds is omgekeerd evenredig met de viscositeit van de vloeistof en evenredig met de werkelijke stroomsnelheid. De evenredigheidsconstante in de gegeven situatie wordt gevormd door een karakteristieke maat voor de begrenzing waardoor het water stroomt. Voor stroming door een poreus medium als grof zand geldt dat de overgang van laminair naar turbulent kritisch is bij een Re van 5. Voor een breed bakvormig profiel (breedte van kanaal veel groter dan de diepte) is Re kritisch bij een waarde van 600, in gladde buizen bij 2000. In de situatie van de moerasbegroeiing kan als karakteristieke maat de gemiddelde afstand tussen de stengels worden gekozen mits deze kleiner is dan de waterdiepte.

Voor de bepaling van de karakteristieke maat van het doorstroomprofiel van proefperceel 2 werden alle stengels afgesneden, geteld en de doorsnee per stengel bepaald. Voor de begroeiing van *Cyperus giganteus* (papyrus) blijkt het aantal stengels (doorsnee gemiddeld 2,4 cm) per vierkante meter ongeveer 42 te bedragen. De gemiddelde onderlinge afstand tussen de stengels is dan circa 15 cm (karakteristieke afstand). Onder de gegeven omstandigheden was een stroomsnelheid van gemiddeld $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$ gevonden; Re wordt dan 167.

In het geval van het *Typha*-perceel (proefperceel 1) bleek het aantal stengels meer te variëren dan bij proefperceel 2, namelijk van 5,5 tot 27 per vierkante meter. Bij dit proefperceel was de stroomsnelheid gemiddeld $8,5 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$. Re bedraagt dan 245 - 130 voor de verschillende dichtheden van begroeiing.

In geval van een bosbegroeiing zou het getal van Reynolds kritisch worden bij een snelheid van $7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$. De gevonden snelheid ligt lager, zodat we mogen aannemen dat ook de stroming in het moerasbos laminair is.

6.2.4 Opbolling van de zwamp

Wanneer men aanneemt dat gedurende één dag de stroming in de zwamp als stationair beschouwd kan worden, kan men met de gevonden waarde voor de doorlatendheid de opbolling van het water in de zwamp schatten (zie ook hoofdstuk 8).

De toestroming tussen km 21 en km 25 van de OLD bedroeg op 1974-01-29 bij een zwamppeil van NP + 10,44 m ongeveer $0,52 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ km}^{-1}$. De afstand van dit traject tot de Nannikreek in de omgeving van het meetpunt Kaaimankreek bedraagt circa 10 km. Bij een doorlatendheid van 50 m s^{-1} (perceel 2) zou de opbolling 0,04 m hebben bedragen. Volgens de berekening in hoofdstuk 8 was dit 0,056 m.

De berekende bijzonder kleine peilverschillen kloppen voor de hoogpeilsituatie redelijk goed. Een voorbeeld hiervan zijn de peilen op 1973-10-30, toen bij een zwamppeil

van NP + 10,42 m het verschil tussen Kaaimankreek en Oostelijke Lekbeteugelingsdam slechts 4 cm bedroeg.

Hieruit mag worden geconcludeerd, dat de gemeten doorlatendheid in het proefperceel in dezelfde orde van grootte ligt als de doorlatendheid van de zwamp bij hoge peilen.

6.2.5 Stromingsweerstand in de Nannikreek

De weerstand (ruwheid) voor doorstroming is op verschillende plaatsen berekend uit metingen van verhang, stroomsnelheid (zie ook hoofdstuk 8) en profiel. De weerstand is niet constant in tijd en plaats, doordat zij sterk beïnvloed wordt door het voorkomen van drijvende grasmatten. Van tijd tot tijd breken grote gedeelten van deze grasmatten van de oevers los en verstoppen de kreek ter plaatse van een stroomafwaarts gelegen vernauwing. Op sommige plaatsen consolideren deze matten zich en groeien stevig aan de oever vast. Zij vormen dan een zo stevig tapijt dat men er over kan lopen.

Wanneer in droge perioden het peil zakt, kunnen de wortels zich evenals in de zwamp vasthechten aan de bodem, zodat de doorstroming zeer sterk wordt belemmerd. Door middel van een hydrostatische waterpassing is in een dergelijke situatie over een afstand van slechts 8 m een opstuwing van 2 cm gemeten (foto 3).

In sommige gevallen zijn dit soort situaties enkele honderden meters uitgestrekt. Ook deze obstructies zijn niet van permanente aard. Als het peil lang genoeg laag blijft en daarna snel stijgt, blijkt dat deze matten overspoeld kunnen raken en niet meer boven

Foto 3. Bij laag peil zakken de grasmatten tot de bodem van de kreek waardoor een aaneenschakeling van kleine meertjes ontstaat.

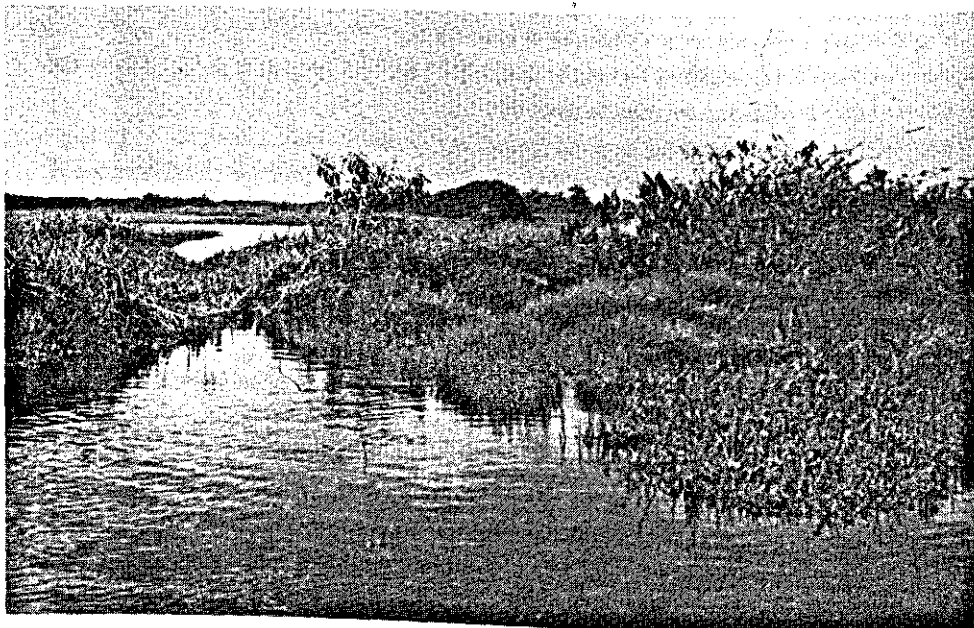


Photo 3. At low water levels, the grass mats sink to the bottom of the creek to form a chain of linked ponds.

water uitgroeien; hierdoor sterven zij onder water af.

Bovenstrooms van de ritsengordel zijn de Nannikreek en de Camisakreek over grote aaneengesloten lengten dichtgegroeid met struiken en zelfs hoge bomen; hier vindt thans geen waterverplaatsing van enige betekening meer plaats (zie hoofdstuk 4). Mogelijk is het overstroomd raken van grasmatten hier niet voorgekomen door de kleine peilfluctuaties in dit gebied en heeft zich daarna op deze drijvende matten bos gevestigd.

6.3 VERDAMPING

6.3.1 Invloed van de zwampbegroeiing op de verdamping

Het verdampingsonderzoek vormt een belangrijk element in de studie van de waterbalans van een gebied. In Suriname zijn reeds verschillende betrouwbare technieken ontwikkeld om de open waterverdamping te berekenen (Lenselink & Van der Weert, 1973). Het verdampingsonderzoek had daarom tot direct doel tot redelijk betrouwbare gewasfactoren te komen voor de moerasvegetatie.

Over de verdamping van tropische moerasbegroeiing is maar weinig literatuur bekend. In Suriname is in verband met problemen in het Brokopondo-stuwmeer onderzoek gedaan naar de verdamping van *Eichhornia* sp. (waterhyacint). Men vond hier een gewasfactor van maximaal 1,4 (Kamerling, Lenselink & Van der Weert, 1973). Verder is er door Rijks (1969) in Oeganda een onderzoek naar de verdamping van *Cyperus giganteus* (papyrus) gedaan. Zijn resultaten wijzen op een reductie van de verdamping van open water met een factor van $0,6 \pm 15\%$. Experimenten van Migahid (1952), eveneens met *Cyperus giganteus*, wijzen op een invloed van de dichtheid en ouderdom van het gewas. Een jong gewas zou een verdamping gelijk aan die van open water hebben; aan een 6,5 jaar oud gewas zou een factor van 0,55 toegekend moeten worden. In beide gevallen werd de open waterverdamping berekend met de formule van Penman. Voor het cultuurgewas rijst is in Suriname door Kamerling & Bipat (1969) een factor van maximaal 1,2 gevonden.

In hun berekening van de waterbehoefte van gemechaniseerde rijstcultuur gaan Kamerling, Lenselink & Van der Weert (1974) uit van een waarde van 1,0 in het begin van het groeiseizoen, toenemend tot 1,2 gedurende het vlagstadium en daarna snel afnemend tot 0,6 bij het afrijpen. Daar dit gewas echter altijd onder cultuuromstandigheden is onderzocht en niet in 'verwilderde' natuurlijke toestand, waarbij ook afgestorven plantendelen een rol spelen, is een vergelijking met een moerasbegroeiing niet helemaal juist.

Uit aride en gematigde gebieden zijn meer onderzoeksresultaten bekend, bijvoorbeeld van Gelboux (1964) en Linacre (1970), maar deze zijn voor de humide tropen vermoedelijk niet toepasbaar.

Daar de verdamping slechts een deel uitmaakt van het hydrologische gebeuren, heeft het eigen onderzoek zich moeten beperken tot eenvoudige bepalingen. Het onderzoek heeft zich zowel gericht op de verdamping van het samenstel van grassen, als op de bijdrage van de belangrijkste individuele soorten. Ook is er aandacht besteed aan de ontwikkeling naar standplaats en beworteling. Het voor verdamping benodigde water moet via de wortels worden opgenomen; bij intensieve verdamping door het blad kan het vochttransport door de grond naar deze wortels een belemmering vormen voor maximale verdamping. Dit is voor

rijst op kleigrond door Scheltema (1974) beschreven en voor een moerasvegetatie in Noord-Dakota door Eisenlohr (1966). Voor de zwamgebieden, waar de beworteling zich in de zeer doorlatende pegasselaag bevindt, is deze belemmering niet waarschijnlijk.

6.3.2 Opzet van de proef

De verdamping van een begroeid zwamp wordt vergeleken met de verdamping van open water. Voor deze vergelijking is binnen een in ontginning zijnde rijstpolder die grotendeels reeds met rijst was ingezaaid en gelegen is direct naast het Nannizwamp, een met dammen omgeven perceel gebruikt met een representatieve begroeiing van zwampgrassen en kruiden (proefperceel 2, zie par. 6.2.1). De oppervlakte van het perceel was circa 6 ha. Binnen het perceel kon de waterstand geregeld worden door middel van een eenvoudige in- en uitlaatwerkje.

In het perceel zijn op een drietal plaatsen piketten geplaatst om het verloop van de waterspiegel te kunnen volgen. Voor de open waterverdamping is een pan in een schoon-gemaakt stuk van het perceel geplaatst (30 m^2), zodanig dat zij niet kan wegdrijven, maar toch in het omringende water staat, zodat temperatuurverschillen tussen het omliggende water en de pan zo veel mogelijk worden voorkomen. De temperatuur had gemiddeld een dagelijks verloop van circa 25 tot 32°C . De pan had een diameter van 1,50 m en een diepte van ongeveer 50 cm; ze was voor ongeveer tweederde deel gevuld met water.

In de directe omgeving van de pan is een regenmeter opgesteld. Waterverlies door lekkende kokers en wegzijging naar de begrenzende sloten in de buurpercelen kon worden bepaald door meting van de afvoer van de perceelafvoerkokers.

Dagelijks werd het peilverloop in het perceel en de pan opgenomen (in mm) en werd de neerslag op één plaats gemeten. De waarnemingsreeks begon pas, nadat het perceel ruim twee maanden onder water had gestaan. In verband met de ontginning en uitgifte van het perceel kon de proef niet langer dan een 50-tal dagen worden voortgezet.

6.3.3 Resultaten

De piketaflezingen kwamen goed met elkaar overeen, evenals de panaflezingen. De waterverliezen door de perceeldammen bleken in de orde van $0,64 \text{ l s}^{-1}$ te liggen; dit komt overeen met een correctie van 0,9 mm per dag. Deze correctie is over de gehele periode constant gehouden, daar de fluctuatie van het peil binnen de kavel gering was vergeleken met het peilverschil tussen de kavel en de begrenzende sloten.

Van de waarnemingen werden vijfdaagse gemiddelden genomen om de invloed van meetfouten te verminderen. De resultaten zijn weergegeven in figuur 30. Hieruit blijkt dat in de periode van 45 dagen de totale verdamping van de pan 142 mm beliep en van het perceel 163 mm. De neerslag bedroeg in die periode 277,9 mm. De zogenaamde Penman-verdamping voor open water kan door middel van de door Lenselink & Van der Weert (1974) opgestelde correlatie met de straling worden benaderd. Hiervoor werden stralingscijfers uit de directe omgeving gebruikt. Deze Penman-verdamping kan voor deze periode op 181 mm worden geschat.

Zoals uit de figuur blijkt, heeft de verdamping van de pan een wat meer gelijkmatig

Fig. 30. Verdampingsmetingen in perceel 1 (1974).

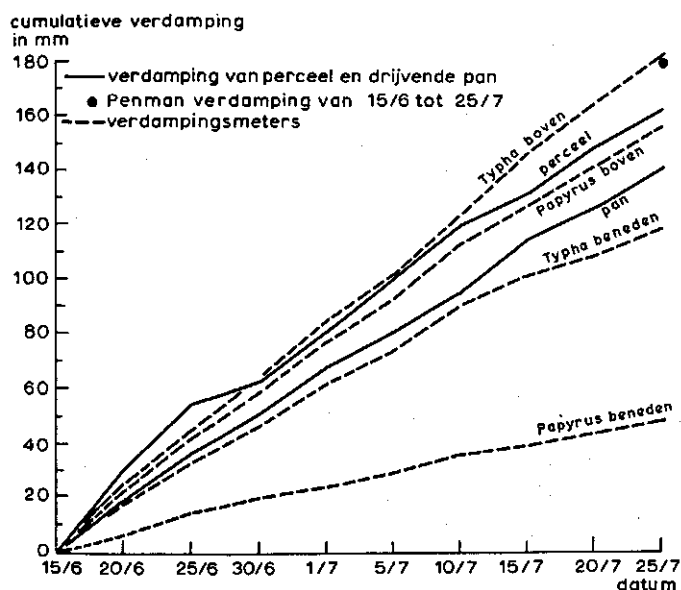


Figure 30. Cumulative evaporation in area 1 (1974).

verloop dan die van het perceel. Dit zou verklaard kunnen worden onder andere door de interceptie in de *Cyperus giganteus* (papyrus). De pluim van dit gewas vormt een trechtertje, waarin zich regenwater kan verzamelen. Dit levert dan geen bijdrage aan de peilstijging door de regenval, zodat de verdamping groter lijkt dan in die in werkelijkheid is. In een later stadium verdampt dit gevangen water weer met als gevolg een minder grote daling in het perceel als in de pan. De grootte van deze interceptie is niet nader onderzocht.

Een andere bron van onnauwkeurigheid is wellicht het minder goed functioneren van de pan in regenperiodes. Er is om dit zo goed mogelijk te voorkomen gekozen voor een grote pan. Vergeleken met de Penman-verdamping is de panverdamping kleiner, namelijk ongeveer een factor 0,8. Deze discrepantie tussen directe meting van de open waterverdamping met een pan en de berekende verdamping volgens Penman is in Suriname ook door Koopmans & Vochteloo (1973) en Kamerling (1974) geconstateerd. Dit verschil, dat in het algemeen wordt toegeschreven aan het onvolkomen functioneren van de pan als verdampingsmeter, verdient nader onderzoek.

In Suriname wordt meestal de benadering volgens Penman als maatstaf gebruikt. Vergeleken met de Penman-verdamping is de verdamping van de zwampgrassen geringer, namelijk een factor 0,9.

6.3.4 Vergelijking van de verdamping van *Cyperus giganteus* (papyrus) en *Typha*-begroeiing onderling

Het boven beschreven perceel had een gemengde begroeiing van diverse grassoorten. *Cyperus giganteus* en *Typha* zijn hierin twee overheersende soorten met een zeer verschillend gewasarchitectuur. De eerste heeft de bekende vorm van een lange steel met daarop een doorgeslagen paraplu van blaadjes; de tweede heeft een lange gladde rietachtige bouw.

Binnen het perceel werden plekken gevonden, waar de twee soorten ongemengd over een redelijke oppervlakte voorkwamen. Binnen deze plekken werden vlak boven de toppen van het gewas en boven het wateroppervlak verdampingsmeters opgesteld (fig. 31). Op deze wijze kon de bijdrage van het gewas aan de verdamping worden geschat (totale verdamping verminderd met de verdamping onder het gewas). Het verdampingsverloop bepaald met deze meters is tegelijk met de andere waarnemingen in de meetperiode van 45 dagen opgenomen.

Als verdampingsmeter werd gebruikt de door Wilcox (1968) in Summerland, Canada, ontwikkelde 'Ogopogo'. Carder (1969) vergelijkt vijf typen atmometers en kent aan het

Fig. 31. Opstelling van de verdampingsmeters (type Ogopogo) tussen de vegetatie.

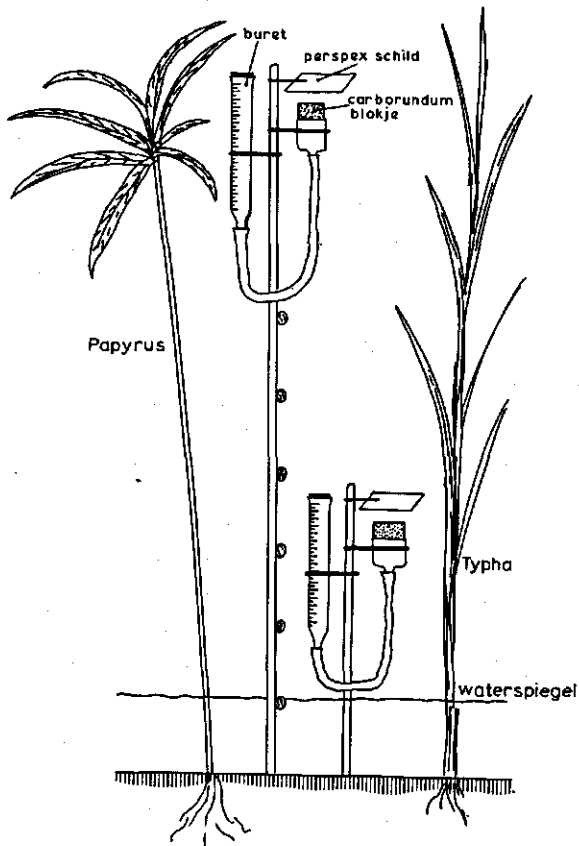


Figure 31. Arrangement of the evaporation meters (Ogopogo model) between the vegetation.

type Ogopogo de hoogste score toe.

Dit meetinstrument is gebouwd uit een massief cilindervormig blokje carborundum, gevat in een plastic flesje waarvan de bodem verwijderd is. Met een doorboorde kurk is de hals van de fles verbonden door een slang met een cilindrisch reservoir met stijgbuis. Het flesje met carborundum-blokje wordt met de hals naar beneden onder een perspex schildje bevestigd op enige afstand van een staander. Het niveau in het cilindrisch reservoir is altijd lager dan de kop van het carborundumblok (fig. 31).

Over een periode van zes weken zijn ijkingsfactoren bepaald door vergelijking met de open panverdamping. Na deze periode werden vier verdampingsmeters opgesteld boven en onder *Cyperus giganteus* en *Typha*. Eén van de verdampingsmeters stond naast de pan opgesteld ter vergelijking. De resterende twee werden elders in het onderzoeksgebied geplaatst.

6.3.5 Resultaten van de vergelijking

De verdamping vlak boven de *Cyperus giganteus* bedroeg, nadat een correctie met een factor 2,1 was uitgevoerd, 1,1 maal de panverdamping, vlak boven de *Typha* 1,3 maal de panverdamping, onder de *Cyperus giganteus* 0,3 maal en onder de *Typha* 0,8 maal de panverdamping. Eén en ander blijkt uit de grafiek waarin de verdampingen cumulatief zijn uitgezet (fig. 30).

Duidelijk blijkt de invloed van de gewasarchitectuur op de verdamping. De bijdrage van het wateroppervlak onder het gewas aan de totale verdamping is bij de *Typha* veel groter dan bij de *Cyperus giganteus*. Van het totale watertransport naar de atmosfeer gaat in geval van de *Cyperus giganteus* 73% via de plant en 27% via het beschaduwde wateroppervlak. Bij *Typha* gaat 23% via de plant en 77% via het veel minder beschaduwde wateroppervlak.

Over de verschillen in totale verdamping van beide plantesoorten valt uit deze experimenten echter weinig met zekerheid te zeggen.

6.3.6 Standplaats en beworteling

De bodem van de zwamp bestaat uit zware klei (tot 90% afslibbaar), bedekt met een veenlaag van maximaal 50 cm dikte (bekend als pegasse). Dit veen heeft een grove structuur met veel herkenbare plantedelen. Verschil in voorkeur voor standplaats van de verschillende soorten kon niet worden vastgesteld. Wel bleek de vegetatie pleksgewijs voor te komen en dan meestal enkele hectaren van een soort.

Zowel van *Cyperus giganteus* als van *Typha* zijn wortelmonsters tot een diepte van circa 75 cm genomen. Het blijkt in beide gevallen dat de uitgewassen en gedroogde wortels voor wat betreft het gewicht zich voor ongeveer 90% in het veengedeelte bevinden en voor 10% in de klei. Tevens blijkt duidelijk een verschil in type wortels. In het veen zitten een groot aantal haardunne wortels direct aan de stengel. De wortels in de klei zijn veel langer, dikker en steviger.

De watervoorziening van de zwampgrassen zal door de aanwezigheid van talrijke wortels in de goed doorlatende pegasselaag vermoedelijk niet beperkt worden, zolang

water op of nabij het maaiveld aanwezig is (slechts in uitzonderlijke droge jaren kon de pegasselaag uitdrogen).

Op sommige plaatsen in het moeras werd het ontbreken van een veenlaag geconstateerd, waarschijnlijk als gevolg van brand in perioden van lang aanhoudende droogte. Op deze plaatsen was duidelijk te constateren dat de grassen veel korter bleven.

6.4 VERDAMPING VAN BOS

Naast met gras begroeide gedeelten komen in de Nannizwamp uitgestrekte gedeelten voor die met bos begroeid zijn. De belangrijkste soorten zijn: *Pterocarpus officinalis* (watra bebe), *Tabebuia insignis* (panta) en *Erythrina glauca* (koffie mama).

In de Europolderzuid, die in de onderzoeksperiode in ontginning was, kon een 6 ha groot perceel gevonden worden waarin de bosbegroeiing representatief was. Op dezelfde wijze als in het perceel met zwampgrassen is hierin getracht een gewasfactor te bepalen. De watervoorziening in het bosperceel was echter niet zo goed regelbaar als in het grasperceel, waardoor het maaiveld niet overal permanent onder water gehouden kon worden. Voor een zwampbos in deze 'drasse' toestand werd ten opzichte van berekende Penman-verdamping een factor 0,8 gevonden in de meetperiode van 1975-01-15 tot 1975-03-12.

In volledig geïnundeerde situatie blijken zwampbossen na verloop van enkele maanden af te sterven. Van nature worden typische zwampbossen daarom alleen aangetroffen in die gedeelten die slechts in bepaalde seizoenen onder water staan. (in par. 3.4.3 is hierop reeds uitvoerig ingegaan). Door het zuurstofgebrek dat de wortels in geïnundeerde toestand ondervinden, wordt de wortelgroei belemmerd. Waarschijnlijk wordt de wateropname, die vooral door jonge wortels en haarwortels plaatsvindt, hierdoor gestagneerd. De verdamping van geïnundeerd zwampbos zal zodoende afnemen.

Helaas bleken de bladeren van de zwampbomen geen huidmondjes aan beide zijden te hebben, zodat met een porometer niet een eventuele regulatie van de verdamping langs deze weg kon worden geconstateerd. De verdamping zal vermoedelijk sterker worden gereduceerd, naarmate de wortels langer onder water staan. De gedeeltelijke bladval, die is geconstateerd, zal mogelijk hiermee samenhangen.

Als een gemiddelde factor voor geïnundeerd zwampbos is in de waterbalans 0,65 aangehouden. Voor drasbos is een verdamping aangehouden die gelijk is aan die van niet-geïnundeerd zwampbos.

6.5 SAMENVATTING

De verzamelde gegevens, omtrent de invloed van de vegetatie op de stroming zijn vermeld in tabel 16.

In zwampkreken is de 'ruwheidsfactor' afhankelijk van het voorkomen van grasmatten en van de waterdiepte. In het noordelijke gedeelte van de Nannikreek varieert de ruwheidsfactor volgens Manning van 7 tot 20 ($m^{1/3} s^{-1}$).

Invloed van de vegetatie op de verdamping als fractie van de open waterverdamping is (volgens Penman berekend) bij zwampgrassen en kruiden 0,85 - 0,95; bij zwampbossen (dras) circa 0,8; bij zwampbos (geïnundeerd) 0,65.

Tabel 16. Invloed van de vegetatie op de stroming.

	Maaswijdte, karakteristieke maat (cm)	Re	Stromings- type	Stromingsweerstand afhankelijk van diepte
Grasmatten	1	100	laminair	zeer hoog
Stengelbegroeiing	5 - 20	100 - 250	laminair	matig
Zwampbos	> 100	600	laminair	matig

Table 16. Influence of the vegetation on the waterflow.

7 Waterbalans voor de Nannizwamp

7.1 INLEIDING

De Nannizwamp vormt het noordelijke gedeelte van het stroomgebied van de Nannikreek. Uit dit gedeelte wordt irrigatiewater voor de landbouw onttrokken. Om de dagelijks beschikbare hoeveelheid irrigatiewater in dit gebied te kunnen berekenen is er een waterbalans opgesteld. De gegevens die in de voorafgaande hoofdstukken zijn verzameld zijn hierbij gebruikt.

Omdat de wateronttrekking zich van dag tot dag kon wijzigen, zijn in dit gebied veel meer metingen verricht dan in het zuidelijk gebied. Op het overzichtskaartje (fig. 32) zijn de verschillende meetpunten weergegeven.

Uitgaande van een beginpeil in de zwamp werd uit de factoren neerslag, verdamping, onttrekking door de landbouw, afstroming van de niet-geïrundeerde gedeelten toestroming uit het zuiden en eventueel optredende lek naar de aangrenzende rivieren het peil op de volgende dag expliciet berekend. Deze factoren worden deels in waterschijfdikte uitgedrukt deels als debiet. Voor het berekenen van een peilverandering moet dan de oppervlakte van het reservoir bij elk peil bekend zijn. De fluctuaties van het zwamppeil

Fig. 32. Overzichtskaart van de meetpunten in de Nannizwamp.

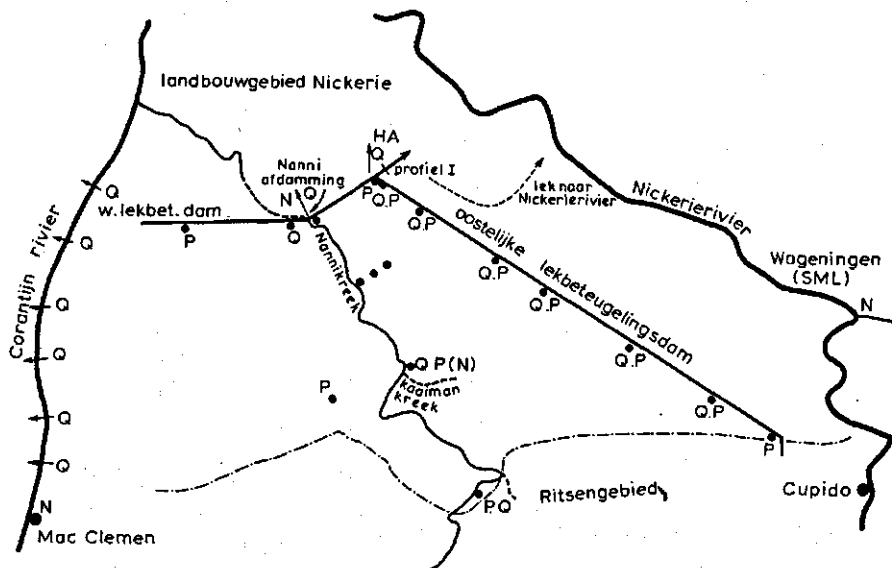


Figure 32. Map of measurement points in the Nanni Swamp.

bedragen per dag nooit meer dan 1 cm; de verandering van de zwampoppervlakte is dan maximaal 350 ha (minder dan 1% van de gemiddelde zwampoppervlakte).

Van het tijdelijk niet onder water staande gedeelte kan de neerslag tot afvoer komen, nadat de berging in het profiel verzadigd is. Dit proces, waarin de factoren die een rol spelen van plaats tot plaats kunnen verschillen en dat resulteert in peilstijging, zodat het gebied weer geïnundeerd raakt, kon slechts globaal worden benaderd. De aanvoer uit het zuiden was eveneens moeilijk te bepalen.

De waterbalans voor de Nannizwamp kan als volgt worden weergegeven:

$$N + A + Q_b - V - C - Q_1 = \Delta H$$

waarbij:

N = de neerslag op het natte gedeelte van de zwamp

A = de afvoer van de droge delen

Q_b = de toevoer uit het zuidelijk zwampgebied

V = de verdamping van het natte gedeelte

C = de wateronttrekking ten behoeve van de landbouw

Q_1 = de lek naar de aangrenzende rivieren

ΔH = de toename van de berging in het natte gedeelte

De factoren van de waterbalans worden eerst afzonderlijk gekwantificeerd (par. 7.2). Daarna volgt een beschrijving van het rekenmodel (par. 7.3).

7.2 FACTOREN VAN DE WATERBALANS

7.2.1 De neerslag

Uit de regenkaart van Suriname (Meteorologische Dienst, 1960) blijkt dat de gemiddelde jaarlijkse neerslag in zuidelijke richting vrij sterk toeneemt. Volgens deze kaart zou ongeveer 50% van de Nannizwamp een neerslag hebben van 1750 - 2000 mm per jaar en 50% een neerslag van 2000 - 2250 mm per jaar.

In de directe omgeving van de Nannizwamp zijn de volgende stations gelegen: Nanni-afdamming, Wageningen en MacClemen (fig. 32). Aanvankelijk werd een regenstation midden in de zwamp bij de Kaaimankreek geplaatst en eenmaal per week afgelezen. Door moeilijkheden die zich met het transport voordeden, moest het aantal aflezingen van station Kaaimankreek beperkt worden. Daarom werd naast deze regenmeter een integrerende regenmeter geplaatst; door middel van een aan een vlotter verbonden teller wordt het aantal keren dat 10 mm neerslag valt opgeteld. In figuur 33 is de cumulatieve neerslag van de stations Nanni-afdamming, MacClemen, Wageningen en Kaaimankreek weergegeven. Hieruit blijkt het op de regenkaart gegeven neerslagverloop in de meetperiode inderdaad op te treden.

Het gebiedsgrootte-effect van buien is nog weinig onderzocht in Suriname. De beschikbare gegevens van de polders van de Stichting voor de bevordering van de Machinale Landbouw (SML) zijn door Kamerling (1974) verwerkt. Uit zijn publikatie blijkt dat voor

Fig. 33. Cumulatieve neerslag (mm) gedurende de meetperiode van drie stations.

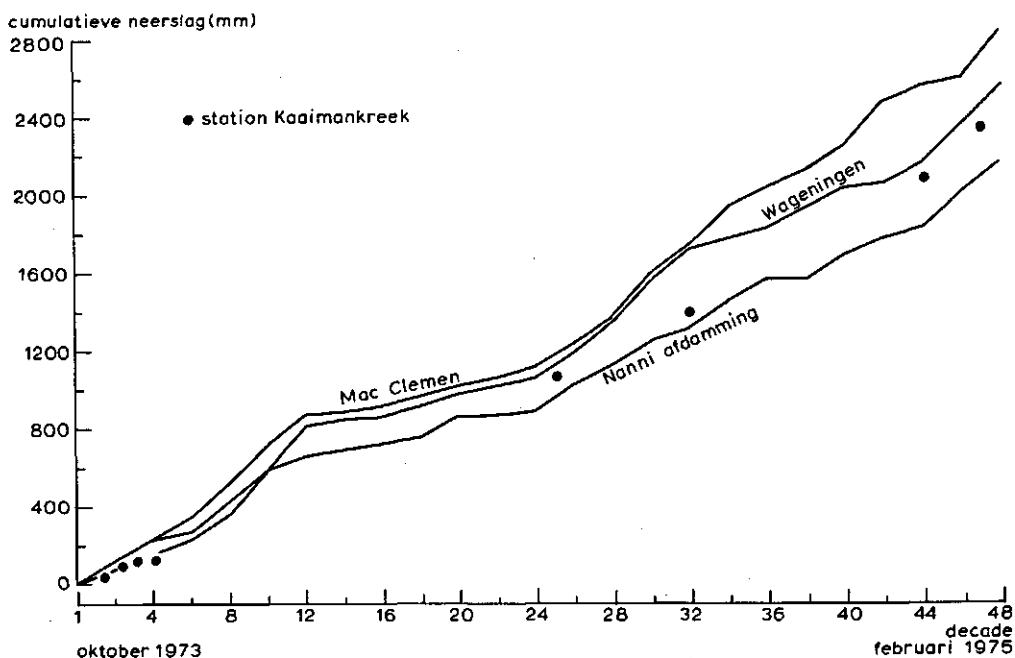


Figure 33. Cumulative rainfall (mm) during the measurement period from three stations.

zware regens, vooral in de maanden juni, juli en augustus, een belangrijk gebiedsgrootte-effect bestaat. Dit stemt overeen met de waarnemingen van Alewijnse (1964) en de eigen ervaringen.

Voor een schatting van de neerslag op een gebied wordt dikwijls gebruik gemaakt van de methode van Thiessen. De stations in het gebied wordt een gewicht toegekend overeenkomstig het gedeelte van het stroomgebied waarvoor zij middels een verdeling door zwaartelijnen representatief geacht worden. In onze situatie zou aan het station Nanni-afdamming circa 80% van het gewicht toegekend worden, maar dit is niet in overeenstemming met het op de regenkaart weergegeven systematische verloop van noord naar zuid. De neerslag van de Nanni-afdamming zou volgens dit verloop voor ongeveer 50% van het gebied gelden. Van de methode Thiessen is daarom afgezien.

Aanvankelijk is in de waterbalans gebruik gemaakt van de stations Nanni-afdamming en MacClemen; voor de Nannizwamp werd het gemiddelde van deze twee stations genomen. Later werd dit vervangen door het gemiddelde van Nanni-afdamming, MacClemen en Wageningen. Voor het gebied ten zuiden van de Nannizwamp is eerst alleen het station MacClemen gebruikt; later is hier ook het gemiddelde van Nanni-afdamming, Wageningen en MacClemen genomen.

Met het opgestelde rekenmodel is nagegaan welke combinatie van neerslagcijfers de beste resultaten opleverde (par. 7.3). Een onderscheid in neerslag, effectieve neerslag en interceptie is niet gemaakt, omdat hiervoor onvoldoende gegevens zijn verzameld. Doordat bovendien de neerslag veelal in hevige buien valt kan de invloed van interceptie

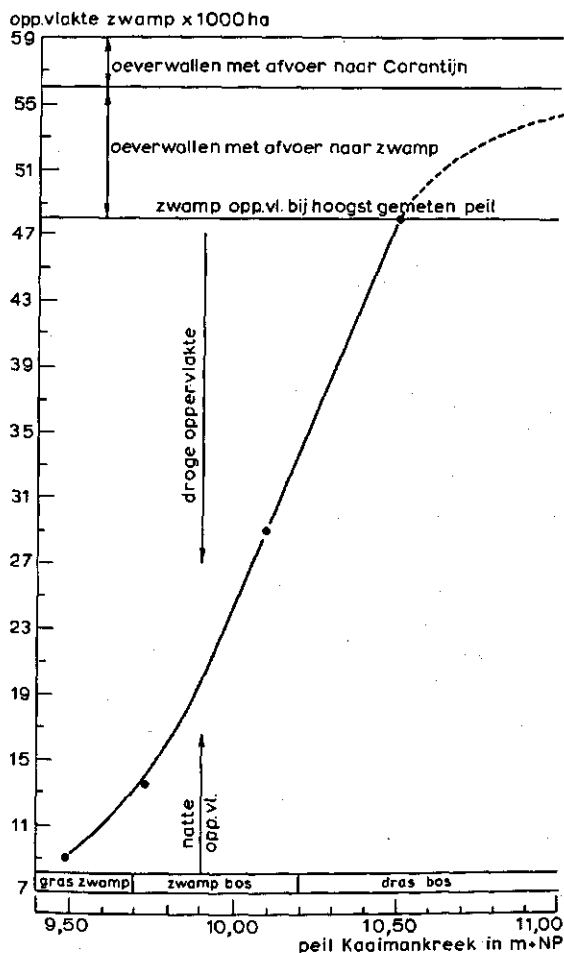


Fig. 34. Het gemiddelde zwampeil (gemeten in de omgeving van Kaaiman-kreek) uitgezet tegen de oppervlakte van de Nannizwamp.

Figure 34. Average swamp level (measured near the Kaaiman Creek) expanded against the surface of the Nanni Swamp.

niet groot zijn.

Uit een artikel van Jackson (1971) over de interceptie in een tropisch regenwoud in Tanzania blijkt dat deze afhankelijk is van de hoeveelheid neerslag per bui. Een bui van 5 mm had ongeveer 50% interceptie tot gevolg, terwijl een bui van 20 mm minder dan 10% interceptie gaf. De interceptie blijkt daarnaast afhankelijk te zijn van de gewas-architectuur. In een goed ontwikkeld tropisch regenwoud met drie vegetatieniveaus en met Epiphyten in de boomkruinen is de interceptie groter dan in een mager zwampbos of in een rietbegroeiing. Ten behoeve van het rekenmodel wordt veronderstelt, dat na afloop van de neerslag de interceptie zal verdampen, maar dat dit proces een vrijwel gelijke vermindering van de overige verdamping zal veroorzaken. De totale evapo-transpiratie en daarmee ook het neerslagoverschot wordt dus weinig door de interceptie beïnvloed.

Voor het vaststellen van de verdeling droog-nat bij verschillende zwampeilen is ondermeer gebruik gemaakt van de vegetatiekaart die door Teunissen (1975) is vervaardigd. Uit het vegetatiekundig deel van het onderzoek blijkt, dat veranderingen in de vegetatie die na het sluiten van de Oostelijke Lekbeteugelingsdam (OLD) zijn opgetreden, nauw samenhangen met de mate en de duur waarin de zwampbossen worden geïnundeerd. Door het bepalen van de hoogteligging van de zwamp langs de OLD is de relatie tussen de bodemhoogte en de vegetatieverandering gelegd (zie ook par. 3.4.3 en tabel 3).

Met deze gegevens is figuur 34 samengesteld, welke de oppervlakte van de Nannizwamp aangeeft bij verschillende peilen. De totale oppervlakte van het gebied (zwamppedeelte en oppervlakte die rechtstreeks op de zwamp afwatert) is op grond van de beschikbare topografische gegevens bepaald op 56 000 ha.

Van de permanent droge en tijdelijke droge gedeelten zal de neerslag tot afvoer komen, wanneer de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overtreft en wanneer de bodem geen water meer kan opnemen. - De grondwaterstroming mag verwaarloosd worden, omdat de doorlatendheid van de ongerijpte kleigronden die dicht onder de oppervlakte liggen, zeer laag is. Bovendien zijn er door de vlakke terreinligging slechts kleine gradiënten aanwezig. - De afvoer heeft peilstijging tot gevolg waardoor het gebied kan overstromen. De terreingesteldheid in deze omstandigheden wordt gekarakteriseerd door Cowfoetoes (par. 4.2.2.7).

Dit microreliëf heeft een zekere oppervlakteberging. Wanneer deze benut is, zal afstroming optreden. Op gedeelten die, door hun hogere ligging, zelden of nooit overstromen, vindt men drasbos en ontbreekt dit reliëf. De drasbossen hebben in het algemeen wel een hoge grondwaterstand (circa 50 cm beneden maaiveld) en de gronden zijn er vrij goed doorlatend. Uit pF-curven die door Kamerling (1974) zijn bepaald kan de vochtberging van deze gronden geschat worden op ongeveer 50 mm. De berging van een dergelijk gebied zou bepaald kunnen worden door debietmetingen van een daartoe geschikte waterloop in dit permanent droge en tijdelijk droge gedeelte.

De enige waterloop in het gebied die duidelijk reageert op neerslag bij een laag zwampeil is de excavatieleiding aan de zwampzijde van de Westelijke Lekbeteugelingsdam (WLD). Het debiet van dit kanaal werd eenmaal per week gemeten nabij de afdamming van de Nannikreek.

In de meetperiode was er tussen de 12de en de 24ste decade een droge periode, waarin het kanaalpeil daalde tot ongeveer NP + 9,30 m. De afvoer van het kanaal langs de dam was tot stilstand gekomen. Na het inzetten van de regenperiode in de 25ste decade kwam de afvoer van het kanaal pas na de 27ste decade op gang (fig. 35). In deze figuur 35 is ook de neerslag min de verdamping van bos weergegeven. De verdampingscijfers hebben betrekking op drasbos en niet onder water staand zwampbos (par. 6.4).

Op het moment dat de afvoer begint op te treden is het neerslagoverschot opgelopen tot ongeveer 100 mm. Deze eerste afvoer komt waarschijnlijk rechtstreeks van het drooggevallen zwampgebied en van de oeverwallen van de Corantijn en niet rechtstreeks uit de zwamp, omdat bij deze lage peilen de waterverplaatsing tussen kanaal en zwamp verhinderd

Fig. 35. Neerslagoverschot ($N - V$) en afvoer ($m^3 s^{-1}$) langs de Westelijke Lekketeugelingsdam.

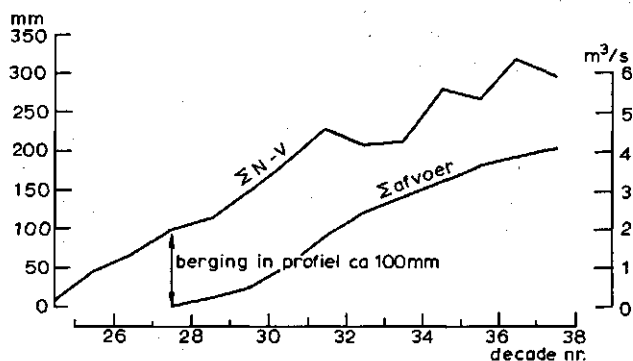


Figure 35. Surplus rainfall (mm) and discharge ($m^3 s^{-1}$) along the Western Drainage Diversion Dike.

wordt door de pegassedam (veen en planteresten uit het gegraven tracé), die aan zwampzijde is opgeworpen (zie ook par. 8.3).

Door de aanhoudende neerslag stijgt het peil in het kanaal tot boven de NP + 10,00 m. Bij dit peil komt uitwisseling voor tussen kanaal en zwamp en begint er ook lek naar de Corantijn op te treden. Uit het afvoerverloop kunnen daarom weinig méér conclusies worden getrokken dan dat de afstroming eerst dan op gang komt, nadat in het droge gebied een berging van circa 100 m heeft plaatsgevonden. Na het voorgaande wordt het aannemelijk dat deze berging bij drasbos vooral in de bodem zetelt en bij zwampbos bestaat uit oppervlakteberging tussen de Cowfoetoës.

Op grond van deze benadering kan de afvoer van het droge gedeelte van de zwamp geschat worden door in een vochtboekhouding een buffercapaciteit van 100 mm op te nemen. Bij overschrijding van deze capaciteit komt het neerslagoverschot tot afvoer. Bij de optimalisering van het model is er nog rekening mee gehouden, dat buien met hoge intensiteit gedeeltelijk direct tot afvoer komen, zonder dat de berging eerst wordt benut. Ook is in het optimaliseringsprogramma de bergingsfactor binnen bepaalde grenzen gevarieerd (par. 7.3). Een eventuele vertraging van de afvoer van de droge naar de natte zwampgedeelten is niet in rekening gebracht.

7.2.3 De toevoer uit het zuidelijk zwampgebied

Naast de toestroming van de droge en tijdelijk droge gedeelten van het zwampgebied, welke afhankelijk is van de neerslag, is er toestroming door de Nannikreek uit het zuidelijk zwampgebied. Het stroomgebied ten zuiden van de ritsen, dat naar de Nannizwamp afvoert, heeft echter slechts een beperkte oppervlakte, zoals in hoofdstuk 4 is uiteengezet; slechts 22% van het gehele zuidelijke gebied voert naar het noorden af. Het overige gedeelte watert thans af naar Corantijn of Maratakka.

De plaats waar de Nannikreek de ritsengordel doorbreekt, is gedurende de onderzoeksperiode (1973 - 1975) vijfmaal bezocht (eerste, derde en zesde decade, 1975-03-03 en 1975-03-18). Geen enkele keer kon het debiet gemeten worden, omdat de stroomsnelheid

beneden de aanloopsnelheid van de Ott-molen bleef. Voor het gevoeligste molentje bedroeg deze snelheid $3,6 \text{ cm s}^{-1}$. Door het grote profiel (ongeveer 160 m^2 ter hoogte van de monding van de Camisakreek) kan de afvoer bij een gemiddelde snelheid van $3,6 \text{ cm s}^{-1}$ nog $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bedragen. Met kleurstof kon wel waterverplaatsing zichtbaar worden gemaakt.

Het reisverslag van Geyskes (1941) vermeldt in dit gebied een zeer zwakke stroming; verder de kreek op is er helemaal geen stroming geconstateerd. Er zijn op deze plaatsen metingen van het Bureau Landelijke Opbouw (1962) bekend (natte tijd 1962). In het betreffende rapport staan meetwaarden vermeld van $3,5$ tot $43,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Hoe deze metingen zijn gedaan staat niet aangegeven. Vermoedelijk zijn drijvers gebruikt, waarmee de stroomsnelheid is bepaald. Uit eigen waarnemingen is gebleken, dat bij deze lage stroomsnelheden en grote open wateroppervlakten de wind veel invloed heeft op de stroming van de bovenste laag, waardoor dit soort metingen minder betrouwbaar kunnen zijn.

Uit het opgestelde rekenmodel blijkt in de meetperiode de afvoer van het zuidelijk zwampgebied niet hoger dan ongeveer $25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ te worden. In het kleinere dwarsprofiel bij Kaaimankreek, ongeveer 15 km verder naar het noorden, is het debiet wel met Ott-molentjes meetbaar. De gemeten afvoeren lagen hier tussen 2 en $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. (metingen 1ste, 3de, 5de, 6de, 19de, 23ste, 35ste, 42ste, 45ste en 48ste decade). Door Roest (1972) werden hier waarden van $16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ gemeld. Door de bufferwerking van het zwampgedeelte tussen Kaaimankreek en Camisamonding en door toevoer uit de aangrenzende delen van de Nannizwamp zullen deze metingen niet representatief zijn voor de debieten van de Nannikreek bij de ritsen.

De afvoer van de zuidelijke zwamp is benaderd door een periode te beschouwen waarin vrijwel geen neerslag viel en waarin het peil van de Nannizwamp zo laag was dat de lek naar de Corantijn verwaarloosd kon worden (14de tot 24ste decade van de onderzoeksperiode). Het peil van de Nannizwamp is in die periode alleen afhankelijk van de onttrekking voor de landbouw, de verdamping en de toevoer uit het zuiden. Uit deze gegevens is de toestroming als sluitpost geschat.

Voorts is uit de topografische gegevens van het op de Nannikreek afwaterende zuidelijk zwampgebied een relatie tussen peil en oppervlakte samengesteld (fig. 36).

Anderzijds kan uit de afvoerformule die door Roest (1972) wordt voorgesteld voor de zuidelijke zwamp het peil en de oppervlakte worden berekend. Deze afvoerformule heeft de vorm $Q = m (h_1 - h_2)$. Hierin is Q de afvoer van de zuidelijke zwamp naar de Nannizwamp, m de afvoercoëfficiënt (door Roest wordt hiervoor $50 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ voorgesteld), h_1 het gemiddelde peil van de zuidelijke zwamp, h_2 het gemiddelde peil van de Nannizwamp. In de gegeven situatie kan uit het peil van de Nannizwamp (h_2) en de afvoer (Q), het peilverloop van de zuidelijke zwamp (h_1) worden berekend voor verschillende waarden voor m .

Dit peilverloop Δh_1 , gecombineerd met het onttrokken volume in een periode Δt ($Q \cdot \Delta t$) en het neerslagoverschot (neerslag MacClemen minus verdamping) levert een oppervlakte van de waterschijf op. In figuur 36 is voor $m = 50$ en voor $m = 75 (\text{m}^2 \text{ s}^{-1})$ het peilverloop tegen de zo berekende oppervlakte uitgezet. Het verloop van de met $m = 50$ berekende peil-oppervlakte-relatie komt qua vorm het beste overeen met de uit de topografie geschatte lijn, maar ligt ongeveer 40 cm lager.

Overigens dient te worden bedacht, dat de coëfficiënt m in beginsel afhankelijk is van de zwamppeilen. Doordat echter deze grootte niet gemeten kon worden, lijkt het niet zinvol om deze grootte als functie van h_1 in het rekenmodel op te nemen.

Het zuidelijk zwampgebied wordt evenals de Nannizwamp direct gevuld uit neerslag en indirect door drooggevallen zwampgedeelten, door afvoer van de ritsen en door afvoer van de noordflank van de oude kustvlakte. De totale oppervlakte van het gebied is $36\,000 \text{ ha}$. Van de afstroming ervan zijn geen waarnemingen. Op grond van de overeen-

Fig. 36. Geschatte en berekende peil-oppeervlakte-relatie van het zuidelijk zwampgebied.

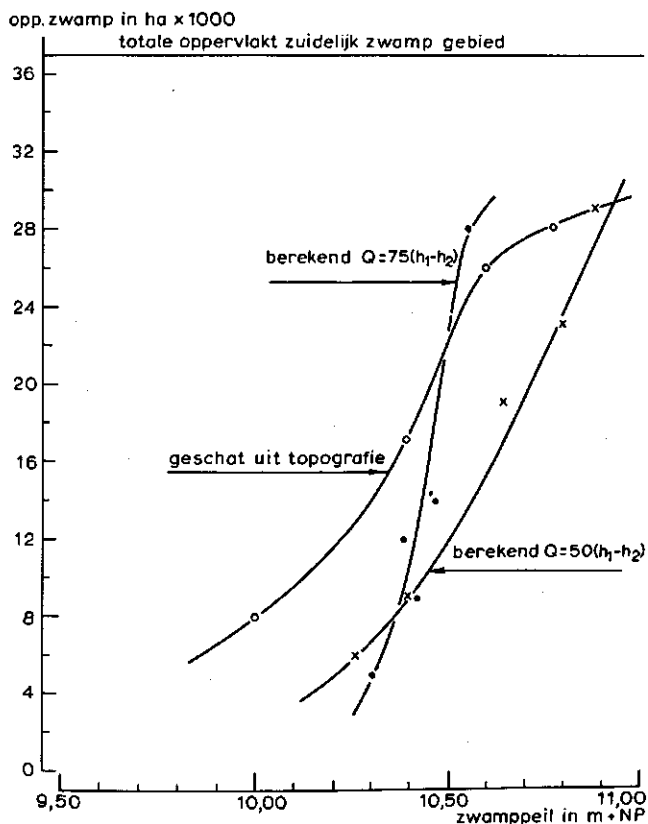


Figure 36. Estimated and calculated relation of level-surface area and water level of the southern swamp area.

komstige topografie en bodem is dezelfde vochtboekhouding als in de vorige paragraaf is beschreven, ook hier toegepast.

Uit de topografische gegevens van de oeverwallen van de Corantijn mag verwacht worden dat uit deze zwamp bij peilen boven NP + 11,00 m (circa NSP + 3,50 m) een belangrijke lek in de richting van de Dalibanekreek en Peperkreek optreedt. Volgens de waterbalansberekening blijkt een dergelijk hoog peil gedurende de meetperiode niet voor te komen. Het rekenmodel voor het zuidelijk zwampgebied omvat zodoende:

- de neerslag van MacClemen (later ook het gemiddelde van de stations Wageningen en Nanni-afdamming;
- de verhouding droog-nat, afhankelijk van het peil;
- de afvoer via de Nannikreek volgens $Q = m \cdot (h_1 - h_2)$.

7.2.4 De verdamping

Voor de bepaling van open waterverdamping zijn in Suriname reeds vele methoden getoetst. Door Lenselink & Van der Weert (1973) zijn een aantal eenvoudige correlatie-

formules gebaseerd op straling, temperatuur, zonneschijn en neerslag vergeleken met verdamping berekend met de formule van Penman (1956).

Met de geselecteerde correlaties is een verdampingskaart van Suriname opgesteld. Het verdampingsverloop in Suriname is ongeveer complementair aan het neerslagverloop. De optredende verschillen zijn echter veel kleiner dan in de regenkaart. Volgens de verdampingskaart heeft het meteostation in de Bernhardpolder ongeveer dezelfde jaarverdamping als de Nannizwamp. Aangezien dit station vanuit de standplaats het gemakkelijkst te bereiken was, zijn de hier gedane waarnemingen gebruikt.

Het meteostation in de Bernhardpolder functioneert ten behoeve van de selectieproeven met rijstrassen. Aanwezig waren een registrerende stralingsmeter, een thermohygrograaf en een regenmeter. De berekening van de dagelijkse verdamping is gebaseerd op de stralingscorrelatie van Kooyman (1971), waarmee de open waterverdamping werd berekend.

In paragraaf 6.4 is beschreven hoe voor een zwampgrasbegroeiing een gewasfactor van 0,9 is bepaald, voor bos (niet onder water) een factor van 0,8 en voor zwampbos onder water een factor 0,65. De verdeling tussen gras en bos is met behulp van de luchtfoto's bepaald. De oppervlakte die met grassen is begroeid bedraagt ongeveer 13 000 ha. De verdeling tussen geïnundeerd en niet geïnundeerd zwampbos is gemaakt met behulp van figuur 34. Daarbij is verondersteld dat zwampbos groeit op het gedeelte dat tijdelijk onder water kan staan, verminderd met de oppervlakte graszwamp.

7.2.5 Waterconsumptie door de landbouw

De wateronttrekking voor de landbouw geschiedt op drie plaatsen uit de excavatiekanalen van de zwampkerende dammen (zie fig. 32). Op twee plaatsen zijn kunstwerken gebouwd: de 'Nanni-afdamming' en 'HA'. Op een derde plaats is een kunstwerk in aanbouw; in de meetperiode stroomde het water aldaar door een opening tussen de dammen, 'profiel 1', naar het consumptiegebied. Een deel van het water dat door 'profiel 1' stroomde, kon weglekken naar de Nickerierivier (dit verlies wordt in 7.2.6 besproken). Om het debiet dat door de kunstwerken stroomde te bepalen, werden deze bij verschillende standen van de beweegbare schuif geijkt. Met de aldus verkregen ijkgrafieken kon het debiet bepaald worden. De waterstanden voor en achter het kunstwerk alsmede de schuifopening werden bij de afdamming dagelijks opgenomen, bij 'HA' tweemaal per week.

Bij de bepaling van de debieten van de Nanni-afdamming werden moeilijkheden ondervonden doordat:

- Peilen voor het kunstwerk kunnen worden beïnvloed door opstuwing. Het krooshek kan, als er veel gras voor drijft, peilverschillen van 25 cm veroorzaken.
- Bij lage peilen worden de schuiven helemaal opgetrokken en is er helemaal geen sprake meer van door het kunstwerk veroorzaakt verval. In deze situatie zijn tweemaal per week debietmetingen uitgevoerd (Ott-molen).

Het debiet bij 'profiel 1' werd bepaald door op een vaste plaats waterdiepte en stroomsnelheid te meten (stroomsnelheid met Ott-molen op zestiende van de waterdiepte) en deze te vermenigvuldigen met een bij het profiel horende constante. Deze profielconstante C werd bij verschillende waterdiepten bepaald uit debietmetingen over het gehele profiel.

$$C = \frac{Q}{V^1 \cdot h^1}$$

met V^1 en h^1 respectievelijk als stroomsnelheid en waterdiepte bij het meetpunt.

Het bleek dat de constante goed reproduceerbaar was en gelijkmatig met de waterdiepte verliep. Bij een waterpeil van NP + 10,50 m (circa NSP + 3,00 m) had C een waarde van 17,0 en bij NP + 9,45 m (circa NSP + 1,95 m) een waarde van 19,4 (deze waarden gelden alleen voor het gebruikte meetpunt).

De som van deze drie debieten, vermeerderd met het debiet dat over de overlaat bij de afdamming stroomt (zie par. 7.2.6), wordt als wateronttrekking in de waterbalans opgenomen. Het gezamenlijke debiet blijkt in de meetperiode te variëren van 7 tot $34 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

7.2.6 Lek

De kom waarin de Nannizwamp is gelegen heeft een inhoud die beperkt wordt door de laagste plaatsen van haar begrenzingen. Bij de afdamming van de Nannikreek in 1965 is een instelbare overlaat gebouwd, waarmee het zwampeil beneden de hoogte van de polderdammen gehouden moet worden. De afvoer karakteristiek van de overlaat is door Roest (1972) gemeten; bij kleine overstorthoogten blijkt zij gevoelig te zijn voor drijvende grasmatten. Het debiet van de overlaat is als onderdeel van de wateronttrekking in de waterbalans opgenomen, omdat het in principe regelbaar is.

Wanneer de overlaat enige tijd werkt, zoals bij de hoge peilen van 1972 na de sluiting van de Oostelijke Lekketeugelingsdam (OLD), blijkt het gebied benedenstrooms van de overlaat zo vol te lopen, dat deze verdrinkt en dat derhalve zijn capaciteit vermindert.

Naast deze 'instelbare laagte' blijkt dat door depressies in het oeverwallencomplex van de Corantijn veel water kan wegstromen als het peil van de zwamp hoger komt dan NP + 10,00 m (par. 5.2.2.3). Voor het kwantificeren van de lek naar de Corantijn is gebruik gemaakt van het eerder gevonden verband:

$$Q = 150 h^{2,8}$$

waarin h het zwampeil is boven NP + 10,00 m, circa NSP + 2,50 m.

De snel toenemende afvoer bij hoge zwampeilen heeft tevens tot gevolg dat er een waterscheiding in de zwamp ontstaat. Ten westen hiervan gaat de afvoer naar de Corantijn en ten oosten ervan blijft de afvoer naar de Nannikreek plaatsvinden. De verschuiving van deze grens kan langs de Westelijke Lekketeugelingsdam worden waargenomen (fig. 37).

Voor de berekening van de waterbalans zou in beginsel ook uitgegaan kunnen worden van een variërend oppervlak boven de NP + 10,00 m (circa NSP + 2,50 m). Hoe de waterscheiding aan de zijde van de ritsen verschuift is echter niet bekend.

Fig. 37. Plaats van de waterscheiding langs de Westelijke Lekteteugelingsdam.

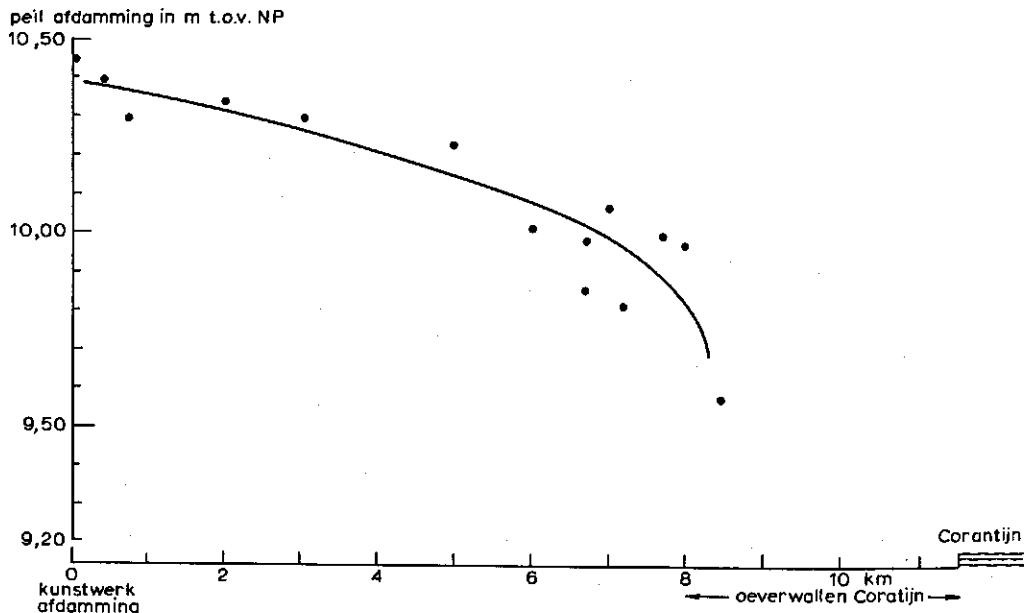


Figure 37. Site of water divide on the Western Drainage Diversion Dike.

Vóór de aanleg van de OLD moet er bij hoge peilen een aanzienlijk lek geweest zijn naar de Nickerierivier. Het door het Bureau Landelijke Opbouw opgestelde rapport ter voorbereiding van de dam spreekt zelfs van 15 tot 45 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Gedurende het onderzoek ontbrak nog een schakel in de OLD, namelijk het kunstwerk in 'profiel 1' (par. 7.2.5). Het door dit profiel uit de zwamp stromend water is gerekend onder 'consumptie door de landbouw'; een gedeelte ervan echter gaat nu nog verloren en vloeit af naar de Nickerierivier. Als het project 'Uitbreiding Groot-Henar-polder' gereed is, zal deze lek niet meer bestaan. Dat hier thans nog lek optreedt kan worden geconcludeerd door er vanuit te gaan dat het watergebruik per oppervlakte-eenheid in het achter 'profiel 1' gelegen poldergebied van Henar vergelijkbaar is met dat in de andere gedeelten van het landbouwgebied, waar het waterverbruik is gemeten. Door de ingezaaide oppervlakten van beide gebieden te vergelijken, kan zodoende van het in 'profiel 1' gemeten debiet het gedeelte dat in de landbouw wordt gebruikt, worden berekend. Het resterende gedeelte moet dan als lek naar de Nickerierivier worden beschouwd (fig. 38). Deze lek blijft evenals die naar de Coratijn sterk peilsafhankelijk te zijn.

Verlies van water door wegzijging is gezien de zeer slecht doorlatende ondergrond en de kleine gradiënten niet waarschijnlijk.

Fig. 38. Lek naar de Nickerierivier als functie van het peil bij de afdamming.

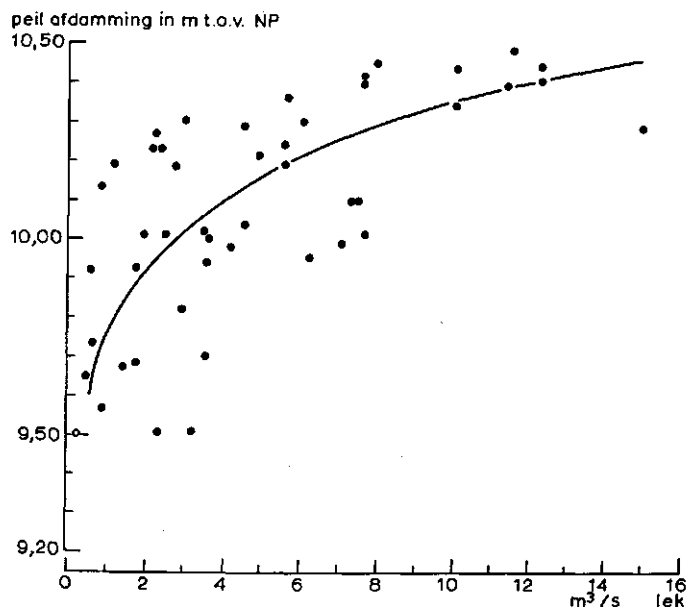


Figure 38. Discharge ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) by leakage into the Nickerie River as a function of the level after empoldering.

7.2.7 Peilveranderingen van het reservoir

Het onderzoek van Roest (1972) maakt voor het eerst melding van het verschil in peil dat er moet bestaan tussen dat van de Nanni-afdamming en het gemiddelde reservoirpeil. Bij het begin van het onderzoek zijn op vijf plaatsen in de zwamp peilschalen geplaatst. Twee daarvan werden langs de Nannikreek geplaatst, waarvan één bij Kaaimankreek en één bij Two Mouth-kreek. Daarnaast werd er een peilschaal geplaatst ongeveer 2 km westelijk van Kaaimankreek. In de eerste maanden konden met het zwampvoertuig deze peilschalen inderdaad regelmatig worden afgelezen. Toen het voertuig minder bedrijfszeker werd, beperkten zich de aflezingen tot per kano bereikbare plaatsen.

Uit de verzamelde peilgegevens bleek, dat langs de excavatieleidingen het peil vrijwel in gelijke mate fluctueert als dat bij de Nanni-afdamming. De Nannikreek vertoont in de eerste 2 - 3 km bovenstrooms van de afdamming een belangrijke vermindering in fluctuatie (zie ook par. 8.2). Het peil bij de Kaaimankreek, het peil 2 km ten westen van de Kaaimankreek en het peil bij de ritsen fluctueerden in veel mindere mate (fig. 39), maar vertoonden onderling een sterke overeenkomst.

Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat bij wateronttrekking de zwamp in twee gedeelten functioneert. Het ene gedeelte omvat de kanalen samen met een deel van de Nannikreek vlak voor de afdamming; bij wateronttrekking daalt hier het peil snel. Het peilverschil dat zo met het tweede gedeelte, de eigenlijke Nannizwamp, ontstaat heeft toestroming naar de kanalen tot gevolg.

Fig. 39. Peilverschillen (Δh) in de excavatieleidingen (Oostelijke en Westelijke Lekbeteugelingsdam) en bij Kaaimankreek uitgezet tegen de peilverschillen bij de Nanni-afdamming ten opzichte van het hoogst gemeten peil.

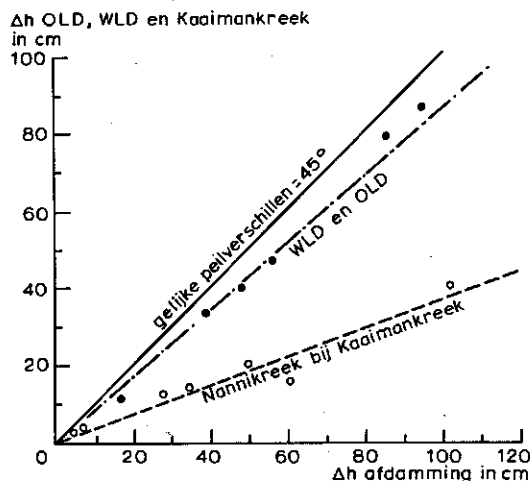


Figure 39. Differences in water level, Δh (cm), in the excavated channels (Eastern and Western Drainage Diversion Dike) and near the Kaaiman Creek expanded against the level differences near the Nanni Dike with reference to the highest measured level.

Het peil bij de Kaaimankreek kon niet eenvoudig door middel van waterpassing worden opgemeten. Een benadering van het peil is enerzijds gemaakt door er van uit te gaan dat bij hoge zwamppeilen de verschillen zeer klein zijn. Anderzijds is in het onderzoek door middel van hydrostatische waterpassing (Waalwijk, 1966) met een plastic slang van 300 m lengte een schatting gemaakt van het verval. Hiertoe werd in de Nannikreek gemeten over trajecten, die open waren en daar, waar het water door grasmatten werd opgestuwd. Het verval werd vooral veroorzaakt door deze grasmatten in ondiepe gedeelten van de kreek.

7.3 REKENMODEL

Met een rekenmodel is de waterbalans dag voor dag doorgerekend. Het doel van het rekenmodel is de berekening van het peil van de Nannizwamp uit de neerslag, verdamping en waterconsumptie door de landbouw. Om het rekenwerk te vergemakkelijken en om de geschatte factoren binnen bepaalde grenzen te kunnen optimaliseren is van het rekenmodel een computerprogramma opgesteld (Sevenhuijsen & Buys, 1975). De optimalisering geschiedde volgens de gewijzigde Rosenbrock-methode (Clarke, 1973).

De in de vorige paragrafen van dit hoofdstuk vermelde factoren zijn op de hierna beschreven wijze in het rekenmodel opgenomen.

7.3.1 De neerslag

- Eerste versie van het model:

Nannizwamp: $(\text{dagtotalen station MacClemen} + \text{Nanni-afdamming})/2$

Zuidelijke zwamp: dagtotalen station MacClemen

- Tweede versie van het model:

Nannizwamp: (dagtotalen station MacClemen + Nanniafdamming + Wageningen)/3

Zuidelijke zwam: dagtotalen station MacClemen

- Derde versie van het model:

Nannizwamp: als in de tweede versie van het model

Zuidelijke zwamp: als Nannizwamp.

Uit de resultaten blijkt dat de derde versie van de invoering van de neerslag de beste resultaten geeft.

7.3.2 De verdamping

De verdamping van open water wordt iedere dag berekend uit de stralingscijfers die zijn opgenomen in het station Bernhardpolder. Deze verdamping wordt gecorrigeerd met de volgende factoren: zwampgrassen 0,90; bossen, niet geïnundeerd 0,80; zwampbossen, geïnundeerd 0,65.

Bij de optimalisering van het model zijn alle factoren met een gelijke factor C bijgesteld. Het bleek dat een C van 0,95 de beste resultaten opleverde.

7.3.3 Afvoer van de droge gebieden

Van de drogen gebieden is een vochtboekhouding bijgehouden. De berekening verloopt volgens:

$$B_n = B_{n-1} + N - V - A$$

waarbij:

B_n = hoeveelheid vocht in de bodem op dag n

B_{n-1} = hoeveelheid vocht in de bodem op dag n-1

N = neerslag op dag n

V = verdamping van het zwampbos (niet geïnundeerd) op dag n

A = oppervlakte-afvoer

De vochtberging in de grond is beperkt tot maximaal 100 mm. (De hoeveelheid vocht in de bodem is in de formule als een negatieve waarde voorgesteld en kan afnemen tot minimaal -100 mm).

Voor A geldt:

$$A = 0, \text{ als } B_{n-1} + N - V \leq 0$$

$$A = B_{n-1} + N - V, \text{ als } B_{n-1} + N - V > 0; B_n \text{ wordt dan } 0$$

A komt nog dezelfde dag tot afvoer.

Bij de optimalisering is de grens van 100 mm bodemvocht binnen zekere grenzen variabel gesteld. Het bleek dat 58 mm de beste resultaten opleverde.

Daarnaast is nagegaan of het model beter werd door van een dag met veel regen (bijvoorbeeld meer dan 20 mm) een deel direct te laten afstromen, ook wanneer het profiel nog niet was verzadigd. Dit leidde echter niet tot verbetering van betekenis.

7.3.4 Afvoer uit het zuidelijk gebied

De verdeling nat-droog is in het rekenmodel ingevoerd als in tabel 17 gegeven. Tussentijdse waarden zijn lineair geïnterpoleerd. De totale oppervlakte van het zuidelijk gebied dat bijdraagt aan de Nannizwamp is overeenkomstig hoofdstuk 4 op ongeveer $36 \cdot 10^3$ ha gesteld.

De dagelijkse afvoer uit het zuidelijk zwampgebied naar het noordelijk gebied wordt berekend met de formule $Q = m (h_1 - h_2)$, waarin m een afvoercoëfficiënt is, h_1 het peil in het zuidelijk gebied en h_2 het peil in de Nannizwamp van de vorige dag.

Bij de optimalisering is de totale oppervlakte en de oppervlakte bij een peil van NP + 10,50 m binnen gekozen grenzen van 32 en 42 respectievelijk 10 en 22 duizend ha gevarieerd. Het bleek dat in het model voor de totale oppervlakte $39,5 \cdot 10^3$ ha en bij een peil van NP + 10,50 m een oppervlakte van $21,2 \cdot 10^3$ ha de resultaten verbeterde.

De factor m is geoptimaliseerd tussen de grenzen 10 en 100; de optimale waarde bleek bij 71,7 te liggen.

De peilverandering in de zuidelijke zwamp wordt berekend met de waterbalans:

$$\Delta h = N - V + A - Q$$

waarbij:

N = de neerslag (zie hiervoor neerslag)

V = de verdamping (zwampbos)

A = afvoer van droge delen (zie gedeelte afvoer droge gebieden)

Q = afvoer naar de Nannizwamp.

7.3.5 Lek uit de Nannizwamp naar de Corantijn

De lek naar de Corantijn is berekend uit de formule die in hoofdstuk 5 bepaald is:

$$Q = 150 h^{2,8}$$

Tabel 17. Zwampoppervlakte bij verschillende peilen in het zuidelijk gebied.

Peil (NP (m))	9,50	9,70	9,85	10,50	11,00
Oppervlakte zwamp (ha. 10^3)	2,4	2,9	5,0	16,0	32,0

Table 17. Swamp surface at various levels in the southern area.

Tabel 18. Zwampoppervlakte bij verschillende peilen in het Nannizwampgebied.

Peil (NP (m))	9,10	9,50	9,70	10,00	10,50
Oppervlakte zwamp (ha.10 ³)	4,0	9,0	12,8	26,0	48,0

Table 18. Swamp surface at various levels in the Nanni swamp area.

waarbij h = het peil van de zwamp boven de NP + 10,00 m.

De coëfficiënt van 150 is binnen de grenzen 110 en 200 geoptimaliseerd op 145. De exponent 2,8 bleek bij optimalisering niet noemenswaardig te veranderen.

7.3.6 Peilverandering in de Nannizwamp

De verdeling droog-nat in het Nannizwampgebied is ingevoerd als in tabel 18.

Tussenliggende waarden worden lineair geïnterpoleerd. De totale oppervlakte van het gebied is overeenkomstig hoofdstuk 4 geschat op circa 54 000 ha.

Bij de optimalisering zijn voor de totale oppervlakte van het gebied de grenzen tussen 48 en 56.10³ ha gehouden. Evenzo is de oppervlakte bij een peil van NP + 10,00 m en NP + 10,50 m geoptimaliseerd. De waarden die het beste voldeden waren:

totaalgebied 56,0 . 10³ ha

bij peil van NP + 10,50 m 55,8 . 10³ ha

bij peil van NP + 10,00 m 17,1 . 10³ ha

Hieruit blijkt dat de bovengrenzen vermoedelijk te laag waren gesteld. Met de gekozen grenzen tussen het Nannizwampgebied en het zuidelijk zwampgebied is echter geen groter oppervlak voor de Nannizwamp meer mogelijk.

Met deze peil-oppervlakterelatie kan de peilverandering in de Nannizwamp volgens de eerder genoemde waterbalans worden berekend:

$$\Delta H = N + A + Q_b - V - C - Q_1$$

Zoals reeds in paragraaf 7.1 is vermeld, is hierbij de expliciete methode gevolgd. Daar de veranderingen die per dag optreden, klein zijn, hoeft dit niet tot onaanvaardbare onnauwkeurigheden te leiden.

7.3.7 Samenvatting

In de onderstaande tabel 19 zijn de geoptimaliseerde parameters samengevat. Als criterium van optimalisering werd de standaardafwijking van de berekende zwampeilen en de gemeten zwampeilen gebruikt.

De startwaarden gaven een standaardafwijking van 0,067 in de eerste versie van het programma. Vervanging van de gebedsneerslag in het noorden door het gemiddelde van de drie stations Nanni-afdamming, MacClemen en Wageningen-dorp deed de standaardafwijking

Tabel 19. Samenvatting van de geoptimaliseerde parameters.

	Start- waarde	Onder grens	Boven grens	Definitieve waarde
Bergingscapaciteit in het droge profiel van drooggevallen zwampgedeelten (mm)	100	150	30	57,9
Afvoercoëfficiënt zuidelijk zwamp ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$)	50	10	100	71,7
Correctie van de verdampings- factoren van de begroeiing	1,00	0,80	1,20	0,95
Coëfficiënt van de lek ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2,8}$)	150	100	200	145
Oppervlakte Nannizwamp bij peil NP + 10,00 m ($\text{m}^2 \cdot 10^7$)	26	17	37	17,1
Oppervlakte Nannizwamp bij peil NP + 10,50 m ($\text{m}^2 \cdot 10^7$)	48	40	56	55,8
Totale oppervlakte Nannizwamp ($\text{m}^2 \cdot 10^7$)	54	48	56	55,9
Oppervlakte zuidelijk zwamp bij peil NP + 10,50 ($\text{m}^2 \cdot 10^7$)	16	10	22	21,2
Totaal oppervlakte zuidelijk zwamp ($\text{m}^2 \cdot 10^7$)	36	32	42	39,5
Standaardafwijking	0,067			0,044

Table 19. Summary of optimized parameters.

voor de oorspronkelijke waarden van de parameters dalen tot 0,065. Door optimalisering kon de standaardafwijking teruggebracht worden tot 0,055 m.

Voor de derde versie, waarbij voor de neerslag voor het zuidelijk gebied die van de Nannizwamp in de tweede versie werd gekozen, bedroeg de standaardafwijking nog 0,044 m. In figuur 40 staan de berekende en gemeten waterhoogten afgebeeld.

Toetsing van het model aan waarnemingen die niet bij de modelopstelling zijn gebruikt, wordt beschreven in paragraaf 8.7.

Fig. 40. Gemeten en berekende peilen bij Kaaimankreek.

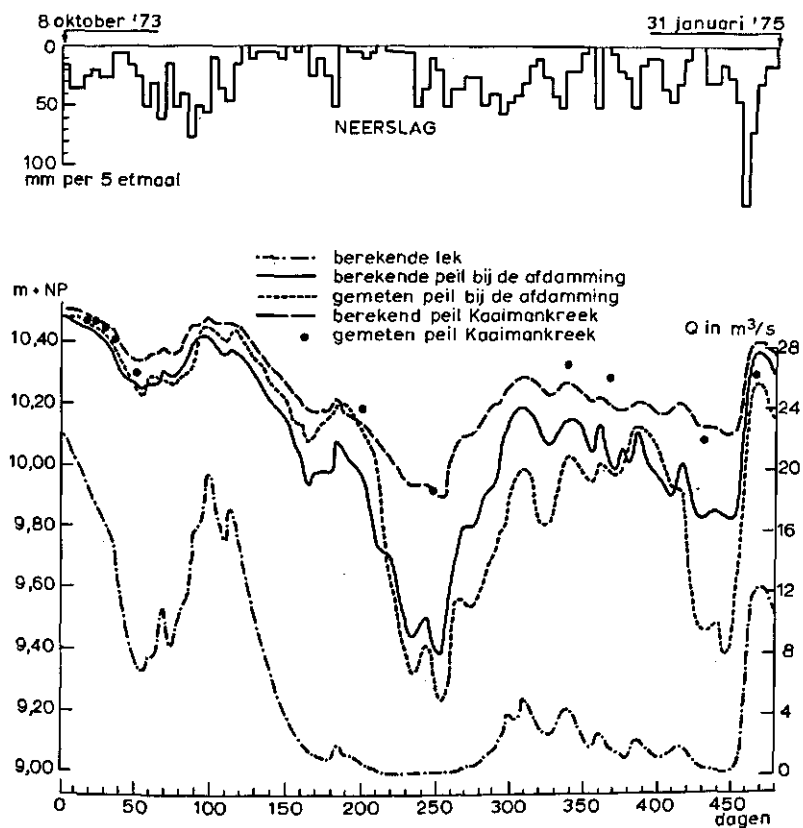


Figure 40. Measured and calculated levels of water near Kaaiman Creek.

8 Toestroming naar de onttrekkingspunten

8.1 INLEIDING

Het water uit de zwamp stroomt via de Nannikreek en de excavatiekanalen van de lekbetegelingsdammen naar de inlaatkunstwerken. Om de toestroming nader te bestuderen zijn er in deze waterlopen peilen en debieten gemeten en watermonsters verzameld. Deze waterlopen vormden de toegangswegen tot de zwamp, zodat ook de vegetatiekundige waarnemingen en andere terreinopnamen hierlangs werden gedaan.

8.2 DE NANNIKREEK

Van de Nannikreek zijn lengteprofielmetingen bekend van Sniphout uit 1921 en van Geyskes (1941) (fig. 6). Ook gedurende dit onderzoek zijn peilingen in de kreek uitgevoerd (fig. 41). Het blijkt dat de diepte varieert van circa 3,5 m bij de monding tot ongeveer 1,5 meter bij de afdamming; daarna neemt zij weer toe tot circa 6 m diepte vlak voor de ritsen beginnen. In het traject door de ritsen neemt de diepte weer af tot circa 2,5 m. Dit verloop moet in verband worden gebracht met de oude kustlijnen (ritsen), het getij en de opslibbing.

De diepte bij de monding wordt in stand gehouden door het getij. Bij het binnenstromen van het getij wordt slib aangevoerd dat tot bezinking komt. Door de afdamming voert de kreek hiervan weinig meer af. De kreek wordt daarom vanaf de monding snel ondieper. Ten tijde van hoge zwampeilen, wanneer de overlaat in werking komt, wordt hierdoor de afvoer naar de Corantijn gestremd, zelfs zodanig dat de overlaat 'verdrongen' raakt (par. 7.2.6).

Fig. 41. Bodemligging en waterspiegel in de Nannikreek.

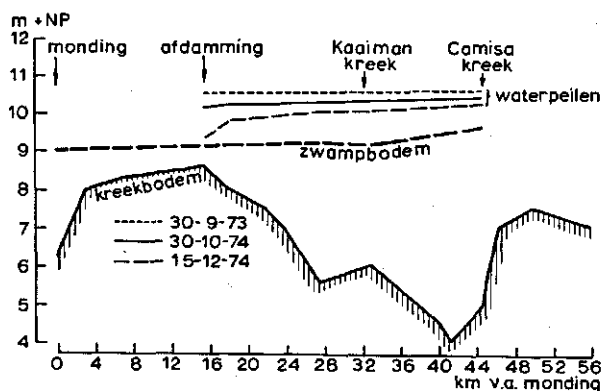


Figure 41. Bottom profile and water level in the Nanni Creek.

Op de plaats waar de afdamming is gebouwd wordt zand in de bodem gevonden; een aanwijzing voor een oude strand- of oeverwal. Uit luchtfoto's blijkt dat de kreek hier vroeger breder is geweest als gevolg van deze ondiepte. Bovenstrooms van de huidige afdamming wordt de kreek nog over een lengte van ongeveer 4 km begeleid door oeverwallen. Deze moeten eveneens zijn ontstaan door aanvoer van slib uit het Corantijnestuarium.

In de ontstaansperiode van de jonge kustvlakte moet de kreek een groter debiet gehad hebben, getuige de grote diepte in het traject tussen de afdamming en de ritsen. Door gedeeltelijke rivieronthoofding en opstuwing van de kreek zijn het afvoervolume en de stroomsnelheid sterk verminderd (zie ook hoofdstuk 4). Deze situatie heeft tevens tot gevolg gehad, dat de kreek geleidelijk is gaan dichtgroeien.

De gemeten peilverschillen langs de kreek zijn voor hoog, laag en gemiddeld peil in het lengteprofiel (fig. 41) weergegeven. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat bij lage peilen het verhang over de eerste 4 km bovenstrooms van de afdamming groot is. Daarna neemt het geleidelijk af. Dit effect moet toegeschreven worden aan de opstuwing die veroorzaakt wordt door grasmatten in het ondiepe gedeelte van de kreek. Wanneer door peildaling deze matten op de kreekbodem komen te liggen, veroorzaken zij opstuwing. Zakt het water beneden de hoogte van de oeverwallen van de kreek dan wordt deze opstuwing nog groter.

Is bij de afdamming het peil boven NP + 10,00 m dan treedt een geringer verhang op, terwijl bij hoge peilen de waterspiegel bijna vlak is. Dit wordt veroorzaakt door een combinatie van een kleinere stromingsweerstand, een groter nat profiel van de kreek en stroming door de zwamp. Wordt voor dit traject een ruwheidsfactor van Manning berekend (K_m), dan blijkt K_m te variëren van $7 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ bij lage peilen tot $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ bij hoog peil.

Ongeveer 4 km voor de afdamming is loodrecht op de Nannikreek een raai uitgezet, waarin drie peilschrijvers op een onderlinge afstand van ongeveer 500 meter waren geplaatst. De opzet was om langs deze raai het ontstaan van een peilverloop naar de kreek toe te volgen bij verschillende maten van wateronttrekking. Gedurende het eerste halfjaar van het onderzoek, toen de zwampeilen hoog waren, bleek er tussen de punten geen meetbaar peilverschil te ontstaan.

Bij laag peil komen in dit gedeelte van de kreek oeverwallen boven water, die de toestroming van de zwamp naar de kreek belemmeren. Toestroming naar de kreek is in die situatie geconcentreerd op die plaatsen waar de oeverwallen zijn onderbroken.

Door de brede en onduidelijke kreekbedding was het niet mogelijk om het debiet van de Nannikreek voor de afdamming te meten. De afvoer kon alleen geschat worden uit de in de excavatieleidingen en in het kunstwerk gemeten debieten. Bij de Kaaimankreek zijn wel debietmetingen uitgevoerd. Door de zich steeds verplaatsende grasmatten zijn de metingen echter niet erg betrouwbaar. Er blijkt weinig verband te bestaan tussen het debiet bij de afdamming en dat bij de Kaaimankreek.

Bij de tochten over de Nannikreek zijn ook watermonsters genomen (tabel 20). Het blijkt dat van het zuiden naar het noorden de pH iets toeneemt en het gehalte aan mineralen weinig verandert.

Tabel 20. pH en concentratie van K^+ , Na^+ , Ca^{2+} en Mg^{2+} ($mg\ l^{-1}$) in het water, bemonsterd op verschillende plaatsen in de Nannizwamp.

Plaats	pH	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Nannikreek bij ritsen	4,4 (4,4)	0,4	7,7	0,6	0,7
Bigidraai	4,9 (5,0)	0,5	8,2	0,4	0,7
Kaaimankreek	4,9 (5,1)	0,5	8,9	0,6	0,8
Afdamming	5,3 (5,3)	1,0	7,0	0,6	0,8
Westelijke Lekketeugelingsdam	6,0	1,3	6,2	1,4	1,4
Oostelijke Lekketeugelingsdam:					
km 33	5,9	1,3	13,8	2,0	1,8
km 18	6,2	1,4	11,4	2,3	1,7
km 4	5,5	1,9	17,5	4,1	2,4
Ten noorden van de Oostelijke Lekketeugelingsdam	6,7	10,7	128	12,4	5,2

Opm. De gegevens tussen haakjes zijn die van Geyskens.

Table 20. pH and mass concentration of K^+ , Na^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} ($mg\ litre^{-1}$) in water from different places in the Nanni Swamp.

8.3 KANALEN LANGS DE OOSTELIJKE EN WESTELIJKE LKKBETEUGELINGSDAM (OLD EN WLD)

De excavatieleiding aan de zuidkant van de OLD vormt een aanvoerkanaal vanaf de 'voet' van de ritsen naar het onttrekkingsgebied. Het kanaal is gegraven volgens het in figuur 42 weergegeven profiel. Bij de aanleg van de dam is de vegetatie samen met planteren aan de zuidkant van het kanaal opgeworpen tot een zogenaamde pegassedam. Om toestroming uit de zwamp naar het kanaal mogelijk te maken zijn er om de 200 m coupures van ongeveer 20 m gemaakt. In het kanaal wordt regelmatig de drijvende begroeiing verwijderd.

Op zeven plaatsen langs dit kanaal zijn peil- en debietmetingen gedaan bij verschillende peilsituaties in de zwamp. In figuur 43 zijn de debieten en peilen weergegeven op verschillende plaatsen langs het kanaal (van km 4 bij de ritsen tot km 33 aan het einde van de dam). Het blijkt dat bij hoge peilen de toestroming het grootst is en ook het gelijkmatigst. Bij lagere peilen van het kanaal blijkt de toestroming minder groot te zijn en onregelmatiger te overlopen.

Wordt over de verschillende trajecten de toestroming uit de zwamp per km uitgezet, dan blijkt deze bij laag peil soms negatief te kunnen zijn (fig. 43). Blijkbaar vindt plaatselijk een tijdelijke voeding van zwampgedeelten uit het kanaal plaats. Het traject van km 13 tot km 4 blijkt altijd een positieve bijdrage te leveren. Deze situatie wordt teruggevonden in het verloop van de verhanglijnen, die eveneens in figuur 43 zijn weergegeven. In dezelfde figuur is ook de zwampbodem ten zuiden van het kanaal weergegeven. Het laagste gedeelte van de zwamp blijkt voor de ritsen te liggen. Bij het laagst

Fig. 42. Excavatatieprofiel van de Oostelijke Lekketeugelingsdam nabij km 25.

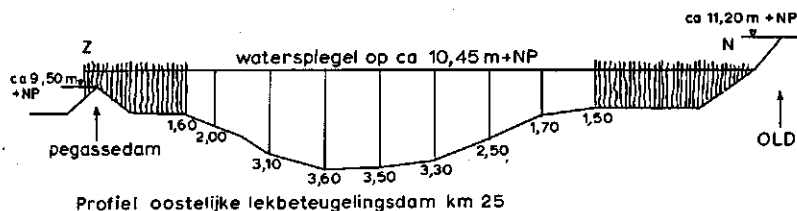


Figure 42. Profile of the Eastern Drainage Diversion Dike near 25 km.

Fig. 43. Verhang, toestroming ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) en waterkwaliteit (pH, Na^+ -concentratie) bij verschillende kanaalpeilen. — hoog peil; — gemiddeld peil; ---- laag peil.

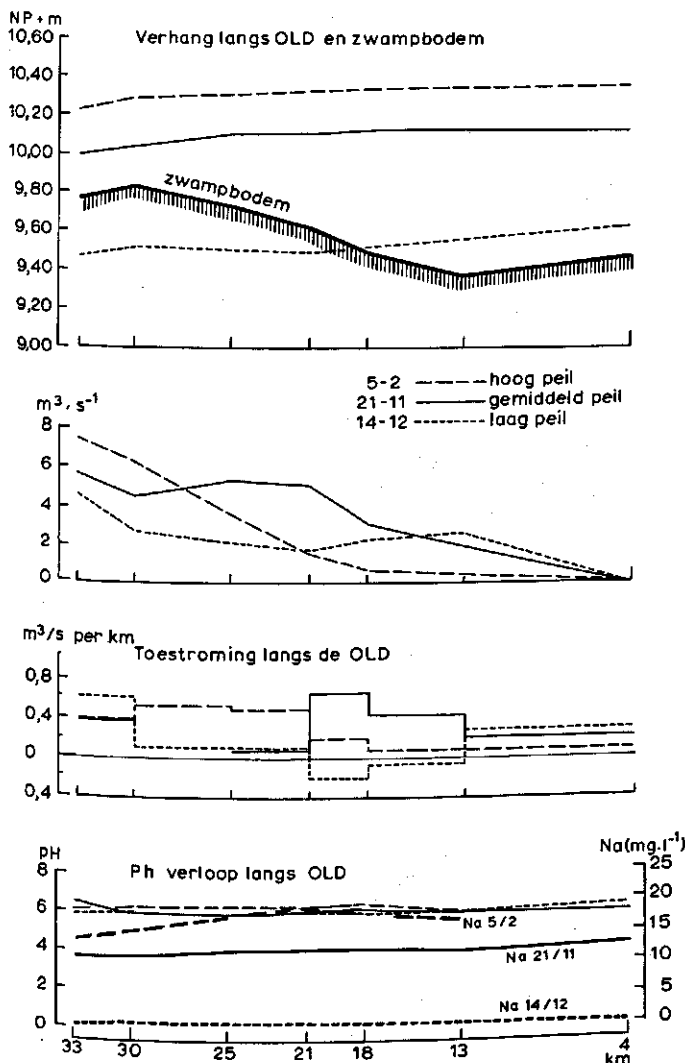


Figure 43. Slope, discharge ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) and water quality (pH, mass concentration of Na^+) at various channel levels. — high level; — average level; ---- low level.

gemeten kanaalpeil valt de zwamp tussen km 33 en km 18 zo goed als droog. Het is dan begrijpelijk dat in die situatie de aanvoer alleen uit het laagste gedeelte kan komen.

Uit allerlei verschijnselen (afsterven van zwampbossen, voorkomen van Cowfoetoes op plaatsen die daarvoor thans te nat zijn) blijkt dat de waterstanden in dit gebied sinds de aanleg van de OLD aanzienlijk zijn verhoogd.

Het debiet en het peilverloop in het kanaal ten zuiden van de WLD zijn reeds in hoofdstuk 7 besproken in verband met de lek naar de Corantijn. Uit de peilgegevens die langs de Nannikreek, de WLD en de OLD zijn verzameld, gecombineerd met de topografische gegevens (par. 3.4.3 en 7.2.7) kan voor hoog- en laagpeilsituaties de vermoedelijke waterverplaatsing in de Nannizwamp worden geschetst (fig. 44).

Fig. 44. Schematische weergave van de waterverplaatsing in de Nannizwamp in hoog en laag peilsituatie.

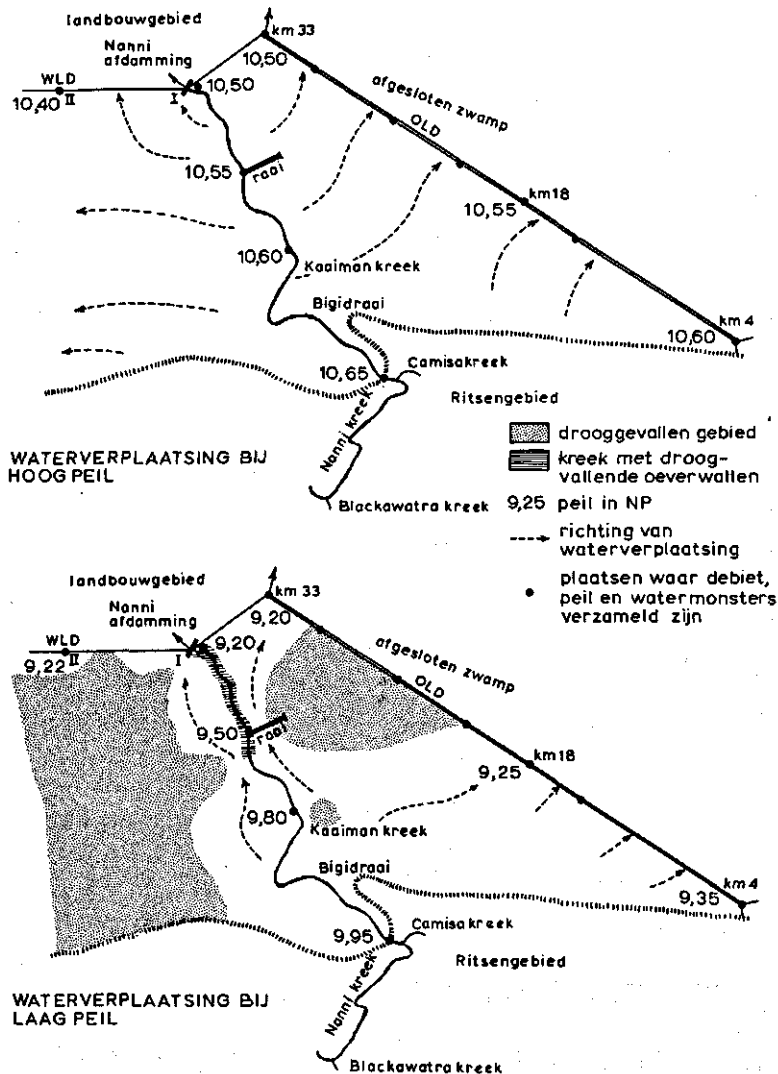


Figure 44. Scheme of water movement in the Nanni Swamp at high and low water levels.

In de tweede helft van de onderzoeksperiode zijn tegelijk met de debietmetingen watermonsters genomen. In figuur 43 zijn enkele van de analyseresultaten van deze bemonstering langs de OLD weergegeven voor gemiddelde, lage en hoge peilsituaties op de respectieve data van 1974-11-21, 1974-12-14 en 1975-02-05. Het verloop van de pH is vrij gelijkmatig; het natriumgehalte verloopt sterk.

In tabel 20 zijn de gemiddelde samenstellingen vermeld in watermonsters die ten noorden van de OLD zijn genomen. Vergelijkt men de samenstelling van het zwampwater met die van het water van de afgesloten zwamp ten noorden van de OLD, dan blijkt zeer duidelijk hoe groot de invloed van de waterverplaatsing binnen de zwamp is. De samenstelling ten noorden van de OLD is alleen afhankelijk van de indamping en verdunning (door neerslag) van de ter plaatse uit de bodem opgeloste stoffen.

8.4 BEREKENING VAN DE TOESTROMING

Zoals in paragraaf 7.2.7 is geconcludeerd uit peilwaarnemingen in de Nannizwamp, functioneert het reservoir bij de wateronttrekking voor de landbouw in twee gedeelten. Eén gedeelte omvat de eerste drie kilometers van de Nannikreek en de excavatiekanalen die ontstaan zijn aan de zwampzijde van de polderdammen. Aan dit gedeelte wordt direct water onttrokken. Het tweede omvat de Nannizwamp zelf. Onder invloed van een peilverschil tussen deze twee gedeelten stroomt er water uit de zwamp naar de onttrekkingspunten.

Voor het bepalen van de irrigatiemogelijkheden uit de zwamp moet het debiet, dat onttrokken kan worden, worden benaderd. Om een berekening hiervan mogelijk te maken is het volgende model gebruikt: de Nannizwamp wordt voorgesteld door een reservoir R_1 met een oppervlakte O_1 en een waterpeil y . Dit peil kan benaderd worden uit de waterbalans zoals die in hoofdstuk 7 is opgesteld. Het stelsel waterlopen door een reservoir R_2 met een oppervlakte O_2 en een waterpeil x . Deze twee reservoirs zijn verbonden via een capillair, waardoor een debiet q van R_1 naar R_2 stroomt als $y > x$. Uit het reservoir R_2 wordt een debiet Q onttrokken (het voor de landbouw noodzakelijke debiet). Hierdoor daalt het peil x , waarop toestroming uit het reservoir R_1 volgt. Er wordt aangenomen, dat O_1 , O_2 en Q gedurende een dag een constante waarde hebben.

Uit deze schematische voorstelling kan een verband tussen q , O_1 , O_2 , Q , x en y worden opgesteld. Met de beschikbare gegevens zal worden nagegaan, hoe snel de toestroming van R_1 naar R_2 zich aanpast aan de onttrekking Q .

$$q = m(y-x) \quad (\text{stromingsvergelijking})$$

$$qdt = -O_1 dy \quad (\text{volumevergelijking } R_1)$$

$$(q-Q)dt = O_2 dx \quad (\text{volumevergelijking } R_2)$$

Om de berekening te vereenvoudigen is aangenomen dat m een constante waarde heeft, zolang het waterpeil niet te veel varieert.

Uit deze vergelijkingen kan de volgende differentiaalvergelijking worden opgesteld:

$$\frac{dq}{dt} + Aq = B$$

$$\text{met } A = \frac{m(0_1+0_2)}{0_1 \cdot 0_2} \text{ en } B = m \frac{Q}{0_2}$$

Deze lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde heeft als algemene oplossing:

$$q = \frac{B}{A} + C e^{-At}$$

Uit de randvoorwaarden $t=0$, $x=y$, $q=0$
 $t>0$, Q constant

volgt de oplossing:

$$q = \frac{B}{A} (1 - e^{-At})$$

$$\text{Als } t \rightarrow \infty, q \rightarrow \frac{B}{A}, \text{ waarbij } \frac{B}{A} = \frac{0_1}{0_1+0_2} \cdot Q$$

$$\text{bij } 0_1 \gg 0_2 \quad q \rightarrow Q$$

De karakteristieke tijd van de toestroming q uit de zwamp is $T = 1/A$. Dit is een maat voor de aanpassingssnelheid van het systeem op snelle veranderingen.

In situaties met hoog peil:

$$\begin{aligned} 0_1 &= 50\,000 \text{ ha} \\ 0_2 &= 30 \text{ ha} \\ m &= 300 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ (zie paragraaf 8.6)} \end{aligned}$$

wordt $1/A = T = 16,7$ minuten.

Bij een Q van $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ is na 1 dag het peil in R_1 gedaald met slechts $0,0034 \text{ m}$; deze zeer geringe verandering rechtvaardigt achteraf het als constant beschouwen van m in de berekening van T .

In gemiddelde peilsituaties:

$$\begin{aligned} 0_1 &= 35\,000 \text{ ha} \\ 0_2 &= 30 \text{ ha} \\ m &= 60 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

wordt $1/A = T = 82$ minuten

In situaties met laag peil:

$$\begin{aligned} 0_1 &= 9000 \text{ ha} \\ 0_2 &= 30 \text{ ha} \\ m &= 20 \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

wordt $1/A = T = 249$ minuten.

Fig. 45. Berekende toestroming (q) uit de zwamp naar de excavatiekanalen bij verschillende peilen als percentage van het onttrokken debiet Q_1 . (bij $t = 0$, $q = 0$).

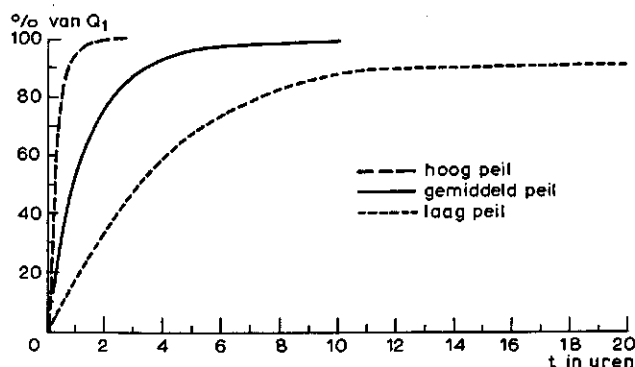


Figure 45. Calculated discharge (q) from the swamp into the excavated channels of various levels as a fraction of discharge Q_1 . (for $t = 0$, $q = 0$).

In figuur 45 is het verloop weergegeven van de toestroming van de zwamp naar de kanalen, zoals dat met de formule berekend kan worden. Duidelijk blijkt, dat de aanpassing van de toestroming bij lage peilen langzamer geschiedt dan bij hoge peilen. De berekening van het peil bij de afdamming, waarbij per dag de toestroming als stationair wordt beschouwd, blijkt voor hoge en gemiddelde peilen goede resultaten te geven, terwijl bij de lage peilen nog geen grote problemen ontstaan.

8.5 AFVOERCOEFFICIENT

Bij een dag voor dag berekening wordt gebruik gemaakt van de vereenvoudigde formule:

$$q = m (h_{\text{zwamp}} - h_{\text{kanaal}})$$

Hierin kan m gedurende één dag als constant worden beschouwd (zie par. 8.4), maar over een langere periode verandert deze grootte sterk.

Met deze formule kan gemakkelijk het peilverschil worden berekend voor een gewenst debiet q . Voor het bepalen van m zijn waarnemingen beschikbaar van het peil bij de Nanni-afdamming en van het aan de zwamp onttrokken debiet Q .

De waarnemingen bij Kaaimankreek kunnen worden uitgebreid met de uit de waterbalans berekende peilen. Brengt men $\Delta h (= h_{\text{zw.}} - h_{\text{kan.}})$ en Q in grafiek, dan blijkt m sterk afhankelijk te zijn van het reservoirpeil (fig. 46a). In figuur 46b is $Q/\Delta h (= m)$ tegen het reservoirpeil uitgezet (voor de gemeten peilverschillen). Bij hoge peilen ($> NP + 10,30$ m) behoort een $m > 150 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; bij lage peilen ($< NP + 10,00$ m) hoort een m van ongeveer $20 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$.

De grote spreiding van de punten moet waarschijnlijk worden toegeschreven aan:

- meetfouten in $h_{\text{zw.}}$, $h_{\text{kan.}}$ en Q ;
 - veranderingen in toestromingsweerstand als gevolg van verandering in de vegetatie.
- Vooraf bij snelle fluctuaties van het peil is de vegetatie niet in evenwicht met de

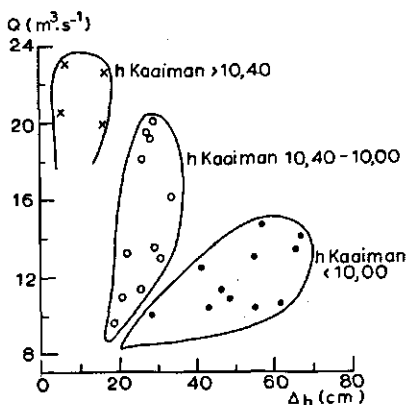


Fig. 46a. Onttrokken debiet bij verschillende peilverschillen, Δh , tussen Kaaimankreek en Nanni-afdamming.

Figure 46a. Discharge for irrigation at various level differences, Δh , between Kaaiman Creek and Nanni dam.

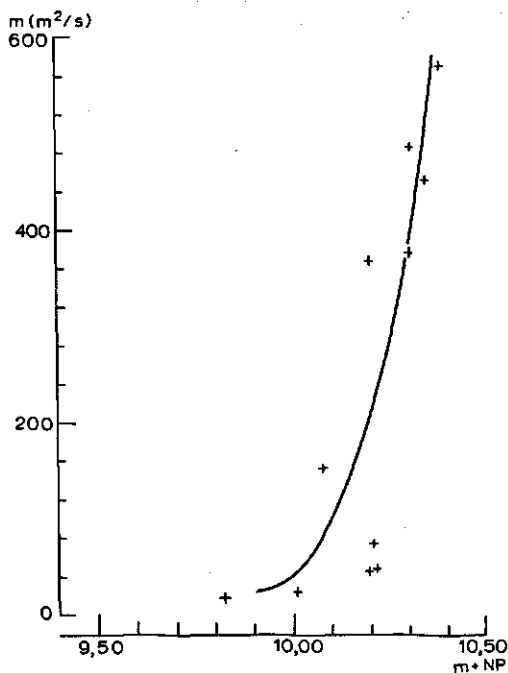


Fig. 46b. Afvoercoëfficiënt m bij verschillende gemeten peilen van Kaaimankreek, $m + Q/\Delta h$.

Figure 46b. Drainage coefficient m at various measured levels of Kaaiman Creek, where $m = Q/\Delta h$.

waterdiepte (par. 6.2.1);

- een te eenvoudige benadering van de stroming.

8.6 BEREKENING VAN HET PEIL BIJ DE AFDAMMING

Het in hoofdstuk 7 genoemde rekenmodel is uitgebreid voor de berekening van het peil bij de afdamming. De gehanteerde waarden voor m zijn in tabel 21 vermeld. Voor tussenvallende peilen werd m lineair geïnterpoleerd.

De met deze waarden berekende peilen bij de afdamming zijn daarna vergeleken met de gemeten waarden. De standaardafwijking bleek ongeveer 15 cm te bedragen.

De waarden van m zijn daarna binnen bepaalde grenzen geoptimaliseerd om een zo klein

Tabel 21. Waarden van de afvoercoëfficiënt $m \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$ bij verschillende zwampeilen.

Peil (NP in meters)	9,90	10,00	10,20	10,40
m voor optimalisering	21	25	60	300
m na optimalisering	21,2	25,4	60,3	318,0

Table 21. Drainage coefficient, $m \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$, for different swamp levels.

mogelijke standaardafwijking te verkrijgen; deze bleek toen nog 13 cm te bedragen. De gemeten en berekende peilen zijn in figuur 40 weergegeven. De optimalisering geschiedde door de standaardafwijking van gemeten en berekend peil bij de afdamming te minimaliseren. Hierbij werd hetzelfde optimaliseringsprogramma gebruikt als in hoofdstuk 7.

8.7 TOEPASSING VAN DE BEREKENING VOOR EEN PERIODE, DIE NIET BIJ DE MODELOPSTELLING IS GEBRUIKT

Teneinde vast te stellen, of het model ook buiten de periode waarvoor het geoptimaliseerd is, redelijke resultaten geeft, werd een periode waarvan de gegevens nog niet waren gebruikt, doorgerekend. Roest (1972) heeft voor de periode 1971-12-05 tot en met 1972-04-30 gegevens verzameld over neerslag, verdamping, wateronttrekking en het peil bij de Nanni-afdamming. Er zijn over die periode geen gegevens bij de Kaaimankreek bekend.

De voor deze periode berekende waterhoogten bij de afdamming zijn weergegeven in figuur 47, tezamen met de gemeten waterstanden. Het blijkt dat de overeenkomst goed is. De standaardafwijking voor berekende en gemeten waterhoogten bij de afdamming bedroeg voor deze periode 0,070 m.

8.8 SAMENVATTING

Het berekende peilverloop van het Nannireservoir benadert het waargenomen peil met een standaardafwijking van ongeveer 4,4 cm (hoofdstuk 7). Het traject van de peilfluctuatie bedroeg in de ijkingsperiode ongeveer 65 cm. Gezien de eenvoudige middelen en beperkte gegevens waarmee de verschillende factoren in de waterbalans zijn benaderd, is dit resultaat vrij goed te noemen. De berekening van het peilverschil tussen de zwamp en de Nanni bij de afdamming, nodig om een bepaalde toestroming te verkrijgen, levert een grotere standaardafwijking op, namelijk circa 13 cm. De peilen bij de afdamming hebben in de ijkingsperiode een fluctuatie van ongeveer 1,25 m. Eenzelfde berekening, uitgevoerd met de bij de opstelling van het model niet in beschouwing genomen metingen over een periode van 150 dagen, leverde goede resultaten op.

Afwijkingen in reservoirpeilberekening en toestromingsberekening treden vooral op in perioden met snelle peilverandering. In deze situaties is de vegetatie van drijvende grassen, die de stromingsweerstand belangrijk beïnvloedt, niet in evenwicht met de waterdiepte (zie ook par. 6.2, beschrijving van het proces). Daarnaast is de stationaire benadering van peilverschillen, van dag tot dag berekend, bij lage peilen minder bruikbaar door de vrij hoge karakteristieke tijd.

Fig. 47. Toetsing van het rekenmodel voor een periode van circa 5 maanden die niet bij de modelopstelling was gebruikt.

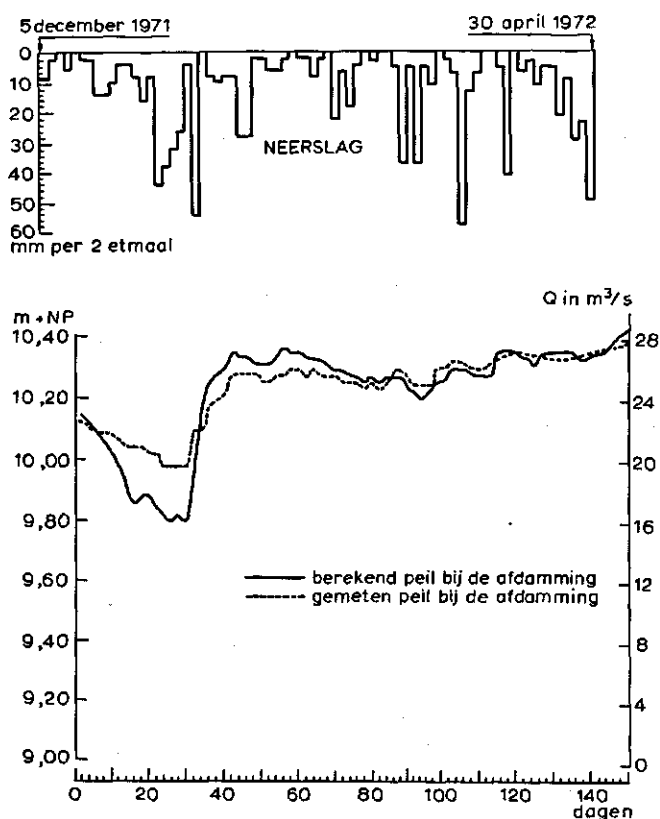


Figure 47. Test of the calculation model on data from a period of about 5 months not used in making the model.

De sterk toenemende stromingsweerstand bij lage peilen kan de mogelijkheden tot onttrekking van water aan het reservoir sterk beperken (par. 10.5.1).

9 Toepassing van het model voor de bepaling van de irrigatiemogelijkheden uit de Nannizwamp en voor de verbetering van de reservoir eigenschappen

9.1 INLEIDING

Met behulp van de waterbalans, beschreven in hoofdstuk 7, kan de watervoorraad in de Nannizwamp worden berekend uit de neerslag en de onttrekking voor de irrigatie van het landbouwgebied. Voor de toestroming naar het landbouwgebied blijkt een zeker peilverschil tussen de zwamp en de onttrekkingspunten noodzakelijk te zijn. Dit peilverschil blijkt enerzijds afhankelijk te zijn van het gewenste debiet en anderzijds van het peil in de zwamp zelf (hoofdstuk 8). Daarnaast treedt boven een peil van NP + 10,50 m een waterverlies naar de Corantijn op. In principe zou bij deze reservoir eigenschappen een watergebruik passen, dat hoog is in perioden van een hoog zwamppeil.

Zoals hierna zal blijken is daarentegen het watergebruik vooral afhankelijk van de eisen die het geïrrigeerde gewas stelt. Het groeiseizoen van rijst is bijvoorbeeld afgestemd op een oogstperiode die zo goed mogelijk in het droge seizoen moet vallen. Daarnaast is de gemiddelde maaiveldsligging in het irrigatiegebied ongeveer even hoog als de bodem van de zwamp. Bovendien moet voor de distributie van het water in de polders een zeker verval beschikbaar zijn. Hierdoor wordt voor zwaartekrachtbevoeling het peilverschil tussen het reservoir en de onttrekkingspunten beperkt. De waterbehoefte en de irrigatiepraktijk in het landbouwgebied zijn zodoende factoren die de gebruiksmogelijkheden van de zwamp mede bepalen.

Uit de opstelling van het model komen de beperkingen van het reservoir naar voren. Een deel van deze beperkingen kan door middel van uit te voeren werken worden verholpen.

Op grond van de gebiedsbeschrijving in de hoofdstukken 3 en 4 kunnen mogelijkheden worden aangegeven om de gedeelten die nu afvoeren naar de Corantijn en Maratakka bij de vulling van dat reservoir te betrekken.

9.2 WATERBEHOEFTE EN WATERGEBRUIK IN DE RIJSTTEELT VAN NICKERIE

In Nickerie wordt het irrigatiewater voornamelijk voor de rijstcultuur gebruikt. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen ondernemingsgewijze rijstcultuur (grootlandbouw) en rijstcultuur door de individuele boer (kleinlandbouw). Uit de Nannizwamp werd in 1975 ongeveer 2000 ha grootlandbouw geïrrigeerd en ongeveer 13 000 ha kleinlandbouw. In de nabije toekomst, wanneer het achter de Oostelijke Lekketeugelingsdam gelegen areaal in cultuur gebracht wordt, zal het aandeel van de grootlandbouw sterk toenemen, zodat een verhouding van ongeveer 1 : 1 bereikt zal worden.

Het gebruik van water in de rijstcultuur beperkt zich niet tot het voorzien in de noodzakelijke gewasverdamping, maar is sterk verbonden met de uitvoering van grondbewerking en gewasverzorging (Ten Have, 1967; Scheltema, 1974). Zie figuur 48.

Fig. 48. Waterbeheersing op een rijstperceel (Scheltema, 1974).

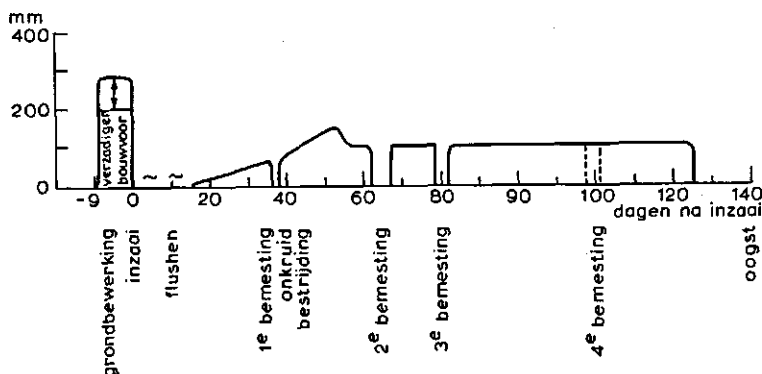


Figure 48. Water management in a rice field (Scheltema, 1974).

9.3 CULTUURSCHEMA, WATERBEHOEFTE

In de grootlandbouw worden grondbewerking, inzaai en gewasverpleging volgens een strak cultuurschema uitgevoerd. De hierbij benodigde waterhoeveelheid is voor rassen met een groeiduur van 150 en 110 dagen berekend (Elbers, 1967; Kamerling, 1967; Kamerling, Lenselink & Van der Weert, 1974).

Het moment van inzaaien wordt vastgesteld met de overweging dat de oogst in een droge periode moet plaatsvinden en de spreiding van de inzaai 45 dagen is. Hiertoe zijn de neerslagen van het station Nieuw-Nickerie over de periode van 30 jaar bewerkt; de droogste perioden werden buiten beschouwing gelaten. Voor de berekening van de waterbehoefte wordt rekening gehouden met de neerslag, de verdamping en een bepaald lek naar de loosleidingen. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in figuur 49.

9.4 WATERGEBRUIK VAN DE GROOTLANDBOUW

In figuur 50 is van het grootlandbouwbedrijf in Wageningen het watergebruik in de jaren 1963, 1964, 1967 en 1968 weergegeven. In deze periode overheersten de rassen met een 150-daagse groeiduur (Scheltema, 1969). Deze waarden moeten daarom vergeleken worden met de door Kamerling voor de lange groeiers berekende waterbehoefte.

Vooraf in de periode van het hoofdgewas (mei-september) blijken er aanzienlijke verschillen te zijn in piekbehoefte, totaal gebruik en moment van watergebruik. Voor het tussengewas (november-maart) zijn de overeenkomsten beter, al is het berekende gebruik te laag (zie ook tabel 23 in par. 9.5).

Voor het tussengewas komen de momenten van inzaai redelijk overeen; voor het hoofdgewas treden grote verschillen in zaaidatum op. Het watergebruik bij de grondbewerking hangt sterk af van de uitdroging van de topnaag na de laatste oogst. De grondbewerking en inzaai van het hoofdgewas in 1964 is uitgesteld door gebrek aan aanvoer van de Nickerierivier. De groeiduur liep daardoor uit in de grote tijd, waarbij veel water nodig bleek te zijn. Wanneer in de toekomst het debiet in de Nickerierivier gereguleerd is, mag verondersteld worden dat het moment van inzaai van jaar tot jaar nog maar weinig zal verschuiven zolang men met dezelfde rassen blijft werken. Hoogstens kan ten behoeve van droge grondbewerking de inzaai twee of drie weken worden uitgesteld. Het totaal watergebruik kan door betere perceelsrichting en betere dammen tussen irrigatie- en loosleidingen worden beperkt (Scheltema, 1969; Blokland, 1975).

Fig. 49. Berekend watergebruik voor rijstrassen met lange en korte groeiduur (naar Kamerling, 1967); Kamerling, Lenselink & Van der Weert, 1974).

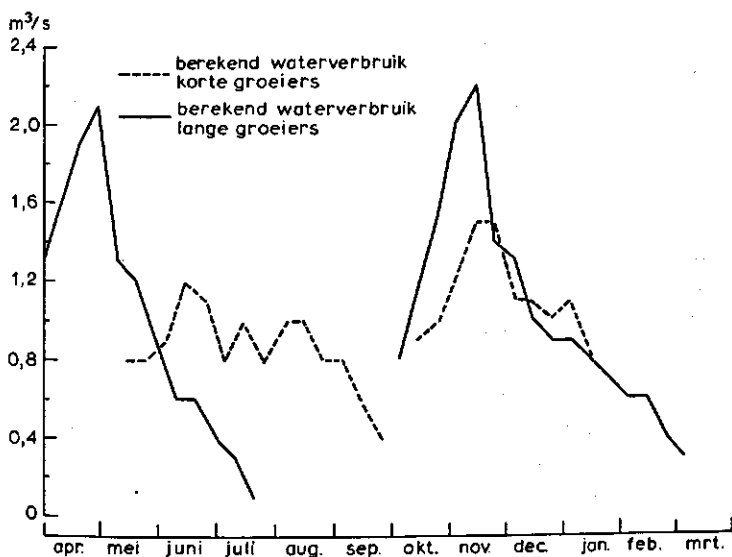


Figure 49. Calculated water requirement for rice varieties with long and short growing times (Kamerling, 1967; Kamerling, Lenselink & Van der Weert, 1974).

Fig. 50. Waterbehoefte van de grootlandbouw per 1000 ha (gemiddelde per decade) volgens Scheltema (1969).

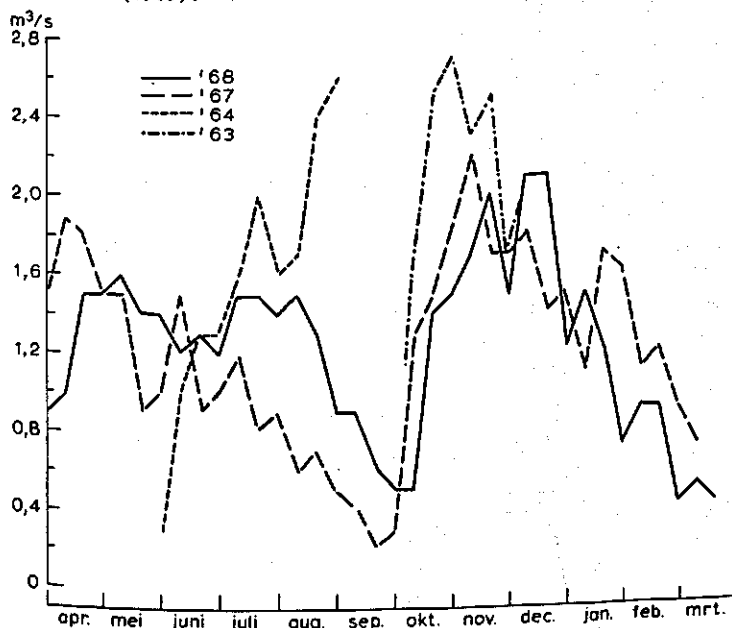


Figure 50. Water requirement per 1000 ha for extensive rice farming averaged for 10-day periods (Scheltema, 1969).

Binnen het gebied dat uit de Nannizwamp geïrrigeerd wordt, zijn geen cijfers van grootlandbouwbedrijven bekend. Vermoedelijk loopt het watergebruik bij deze bedrijven sterk uiteen. Een bedrijf is bijvoorbeeld bijzonder zuinig met water, doordat zij gebruik maakt van een wadoek waarin lozingswater wordt teruggepompt. Het cultuurschema dat gehanteerd wordt is in al deze bedrijven echter gelijk.

9.5 WATERGEBRUIK KLEINLANDBOUW

Cijfers van het watergebruik van de kleinlandbouw waren beschikbaar voor vier tussengewassen en een hoofdgewas. Zij betreffen alleen de westelijke polders en/of de Clarapolder, omdat de mogelijkheden voor de metingen hier gunstiger zijn dan in de rest van het gebied. (Rittershaus, 1971; Chin Yoe, 1972; eigen onderzoek). In de praktijk van de kleinlandbouw zal een groter aantal factoren een rol spelen bij het waterverbruik dan in de grootlandbouw, waarvoor de in paragraaf 9.3 genoemde berekeningen zijn opgesteld. Dit resulteert in een gelijkmatiger waterverbruik (fig. 51).

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen interne en externe factoren. Als intern kunnen beschouwd worden, die waarbij keuze en kunde van de boer een belangrijke rol spelen; als extern die waarbij de infrastructuur en het door de overheid gehanteerde distributiesysteem een rol spelen.

Externe factoren, die het watergebruik mede bepalen, zijn:

1. beperkingen van de infrastructuur;
2. organisatie en functioneren van het distributiesysteem;
3. eigenschappen van het Nannireservoir;
4. het grote aantal ondernemers dat water gebruikt;
5. de neerslagspreiding over het seizoen.

Fig. 51. Watergebruik van de kleinlandbouw per 1000 ha (gemiddeld per decade).

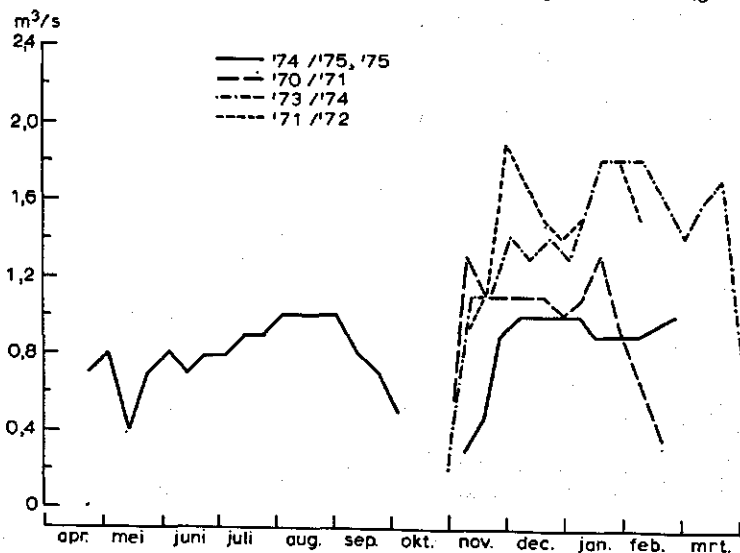


Figure 51. Water requirement per 1000 ha in small-scale rice farming averaged for 10-day periods.

ad 1. Uit het LVV-rapport van Chin Yoe (1972) blijkt dat het Van Wouwkanaal bij een gemiddeld peil van NP + 9,80 m, en een verval van 20 cm een debiet van $13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ kan opbrengen. Volgens de berekening van Kamerling (1967) zou voor een areaal van 7000 ha maximaal een debiet van $15,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nodig zijn. Volgens de berekening van Kamerling, Lenselink en Van der Weert (1974) is dit $10,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

ad 2. Door de overheid wordt een waterkalender gedurende het hoofdseizoen gehanteerd. Aan de polders wordt afwisselend water verstrekt volgens een te voren bekend gemaakt schema. In het tussenseizoen wordt water beneden maaiveld verstrekt, waardoor de boeren gedwongen worden te pompen; zij zullen dan zuinig met water omspringen.

De kunstwerken voor deze regulatie worden door het Ministerie van Openbare Werken bediend op advies van het Ministerie van Landbouw. Het onderhoud van de leidingen vindt plaats onder toezicht van het Ministerie van Districtsbestuur. Het advies van het Ministerie van Landbouw baseert zich onder meer op klachten van de landbouwers die menen onvoldoende water te ontvangen. De regeling van de kunstwerken is gebaseerd op het handhaven van streefpeilen in de kanalen. Dit systeem van peilregulatie benedenstrooms van de inlaten en verdeelwerken werkt verspilling van water in de hand.

ad 3. Van oudsher is de kleinlandbouw afhankelijk van de Nannizwamp geweest. Het peil in de zwamp speelt in het watergebruik een duidelijk rol. Door de ruime verspreiding van 'Low Lift'-pompjes is men de laatste jaren wat minder afhankelijk geworden. Ook bij peilen beneden de NP + 9,80 m, waarbij zwaartekrachtirrigatie in grote gedeelten van de rijst-polders niet meer mogelijk is, kan men nu nog over voldoende water beschikken.

Ten aanzien van het gemiddelde watergebruik per oppervlakte eenheid is er een verband met het gemiddelde zwampeil in het seizoen (fig. 52). Een hoog zwampeil levert een zekere waterverspilling op, in het bijzonder tijdens de tweede fase van de groei van het gewas. Bij laag peil, wanneer gepompt moet worden, wordt zuinig met water omgesprongen, omdat verspilling direct kosten met zich meebrengt. Door de vele factoren die het watergebruik mede bepalen, zal het moeilijk zijn exacte gegevens hieruit te isoleren. De invloed van het peil op het watergebruik zou men kunnen schatten als weergegeven in tabel 22.

Hieruit blijkt dat de beschikbare capaciteit aan particuliere pompjes het watergebruik beneden een peil van 9,80 mede bepaalt. Daarnaast heeft de zwamp een beperkte capaciteit die bij het uitblijven van neerslag binnen enkele weken uitgeput raakt. Naarmate er een groter areaal wordt ingezaaid, wordt dit moment eerder bereikt.

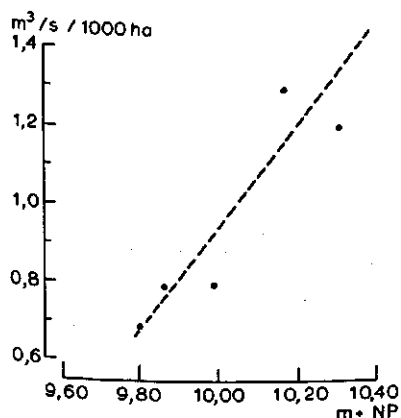


Fig. 52. Gemiddeld zwampeil vergeleken met het gemiddeld irrigatiedebiet (per 1000 ha).

Figure 52. Average swamp level compared with average water consumption (per 1000 ha).

ad 4. Het watergebruik wordt behalve door de genoemde regulatie niet beperkt. Verspilling van water is verboden maar wordt nauwelijks gecontroleerd. Een boer kan hierdoor naar eigen goeddunken 10, 15 of 25 cm water op zijn perceel zetten en zo vaak hij wil water vernieuwen.

Voor het tussengewas 1971/'72 is het inzaaiverloop in de westelijke polders opgenomen (fig. 53). De inzaai blijkt zich uit te strekken over de maanden september tot en met januari, waarbij 98% van de inzaai plaats vindt in de maanden oktober, november en december. Deze inzaaiperiode is tweemaal zo lang als die waarvan is uitgegaan bij eerder genoemde berekeningen (par. 9.3).

ad 5. In de beginperiode is neerslag gewenst. Deze kan het watergebruik beperken, terwijl in de perioden van droogzetten neerslag ongewenst is, in het bijzonder vlak voor de oogst.

In tabel 23 zijn van de gemeten seizoenen de ingezaaide oppervlakte, de neerslag, het gemiddelde peil voor de afdamming en het gemiddelde onttrokken debiet per 1000 ha weergegeven. Er blijkt verband te bestaan tussen peil en gemiddeld debiet per 1000 ha ingezaaid land; bij hoge peilen is het waterverbruik hoger, doordat men minder acht slaat op de waterverliezen (fig. 51).

Interne factoren, die het watergebruik door de boer bepalen, zijn:

1. verwachting van afzetmogelijkheden en prijs;
2. kosten van kunstmest en andere productiemiddelen;
3. beschikbaarheid van pompen;
4. beschikbaarheid van zaaizaad van verschillende groeiduur;
5. resultaten van de vorige oogst;
6. toestand van het perceel;
7. bekwaamheid van de boer;
8. omstandigheden van het boerengezin;
9. versnippering van het bedrijf;
10. neerslag, of de verwachte neerslag.

Tabel 22. Benadering van de invloed van het waterpeil op het watergebruik.

Peil bij afdamming ¹	Wijze van irrigatie	Watergebruik ten opzichte van het berekend watergebruik (%)
10,20	zwaartekracht	+ A %
9,80 - 10,20	zwaartekracht	0 %
9,60 - 9,80	zwaartekracht + pompen	- B %
9,60	pompen	- C % ²

1. NP(m)

2. - C % of zoveel onttrokken kan worden.

Table 22. Approximation of the influence of the water level on water use.

Fig. 53. Verloop van de inzaai 1971/'72 in de westelijke polders.

%ingezaaid areaal

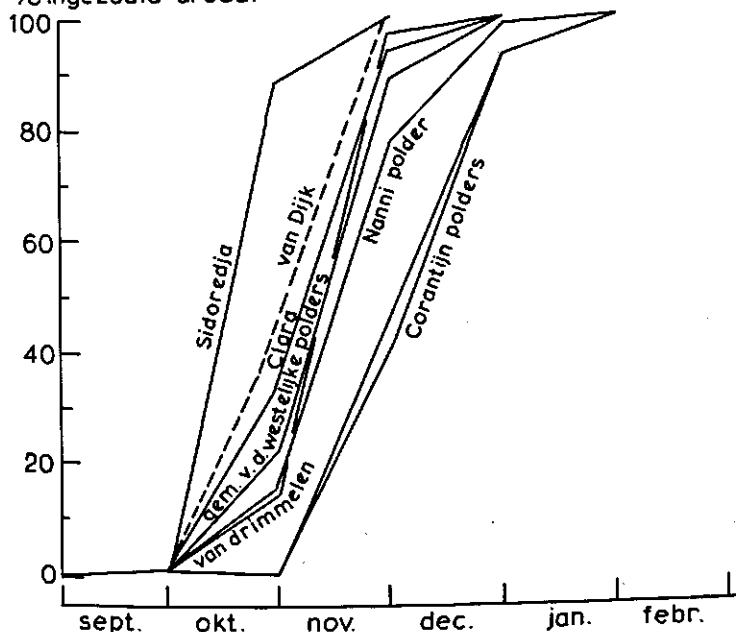


Figure 53. Proportion of land sown in 1971/'72 in the western reclaimed area.

Tabel 23. Neerslag, ingezaaid areaal, peil bij de afdamming en gemiddeld onttrokken debiet, $V(H_2O)/A$ t ($\mu m s^{-1}$), in verschillende seizoenen in de kleinlandbouw.

Seizoen	Neerslag (mm)	Ingezaaid areaal (ha)	Peil bij afdamming (NP in mm)	Gemiddeld debiet ($\mu m s^{-1}$)	Herkomst van gegevens
Tussengewas 1970/'71 ¹	686	2600	9,97	0,08	Rittershaus (1971)
Tussengewas 1971/'72	500	3350	10,17	0,13	Chin Yoe (1972)
Tussengewas 1973/'74	762	4550 ²	10,31	0,12	eigen onderzoek
Hoofdgewas 1974	546	7000 ²	9,80	0,07	eigen onderzoek
Tussengewas 1974/'75 ³	590	6000 ²	9,86	0,08	eigen onderzoek

1. Betreft Clarapolder, geëxtrapoleerd naar westelijke polders op basis van ingezaaid areaal.

2. Cijfers door Ministerie van Landbouw te Nickerie verstrekt.

3. Tot februari 1975.

Table 23. Rainfall, area sown, water level at the dam and average irrigation rate, $V(H_2O)/A$ t ($\mu m s^{-1}$), in different cropping seasons in small farming.

- ad 1. De verwachting ten aanzien van de afzetmogelijkheden bepaalt in de eerste plaats al of niet inzaaien, de keuze van het zaaizaad en het moment waarop getracht zal worden te oogsten. Van belang is de algemene regel dat vroege padie de beste prijs maakt. Soms geeft dit aanleiding de afrijping onverantwoord te vervroegen door het gewas droog te zetten; dit ten koste van de fysieke opbrengst. (Rittershaus, 1971; Anonymus, z.j.A ; Anonymus, z.j.B ; Woltersperges, z.j.).
- ad 2. Wanneer de kunstmestprijzen hoger worden, zoals in 1974, wordt het aantal kunstmestgiften beperkt (1 - 2 maal in plaats van 2 - 3) (pers. meded. landbouwers). Zoals uit de inleiding blijkt werkt dit verminderend op het watergebruik.
- ad 3. Indien het peil in de kanalen beneden maaiveld daalt, moet water worden opgepompt. De beschikbaarheid van pompen voor een redelijke prijs bepaalt in die situatie mede het verdere verloop van het cultuurpatroon en het watergebruik.
- ad 4. Nu er een grotere diversiteit in groeiduur van rijstrassen bestaat, is hiermee ook een grotere spreiding in de tijdstippen van watergebruik verkregen; de piekbehoefte wordt hierdoor minder uitgesproken.
- ad 5. Behalve de financiële resultaten van de vorige oogst bepalen het moment van de vorige oogst en de beschikbaarheid van machines voor grondbewerking mede het moment van het begin van een nieuwe gewascyclus.
- ad 6. De vlakteligging van het perceel en de toestand van de in- en uitlaatkoker bepaalt de mogelijkheid van goed waterbeheer. Ongelijk terrein noopt tot grotere waterdiepte en daarmee tot een hoger waterverbruik.
- ad 7. In verschillende stadia van het gewas is het manipuleren met water belangrijk voor een goede opbrengst. Om dit te realiseren speelt de bekwaamheid van de boer een belangrijke rol. Hoewel bijvoorbeeld is vastgesteld dat buiten het beschreven cultuurschema water verversen niet nodig is voor een goede opbrengst, heerst deze overtuiging toch bij veel boeren. Vroeger, toen water niet werd afgelaten in verband met de kunstmestgift, werd het verversen door de landbouwvoorlichting aanbevolen om algengroei op de bladeren tegen te gaan. (Anonymus, z.j.A). Uit de gegevens die op een aantal kavels zijn verzameld gedurende het seizoen 1970/'71, blijkt echter dat het cultuurschema in zijn algemeenheid wel navolging vindt (Rittershaus, 1971).
- ad 8. Een nevenfunctie van de boer (zeer algemeen) kan tot gevolg hebben dat een deel van de gewasverpleging door het gezin uitgevoerd moet worden. Onder moeilijke omstandigheden kan dit leiden tot slecht waterbeheer op het perceel.
- ad 9. Versnippering van het bedrijf kan leiden tot een slecht waterbeheer, doordat niet op tijd regulerend kan worden opgetreden (Van Nieuwkoop, 1969).
- ad 10. Het weer en het anticiperen daarop is een belangrijke factor in het waterbeheer op de kavel. In tegenstelling tot de grootlandbouw waarin de factor arbeid schaars is, kunnen cultuurmaatregelen in de kleinlandbouw met het oog op het weer of de verwachting daarvan gemakkelijk worden verschoven. Dit zal in het bijzonder meespelen in gevallen dat er gepompt moet worden (Rittershaus, 1971).

Verwacht mag worden dat, wanneer door overheidsmaatregelen de productieomstandigheden van de boer verbeterd en een strakker waterdistributieschema gehanteerd zal worden, het watergebruik zich zal ontwikkelen in de richting van de berekende waterbehoefte. De be-

rekeningen zijn immers gebaseerd op een cultuurschema, dat is afgestemd op optimale produktie van de rijstvariëteiten, die zowel in de groot- als in de kleinlandbouw worden toegepast. Daar staat tegenover dat door het steeds wisselend assortiment van variëteiten de projectie van het watergebruik in de toekomst bemoeilijkt wordt. Bij toename van de diversiteit zal het watergebruik gelijkmatiger worden. Tabel 24 geeft een samenvatting van het gemeten en berekende watergebruik in de groot- en kleinlandbouw.

9.6 OOGSTRISICO EN OPBRENGSTDERVING

Behalve de gewenste hoeveelheid water en de bestaande irrigatiepraktijk is het van belang over gegevens te beschikken betreffende te verwachten oogstrisico en opbrengstderiving onder omstandigheden, dat het reservoir niet aan de gewenste vraag kan voldoen. Men moet voor het opstellen van een dergelijk criterium een inzicht hebben in de samenhang tussen watergebrek en opbrengstderiving.

Het onderzoek naar de gewenste watervoorziening heeft zich in Suriname tot nog toe geconcentreerd op de optimale groei en productie van het gewas. De invloed van droogte naar duur en intensiteit op de opbrengst en eventuele toename van de productiekosten zijn

Tabel 24. Vergelijking van de berekende waterbehoefte en het gemeten watergebruik.

	Berekend voor lange groeiers	Berekend voor korte groeiers	Gemeten in de grootlandbouw Wageningen	Gemeten in de kleinlandbouw
Maximaal debiet ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) per 1000 ha voor het				
hoofdgewas	2,1	1,2	1,7 ¹	1,0
tussengewas	2,2	1,5	2,2 ¹	1,2
Totaal volume (mm) voor				
hoofdgewas	1125	1038	1874	1166
tussengewas	1400	1092	1897	1192
Periode, waarin het benodigde debiet een piekhoogte bereikte, was voor het				
hoofdgewas	11-18 april	11-17 april	15-22 april	-
tussengewas	4-11 april	14-20 april	8-15 april	-

1. De cijfers hebben voornamelijk betrekking op lange groeiers.

Opm. De berekende waterbehoefte is het resultaat van een gemiddelde over 30 jaar.

Gemeten watergebruik is slechts een gemiddelde van 3 - 4 jaren.

Table 24. Summary of the calculated water demand and the measured water use.

nog niet voldoende onderzocht.

De vochtvoorraad in de bodem is in het algemeen groot, zodat waarschijnlijk korte perioden zonder water op het veld goed overbrugbaar zijn. Zonder water op het veld krijgen onkruiden een goede kans; zij moeten dan met bestrijdingsmiddelen onderdrukt worden. In het algemeen zal een gewas in het volwassen stadium een gesloten aanplant vormen met een goed ontwikkeld wortelstelsel. Zij zal daarom minder te lijden hebben van watergebrek dan een juist ontkiemd gewas. Daarnaast is het gewas in de periode vlak voor en na de bloei gevoelig voor droogte.

Als criterium van opbrengstderving zou een verdeling gemaakt kunnen worden met twee of meer kritische perioden in het cultuurschema, bijvoorbeeld:

- Peildaling beneden de NP + 9,60 m bij de afdamming in de periode van de 1ste tot en met 60ste dag na inzaai mag niet langer duren dan n dagen.
- Na de 60ste dag mogen peildalingen beneden de NP + 9,60 m niet langer dan m dagen duren.

Inzaai kan in het algemeen worden uitgesteld tot de vooruitzichten op voldoende waterlevering gunstig zijn geworden. Als peilcriterium, beneden welke het inzaaien niet wordt begonnen, zou NP + 9,80 m voor de natte tijd en NP + 10,00 m voor de droge tijd kunnen dienen.

9.7 SCHATTING VAN HET IRRIGEERBAAR RIJSTAREAAL

Uit de voorafgaande beschouwing over watergebruik en waterbehoefte blijkt dat er nog onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om wat betreft het irrigeerbaar areaal tot kwantitatieve uitspraken te komen. Wanneer hierover nadere gegevens beschikbaar zijn, kan het irrigeerbaar areaal met het rekenmodel als volgt worden geschat.

Uitgaande van een bepaald beginpeil van de zwamp en een lange reeks regenwaarnemingen kan uit het gewenste debiet dat een bepaald areaal nodig heeft, het peil van het reservoir en het peil bij de inlaatwerken dagelijks worden berekend. Het aantal keren en de duur dat het peil bij de onttrekkingspunten in een periode van bijvoorbeeld 30 jaar beneden een bepaald wenselijk peil daalt, kan hieruit worden vastgesteld. Met de criteria van oogstrisico en opbrengstderving kan voor een reeks van toenemende arealen de optimaal irrigeerbare oppervlakte worden vastgesteld. Bij een dergelijke beschouwing moet de betrouwbaarheid van de uitspraken niet uit het oog worden verloren.

Zoals in hoofdstuk 8 is geconstateerd is de standaardafwijking van het berekende en gemeten peil bij de inlaatpunten groter in perioden van snelle peilverandering. Voor de meetperiode met enkele perioden met sterk schommelende peilen bedroeg de standaardafwijking 13 cm. In de periode 1971/'72, waarvan de gegevens door Roest (1972) zijn verzameld, was er een gelijkmatiger peilverloop en bedroeg de standaardafwijking 7 cm. Statistisch gezien is de betrouwbaarheid van een berekend peil binnen een interval van de standaardafwijking een kleine 70%. De betrouwbaarheid van 95% geldt voor een interval van ongeveer tweemaal de standaardafwijking.

Vergeleken met de betrouwbaarheid van de andere criteria die in de agrarische planning mede betrokken moeten worden, zoals die van produktie, prijs en arbeidsplaatsen, zal het berekende areaal met een hierbij passend betrouwbaarheidsinterval kunnen worden berekend. Ten aanzien van deze berekeningen waarbij het beschreven model kan worden gebruikt, met

nog het volgende worden opgemerkt: door de onregelmatige neerslagverdeling over de jaren (par. 3.4.1) is het hanteren van een gemiddelde jaarneerslag niet geschikt als basis voor de berekening van het irrigeerbaar areaal. Een betrouwbaarder voorspelling zou alleen mogelijk zijn door een lange historische reeks van neerslagen te gebruiken (bijvoorbeeld 30 jaren). De stations, die zijn gebruikt bij de opstelling van de waterbalans zijn hiervoor niet geschikt, omdat ze nog te kort dienst doen.

Met inachtneming van de gemiddelde regenverdeling in Suriname zijn binnen het onderzoekingsgebied wel twee geschikte stations beschikbaar, namelijk Paradise en Apoera. Beide zijn gedurende een aaneengesloten waarnemingsperiode van meer dan 30 jaar in bedrijf. Station Apoera wordt de laatste jaren niet meer gebruikt. Door tijdgebrek moest helaas van een dergelijke berekening worden afgezien.

9.8 VERGROTEN VAN DE IRRIGATIEMOGELIJKHEDEN

9.8.1 *Vermindering van de toestromingsweerstand*

Door de grote toestromingsweerstand bij reservoirpeilingen beneden de NP + 10,00 m kan een gedeelte van de voorraad slechts zeer geleidelijk ter beschikking komen. In een dergelijke periode kan watergebruik optreden, terwijl er in de zwamp nog een grote voorraad aanwezig is.

Reeds eerder is vermeld, dat de toestroming van water uit de Nannizwamp wordt belemmerd door drijvende grasmatten in de Nannikreek en door het droogvallen van de coupures in de pegassedammen aan de zuidzijde van de lekbeteugelingsdammen. Vooral bij peilen beneden NP + 9,50 m is de toestroming slecht.

Men mag verwachten dat door opschonen van de Nannikreek, vergroting van coupures in de pegassedammen en eventueel de aanleg van ontrekkingskanalen loodrecht op de Oostelijke Lekbeteugelingsdam de toestromingsweerstand aanzienlijk zal verminderen.

Reeds is door Openbare Werken de Nannikreek in voorjaar 1975 opgeschoond. Het ware interessant om bij een volgende gelegenheid het effect hiervan op te meten. Hierbij mag worden opgemerkt, dat in de periode 1966-'70 het opschonen van de Nannikreek een gedeelte van de normale onderhoudswerkzaamheden van Openbare Werken was. Als nevenvoordeel geldt dat het gebied na opschonen van de kreek beter ontsloten wordt, waardoor metingen minder moeilijkheden met zich meebrengen.

9.8.2 *Capaciteitsvergroting*

Vergroting van de capaciteit bij hoge zwampeilen is alleen mogelijk als de lek naar de Corantijn kan worden beteugeld. Met het rekenmodel kan de peilstijging berekend worden door de lek op nul te stellen. Een afsluiting van deze lek kan gecombineerd worden met een eventueel aan te leggen weg naar de havenlokatie aan de Corantijn bij het Slangen-eiland (fig. 15).

Bij voorkeur zou het damlichaam tot het ritsengebied bij MacClemen moeten worden voortgezet. In deze dam moeten waarschijnlijk regelbare overlaten gebouwd worden om te hoge peilen te voorkomen. Deze zouden het landbouwareaal kunnen doen onderlopen, omdat via de overlaat in de Nanni-afdamming onvoldoende water kan worden afgelaten.

9.8.3 Vergroting van de aanvoer uit het zuidelijk gebied

In hoofdstuk 4 is gebleken dat een groot deel van het gebied dat eerst tot het Nannistroomgebied behoorde, nu afvoert naar de Corantijn en de Maratakkarivier (appendix B). Door middel van dammen en kanalen zal het mogelijk zijn een deel van dit water naar de beneden-Nanni te voeren.

Uit de waarnemingen in het zuidwestelijk gebied is gebleken dat er met de Nannizwamp een peilverschil is van circa 2 m (fig. 54). In de situatie, dat de Nannizwamp reeds tot een hoogte van bijvoorbeeld NP + 10,40 m gevuld is, kan een grote toevloed uit het zuiden overstroming van het landbouwgebied tot gevolg hebben. Het water moet dan ook door middel van een regelbaar kunstwerk in het zuidelijk gebied bewaard kunnen worden tot het in het noorden gezakt is tot bijvoorbeeld NP + 9,80 m. Er moet voorkomen worden dat ongecontroleerde afvoer via de oude Nannikreek gaat optreden bijvoorbeeld door middel van een overlaat met afvoer direct naar de Corantijn. In het bijzonder uit het gebied van het Nannimeer kan op deze wijze een bijdrage worden verwacht. Uit de diepe kom kan in de droge tijd vermoedelijk zoveel water worden onttrokken, dat zij in de natte tijd kan volstromen zonder wegstromen van water naar de Corantijn.

Voor de voorbereiding van het project zijn belangrijke aanvullingen van de topografische gegevens nodig in het gebied ten westen van de Dalibane- en Koekwikreek. Een dergelijk project zal in het bijzonder rendabel kunnen zijn, wanneer het in combinatie met een ontsluitingsweg Nickerie-Apoera, of Wageningen-Apoera kan worden uitgevoerd.

Regulatie van water uit het Camisakreek-gebied zal waarschijnlijk moeilijker zijn, omdat de peilverschillen met de Nannizwamp kleiner zijn. Waterbeweging in noordelijke richting is hierdoor moeilijker te regelen.

9.8.4 Benutting van grondwater uit het Zanderijgebied

Uit het Zanderijgebied komt het grootste gedeelte van het water (70-90%) via het grondwaterreservoir tot afvoer. Dit heeft een belangrijke vertraging tot gevolg, vergeleken met de afvoer van de drooggevalen zwampgedeelten (par. 4.2.1). Wanneer deze afvoer naar het reservoir geleid wordt, zal dit een verbetering in de continuïteit van de aanvoer betekenen.

Fig. 54. Vermoedelijk peil en peilfluctuaties in het Nannistroomgebied.

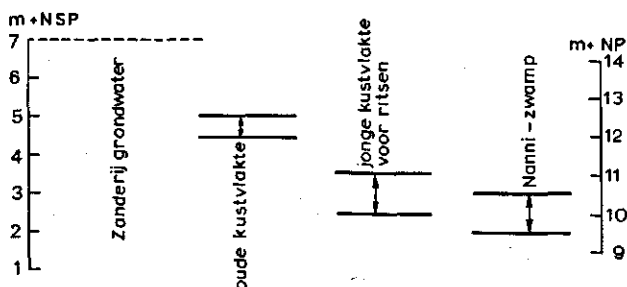


Figure 54. Probable level and fluctuations in level in the Nanni Basin.

Het grondwaterpeil in het betrokken gedeelte van het Zanderijgebied ligt vermoedelijk ongeveer 5 m boven het gemiddelde zwampeil (fig. 54). De totale oppervlakte van het Zanderijgebied, dat tot het Nannistroomgebied gerekend kan worden, is beperkt tot ongeveer 27 000 ha. Bij een afvoer van 735 mm per oppervlakte-eenheid per jaar zou dit een gemiddelde bijdrage van ongeveer $6,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ kunnen betekenen.

Zuidelijk en oostelijk van het onderzoeksgebied heeft de Maratakkarivier haar oorsprong. Het stroomgebied van de Maratakka heeft in het Zanderijgebied een oppervlakte van ongeveer 250 000 ha. Vergeleken met de aanvoer van de Nannikreek uit het Zanderijgebied zou de afvoer van de Maratakka uit dit gebied op gemiddeld $55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ kunnen worden geschat. Wanneer deze rivier in droge perioden zou kunnen worden afgedamd, zou de afvoer ervan als aanvulling op de Nannizwamp een substantiële verbetering in de watervoorziening van het rijstdistrict betekenen. Helaas zijn geen afvoercijfers van deze rivier bekend, waarmee de geschatte afvoeren uit het Zanderijgebied vergeleken kunnen worden. Het verzamelen van deze cijfers is daarom urgent.

9.9 BEHEER VAN DE ZWAMP ALS IRRIGATIE-WATERRESERVOIR

Het Stondansieproject, een stuwmeer voor irrigatiewater in de bovenloop van de Nickerierivier, ligt gereed voor uitvoering. Door dit project zal de Nickerie in droge tijden een groter debiet verkrijgen, waardoor de zouttong die thans soms tot Wageningen doordringt, verder naar zee wordt teruggedrongen.

In de toekomst (1979?) zal de rijstcultuur zowel op de rechter- als op de linkeroever van de Nickerie van dit irrigatiewater kunnen profiteren. Op de linkeroever zal de watervoorziening uit het Nannireservoir en het Stondansiereservoir gecombineerd worden.

Met het opgestelde rekenmodel voor de zwamp is het mogelijk om uit verschillende alternatieve combinaties een optimale keus te maken, waarbij beide reservoirs zo goed mogelijk worden benut. Het is mogelijk dat in die combinatie beneden een peil van bijvoorbeeld NP + 9,80 m geen water meer uit de zwamp zal worden onttrokken. Ook bij lang aanhoudende droogte zal de zwamp dan niet meer helemaal uitdrogen.

Uit de resultaten van het vegetatiekundige gedeelte van het onderzoek (Teunissen, 1975) blijkt, dat handhaven van een hoog peil afsterven van de zwampbossen tot gevolg heeft. De successie die daarna optreedt, heeft pegassevorming tot gevolg, waardoor de onttrekkingsmogelijkheden van zwampwater verminderen. Deze veenvorming kan alleen worden onderbroken door de zwamp periodiek droog te zetten, waardoor afbraak van organische stof kan plaats vinden, eventueel gecombineerd met zwampbranden. Van nature komen deze branden in zeer droge jaren voor. Het is aannemelijk dat dit mede de oorzaak ervan is, dat in de jonge kustvlakte open graszwampen blijven bestaan (Teunissen, 1975). In een gecombineerd gebruik van de reservoirs zullen de beheersregels hiermee rekening moeten houden.

In dit verband moet ook vermeld worden, dat de Nannizwamp een belangrijke eiwitleverancier is voor de bevolking in de vorm van vis. In het dieet van de landbouwers neemt vis een belangrijke plaats in. Het overgrote deel van deze vis is uit de Nannizwamp afkomstig. Een zeer geliefde vissoort in Suriname, de Kwi Kwi (*Hoplosternum* sp.), komt nog zeer veel voor in de Nannizwamp, terwijl ze in de overige zwampgebieden in Suriname bijna geheel is weggevisd. Op welke wijze met deze visserijbelangen rekening gehouden dient te worden bij het beheer als irrigatiereservoir, moet nader onderzocht worden.

Samenvatting en conclusies

Oriëntatie

In gecombineerde programma's van het IHD en IBP (respectievelijk International Hydrological Decade en International Biological Program) van de Unesco staat de wisselwerking tussen hydrologie en vegetatie in de belangstelling. In dit opzicht blijken zwampen kwetsbare gebieden te zijn, waarop ook in het intergouvernementale onderzoekprogramma 'Man and the Biosphere' de aandacht wordt gevestigd.

Kenmerkende omstandigheden waaronder zwampen bestaan, zijn een gestremde afvoer door geomorfologische omstandigheden, waardoor een vlak gebied permanent of semi-permanent geïnundeerd raakt. Dit gebied raakt opgevuld door sedimentatie en veenvorming. Limnologisch ontstaat een milieu met een eutroof, mesotroof of oligotroof karakter, waarin zich een vegetatie ontwikkelt. Gebieden met deze kenmerken komen op veel plaatsen in de wereld voor.

Uit de literatuur zijn enkele voorbeelden gegeven uit Oost-Afrika, Zuidoost-Azië en het Caribische gebied (allen uit klimaatzone van de humide tropen). In vele gevallen zijn deze gebieden geheel of gedeeltelijk geschikt om als landbouwgrond te worden ingepolderd.

Een eenvoudige en goedkope manier om over irrigatiewater te beschikken ontstaat, wanneer een deel van de natuurlijke afvoer benut wordt voor de landbouw. Een deel van het moerasgebied moet als berging gebruikt blijven om verschillen tussen aanvoer en watergebruik te overbruggen.

Deze studie hoopt naast inzicht in de irrigatiemogelijkheden uit het Nannigebied een bijdrage te leveren in de kennis van de waterverplaatsing en de verdamping in tropische zwampen, die mogelijk ook elders gebruikt kan worden.

Daarnaast is in het kader van het onderzoek door de vegetatiekundige drs. P.A. Teunissen de invloed nagegaan die een verandering in de hydrologie heeft op de vegetatie (hoofdstuk 1).

Ontwikkeling van de irrigatie uit de Nannizwamp

De suikerrietplantages die voor de eeuwwisseling in het Nickeriedistrict bestonden, waren als polders in de uitgestrekte Nannizwamp aangelegd. Nadat de plantages in verval waren geraakt, werd de natte rijstcultuur geïntroduceerd door de arbeiders, die oorspronkelijk voor de suikerrietcultuur waren aangetrokken. Deze rijstcultuur ontwikkelde zich gestaag.

Het rijstareaal, dat uit de Nannizwamp wordt geïrrigeerd, groeide tot omstreeks 15 000 ha. Het maximum peil in de zwamp werd door de opgeworpen dammen opgestuwd van

circa 90 tot 150 cm boven de gemiddelde hoogte van het maaiveld van de polders. Polder-inrichting en infrastructurele werken werden naarmate de cultuur zich perfectioneerde steeds kostbaarder. De vraag hoeveel water er totaal beschikbaar was en waar dit vandaan kwam, werd hierdoor steeds meer van belang (hoofdstuk 2).

Waterverplaatsing in het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied heeft een oppervlakte van ruim 200 000 ha; het grootste deel is gelegen in de zogenaamde kustvlakte. Deze kustvlakte strekt zich uit over de drie Guyana's. De afzetting van de kustvlakte heeft zich afgespeeld gedurende de geologische tijdvakken pleistoceen en holoceen.

Binnen het onderzoeksgebied komen terreinhoogten voor tussen NSP + 1,50 m tot NSP + 6,50 m. Door deze vlakke ligging en een gemiddelde jaarlijkse neerslag die iets groter is dan de verdamping, staat van dit gebied ongeveer de helft tijdelijk of permanent onder water. In de vegetatie die zich onder deze natte omstandigheden heeft ontwikkeld, worden vier hoofdtypen onderscheiden: mangrovebossen, zwampkruiden en -struiken, zwampbossen en drasbossen. Deze vegetatietypen zijn op de luchtfoto's in het algemeen goed te onderscheiden, waardoor deze een belangrijk hulpmiddel vormen bij het onderzoek naar de hydrologie van het gebied. Uit combinatie van de vegetatiekundige inzichten en beschikbare bodemkundige en topografische gegevens kon een beeld van de hydrologische situatie worden opgebouwd.

Door het ondernemen van expedities naar belangrijke knooppunten in het moerasgebied werden gegevens over stroming, peil en watersamenstelling verzameld. Op basis hiervan werd een verdeling gemaakt in een gedeelte van het stroomgebied dat wel bijdraagt aan de vulling van de Nannizwamp, en een gedeelte dat naar elders afwatert. Een groot gedeelte, circa 55%, blijkt water af te voeren naar de aangrenzende rivieren Corantijn en Maratakka (hoofdstuk 3 en 4).

Waterverlies naar de begrenzendende rivieren

Een vaste waterscheiding tussen het stroomgebied van de Nanni en dat van de aangrenzende rivieren bleek niet te bestaan. Het was daarom nodig de afvoeren van kreken naar deze aangrenzende rivieren ook in het onderzoek te betrekken.

In de kustvlakte strekte de getijzone van rivieren zich uit tot de zuidelijke grens van het onderzoeksgebied. Dit gaf extra complicaties voor de afvoermetingen. Tevens zou de mogelijkheid zich kunnen voordoen, dat bij hoge rivierafvoeren het peil zo sterk zou stijgen, dat van de rivierkant het water in de zwampen zou lopen. Uit de waarnemingen bleek, dat dit in het onderzoeksgebied zeer onwaarschijnlijk was. Aan de Corantijn-rivier is een breed oeverwallencomplex, dat voldoende hoog is om binnenstromen te voorkomen. Bij de Maratakka blijkt dat hoge kreekafvoeren uit het gebied samenvallen met hoge rivierpeilen, waardoor een omkering van de (netto) afvoer niet kan voorkomen (hoofdstuk 5).

In het onderzoeksgebied is de invloed van de hydrologie op de vegetatie duidelijk zichtbaar. Omgekeerd heeft de vegetatie invloed op de hydrologie. In het bijzonder geldt dit voor de verdamping en de waterverplaatsing.

Binnen het bedijkte landbouwgebied kon in een perceel met zwampgrasbegroeiing de wateraanvoer en afvoer gereguleerd worden. Uit meting van verhang en stroomsnelheid kon zodoende de invloed van de vegetatie op de waterverplaatsing worden onderzocht. De stroming bleek laminair te zijn.

In hetzelfde perceel kon bij gesloten aanvoer en afvoer de evapo-transpiratie worden bepaald door deze als restfactor in een waterbalans te berekenen. Uit vergelijking met de 'Penman'-verdamping kon een gewasfactor worden bepaald. Door gebruik te maken van boven en onder de vegetatie opgestelde atmometers, type 'Ogopogo' kon van verschillende vegetatietypen de bijdrage aan de verdamping worden geschat. In een perceel met zwampbos kon op analoge wijze een gewasfactor voor zwampbos worden onderzocht (hoofdstuk 6).

Rekermodel van de Nannizwamp

Binnen de eigenlijke Nannizwamp werden zoveel mogelijk gegevens verzameld om tot een sluitende waterbalans te komen. Verschillende factoren konden moeilijk gekwantificeerd worden, omdat zij moeilijk geïsoleerd beschouwd konden worden. In het bijzonder gold dit voor de direct afstroming van de niet onder water staande oppervlakten, de verhouding droge en natte oppervlakten bij verschillende zwampeilen en de toestroming naar de Nannizwamp uit het zuidelijk gelegen moerasgebied.

Uit de waterbalans werd per dag het gemiddelde zwampeil berekend. De beschikbare peilwaarnemingen in het midden van de zwamp werden hiermee vergeleken. Van de berekende en gemeten peilen is de standaardafwijking bepaald. Deze bleek aanvankelijk 6,7 cm te bedragen. Vervolgens zijn de parameters van de factoren binnen tevoren redelijk geachte grenzen verschoven tot een zo klein mogelijke standaardafwijking werd gevonden (optimalisering). Deze berekeningen werden met behulp van computerprogramma's uitgevoerd.

Het is begrijpelijk dat juist de factoren in de waterbalans die moeilijk meetbaar waren enige correctie behoefden. Door invoering van deze correcties daalde de standaardafwijking tot 4,4 cm (hoofdstuk 7).

Stroming naar de onttrekkingspunten

Onttrekking van irrigatiewater uit het zwampgebied vindt plaats door middel van kunstwerken, die in de 'zwampkerende dammen' van het poldergebied zijn gebouwd. De toestroming naar deze kunstwerken vindt voornamelijk plaats door de excavatiekanalen, die aan de zwampzijde van de dammen zijn ontstaan.

Uit de peilwaarnemingen midden in de zwamp en langs deze waterlopen blijkt, dat de verhangen die in de waterlopen optreden, gering zijn vergeleken met de peilverschillen die optreden tussen de zwamp en deze waterlopen. Op grond van deze situatie is voor de berekening van de mogelijk onttrekking het gebied in twee reservoirs verdeeld:

- een groot reservoir, bestaande uit de Nannizwamp zelf, met als niveau het met de waterbalans berekende peil;
- een klein reservoir, bestaande uit het stelsel waterlopen met als niveau het voor de kunstwerken gemeten peil.

In het grote reservoir treedt laminaire stroming op door de vegetatie naar de waterlopen.

Het volume dat uit de zwamp naar de waterlopen toestroomt, wordt bepaald door het peilverschil tussen deze twee reservoirs. De stromingsweerstand in de zwamp blijkt in hoge mate afhankelijk te zijn van de waterdiepte. Uit deze eenvoudige benadering kan met de beschikbare gegevens het gemiddelde kanaalpeil voor de meetperiode worden berekend. De standaardafwijking van deze berekende en gemeten peilen was 15 cm. Na optimalisering van de stromingsweerstand kon de standaardafwijking teruggebracht worden tot 13 cm. De peilfluctuatie bij de afdamming bedroeg in de meetperiode ongeveer 1,30 m.

Vervolgens is met deze benadering het kanaalpeil berekend voor een periode van 150 dagen in 1971, waarover voldoende gegevens bekend waren. Voor deze periode, die niet bij de opstelling van het model betrokken was geweest, bleek de standaardafwijking 7 cm te bedragen. Hieruit mag worden geconcludeerd, dat zowel de opgestelde waterbalans als de berekening van de waterontrekking een goede benadering zijn voor het berekenen van de irrigatiemogelijkheden uit de zwamp (hoofdstuk 8).

Mogelijkheden van de zwamp als irrigatiereservoir

Uit het model voor de berekening van de irrigatiemogelijkheden komen de beperkingen van de zwamp als reservoir naar voren:

- de bergingscapaciteit is begrensd door de lekverliezen naar de begrenzende rivieren;
- de vulling is geheel afhankelijk van de neerslag;
- de oppervlakte is zeer groot vergeleken met de diepte, waardoor grote verdampingsverliezen optreden;
- de vegetatie beïnvloedt bij lage peilen de stromingsweerstand zeer ongunstig, waardoor een belangrijk gedeelte van de waterreserve maar langzaam beschikbaar kan komen.

Dat zich een succesvolle rijstcultuur heeft ontwikkeld is grotendeels te danken aan het feit, dat het gemiddelde neerslagpatroon in Nickerie betrekkelijk weinig seizoenmatig verloopt. De berging in de zwamp was in de meeste jaren voldoende groot om een korte regenloze periode te overbruggen. Daarnaast moet de flexibiliteit van het watergebruik in de rijstcultuur genoemd worden als een voor het succes belangrijke factor.

Het watergebruik in de rijstbouw blijkt voor een belangrijk deel afhankelijk te zijn van het cultuurschema. Uit dit schema volgt de gewenste waterbeheersing op het perceel. In het grootlandbouwbedrijf Wageningen (Stichting voor de Machinale Landbouw in Suriname) leidt dit tot een uitgesproken piek in het watergebruik. In de kleinlandbouw van Nickerie is de beslissing over het tijdstip van inzaaien over 3000 boeren gedecentraliseerd, waardoor het watergebruik een veel gespreider verloop blijkt te hebben. Er blijkt een verband te bestaan tussen het gemiddelde watergebruik en het zwamppeil.

De boer tracht het cultuurschema zodanig aan te passen, dat de kans op misoogst zo klein mogelijk wordt. De schade die door beperking van het watergebruik kan ontstaan, is onvoldoende onderzocht.

Een uitspraak over het totaal irrigeerbaar areaal uit de Nannizwamp kan nu alleen nog gedaan worden op grond van een subjectieve beoordeling van de invloed die waterschaarste op de productie kan hebben. Door een onregelmatig neerslagverloop van jaar tot jaar ontstaat onzekerheid over de vulling van de zwamp. Hieraan zou redelijk tegemoet gekomen kunnen worden door de waterbalansberekening voor een groot aantal jaren uit te voeren met behulp van stations met een lange waarnemingsreeks, zoals Apoera en Paradise. Door tijdgebrek moest van deze berekening worden afgezien.

Vergroting van de capaciteit van de zwamp als irrigatiereservoir is op verschillende manieren mogelijk:

- door vermindering van de stromingsweerstand bij lage peilen door het openhouden van de Nannikreek en het aanleggen van kanalen voor de onttrekking van water uit de zwamp;
 - door 'beteugeling' van de lek naar de Corantijn bij hoge zwampeilen;
 - door vergroting van het vanggebied, met name door de afvoer van het zuidelijk gebied in de richting van de Nannizwamp te leiden;
 - door het betrekken van water uit het Zanderijgebied bij de vulling van de Nannizwamp.
- Van dit gebied mag verwacht worden dat het ook in de droge tijd water kan leveren door afvoer uit het grondwaterreservoir.

De winst aan water kan redelijk geschat worden uit deze publikatie, maar voor het ontwerp van een project met dit doel zijn aanvullende gegevens nodig, vooral van terreinhoogten.

Wanneer na het gereedkomen van het Stondansieproject in de bovenloop van de Nickerie-rivier de waterlevering van beide reservoirs gecombineerd wordt, bestaat de mogelijkheid dat de Nannizwamp bij lage peilen niet meer benut zal worden. In die situatie is uitdroging tot de minerale ondergrond niet meer waarschijnlijk.

Accumulatie van veen, waardoor de stromingsweerstand toeneemt, zal dan op den duur de irrigatiemogelijkheden uit de Nannizwamp kunnen beperken. Om dit te voorkomen zullen beheersmaatregelen opgesteld moeten worden (hoofdstuk 9).

Conclusies

- Door haar aanpassing aan het heersend waterpeil vormt de vegetatie in een zwampengebied op luchtfoto's een belangrijke indicatie voor de hydrologie.
- Een belangrijke factor in de vulling van de zwamp vormt de verhouding nat/droog oppervlak bij verschillende peilen. In de Nannizwamp blijkt deze verhouding te variëren van circa 1 : 6 tot 50 : 1 bij een peiltoename van 1,20 m.
- Met de opgestelde waterbalans kan het peil in de Nannizwamp berekend worden met een standaardafwijking van 4,5 cm tussen gemeten en berekend peil.
- De toestroming van het water uit de zwamp naar de onttrekkingspunten kan benaderd worden met een stroming van een groot reservoir naar een klein reservoir. De toestroming is evenredig met het peilverschil.
- Wateroppervlakten, begroeid met zwampvegetatie hebben ook in Suriname een kleinere verdamping dan open water.

- De grens tussen het Nannistroomgebied en dat van de aangrenzende rivieren ligt niet vast, maar is afhankelijk van het peil in de zwampen.
- Ongeveer 55% van het 'stroomgebied' van de Nannikreek levert geen bijdrage tot de vulling van de Nannizwamp.
- De mogelijkheden van de zwamp als waterreservoir worden beperkt door:
 - . de bergingscapaciteit. Boven een bepaald peil neemt de lek naar de aangrenzende rivieren sterk toe;
 - . de sterke toename van de stromingsweerstand in de zwampvegetatie bij een laag peil, zodat het onttrekbaar debiet beneden het gewenste debiet daalt;
 - . het optreden van grote verliezen door de verdamping door de ongunstige verhouding tussen geborgen volume en reservoiroppervlakte.
- Ondanks deze slechte eigenschappen als irrigatiereservoir, heeft zich in Nickerie een hoog producerende rijstcultuur kunnen ontwikkelen. Een oppervlakte van 15 000 ha is voor de irrigatie alleen afhankelijk van de zwamp. Dit succes moet vooral worden toegeschreven aan de volgende twee belangrijke factoren:
 - . de neerslag heeft een tamelijk gelijkmatige verdeling over het jaar, waardoor de water-voorraad slechts over betrekkelijk korte perioden wordt aangesproken;
 - . het watergebruik in de kleinlandbouw heeft een zodanige flexibiliteit ontwikkeld, dat grote misoogsten worden voorkomen.
- Wanneer door het handhaven van een hoog peil in de zwamp de veenvorming onbelemmerd kan doorgaan, zullen de irrigatiemogelijkheden uit het zwampgebied achteruitgaan. Het beheer van het reservoir moet hierop afgestemd zijn.
- In de waterbalans (aanvoer + neerslag = afvoer + verdamping + verandering van de berging) speelt in zwampgebieden de verdamping een grote rol. Wanneer bij gedeeltelijke inpoldering van deze gebieden de afvoer en een gedeelte van de oorspronkelijke verdamping voor irrigatie dienstbaar gemaakt wordt, kan zich op eenvoudige en goedkope wijze een intensieve landbouw ontwikkelen. Vooral in uitgestrekte kustvlakten, waar de rivieren tot diep landinwaarts geen zoet water bevatten, kan het zoete water uit de zwampen een belangrijke rol spelen.

Summary

Introduction

In the UNESCO IHD (International Hydrological Decade) and IPB (International Biological Program) programmes, attention was paid to the interaction of hydrology and vegetation. In this connection, it appeared that swamps are vulnerable areas, and this was also considered in the Man and the Biosphere intergovernmental research programme.

Principal circumstances under which swamps exist are obstruction of the drainage due to geomorphological conditions, with permanent or semi-permanent inundation. The basins are filled up by sedimentation and formation of peat. Limnologically they are characterised as eutrophic, mesotrophic or oligotrophic.

Areas like this can be found in many parts of the world. In the humid tropics examples have been described in publications from East Africa, South East Asia and the Caribbean. In many cases these areas are suitable for total or partial reclamation for agricultural purposes.

A cheap and simple method of irrigating these areas is possible where part of the natural drainage can be used. Part of the swamp must be retained as a reservoir to cover the difference between water supply and demand. The following study hopes in addition to considering the irrigation possibilities of the Nanni swamp, to contribute to the knowledge of water movement and evaporation in tropical swamps, for possible use elsewhere. The effects of hydrological change upon vegetation were examined as part of a study carried out concurrently by Drs Teunissen the vegetation ecologist (Chapter 1).

Development of the irrigation from the Nanni swamp

The plantations which existed before the beginning of the century in the Nickerie district were established as polders of the northern end of the swamp. After the plantations fell into disuse, wet rice cultivation was introduced by the labourers who had previously been brought to the area by the planters. Rice growing developed steadily, and the polder area, irrigated from the swamp, grew to about 15 000 hectares. The maximum water level in the swamp was raised by means of damming from 90 cm to 150 cm above the average soil surface of the polders. With the improvement of the rice culture reclamation became steadily dearer. The question of how much water was available in total, and from whence it must come became increasingly important (Chapter 2).

The research zone has an area of more than 200 000 hectares. The greater part is situated in the so called coastal plain. This coastal plain stretches through the Guyanas. Its formation took place in the pleistocene and holocene periods.

Within the research area, the topography varies between 1.50 and 6.50 m above mean sea level. Because of the flat situation and an average annual rainfall which just exceeds the evaporation, about half the area is permanently under water. In the vegetation which has been developed under these circumstances, four main types may be distinguished: mangrove forests; swamp herbs and bushes; swamp forests, and marsh forests. These types of vegetation can generally be distinguished on the aerial photographs, and by this means they form an important guide to the hydrology of the area. From a combination of botanical studies and available pedological and topographical data, a picture of the hydrological situation could be built up.

By means of expeditions to important confluences in the swamp area, particulars of flow, water level and water composition were collected. On the basis of these, a division was made in a part of the watershed which supplied water to the Nanni swamp and also a part which did not. A large part (about 58 percent) appeared to carry water to the adjoining Corantyn and Maratakka rivers (Chapter 3 and 4). A fixed division of water between the flow area of the Nanni and that of the adjoining rivers appeared to be non-existent. It was therefore necessary to include in the study the drainage of creeks into these adjoining rivers.

In the coastal plain the tidal reaches of rivers extended to the southern boundary of the study area. This caused extra complications in drainage measurement. It appeared possible that with high river discharges the water level would rise to such an extent that water would flow from the river into the swamp. From the assembled data this seemed most unlikely to be the case in the study area. At the side of the Corantyn river there is a wide embankment complex, sufficiently high to prevent flooding. On the Maratakka it appeared that high creek drainage from the area was coincidental with high river water levels which is why a reversal of net drainage cannot occur (Chapter 5).

Influence of vegetation on flow and evaporation of water

In the investigation area the influence of the hydrology on the vegetation is clearly visible. Conversely, the vegetation influences the hydrology. This is particularly so in the case of evaporation and water movement.

Within the reclaimed agricultural area the water supply and drainage could be controlled in a part covered with swamp grass, not yet taken into cultivation. From measurements of the differences in hydraulic head and current velocities the influence of the vegetation on water movement could thus be investigated. Under the measured circumstances a laminar flow appears to occur.

In the same area the evaporation could be established by closing off inlets and outlets, and by using the evaporation as the remaining factor in calculating a water balance. A crop factor could be decided by comparison with Penman evaporation. The contribution

to the evaporation from various types of vegetation could be estimated by use of Ogopogo type atmometers, placed both above and below the vegetation. In the swamp forest area a 'Crop' factor was investigated by a similar procedure (Chapter 6).

Calculation model of the Nanni swamp

Within the actual Nanni swamp as much data as possible was collected in order to arrive at a useable water balance. Various factors could be quantified only with difficulty, because they were difficult to view in isolation. This was particularly so with regard to the direct runoff of the non-inundated areas, the relationship between wet and dry areas at various swamp levels, and also the water flow into the Nanni swamp from the southerly morass area.

The average swamp level was calculated out daily from the water balance. The measured level data from the middle of the swamp were compared with this. From the calculated and measured levels the standard deviation is established. This appeared initially to be 6.7 cm. Thereafter the parameters were adjusted to within reasonably acceptable limits until as small a deviation as possible was established (optimisation). It is understandable that precisely those factors in the water balance which were hard to measure needed some correction. After these corrections had been made the standard deviation was reduced to 4.4 cm (Chapter 7).

The withdrawal of irrigation water from the swamp area takes place artificially through sluices in the swamp retaining dams to the polder area. The water flows towards these sluices chiefly through excavated channels on the swamp side of the dams.

It appeared from the level measurements in the centre of the swamp and in these waterways that the fall in the waterways is slight when compared to the level differences between them and the swamp. In view of this, the area is divided into two reservoirs for the purpose of calculating the possible withdrawal: (a) a large reservoir, comprising the Nanni swamp itself, its level being calculated from the water balance and (b) a small reservoir comprising the group of waterways, its level being that measured in front of the sluices. In the large reservoir laminary flow appears through the vegetation towards the watercourses.

The volume which flows from the swamp into the watercourses is governed by the difference in water levels of the two reservoirs. The flow resistance in the swamps appears to be dependent largely on the depth of water. The average channel level can be calculated by means of this simple approximation, combined with available data (observed in 1973-1975). The standard difference between the calculated and actual levels was 15 cm for the duration of the measurement period. After optimisation of the flow resistance this figure could be reduced to 13 cm. The level fluctuation close to the dammed area amounted to 1.30 cm during the measurement period.

Subsequently the channel level was calculated with the aid of these estimates for a period of 150 days, for which adequate data had been collected in 1971. For this control period the standard deviation appeared to be 7 cm. From this it may be concluded that as well as the drafted water balance, the calculation of water use is an acceptable basis for

working out the irrigation possibilities of the swamp (Chapter 8).

Possibilities of the swamp as an irrigation reservoir

From the calculation model for possible irrigation use the following limitations of the use of the swamp as a reservoir appear:

- The storage capacity is limited by leakage loss
- Its filling is entirely dependent on rainfall
- The surface is very large in relation to its depth, causing high evaporation loss
- At low levels the vegetation adversely affects the flow resistance, by which means an important part of the water reserve becomes available only slowly.

The successful development of rice cultivation is largely due to the fact that the average rainfall in Nickerie is fairly well spread throughout the year. The storage capacity of the swamp is sufficient most years to bridge a short dry-spell. In addition the flexibility of water use in rice cultivation must be an important factor in making this success possible.

The use of water in rice growing appears to be largely dependent on the cultivation plan. This provides the desired water control in the plot. In the large scale rice scheme in Wageningen (Foundation for Mechanized Agriculture in Suriname) this cultivation led to a definite peak in water use. In the small scale agriculture in Nickerie, however, the decision on sowing time and mid-season drainage is made individually by 3000 farmers, which means the demand for water is more evenly spread over the growing season. Together with this fact, there appears to be a connection between the average water demand and the level of the swamp.

The farmer tries to arrange his growing plans to reduce the chance of crop failure as much as possible. The damage which may result from limited availability of water has not been adequately investigated.

A verdict on the total area irrigable from the Nanni swamp can currently only be given on the basis of a subjective view of the effects of a water shortage on production. Because of irregular rainfall patterns from year to year uncertainty exists as to the filling of the swamp. This could be reasonably clarified however, by calculation of the water balance for a great number of years, with the aid of stations such as Apoera and Paradise, which already have a long series of observations.

Enlargement of the capacity of the swamp as an irrigation reservoir might be carried out in various ways:

- By reduction of the flow resistance at low water levels, by keeping the Nanni creek open and the contraction of channels to draw water from the swamp.
- By restraining the leakage into the Corantyn river at times of high swamp levels.
- Enlargement of the catchment area, by channeling drainage from the southern area in the direction of the Nanni swamp.
- By including water from the 'Zanderij' area in the supply to the swamp. It may be expected that this area could supply water in dry periods from the ground water reservoir.

The water gain can be estimated partly from this publication; for design purposes

however, supplementary information is necessary. After completion of the Stondansie project in the upper Nickerie river, and the water supply from both reservoirs is joined, the possibility exists that the Nanni swamp will no longer be used at times of low water. In this case its drying out to the mineral subsoil is unlikely. Accumulation of peat, which will increase flow resistance, may limit the irrigation possibilities of the swamp (Chapter 9).

Conclusions

- By reason of its adaption to the existing water level, the vegetation in a swamp provides an important indication on aerial photographs of the hydrology.
- The boundary between the Nanni basin and that of the adjoining rivers is not fixed, but depends on the swamp level.
- About 55 percent of the basin of the Nanni creek does not contribute to the filling of the Nanni swamp.
- In Suriname and elsewhere stretches of water overgrown with swamp vegetation generally have a lower rate of evaporation than open water.
- An important factor in the filling of the swamp is the ratio of wet to dry areas at various water levels. In the Nanni swamp this ratio appears to vary from 1 : 6 to 50 : 1 where the level rise is 1.20 m.
- The level of the Nanni swamp can be calculated with the aid of the noted water balance to a standard deviation of 4.5 cm between calculated and measured levels.
- The flow of the water from the swamp to the water inlets can be compared to the flow from a large reservoir to a small one at a rate proportional to the difference in head.
- The possibilities of using the swamp as a reservoir are limited by: (a) the storage capacity. Above a certain level the leakage into the adjoining rivers increases sharply. (b) At low levels the flow resistance in the swamp increases greatly so that the available quantity is less than required. (c) Because of the poor surface/depth ratio there is a great evaporation loss.
- Despite these poor irrigation reservoir qualities, highly productive rice cultivation has developed in Nickerie, 15 000 hectare of which is entirely dependent on the swamp for irrigation. This success is due chiefly to two factors: the rainfall is relatively evenly spread throughout the year, so that there are only short periods when the supply in the reservoir drops, and widespread crop failure has been eliminated among the small scale farmers by reason of flexible water use.
- If the water level is high for too long, peat formation goes on unhindered, therefore the usefulness of the swamp as an irrigation reservoir will be reduced. This should be taken into account by those controlling its use as a reservoir.
- In the water balance (supply = drainage + evaporation + changes in storage capacity), evaporation plays a major part in swamp areas. When partial reclamation is carried out in these areas and the drainage plus part of the evaporation are made available for irrigation purposes, an intensive agricultural system can be developed simply and cheaply. Especially in large coastal plains where the rivers are brackish until far upstream, fresh water from swamps can play an important part.

- Alewijnse, C.P.J., 1964. Zware regens in Suriname. Mededelingen Meteorologische Dienst, Suriname, 2 (4).
- Anonymus, [zonder jaartal A]. Voorlopige inventarisatie van de landbouwstructuur in het district Nickerie. Bedrijfsontwikkeling Nickerie, rapport 1. Ministerie van Landbouw, Veeteelt en Visserij, Paramaribo, Suriname.
- Anonymus, [zonder jaartal B]. Verslag korte groeiers. Bedrijfsontwikkeling Nickerie, rapport 9. Ministerie van Landbouw, Veeteelt en Visserij, Paramaribo, Suriname.
- Bakker, R.A.F., 1976. Praktijkverslag onderzoek Nannizwamp. Landbouwhogeschool Wageningen.
- Bavina, L.G., 1972. Waterbalance of swamps in the forest zone of the European region of the USSR. International Symposium on the hydrology of marsh ridden areas, Unesco, Minsk.
- Bipat, R., 1970. Irrigatie-waterverbruik in de westelijke polders van het district Nickerie en enkele beschouwingen in verband met de resultaten. Rapport Bureau Landelijke Opbouw, Paramaribo, Suriname.
- Bloklant, A., 1975. De waterhuishouding van de Wageningenpolder. Scriptie Landbouwhogeschool, Afdeling Cultuurtechniek, Wageningen.
- Blom, A., 1786. Verhandeling over de landbouw in de colonie Suriname. Haarlem.
- Boiten, J.R., 1963. Analyse van de neerslag en de verdamping in Suriname. Bureau Landelijke Opbouw. Versl. en Rapp. Stichting Planbureau Suriname, Ministerie voor Algemene Zaken, Suriname.
- Brinkman, R. & L.J. Pons, 1968. A Pedo-Geomorphological classification and map of the Holocene sediments in the coastal plain of the three Guyanas. Soil Survey Paper 4, Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen, 40 p.
- Bureau Landelijke Opbouw, 1962. Notities betreffende de conclusies van de Grontmij. Interne nota BLO, Paramaribo, Suriname.
- Bureau Landelijke Opbouw, 1962. Combinatiemeting op de Nannikreek. Intern rapport BLO, Paramaribo, Suriname.
- Carder, A.C., 1969. Comparison of several different atmometer assemblies. Canadian Journal of Plant science 49: 535-542.
- Chin Yoe, W., 1972. Onderzoek naar de irrigatie-watervoorziening van het gebied bediend door het van Wouwkanaal Nickerie. Intern rapport afdeling projectplanning, Ministerie van Landbouw, Veeteelt en Visserij, Paramaribo.
- Clarke, R.J., 1973. Mathematical Models in Hydrology. Food and drainage paper 19, FAO, Rome.
- Coulter, J.K., 1957. Development of the peat soils of Malaya. Malayan Agricultural Journal 40: 188-199.
- Denny, Patrick, 1971. Zonation of aquatic macrophytes around Habukaka island, lake Bunyonyi S.W. Uganda. Hydrobiologia 12: 249-257.
- Dillewijn, A.F., 1957. Sleutel voor de interpretatie van begroeiings vormen uit luchtfoto's 1: 40.000 van het noordelijk deel van Suriname. Lands Bosbeheer, Paramaribo, Suriname.
- Dixon, V.R., 1971. Some aspects of the coastal artesian basin near Paramaribo. Contributions to the Geology of Suriname. Mededeling 21 Geologisch-Mijnbouwkundige Dienst, Paramaribo, Suriname.
- Duynisveld, W. & R. van der Weert, 1974. Resultaten van een afvoeronderzoek in het boven Coesewijnestroomgebied. Intern rapport Bodemfysisch en Agrohydrologisch Onderzoek, Landbouwproefstation, Suriname.
- Eisenlohr Jr., W.M.S., 1966. Water loss from a natural pond through transpiration by Hydrophytes. Water Resources Research 2 (3).
- Elbers, H.A.J., 1967. Berekening van de aan- en afvoerbehoefte voor een polder met mechanische natte rijstverbouw in het district Nickerie. Intern rapport 103, Landbouwkundig proefstation Suriname.
- Fortanier, E.J., 1962. Rapport inzake het onderzoek naar de mogelijkheden van verbouw van tweede gewassen en boomcultures voor het Wageningen project. Stichting Ontwikkeling Machinale Landbouw, Wageningen, Suriname.

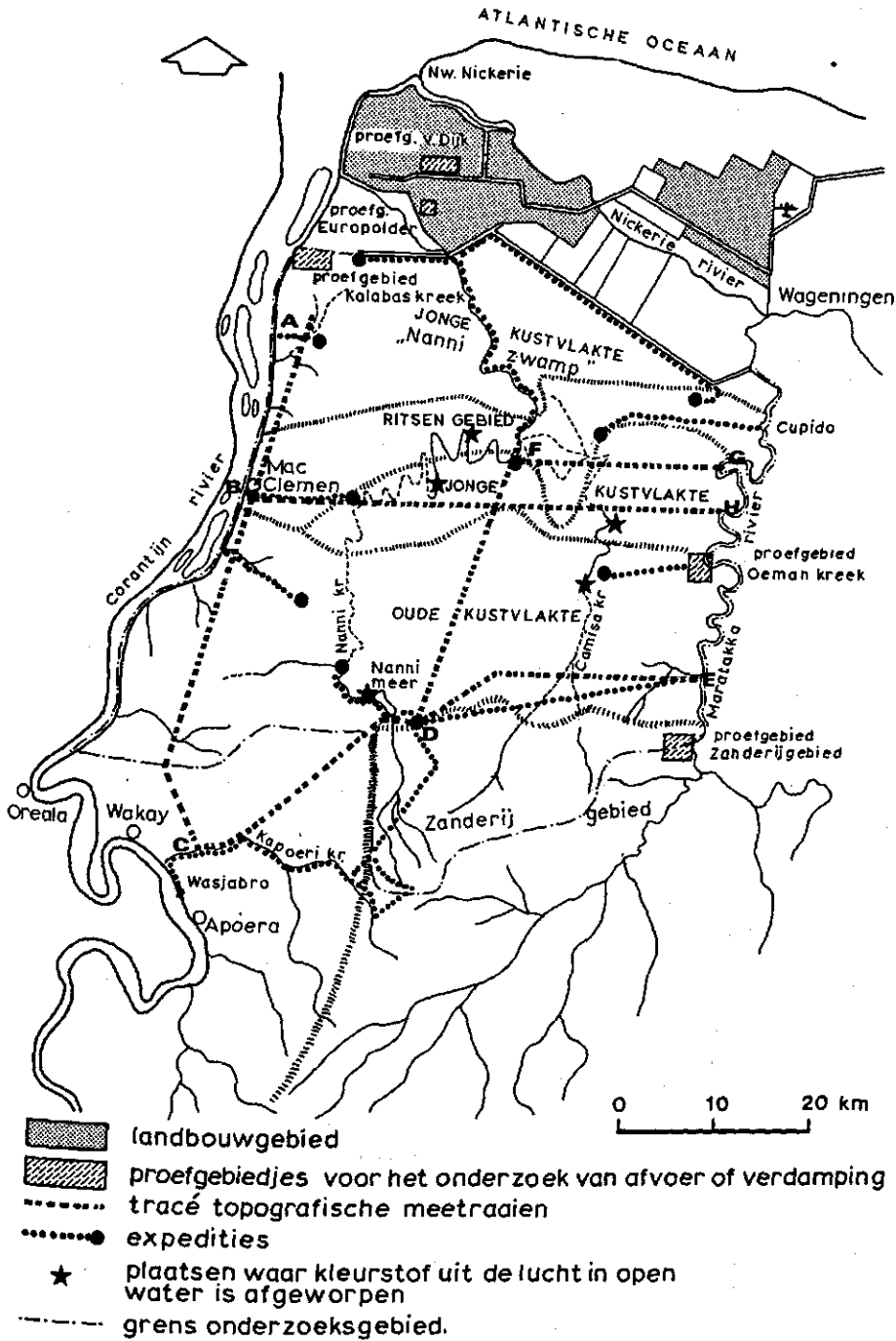
- Gelboux, T.M., 1964. Evapotranspiration from overgrowing reservoirs. Transactions of the state Hydrology Institute (Trudy GGI) nummer 92: 152-174.
- Geyskes, D.C., 1941. De Nannikreek. Reisverslag en resultaten van een biologisch onderzoek. Paramaribo, 45 p. [Niet gepubliceerd rapport].
- Geyskes, D.C., 1942. Verslag van twee vliegtochten boven de Nannikreek in Nickerie op 18 sept. 1942. Paramaribo, 13 p. [Niet gepubliceerd rapport].
- Geyskes, D.C., 1946. Schetskaart (schaal 1 : 200.000) van de vegetatie in het stroomgebied van de Nannikreek. Paramaribo. [Niet gepubliceerde kaart].
- Geyskes, D.C., 1973. Reisverslag van de Expeditie West-Suriname 1971. Zoölogische Bijdragen 15: 41 p.
- Gillbrich, W.H., 1971. IHD viewpoints on the Ecology of Macrophytes. IBP/UNESCO. Meeting on Macrophytes, 1-10 september 1971, Bucuresti, Romania. Hydrobiologia 12.
- Graaf, N.R. de, 1974. Wortelontwikkeling van *Viola Surinamensis*. 3e en 4e kwartaalverslag *Celos. Celos*, Paramaribo, Suriname.
- Grontmij, 1961. Streekplan voor het landbouwgebied Nw. Nickerie Suriname. Grontmij., De Bilt, Nederland.
- Grontmij, 1964. Black river morasses reclamation project. Grontmij., De Bilt, Nederland.
- Have, H. ten, 1967. Research and breeding for mechanical culture of rice in Surinam. Centrum voor Landbouwpublikaties en Documentatie, Wageningen, Nederland.
- Heerde, van, 1971. Slib voor de Surinaamse kust en in de estuaria. P 71-13 Waterloopkundige Afdeling, Paramaribo, Suriname.
- Hewitt, E.W., 1922. Nickerie als landbouwdistrict. Landbouwkundig tijdschrift voor Suriname en Curaçao 7 (4)
- Hewitt, E.W., 1930. Verslagen van het Landbouwproefstation '28/'30, Paramaribo, Suriname.
- Ivanov, K.E., 1972. Hydrological stability criteria and reconstruction of bogs and boglake systems. International Symposium on the hydrology of marsh ridden areas, UNESCO, Minsk.
- Jackson, E.J., 1971. Problems of throughfall and interception assesment under tropical forest. Journal of Hydrology 12: 234-254.
- Junghuhn, F., 1854. Java, zijn gedaante, zijn plantentooi en inwendige bouw. 2e verbeterde uitgave (1954).
- Kamerling, G.E., 1967. Enige beschouwingen over de benodigde aan- en afvoer bij polders met machinale rijstverbouw, speciaal met betrekking tot het tussenseizoen. Intern rapport Bodemfysisch en Agrohydrologisch Onderzoek 123, Landbouwproefstation, Suriname.
- Kamerling, G.E., 1974. Bodemfysisch en Agrohydrologisch onderzoek in de jonge kustvlakte van Suriname. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 825, 259 p.
- Kamerling, G.E. & R. Bipat, 1959. Bodemfysisch en Agrohydrologisch onderzoek. Jaarverslag 1968, Mededeling 44 Agricultural Experiment Station, Paramaribo, Surinam.
- Koopmans, R.W.R. & W.H.J. Vochtelo, 1973. Evapotranspiration measurements with a weighable lysimeter in Surinam. De surinaamse Landbouw 21 (2): 62-69.
- Kooyman, J., 1971. Het verband tussen de verdamping van een open wateroppervlak en de relatieve zonneschijn voor diverse stations in Suriname. Intern rapport Bodemfysisch en Agrohydrologisch Onderzoek 292, Landbouwproefstation, Suriname.
- Köppen, W., 1936. Das geografische System des Klima's. Berlin.
- Lenselink, K.J., 1972. De gemiddelde waarden van de waterbalansgrootheden voor de belangrijkste stroomgebieden in Suriname. Intern rapport Bodemfysisch en Agrohydrologisch Onderzoek 322, Landbouwproefstation, Suriname. [Niet gepubliceerd rapport, gegevens vermeld in tabel 1.1 bijlage 1.]
- Lenselink, K.J. & R. van der Weert, 1973. Estimating free water evaporation in Surinam. De Surinaamse Landbouw 21: 70-79.
- Kamerling, G.E., K.J. Lenselink & R. van der Weert, 1974. Irrigation and drainage requirements for large scale mechanized rice farming in Surinam. De Surinaamse landbouw 22: 1-12.
- Linacre, E.T. et al., 1970. Evaporation from a swamp. Agricultural Meteorology 7: 375-386.
- Lindeman, J.C., 1953. The vegetation of the coastal region of Surinam. The vegetation of Surinam 1.1. Bulletin 63, Landbouwproefstation, Suriname.
- MAB [Man and the Biosphere], 1972. Intergouvernementeel programma 'Man and the Biosphere' Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Amsterdam, Nederland, 15 p.
- Meteorologische Dienst, 1960. Regenkaarten van klimatologische tabellen, Meteorologische Dienst, Paramaribo, Suriname.
- Migahid, A.M., 1952. Further observations on the flow and loss of water in the 'sudd' swamps of the upper Nile. Fouad, University press, Caïro, Egypt.
- Mohr, E.C.J., 1944. The soils of equatorial regions with special reference to the Netherlands East Indies.

- Nedeco [Nederlands Ingenieursbureau voor Buitenlandse Werken, Den Haag], 1959.
Reclamation of cienage de zapata Cuba. Grontmij., De Bilt, Nederland.
- Nedeco [Nederlands Ingenieursbureau voor Buitenlandse Werken, Den Haag], 1957, 1960.
Koembe rijstproject Nieuw Guinea, Nedeco, Den Haag, Nederland.
- Nieuwkoop, J. van, 1969. Een onderzoek naar het irrigatiewaterverbruik in district Nickerie. Rapport Bureau Landelijke Opbouw, Paramaribo, Suriname.
- Penman, H.L., 1956. Estimating evaporation. Transactions. American Geophysical Union 37.
- Polak, B., 1941. Veenonderzoek in Nederlands Indië. Mededelingen van het Algemeen Proefstation voor de Landbouw, Buitenzorg 53.
- Polak, B., 1949. De Rawa Lakbok. Een Eutroof laagveen op Java. Mededelingen van het Algemeen Proefstation voor de Landbouw, Buitenzorg 85: 1-60.
- Polak, B., 1951. Construction and origin of floating islands in the Rawa Pening (centr. Java). Contributions from the General Agricultural Research Station, Bogor 121: 3-11.
- Pons, L.J., 1966. Geogenese en pedogenese in de jonge holocene kustvlakte van de drie Guyanas. Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap 83 (2): 153-172.
- Reliveld, W.L., 1954. Ontwikkeling van de bevolkings-rijstbouw in district Nickerie. De Surinaamse Landbouw 2: 75-84.
- Rijks, A.A., 1969. Evaporation from a papyrus swamp. Quarterly Journal Royal Meteorological Society 95: 643-649.
- Ringma, S.H., 1960. De irrigatiecapaciteit van de Surinaamse rivieren. Bureau Landelijke Opbouw, Paramaribo, Suriname.
- Rittershaus, L., 1971. Waterbalans van een der bevolkingspolders te Nickerie. Tussenseizoen 70/71. Intern rapport afdeling projectplanning, Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening, Paramaribo, Suriname.
- Roest, C.W.J., 1972. Onderzoek naar de capaciteit van de Nannizwamp als reservoir voor irrigatiewater. (I en II) Intern rapport afdeling projectplanning, Ministerie van Landbouw, Veeteelt en Visserij, Paramaribo, Suriname.
- Scheltema, W., 1969. Waterbehoefte Wageningen polder. Bodemkundig en Cultuurtechnisch Onderzoek, Intern rapport 6, Stichting Ontwikkeling Machinale Landbouw, Suriname.
- Scheltema, W., 1974. Puddling against dry plowing for lowland rice culture in Surinam. Agricultural Research Reports 828.
- Schoenmaker, H.J. & J. Stuij, 1976. Waterloopkundige verkenningen in ontwikkelingslanden, geïllustreerd aan het Upang-project in Indonesië. Landbouwkundig tijdschrift/pt 88 (maart): 71-78.
- Schulz, J.P., 1960. Ecological studies on rain forest in northern Surinam. The vegetation of Surinam II. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afdeling Natuurkunde, Reeks 2, 53 (1): 1-267.
- Sevenhuijsen, R.J. & J. Buys, 1975. De Nannizwamp als irrigatiewaterreservoir. Deel I en II. Waterloopkundige Dienst, Paramaribo, Suriname.
- Teunissen, P.A., 1975. Vegetation and vegetation-changes of the dammed up Nanni swamp south of the Nickerie rice area Suriname. Report of the Surinam Forest Service, Paramaribo, Surinam.
- Veen, A.W.L., 1970. On geonesis and pedogenesis in the old coastal plain of Surinam. Diss. Amsterdam.
- Voorde, P.K.J. van der, 1959. De bodemgesteldheid van het ritsen landschap en de oude kustvlakte in Suriname. Bulletin 74, Landbouwproefstation, Paramaribo, Suriname.
- Vos, de, 1940. Rapport omtrent de te nemen maatregelen in belang van de verbetering van de waterbouwkundige toestand in Suriname. Min. v. OW. en V., Paramaribo, Suriname.
- Waailewijn, A., 1966. Hydrostatic leveling in the Netherlands. Geodesia nummer 131: 212-221; nummer 132: 266-276.
- Wasawo, D.P.S., [zonder jaartal]. Some problems of Uganda swamps. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Ninth technical Meeting, Nairobi, 9 p.
- Waterloopkundige Afdeling, 1964. Onderzoek lekverliezen Midden Nickerie rivier. Rapport 64-1 WLA, Paramaribo, Suriname.
- Waterloopkundige Afdeling, 1969. Hydrological data lower Corantijn river. WLA, Paramaribo, Suriname.
- Waterloopkundige Afdeling, 1970. Hydrological data lower Nickerie river. WLA, Paramaribo, Suriname.
- Waterloopkundige Afdeling, 1971. Hoogwatergolf op de Nickerie rivier in mei 1970. P 71-14 WLA, Paramaribo, Suriname.
- Weert, R. van der & G.E. Kamerling, 1968. Evapotranspiratie van de waterhyacint. Intern rapport Bodemfysisch en Agrohydrologisch Onderzoek 211, Landbouwproefstation, Suriname.

- Welch, P.S., 1935. Limnology: I - XIV, 1-471. McGraw-hill, New York, London.
- Wilcox, J.C., 1968. Some evaporation factors. Report of Research Station Summerland B.C., Canada.
- Willemink, J., 1976. Praktijkverslag onderzoek Nannizwamp. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Wolterspergers, [zonder jaartal] . Samenwerking onder landbouwers. Bedrijfsontwikkeling Nickerie, rapport 14. Ministerie van Landbouw, Veeteelt en Visserij, Paramaribo, Suriname.
- Zonneveld, J.I.S., 1950. Riviertvormen in de kustvlakte van Suriname. Tijdschrift van het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap 67 (5): 605-615.

Appendix A

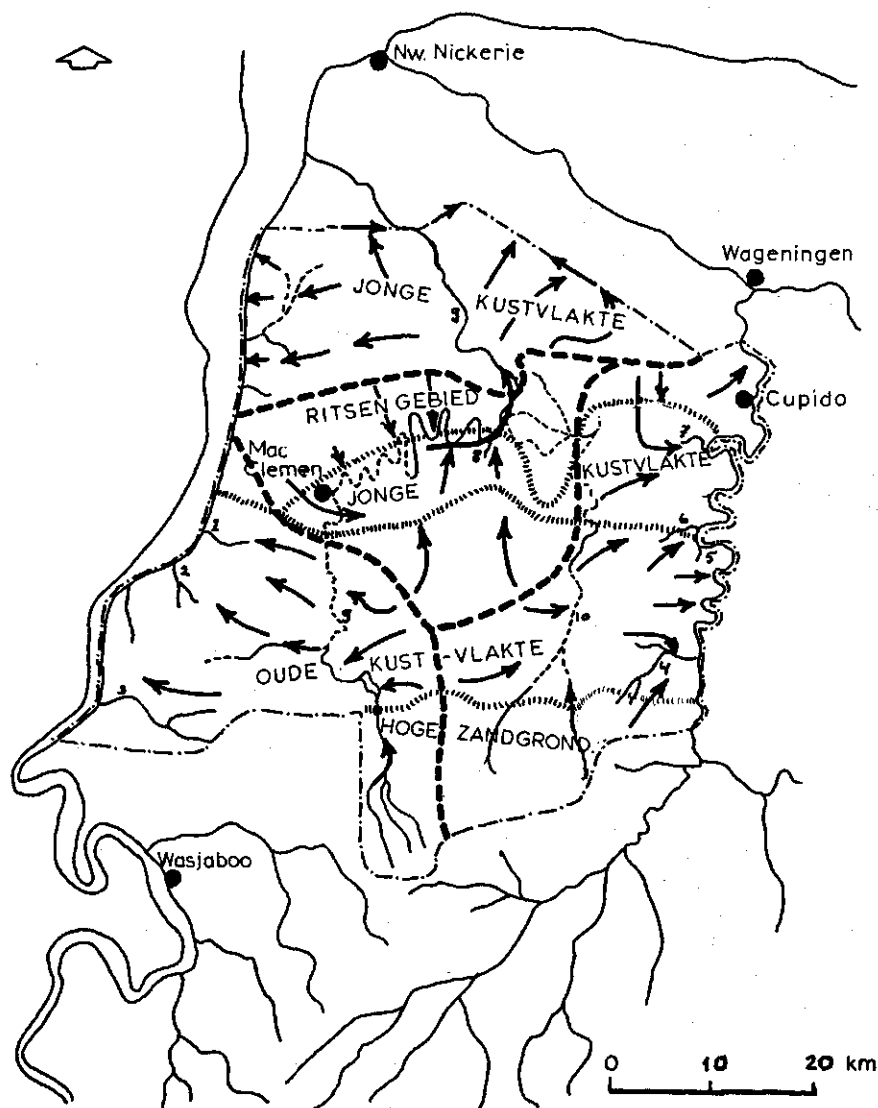
Appendix A. Overzichtskaart van het onderzoeksgebied.



Appendix A. General map of the area studied.

Appendix B

Appendix B. Schematisch overzicht van de waterverplaatsing in het onderzoeksgebied.
 1. Dalibanekreek, 2. Koekwikreek, 3. Makilikabroekreek, 4. Waraukreek, 5. Oemankreek,
 6. Maratakkakreek, 7. Stonkreek, 8. Blackawatrakreek, 9. Nannikreek, 10. Camisakreek.

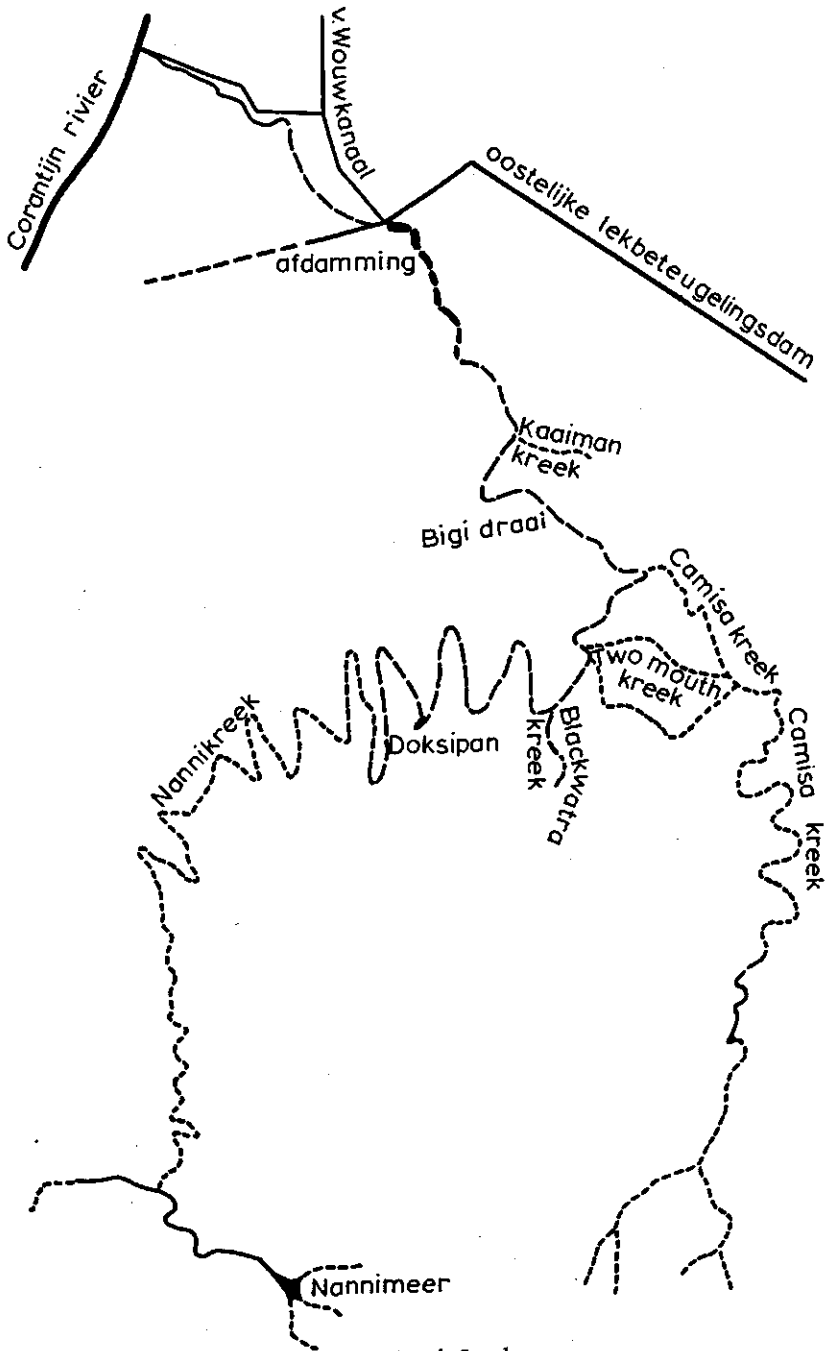


- grens onderzoeksgebied.
- waterscheiding in het onderzoeksgebied
- richting van waterverplaatsing

Appendix B. Schematic map of water movement in the area studied.

Appendix C

Appendix C. Overzichtskaart van de Nannikreek.



Appendix C. General map of the Nanni Creek.