

Geohydrologische modellering van het Naardermeer

Inleiding

Het natuurgebied Naardermeer heeft een lange en roemrijke geschiedenis achter zich [Barendregt *et al.*, 1991]. De unieke positie van het Naardermeer als natuurgebied is mede te danken aan de ligging van het meer in het overgangsgebied van de Gooise Heuvelrug en het laag gelegen Vechtplassengebied.



IR. R. HOOGEVEEN
Witteveen + Bos



J. KLINKSPOOR
Provincie Noord-Holland



IR. H. MASSOP
LU, thans Witteveen + Bos

Het karakteristieke van deze rand-gebieden van het Gooi komt vooral tot uitdrukking in de geohydrologie: een smalle strook waar uit de heuvelrug afstromend grondwater opkwelt. De geomorfologie van het Gooi vindt vooral zijn oorsprong in het Saalien. In deze periode zijn de stuwwallen van het Gooi gevormd. Het Vechtplassen-gebied wordt geomorfologisch gekarakteriseerd door holocene afzettingen, van de slecht doorlatende Westland-formatie. Aan de geologie en het hydrogeologisch systeem van dit gebied zijn in de loop der jaren vele studies gewijd; Witmer [1989], Offerein, Timmermans [1988], e.a. De laatste decennia is er voor wat betreft het Naardermeer sprake van zowel een afname van kwel uit het Gooi als een toename van waterverlies naar de omliggende polders. De oorzaken hiervan zijn:

1. de grondwateronttrekkingen in het Gooi in combinatie met een afname van de infiltratie van neerslag door toename van het percentage verhard oppervlak;
2. de voortgaande peilverlagingen in veel poldergebieden.

Dit heeft ertoe geleid dat in droge perioden inlaat van gebiedsvreemd water nodig is. Eén van de mogelijkheden om deze inlaat te beperken is het creëren van bufferzones met een verhoogd peil in (delen van) de polders rond het Naarder-

Samenvatting

Het Naardermeer is een uniek, nat natuurgebied in Nederland. Voor dit gebied en zijn omgeving is een numeriek grondwatermodel ontworpen op basis van het programma MicroFem [Hemker (1987)], aan de hand waarvan uitspraken gedaan kunnen worden over verschillende, alternatieve beheersmaatregelen voor dit gebied.

meer, waardoor de wegzijging naar de omliggende polders kan worden gereduceerd. In het kader van deze mogelijke beheersmaatregel zijn berekeningen uitgevoerd met behulp van een geohydrologisch model. Deze berekeningen komen later in dit artikel aan de orde.

Het model

Er is voor het programmapakket MicroFem gekozen om deze modellering uit te voeren. De belangrijkste motieven hiervoor waren:

- de beschikbaarheid en bekendheid van dit programmapakket bij veel instanties;
- de gebruikersvriendelijke opbouw van dit pakket, waardoor de gebruiker eenvoudig wijzigingen in het model kan aanbrengen;
- de mogelijkheid om de relatie met oppervlaktewater op diverse manieren te modelleren.

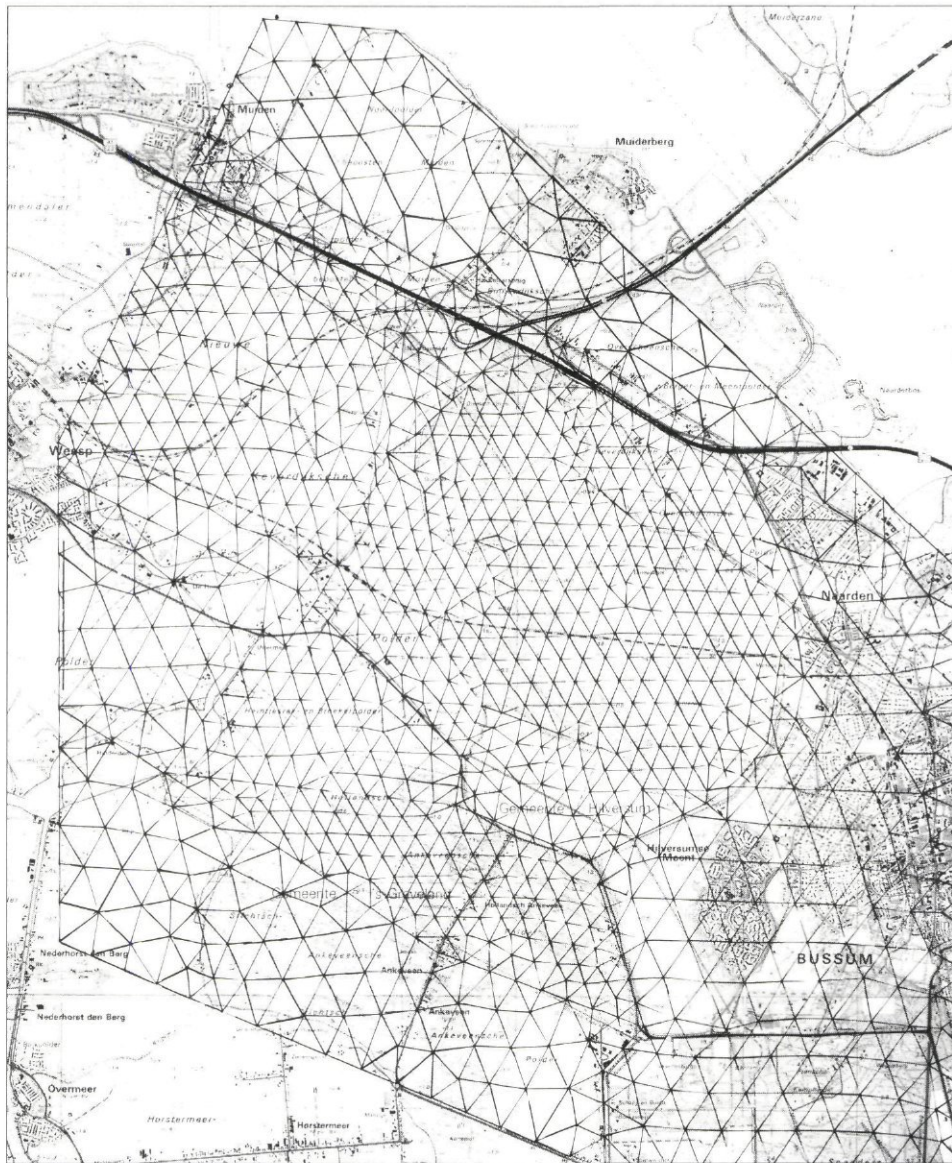
Voor dit laatste aspect bestaan er geavanceerder, veelal instationaire programma's. Het gebruik hiervan wordt echter beperkt door de beschikbare gegevens. Daarnaast zijn deze modellen doorgaans ook minder gebruikers-vriendelijk.

Het gekozen modelgebied is weergegeven in afb. 1. De rand van het modelgebied is zo gekozen dat of sprake is van opgelegde randvoorwaarden (voedende grens), of dat de invloed van de gekozen rand voor minder dan 5% doorwerkt op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket ter plaatse van het onderzoeksgebied (Naardermeer en omliggende polders). Dit laatste is nodig om te voorkomen dat het model wordt 'opgehangen' aan zijn randvoorwaarden. De invloed is geschat aan de hand van analytische berekeningen met behulp van parameters uit de literatuur.

TABEL I – De drainageweerstand.

Polder	Slootafstand (m)	Cd1 (d)	Cd2 (d)	Cd model (d)
KOP	60	75	60	75
ZPBM	75	95	60	75
NKPNO	75	95	60	75
NKPZU	60	75	60	65
NKPOO	90	110	60	80
HBM	110	140	170	150
HBP	90	110	60	85

Het geomorfologische verschil tussen het Gooi en het Vechtplassengebied zet zich door in de geohydrologische karakterisering en schematisatie. In het Vechtplassengebied is een slecht doorlatend afdekkend pakket aanwezig dat uitwigt tegen het Gooi. De verticale hydraulische weerstand van deze laag varieert sterk. De waarde varieert van circa 10 dagen in het oosten van het gebied, nabij het Gooi, tot circa 1.000 dagen in het westen, ter plaatse van de Vecht. Zowel in het Gooi als in het Vechtplassen-gebied worden door verschillende auteurs één of twee watervoerende pakketten onderscheiden. Eén en ander hangt samen met het al of niet aanwezig zijn van een slecht doorlatende laag, behorende tot de Formaties van Sterksel en Enschede (op circa NAP-50 m). De diepst gelegen delen van dit samengestelde, watervoerende pakket bestaan uit afzettingen behorende tot de Formaties van Tegelen en Harderwijk. De ondieper gelegen delen zijn samengesteld uit de Formaties van Sterksel, Enschede, Urk, Drente en Twente. Om redenen van modelbeheersbaarheid en omdat deze studie zich vooral richt op de gevolgen voor de relatief 'ondiepe' grondwaterstroming, is gekozen voor een schematisatie met één watervoerend pakket. De genoemde waarden in de literatuur voor het doorlaatvermogen van dit pakket variëren zeer sterk. Afhankelijk van de geraadpleegde literatuur en de gehanteerde onderzoeksmethode worden waarden gevonden variërend van 1.800 tot 7.500 m²/dag [Timmermans (1988), Witmer (1989)]. Het programma-pakket MicroFem legt de gebruiker een model-schematisatie op waarbij achtereenvolgens sprake is van



Afb. 1 - Het modelgebied met het netwerk.

slecht doorlatende lagen en water-voerende pakketten. Aan de top van het systeem bevindt zich een slecht doorlatende laag. Het pakket beschikt binnen deze conceptuele opbouw over een aantal krachtige mogelijkheden. Zo kan bijvoorbeeld de toplaag eenvoudig als volledig ondoorlatend ingevoerd worden, waardoor het mogelijk is om een freatisch pakket te modelleren.

Voor de verschillende beheersvarianten van het Naardermeer is het noodzakelijk om een vrij oppervlaktewaterpeil te kunnen simuleren. MicroFem beschikt niet over een expliciete mogelijkheid om open water te kunnen modelleren. Om de polderpeilen met het oog op de diverse beheersvarianten zo realistisch mogelijk in het model op te kunnen nemen, moet ook het peilverschil tussen oppervlaktewater en het freatisch grondwater in het model

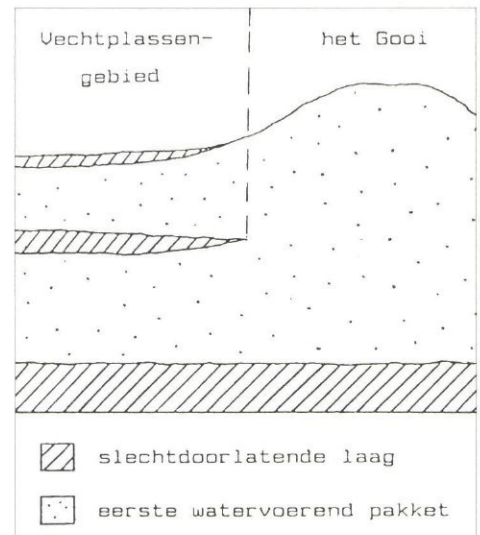
correct worden gesimuleerd.

Aan de bovenstaande voorwaarden is voldaan door in het Vechtplassengebied het afdekkend pakket te modelleren als een systeem van drie lagen:

1. een slecht doorlatende laag die de drainageweerstand representeert;
2. een goed doorlatende laag met een zeer laag, dan wel een zeer hoog horizontaal doorlaatvermogen, die representatief is voor respectievelijk het freatisch grondwater en het open water (in casu het Naardermeer);
3. een slecht doorlatende laag die het verticale doorlaatvermogen van het feitelijke, afdekkend pakket representeert.

De drainageweerstand is bepaald volgens twee verschillende methoden:

1. schatting van de drainageweerstand op grond van de waterbalans van het sloten-systeem;



Afb. 2 - Geohydrologische schematisatie.

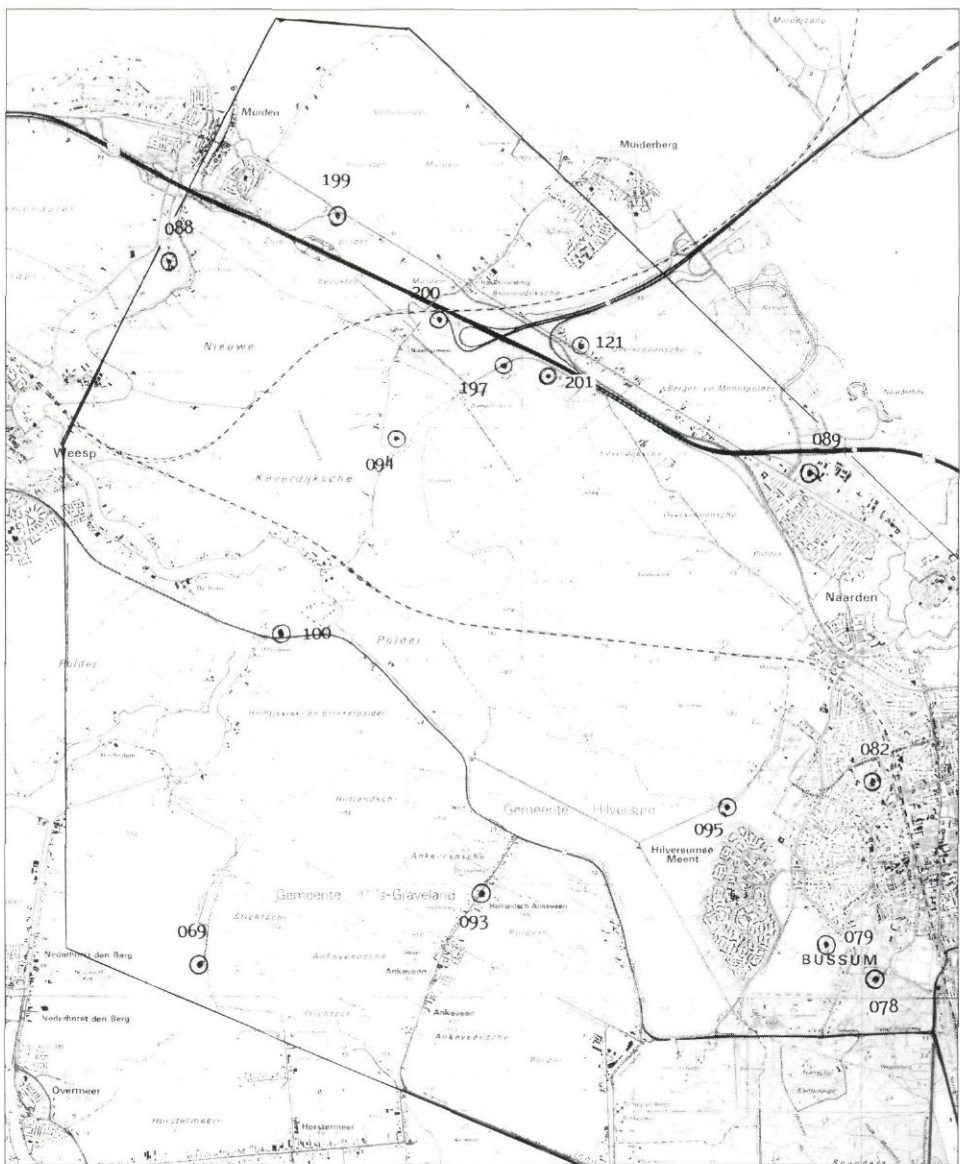
2. een schatting aan de hand van de vergelijking van Ernst Querner [1988]. De resultaten zijn weergegeven in tabel I. Voor het Naardermeer en het Gooi is de eerste slecht doorlatende modellaag ingevoerd als ondoorlatend, om zowel open water als het freatisch grondwater te simuleren. Ter plaatse van het Gooi is ook de tweede slecht doorlatende modellaag als ondoorlatend ingevoerd. Voeding door neerslag is in deze modellering aan het open water, casu quo het freatisch grondwater toegekend. Dit is eenvoudig in het model te verwezenlijken door een knooppuntsoppervlak-afhankelijk debiet toe te kennen aan de knooppunten in respectievelijk de eerste en de tweede watervoerende modellaag.

Voor de simulatie van open wateren is het horizontale doorlaatvermogen van de eerste watervoerende modellaag zo hoog gekozen als MicroFem toestaat. In het Vechtplassengebied is, voor de simulatie van het freatisch grondwater, deze waarde arbitrair op 1 m²/dag gesteld. Controle-runs met 0 m²/dag leverden geen ander resultaat. Om er voor te zorgen dat er in het model geen horizontaal contact tussen de deklagen van de polders ontstaat, is een dubbele rij knooppunten met doorlaatvermogen 0 m²/dag ingevoerd langs de randen van de polders. Als apart element in de modellering moet nog het cunet van de rijksweg A1 worden genoemd. De deklaag is daar tot op het pleistocene zand (eerste watervoerend pakket) afgegraven. Dit heeft een sterk drainerende invloed tot gevolg welke duidelijk zichtbaar is op de isohypsenkaarten van dit gebied. De zeer lage weerstand van de deklaag ter plaatse van de A1 moet in het model worden gesimuleerd. Ondanks het feit dat de kleinste model-elementen slechts een oppervlak van circa

0,3 hectare hebben, is dit te groot voor het representatieve oppervlak van de weg. De lage weerstand ter plaatse van de A1 moet verrekend worden met de weerstand van de deklaag in de omgeving. Dit is gedaan door de bijdragen van zowel de A1 als de naastliggende polder naar evenredigheid aan de knooppunten toe te kennen.

Het model is gekalibreerd aan de gemiddelde situatie van 1974 tot en met 1980 en geverifieerd aan de gemiddelde situatie in 1988. Deze laatste situatie diende ook als referentie voor de uit te voeren berekeningen. Bij de kalibratie en verificatie zijn de peilbuiswaarnemingen in het modelgebied en de waterbalans van de polders gebruikt als toetsingscriteria. Omdat de gegevens voor het opstellen van de waterbalans niet altijd beschikbaar of voldoende betrouwbaar waren, zijn deze gegevens overwegend kwalitatief in plaats van kwantitatief gehanteerd. De kalibratie en de verificatie zijn uitgevoerd door minimalisering van de gemiddelde absolute fout tussen de berekende en de gemeten stijghoogten. Het eindresultaat voor de periode 1974 tot en met 1980 is een gemiddelde absolute fout van 0,10 meter en voor de periode 1988 is de gemiddelde absolute fout 0,07 meter. De ligging van de peilbuizen is weergegeven in afb. 3, een overzicht van de fout per peilbuis is gegeven in tabel II.

Over 1988 luidde de waterbalans van het Naardermeer:
(kwel + wegzijging) = inlaat - bemaling + effectieve neerslag = 195 - 640 + 342 = 103 (mm/jaar).
De berekening van de waterbalans van het Naardermeer met behulp van het model geeft:
(kwel + wegzijging) - inlaat = - 84 (mm/jaar).
Gelijk stellen van de termen (kwel + wegzijging) leidt tot een benodigde inlaat van 187 mm/jaar. De gemeten inlaat



Afb. 3 - Ligging peilbuizen.

bedroeg 195 mm/jaar. De overeenkomst tussen de uitkomsten is bevredigend.

Scenario-analyses

Met het model is een aantal berekeningen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de invloed van peilverhogingen in de

polders om het Naardermeer. In concreto betreft het de volgende polders:

- de Keverdijksche Overscheense polder (KOP)
- de Zuidpolder Beoosten Muiden (ZPBM)
- de Nieuwe Keverdijksche polder noord (NKPNO)
- de Nieuwe Keverdijksche polder zuid (NKPZU)
- de Nieuwe Keverdijksche polder oost (NKPOO)
- de Hilversumse Bovenmeent (HBM).
- de Heintjesrak en Broeker polder (HBP).

Een overzicht van de ligging van de polders met de bijbehorende polderpeilen is gegeven in afb. 4.

Er is voor peilverhogingen over het gehele oppervlak van de polders gekozen, in

Tabel II - Overzicht van de fout per peilbuis in 1988.

Nummer peilbuis	Knooppunt	Gemeten Stijghoogte (NAP -m)	Berekende Stijghoogte (NAP -m)	Vershil
25H P 093	840	-1,38	-1,33	0,05
25H P 094	237	-1,67	-1,65	0,02
25H P 095	964	-0,72	-0,77	-0,05
25H P 100	283	-1,49	-1,58	-0,09
25H P 197	322	-1,28	-1,29	-0,01
25H P 201	320	-1,28	-1,17	0,11
25H P 199	115	-1,52	-1,5	0,02
25H P 121	326	-1,11	-1,05	0,06
25H P 089	604	-0,69	-0,69	0
25H P 088	63	-1,83	-1,81	0,02
25H P 078	1.050	-0,23	-0,1	0,13



Afb. 4 - Ligging polders met polderpeilen in meters ten opzichte van NAP.

plaats van in smalle bufferzones om de volgende redenen:

- peilverhoging in smalle bufferzones rond het Naardermeer heeft een geringer effect of vergt een grotere peilverhoging voor hetzelfde effect als bij bredere bufferzones;
- een geringere peilverhoging betekent een minder hoge infiltratie in de bufferzone, met als gevolg een minder grote

toevoer van gebiedsvreemd water in de bufferzones;

- de polders zijn vanuit waterhuishoudkundig oogpunt gezien enkelvoudige eenheden, wat geen extra ingrepen vergt;
- gezien vanuit de natuurwaarden van de bufferzones is het gunstiger om in brede zones een beperkte peilverhoging door te voeren dan een grote peilverhoging in smalle zones.

De inlaat van gebiedsvreemd water zal vooral plaatsvinden in droge perioden. Deze droge perioden zijn in het model gesimuleerd door ter plaatse van de polders de neerslag op 0 mm/dag te stellen en in het Gooi slechts 25% van de gemiddelde neerslag in te voeren.

Dit laatste is gedaan omdat het om continuïteitsredenen noodzakelijk is de bergingsverandering in het Gooi in beschouwing te nemen.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd met een vrij (dat wil zeggen niet-beheerst) peil in het Naardermeer.

De berekeningen geven een lineair verband te zien tussen de peilverhogingen en de waterbalansen. Als resultaat van de berekeningen worden de waterbalansen in respectievelijk, de polders met een peilverhoging en het Naardermeer gepresenteerd, zowel in tabelvorm als grafisch. In de tabel worden de waterbalansen weergegeven in mm/dag en in m³/jaar. De hoeveelheid kubieke meters wordt berekend met behulp van de oppervlakten die zijn weergegeven in tabel III. In de tabellen worden de resultaten gegeven van de waterbalansen ten opzichte van de situatie met de polderpeilen van 1988, de nul-situatie. Als maximale peilverhoging is gekozen voor een verhoging van 60 centimeter in de bovengenoemde polders. Hiervoor is gekozen omdat bij grotere peilverhogingen de polders onder water gezet worden en dit als niet gewenst wordt beschouwd. In de grafieken is het verloop van de waterbalansen af te lezen voor verschillende peilverhogingen in de genoemde polders rondom het Naardermeer.

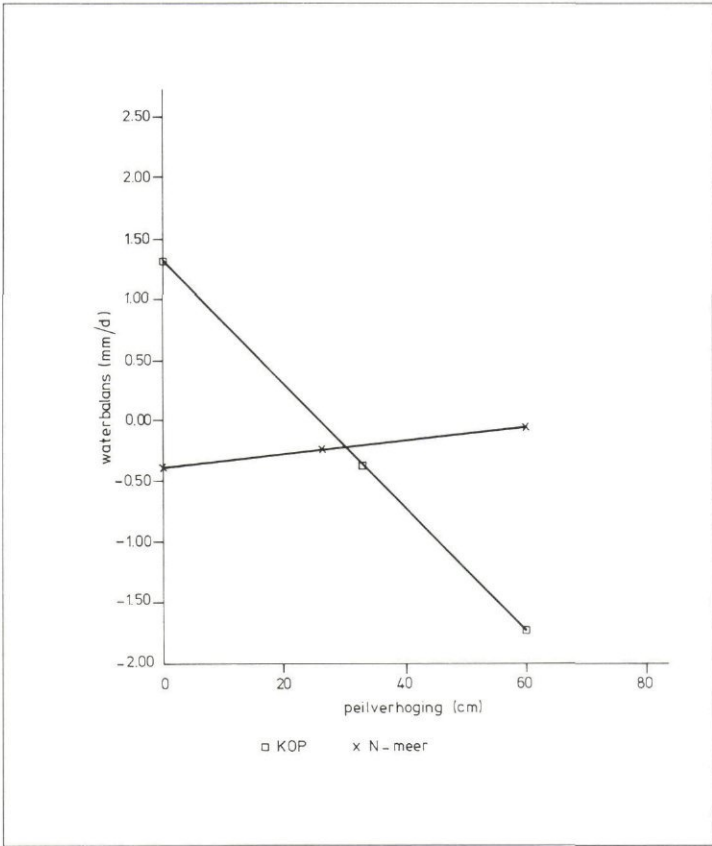
De berekeningen zijn uitgevoerd voor de polders afzonderlijk. Daarnaast is het geval bekeken waarin uitgegaan wordt van een gecombineerde peilverhoging in een tweetal polders. Dit zijn de Hilversumse Bovenmeent en de Nieuwe Kevedijksche polder oost. Voor die combinatie is gekozen aan de hand van twee criteria:

- een minimale inlaat van gebiedsvreemd water
 - een maximaal effect op de vermindering van de wegzijging vanuit het Naardermeer.
- De doorgerekende situaties zijn:
- situatie 1: peilverhoging in de gehele KOP
 - situatie 2: peilverhoging in de gehele ZPBM
 - situatie 3: peilverhoging in de gehele NKPNO
 - situatie 4: peilverhoging in de gehele NKPZU
 - situatie 5: peilverhoging in de gehele NKPOO
 - situatie 6: peilverhoging in de gehele HBM
 - situatie 7: peilverhoging in de gehele HBP
 - situatie 8: peilverhoging in de gehele NKPOO + de gehele HBM

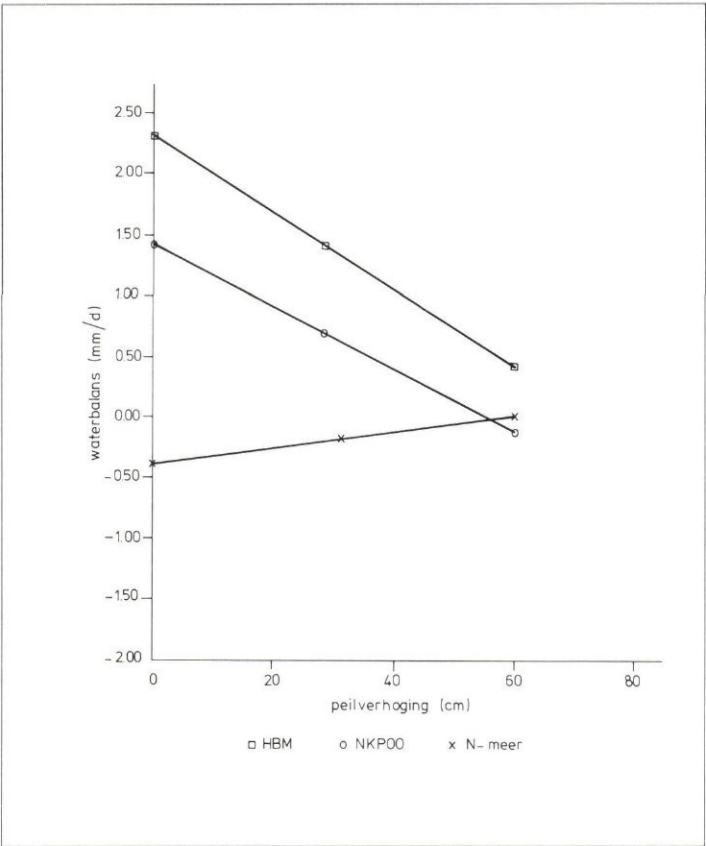
Ter illustratie worden van situatie 1 en situatie 8 de resultaten in tabelvorm en grafisch weergegeven.

Tabel III - De oppervlakten van de polders.

Polder	Oppervlakte (ha)
KOP	205
ZPBM	190
NKPNO	350
NKPZU	300
NKPOO	150
HBM	150
HBP	225
N-MEER	700



Afb. 5 - Relatie tussen peilverhoging in de KOP en de waterbalansen in deze polder en het Naardermeer.



Afb. 6 - Relatie tussen peilverhogingen in de NKPOO en HBM en de waterbalansen in deze polders en het Naardermeer.

Tabel IV – Situatie 1.

Peilverhoging	Balans (mm/d; m³/j)*	
	Kop	N-meer
0 cm	1,33 995	- 0,40 - 1.022
60 cm	- 1,70 -1.272	- 0,06 - 153

* aantal m³ maal 1.000

Tabel V – Situatie 8.

Peilverhoging	Balans (mm/d; m³/j)*		
	NKPOO	HBM	N-MEER
0 cm	1,43 783	2,32 1.270	- 0,40 - 1.022
60 cm	- 0,10 -55	0,52 285	- 0,01 - 26

* aantal m³ maal -1000

Conclusies

- Peilverhoging in de Keverdijksche Overscheense polder is van grote invloed op de waterbalans van het Naardermeer. Een hoog peil in de Keverdijksche Overscheense polder leidt tot voeding vanuit deze polder naar het Naardermeer. In de polder neemt de wegzijging bij kleine peilverhoging sterk toe. Dit betekent een grote inlaat van water in polder. De kwaliteit van dit inlaatwater is dan ook belangrijk.
- Peilverhoging in de Zuid polder Beoosten Muiden, de Nieuwe Kever-

dijksche polder noord, de Nieuwe Keverdijksche polder zuid en de Heintjesrak en Broeker polder is slechts van geringe invloed op de waterbalans van het Naardermeer. Uit de relatie tussen de peilverhoging en de waterbalansen komt naar voren dat bij kleine verhogingen van het peil in deze polders de inlaat van grote hoeveelheden water vereist is.

- Peilverhogingen in de Nieuwe Keverdijksche polder oost en de Hilversumse Bovenmeent hebben vooral een positieve invloed op het verminderen van de wegzijging van water vanuit het Naardermeer. Door de hoge kwel in deze twee polders is de aan te voeren hoeveelheid water geringer, wat gunstig is. Dit komt duidelijk tot uiting in afb. 5 en afb. 6.
- Bij het gecombineerd peilverhogen in de twee 'meestbelovende' polders, de Nieuwe Keverdijksche polder oost en de Hilversumse Bovenmeent, wordt de meest effectieve bestrijding van de voornaamste oorzaak van het 'leeglopen' van het Naardermeer bewerkstelligd: de wegzijging door relatief grote peilverschillen bij lage hydraulische weerstanden van de deklaag.

Literatuur

Barendrecht et al. *Naar een natuurconvenant voor het Naardermeer*. In dit nummer van H₂O.

Hemker, C. J. en Elburg, H. van (1987). *Micro-Fem user's manual*. Amsterdam.
Offerein, F. J. *Geologie en geohydrologie van het Gooi en omstreken*.
Querner, E. P. (1988). *Program FEMSAT, part 2 – user's manual*. ICW-Nota 1558, Wageningen.
Timmermans, J. S. (1988). *Kwel en wegzijging in het Naardermeer*. Wageningen, doctoraalscriptie LUW.
Witmer, M. C. H. (1989). *Integrale waterbeheersing op regionaal niveau*, een milieukundige studie van het Gooi en de Vechtstreek, 's-Gravenhage.

● ● ●

Studiedag 'Rioolbeheer en rioolrenovatie'

Het Nederlandse Studie Centrum organiseert een studiedag 'Rioolbeheer en rioolrenovatie'. De studiedag wordt gehouden op 18 juni 1991 in het Elektrum in Arnhem.

Tijdens de studiedag wordt een overzicht geschetst van de technologische stand van zaken en wordt er een beoordelings- en referentiekader voor de keuze van een bepaalde techniek geboden. Ook komt de relatie tussen rioolbeheer, bodem- en waterverontreiniging aan de orde. Daarnaast wordt er een aantal case studies gepresenteerd. Nadere informatie: Nederlands Studie Centrum, Postbus 330, 3130 AH Vlaardingen, telefoon 010 - 434 99 66/434 90 28.