

Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging

NOV-rapport 12-4

Samenstelling:

J. van Os
Th.G.C. van der Heijden
J.W.J. van der Gaast
P.J.T. van Bakel

december 1997

COLOFON

omslagontwerp: Beek Visser
foto omslag: Jan Stegeman, stuw bij Wassenaar (idem als NOV12-5)
productie: Koninklijke Vermande bv
druk: 1996

samenstelling begeleidingscommissie NOV

voorzitters:	drs. R.J. Eijssink	Provincie Utrecht (tot augustus '97)
	ing. H.F.M.J. van den Eerenbeemt	Provincie Drenthe (vanaf augustus '97)
secretaris:	drs. M.P. Mobach	Provincie Utrecht
leden:	ir. G.E. Arnold	RIZA
	dr. ir. P.J.T. van Bakel	DLO-Staring Centrum
	ing. G.P. Beugelink	RIVM
	dr. S.P. Klapwijk	STOWA
	ing. J. Lourens	Waterschap Rijn en IJssel
	ir. N.P. Pellenbarg	RIZA
	ir. H.J. Reit	Provincie Gelderland
	drs. P.A. van Vugt	DLG
	ir. J.A.P.H. Vermulst	RIZA
	ir. W.P.C. Zeeman	Staatsbosbeheer

REFERAAT

J. van Os, Th.G.C. van der Heijden, J.W.J. van der Gaast, P.J.T. van Bakel, 1997 *Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging; NOV-rapport 12-4* Lelystad, RIZA, NOV-rapport 12-4; 66 blz.; 4 fig.; 8 tab.; 34 ref.; 7 kaarten; 1 bijlage.

In het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging is een methode ontwikkeld voor bepaling van de kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging. Uitgangspunt is de landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland, waaraan hoofd- of nevenfunctie natuur is toegekend. Met behulp van analytische formules is per gebied nagegaan wat de effectiviteit is van interne maatregelen, gericht op verhoging van de ontwateringsbasis. Vervolgens zijn de investeringskosten bepaald en is nagegaan in welke mate opbrengstveranderingen op nabijgelegen landbouwgronden plaatsvinden. Door gebruik te maken van GIS is zoveel mogelijk rekening gehouden met relevante gebiedskenmerken. Vooral vanwege tekortkomingen van de verschillende gegevensbestanden moeten resultaten met de nodige voorzichtigheid worden omgeven. De methode is zowel toepasbaar op nationaal als regionaal niveau.

Trefwoorden: verdroging, waterhuishoudkundige maatregelen, kosten, effectiviteit, landbouw, opbrengstderving.

ISBN 9036951453

© copyright RIZA, 1997.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder uitdrukkelijke bronvermelding.

prijs: f 20,-

bestellingen: Sdu / Servicecentrum uitgevers
Afdeling SEO / RIZA
Postbus 20014
2500 EA Den Haag
tel: 070-3789830
fax: 070-3789780

INHOUDSOPGAVE

	blz.
VOORWOORD	5
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	11
2. WERKWIJZE EN BESTANDEN	13
2.1 Gebiedsindeling	13
2.2 Toegevoegde kenmerken	14
2.3 Effectiviteit van de maatregelen	16
2.4 Keuze van maatregelen per gebied	18
3. EFFECTIVITEIT VAN PEILVERHOOGING	21
3.1 Theoretische achtergrond	21
3.2 Effectbepaling	23
4. UITGANGSPUNTEN VOOR KOSTENBEREKENING	27
4.1 Verondiepen van waterlopen door bodemdrempels	27
4.2 Verondiepen van sloten door beperking van het onderhoud	28
4.3 Verandering van stuwen in vrij afwaterend gebied	29
4.4 Peilverandering in bemalen gebied	31
4.5 Aanleggen van omleiding om natuurgebied	32
4.6 Landbouwschadeberekening	32
5. VOORBEELDBEREKENING	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Delta-GVG	37
5.3 Delta-ontwateringsbasis	39
5.4 Effect-lijnen	41
5.5 Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen	43
5.6 Opbrengstverandering in de landbouw	45
6. DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	49
6.1 Discussiepunten	49
6.2 Conclusies en aanbevelingen	51
LITERATUUR	53
Bijlagen	
1 BESCHRIJVING VAN BESTANDEN EN BEWERKINGEN	57

VOORWOORD

Dit rapport vormt de afsluiting van fase B van het project 'Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging'. Fase B betreft de uitwerking op nationaal niveau. Het project is gefinancierd via het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging (NOV). Het is een deelproject van thema 12. Binnen dit thema worden meerdere projecten uitgevoerd, die beogen instrumenten te ontwikkelen om de kosten en de baten van herstelmaatregelen voor verdroging te kunnen afwegen. Het betreft kosten en baten voor de landbouw (project 12.1 en 12.2), voor de drink- en industriewatervoorziening (project 12.3) en de waterhuishouding (dit project, 12.4). Daarnaast is een project uitgevoerd dat is gericht op de bepaling van de milieu-efficiëntie van herstelmaatregelen voor verdroging op regionale schaal (12.5).

Binnen dit project (12.4) is een systematiek ontwikkeld waarmee op nationale schaal effectiviteit en kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging kunnen worden geëvalueerd. Daarbij is uitgegaan van de landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland. Vervolgens zijn via GIS diverse relevante kenmerken van deze gebieden bepaald. Via analytische formules is de effectiviteit van interne maatregelen bepaald. Met behulp van deskundigheid van de Dienst Landelijk Gebied (ing. G. Hartman en ir. H. Prak) is een benadering ontwikkeld voor bepaling van de investeringskosten van de maatregelen.

Gezien de beperkingen van de gebruikte methodes en de tekortkomingen van de verschillende bestanden moeten de resultaten met de nodige voorzichtigheid gebruikt worden. In het rapport zijn resultaten, conclusies en aanbevelingen opgenomen.

Het onderzoek is uitgevoerd door DLO-Staring Centrum, in de personen van: ir. J. van Os (projectleiding en kostenberekening), ing. Th.G.C. van der Heijden (GIS-toepassing), drs. J.W.J. van der Gaast (effectbepaling) en dr. ir. P.J.T. van Bakel (effectbepaling en maatregelkeuze).

Het project werd begeleid door de begeleidingscommissie van NOV-thema 12, ingesteld door NOV, bestaande uit: ir. G.E. Arnold (RIZA), dr. ir. P.J.T. van Bakel (DLO-Staring Centrum), ing. G.P. Beugelink (RIVM), ing. H.F.M.J. van den Eerenbeemt (prov. Drenthe), drs. R.J. Eijssink (prov. Utrecht), dr. S.P. Klapwijk (STOWA), ing. J. Lourens (Waterschap Rijn en IJssel), drs. M.P. Mobach (prov. Utrecht), ir. N.P. Pellenbarg (RIZA), ir. H.J. Reit (prov. Gelderland), drs. P.A. van Vugt (DLG), ir. J.A.P.H. Vermulst (RIZA), ir. W.P.C. Zeeman (Staatsbosbeheer).

drs. A.C. Garritsen

Coördinator Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging

SAMENVATTING

Er wordt de laatste jaren in diverse regio's hard gewerkt aan herstel van verdroogde natuurgebieden in Nederland. Een belangrijk middel daarbij zijn aanpassingen van de lokale en regionale waterhuishouding door middel van maatregelen zoals peilverhoging via afdammen, verandering van stuwen, herprofilering van waterlopen of aanleggen van omleidingen. Doel van dit onderzoek is de ontwikkeling van een methode voor bepaling van kosten en effectiviteit van waterhuishoudkundige maatregelen ten behoeve van herstel van verdroogde natuurgebieden.

Werkwijze

Uitgangspunt is de landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland van 1996. Bij deze inventarisatie is onderscheid gemaakt in gebieden, die natuur als hoofdfunctie hebben en gebieden, die natuur als nevenfunctie hebben. Voor deze gebieden zijn met behulp van geografische informatiesystemen (GIS) verschillende kenmerken bepaald, die relevant zijn voor de keuze van maatregelen, de kosten en de effectiviteit ervan. Het gaat daarbij om:

- de doorlatendheid van de bodem voor waterstroming in verticale en horizontale richting;
- de huidige grondwaterstand, kwel en/of wegzijging;
- de gewenste grondwaterstand;
- de afwateringssituatie: vrij afwaterend of bemalen;
- het bodemtype;
- de dichtheid van waterlopen in verschillende breedteklassen;
- de hellingklasse;
- het grondgebruik (akkerbouw, grasland of anders).

Het verschil tussen de huidige en de gewenste grondwaterstand is gebruikt als indicator voor het verdrogingsprobleem. Hierbij moet echter de kanttekening worden gemaakt dat de kaart met de huidige grondwatertrap deels is verouderd en dat de kaart met de gewenste situatie het resultaat is van een tamelijk grove actie. Verondersteld is dat de ontwateringsbasis verhoogd moet worden als de gewenste grondwaterstand hoger is dan de huidige.

Ten behoeve van de eenvoud zijn de herstelmaatregelen beperkt tot waterhuishoudkundige maatregelen in de natuurgebieden zelf. Dit betekent dat benodigde externe maatregelen en bijbehorende kosten buiten beschouwing blijven. De interne maatregelen zijn gericht op verhoging van de ontwateringsbasis of scheiding van het oppervlaktewater. Met behulp van analytische formules is, rekening houdend met de geohydrologische situatie van het gebied,

nagegaan welke peilverhoging nodig is om de gewenste grondwaterstandsverhoging te bereiken. Daarnaast is ook bepaald in welke mate in het omliggende gebied verhogingen van de grondwaterstand optreden als gevolg van de peilverhoging in het natuurgebied.

Vervolgens is per natuurgebied bepaald welke waterhuishoudkundige maatregelen, en in welke intensiteit, nodig zijn om de berekende peilverhoging te realiseren. Het gaat daarbij vooral om het geheel of gedeeltelijk afdammen van waterlopen, het automatiseren van stuwen, het hoger instellen van bestaande stuwen en peilen en/of het herprofilieren van watergangen (verondiepen en verbreden).

Tenslotte is met behulp van de tabel met opbrengstdepressies van de Dienst Landelijk Gebied (HELP-tabel) voor gebieden met nevenfunctie natuur en de omliggende gebieden met verhoging van de grondwaterstand bepaald in hoeverre de veranderingen in grondwaterstand leiden tot veranderingen in de droogte- en natschade van de landbouw.

Resultaten en aanbevelingen

Het blijkt dat de verschillende databestanden (verdrogingskaart 1996, grondwatertrappenkaart, GVG-wens-kaart, topografische gegevens, geohydrologische gegevens) die gebruikt zijn nog aanzienlijke tekortkomingen bevatten. Deze tekortkomingen hebben betrekking op nauwkeurigheid, actualiteit en landsdekkendheid. Door deze tekortkomingen is het moeilijk een goede bepaling uit te voeren van effecten en kosten van waterhuishoudkundige maatregelen ten behoeve van herstel van verdroogde gebieden in Nederland. De aanpak van verdroging vereist maatwerk; de te ruime marges in de verschillende bestanden vertroebelen het beeld van de problematiek.

De volgende inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland zou een duidelijke karakterisering van de verdrogingsproblematiek moeten bevatten, in termen van:

- huidige en gewenste oppervlaktewaterregime;
- huidige en gewenste grondwaterregime;
- huidige en gewenste kwaliteit van het oppervlaktewater;
- huidige en gewenste kwelintensiteit.

Uit de berekeningen blijkt dat in ruim de helft van de oppervlakte verdroogd gebied geen verhoging van de GVG gewenst is. In bijna de helft van de oppervlakte waar delta-GVG positief is, blijkt het haalbaar om met interne maatregelen de gewenste GVG te bereiken. Het blijkt dat voor die gebieden waar dat niet lukt dat de gewenste GVG-verhoging gemiddeld groter is. Voor deze natuurgebieden zijn ook externe maatregelen nodig. De methode zou uitgebreid moeten worden met de mogelijkheid voor het opnemen van externe maatregelen. Daarnaast zou de methode rekening moeten houden met allerlei obstakels, zoals reeds aanwezige grote waterlopen en grote infrastructuur.

De investeringskosten van waterhuishoudkundige maatregelen voor herstel van verdroogde

gebieden zijn sterk afhankelijk van de dichtheid van watergangen, de breedte ervan en de helling van het gebied. Dure maatregelen zijn het realiseren van nieuwe watergangen ten behoeve van omleiding van (kwalitatief onvoldoende) water en het herprofilen van watergangen, met als doel de afvoercapaciteit te handhaven op een hogere ontwateringsbasis. Bij deze kostenraming is geen rekening gehouden met waterhuishoudkundige maatregelen buiten de natuurgebieden; daarnaast zijn voor een beperkt deel van de natuurgebieden (circa 16 %) ten gevolge van ontbrekende informatie ten onrechte geen kosten berekend. Het grootste probleem bij de kostenraming is de bepaling van de benodigde intensiteit van de maatregelen. Bijvoorbeeld: Hoeveel extra stuwen moeten er geplaatst worden of welk deel van de watergangen geherprofileerd moet worden?

Door de vernatting treedt een toename van de natschade in de landbouw op; daarnaast is er een beperkte afname van de droogteschade. Ook hierbij is geen rekening gehouden met extra natschade die kan optreden als buiten natuurgebieden peilverhogingen worden gerealiseerd ten behoeve van herstel van verdroogde natuurgebieden. In NOV-project 12.2 worden de kosten en baten van herstelmaatregelen voor de rundveehouderij in detail gekwantificeerd.

Nader onderzoek is nodig om na te gaan wat de effecten en kosten zijn van externe maatregelen: waterhuishoudkundige maatregelen, waarmee de ontwateringsbasis van omliggende gebieden wordt verhoogd, met als doel kwelstromen in natuurgebieden te herstellen.

1. INLEIDING

Een groot aantal gebieden in Nederland met als functie natuur kampt met een tekort aan voldoende water van voldoende kwaliteit: de verdrogingsproblematiek. Overeenkomstig de definitie in de Evaluatie Nota Water (V&W, 1994) wordt verdroging van landbouwgronden niet tot de verdrogingsproblematiek gerekend. Om meer helderheid te brengen in oorzaken en oplossingsrichtingen is het Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging (NOV) gestart waarin deze problematiek via een groot aantal projecten wordt onderzocht. In thema 12 van het NOV gaat het om de ontwikkeling van een instrumentarium om kosten en baten van herstelmaatregelen voor verdroging te kunnen afwegen.

De projecten binnen thema 12 betreffen de ontwikkeling van instrumentarium voor de kosten en baten voor de landbouw, voor de drink- en industriewatervoorziening en voor de waterhuishouding. Daarnaast is een project uitgevoerd dat is gericht op een methode voor bepaling van de milieu-efficiency van herstelmaatregelen voor verdroging op regionale schaal.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de ontwikkeling van een instrument voor bepaling van kosten van waterhuishoudkundige maatregelen, die genomen kunnen worden voor herstel van verdroogde natuurgebieden. De effectiviteit van de maatregelen is ook meegenomen bij dit onderzoek, zodat het mogelijk is scenario's door te rekenen op hun kosten en hun effecten. Daarnaast is bepaald in hoeverre de doorgerekende maatregelen invloed hebben op de gewasopbrengsten in de landbouw.

Bovenstaande problematiek kan op verschillende schaalniveaus worden uitgewerkt. Er is in eerste instantie gekozen voor een uitwerking op landelijk niveau (fase B), waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt wordt van digitaal beschikbare ruimtelijke gegevens. Mogelijk kan in een later stadium een meer gedetailleerde uitwerking worden gemaakt, die meer geschikt is voor regionale analyses.

Voorafgaand aan deze fase (B) is een verkennend onderzoek gedaan (fase A), waarvan de belangrijkste conclusies hier zijn weergegeven (Van Os e.a., 1996).

1. Er bestaat een duidelijke behoefte aan een nadere uitwerking van de kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging. Dit is nodig om een nationaal niveau de kosten van de verdrogingsproblematiek te kunnen schatten. Op provinciaal niveau zou deze uitwerking als één van de kaders kunnen fungeren voor beoordeling

van herstelprojecten. Het blijkt namelijk dat de kosten van ingediende projecten, uitgedrukt per ha hersteld gebied, enorm variëren: van enkele honderden tot enkele tienduizenden guldens (Prak, 1996).

2. Zoals hierboven reeds is vermeld is de verdrogingsbestrijding tamelijk nieuw. Door onduidelijkheden over de oorzaak van de verdroging in een bepaald gebied is vaak niet op voorhand bekend hoe de verdroging daar moet worden aangepakt. Dit blijkt bijvoorbeeld ook uit het feit dat een aanzienlijk deel van de projecten die worden uitgevoerd in het kader van REGIWA, GEBEVE en OBN, bestaat uit onderzoeksprojecten. Daarnaast kost ook het proces van draagvlakverwerving de nodige tijd. Vooral in gebieden waar verschillende functies verweven zijn is veel informatie nodig voor een zorgvuldige besluitvorming.
3. Er zijn geen globale begrotingspakketten gevonden; wel beschikbaar bij Dienst Landelijk Gebied (DLG) is een methode om via veel gedetailleerde gebiedskenmerken berekeningen te maken van de waterhuishouding van een gebied, en vervolgens een begroting te maken van de benodigde investeringen voor de bijbehorende voorzieningen. Deze is erg geschikt voor landinrichtingsprojecten, maar veel te bewerkelijk voor onderzoek op nationaal niveau.

Eindconclusie was dat het realiseren van een nauwkeurig systeem voor bepaling van kosten van waterhuishoudkundige maatregelen voor verdrogingsbestrijding voorlopig niet haalbaar is. Maar aangezien er geen betere alternatieven zijn, kunnen globale resultaten toch bruikbaar zijn als 'quick scan' van de problematiek.

Tot nog toe zijn op nationaal niveau reeds enkele berekeningen van kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging gedaan, vooral ten behoeve van MilieuVerkenning 3 en 4 en de Watersysteem Verkenningen (Beugelink en Claessen, 1995). Daarbij werd een eenvoudige aanpak gevolgd, waarbij twee kostenbegrotingen zijn gemaakt voor waterhuishoudkundige maatregelen, namelijk voor bemalen gebieden en voor vrij afwaterende gebieden. Aan het eind van dit rapport worden de resultaten vergeleken met de berekeningen van dat onderzoek.

De opbouw van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt aangegeven welke aanpak is gevolgd en welke bestanden daarbij zijn gebruikt. In hoofdstuk 3 zijn methode en uitgangspunten beschreven voor de bepaling van de effectiviteit van peilverhoging. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de uitgangspunten voor de kostenberekening weergegeven. Hoofdstuk 5 bevat de resultaten en hoofdstuk 6 discussie, conclusies en aanbevelingen.

2. WERKWIJZE EN BESTANDEN

In dit hoofdstuk wordt aangegeven welke bestanden zijn gebruikt en welke werkwijze is gevolgd voor het bepalen van kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging.

Belangrijkste veronderstelling is dat de aanpak van verdroging via waterhuishoudkundige maatregelen gebeurt via interne maatregelen in de verdroogde gebieden. Deze maatregelen zijn gericht op verhoging van de grondwaterstanden (kwantiteit) en/of scheiding van het water binnen en buiten het natuurgebied (kwaliteit). Als doelvariabele is gekozen voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG), die in het algemeen voor verschillende natuurdoeltypen als de meest belangrijke hydrologische indicator voor verdroging wordt aangenomen.

Per natuurgebied wordt bepaald welke verandering van de GVG-wens is en vervolgens met welke peilverhoging dit bereikt kan worden. Daarna wordt bepaald welke maatregelen moeten worden genomen om de peilverhoging te realiseren. Van deze maatregelen worden de investeringskosten bepaald. Daarnaast wordt nagegaan welke opbrengstveranderingen in nabijgelegen landbouwgronden het gevolg zijn van de verandering in de GVG van het natuurgebied.

In paragraaf 2.1 komt de gebiedsindeling aan de orde. Daaraan worden verschillende kenmerken toegekend (paragraaf 2.2). In paragraaf 2.3 wordt aangegeven hoe de effectiviteit van de maatregelen wordt bepaald en in paragraaf 2.4 is de keuze van maatregelen per gebied weergegeven.

Bijlage 1 bevat een beschrijving van de verschillende bewerkingen en de daarvoor gebruikte en ontwikkelde programma's.

2.1 Gebiedsindeling

Uitgangspunt voor de gebiedsindeling is de verdrogingskaart 1996 (IPO/RIZA, 1996). Deze kaart bevat een inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland, die per provincie is uitgevoerd en vervolgens samengevoegd tot één kaart. Bij deze kaart is onderscheid gemaakt in gebieden met hoofdfunctie natuur (H) en gebieden met nevenfunctie natuur (N). Hierbij wordt opgemerkt dat er door de provincies op een verschillende manier is omgegaan met de functietoekenning van gebieden.

Naast gebieden met hoofd- of nevenfunctie natuur worden in deze studie ook

beïnvloedingsgebieden (B) onderscheiden. Beïnvloedingsgebieden zijn gedefinieerd als zones om de natuurgebieden (zowel H als N), waar een verhoging van de waterstand zal optreden als gevolg van maatregelen in H en N. Beïnvloedingsgebieden zijn dus geen buffergebieden waarin maatregelen worden genomen ten behoeve van het omsloten natuurgebied. In een volgende stap zouden ook in de beïnvloedingszones maatregelen kunnen worden genomen, als het beoogde effect in de natuurgebieden met interne maatregelen niet wordt gehaald. Deze tweede stap is binnen deze fase van het project ten behoeve van de eenvoud buiten beschouwing gelaten.

In sommige provincies is de functietoekenning echter zodanig gebeurd dat N als een buffer om H is gelegd. In dergelijke gevallen is feitelijk dus wel sprake van 'buffermaatregelen'. Op kaart 1 is ingezoomd op een klein stukje van de verdrogingskaart, zodat de gebiedsindeling in H, N en B duidelijk wordt. In paragraaf 2.3 wordt verder uitgelegd hoe de bepaling van de beïnvloedingsgebieden tot stand is gekomen.

2.2 Toegevoegde kenmerken

Aan de verdroogde gebieden zijn vervolgens relevante kenmerken toegevoegd.

Geohydrologie

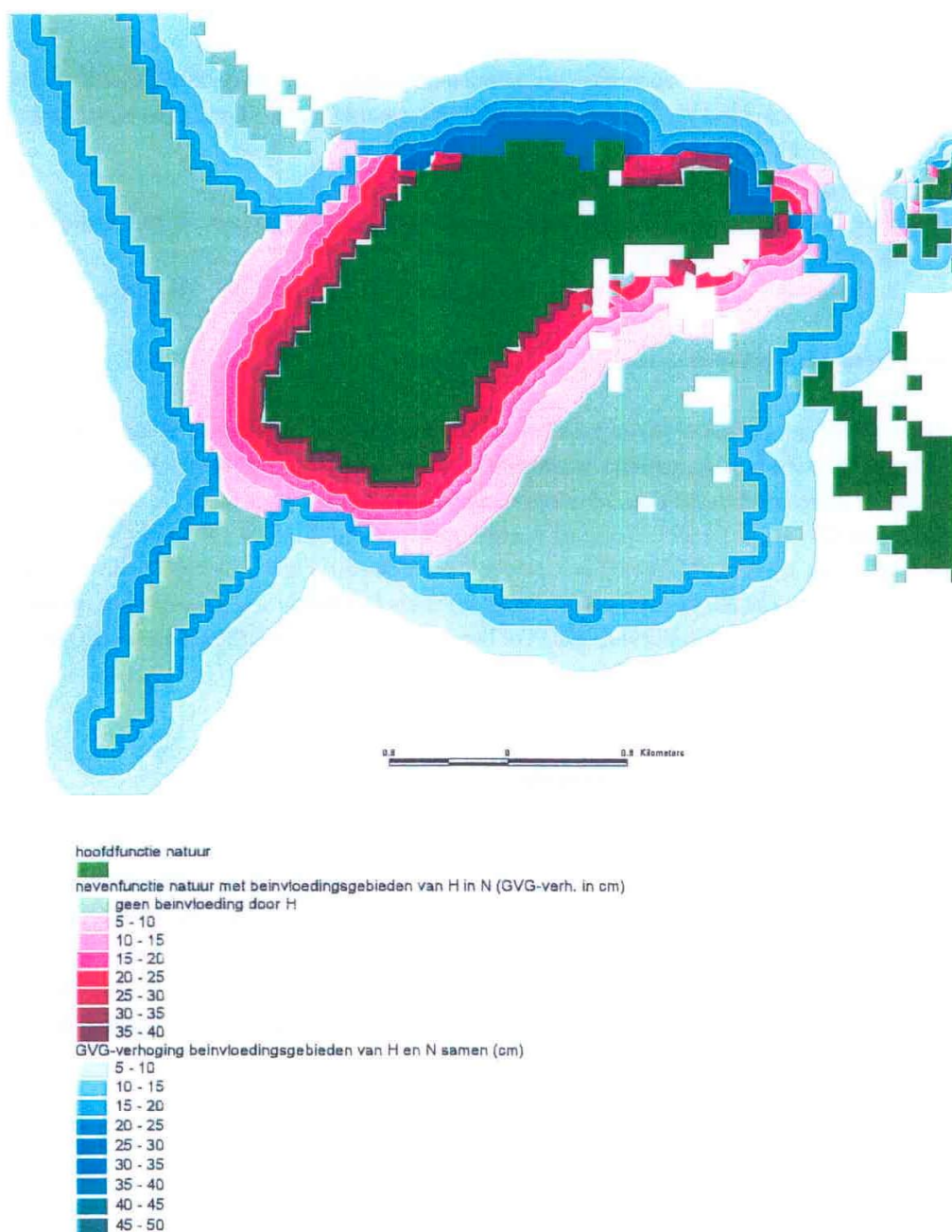
- kD-waarde: doorlaatvermogen van de bodem (watervoerende pakketten) in horizontale richting (m^2/dag , $1 \times 1 \text{ km}$ grid);
- c-waarde: verticale weerstand van de bodem (dagen, $1 \times 1 \text{ km}$ grid);
- drainageweerstand (dagen) ($1 \times 1 \text{ km}$ grid).

De c-en kD-waarden zijn bij SC-DLO samengesteld uit gegevens van het bestand van het Landelijk Grondwater Model (LGM; Pastoors, 1992) en de studie kwetsbaarheid (Duijvenbooden en Breeuwsma, 1987). Deze bewerkte c-en kD-waarden samen met de slootafstanden (Landschaps-ecologische Kartering Nederland, LKN; Bolsius en Eulderink, 1994) zijn gebruikt om de drainageweerstand te berekenen (Van der Gaast en Van Bakel, 1997).

Water

- Gt-huidig (grondwatertrap, $250 \times 250 \text{ m}$ grid, van de bodemkaart 1:50 000, SC-DLO);
- GVG-huidig ($250 \times 250 \text{ m}$ grid, afgeleid van bodemkaart 1:50 000, via de relatie Van der Sluis, afkomstig uit LGM-bestand);
- GVG-natuurdoeltypen en omschrijving natuurdoeltypen (km grid, volgens natuurdoeltypenkaart IKC, bewerkt door SC-DLO en RIVM); de gebruikte versie is echter nog niet dekkend voor alle verdroogde natuurgebieden;
- kwel/wegzijging (in mm/dag , $250 \times 250 \text{ m}$ grid, van gecombineerde

Kaart 1 Gebiedsindeling op basis van de verdrogingskaart 1996
(natuurgebied tussen Rijssen en Hengelo Ov.)



- modeluitkomsten RIZA en RIVM, via LGM-bestand);
- typering afwateringselementen (uit LKN).

Topografie

- dichtheid waterlopen (1 x 1 km grid), onderverdeeld in greppels en droogvallende sloten, waterlopen < 3 m, 3-6 m en > 6 m.
(uit de Top-10-vector, ten tijde van het onderzoek voor ca. 70% landsdekkend, voor de nog ontbrekende stukken van Nederland (vooral delen van Zeeland en Overijssel) is gebruik gemaakt van de dichtheid waterlopen uit LKN);
- hellingklasse (1 x 1 km grid, afgeleid uit LKN);
- grondgebruik (1 x 1 km grid, afgeleid uit CBS-bodemstatistiek, in het kader van de Natuur Verkenning);
- bodemtype (250 x 250 m grid, van de bodemkaart 1:50 000, SC-DLO).

Vervolgens is berekend:

- delta-GVG.

Deze is gelijk aan GVG-huidig minus GVG-natuurdoeltypen (GVG-wens), ervan uitgaande dat beide GVG's zijn uitgedrukt in cm beneden maaiveld. Als GVG-natuurdoeltypen ontbreekt wordt delta-GVG op 30 cm gesteld voor H en op 10 cm voor N. Verder geldt voor H dat GVG-wens niet hoger mag worden dan nul cm. Voor N geldt dat GVG-wens niet hoger mag zijn dan 40 cm minus maaiveld; deze globale grens is aangehouden omdat het nevenfunctie natuur betreft: andere functies, zoals landbouw en/of bewoning moeten ook min of meer mogelijk blijven. Als H of N boven hun grenzen uitkomen wordt delta-GVG daaraan aangepast.

2.3 Effectiviteit van de maatregelen

Ervan uitgaande dat delta-GVG bekend is kan met behulp van hydrologische formules (hoofdstuk 3) berekend worden wat de benodigde verhoging van de ontwateringsbasis is. Via deze formule wordt rekening gehouden met de geohydrologische relatie van het gebied met de omgeving en met de vorm en grootte van het gebied (zie figuur 1). Met deze formules wordt ook bepaald op welke afstanden de verschillende beïnvloedingszones komen te liggen. Voor elke 5 cm verhoging is een beïnvloedingslijn gedefinieerd.

Voor deze berekeningen zijn per natuurgebied (zowel hoofd- als nevenfunctie) de volgende gegevens nodig:

- c-waarde;
- kD-waarde;

- drainageweerstand;
- de verhouding omtrek/oppervlakte;
- kwel/wegzijging;
- delta-GVG.

Vervolgens worden de volgende resultaten berekend:

- delta-ontwateringsbasis (delta-peil) die nodig is om de delta-GVG te bereiken;
- de afstand tot de beïnvloedingslijnen; dit zijn berekende GVG-verhogingen om het natuurgebied en deze variëren van 50, via 45, 40, tot 5 cm verhoging.

Het bepalen van de beïnvloedingsgebieden gebeurt in twee stappen. Eerst worden alleen beïnvloedingslijnen om de gebieden met hoofdfunctie natuur bepaald. Vervolgens worden van deze beïnvloedingsgebieden alleen die geselecteerd, welke in gebieden met nevenfunctie natuur liggen. In gebieden met nevenfunctie natuur kan dus een peilverhoging optreden als gevolg van interne maatregelen in het gebied of als gevolg van een peilverhoging in naastgelegen gebieden met hoofdfunctie natuur. Voor de gebieden met nevenfunctie natuur is nagegaan welke stijging het sterkst is. Deze stijging is gebruikt om te bepalen in welke mate de opbrengsten van landbouwgronden veranderen. In de tweede stap worden beïnvloedingslijnen bepaald om gebieden met hoofd- en nevenfunctie natuur. Dit zijn de beïnvloedingsgebieden die buiten de natuurgebieden liggen. Voor deze beïnvloedingsgebieden wordt eveneens de verandering van de opbrengsten van landbouwgronden bepaald.

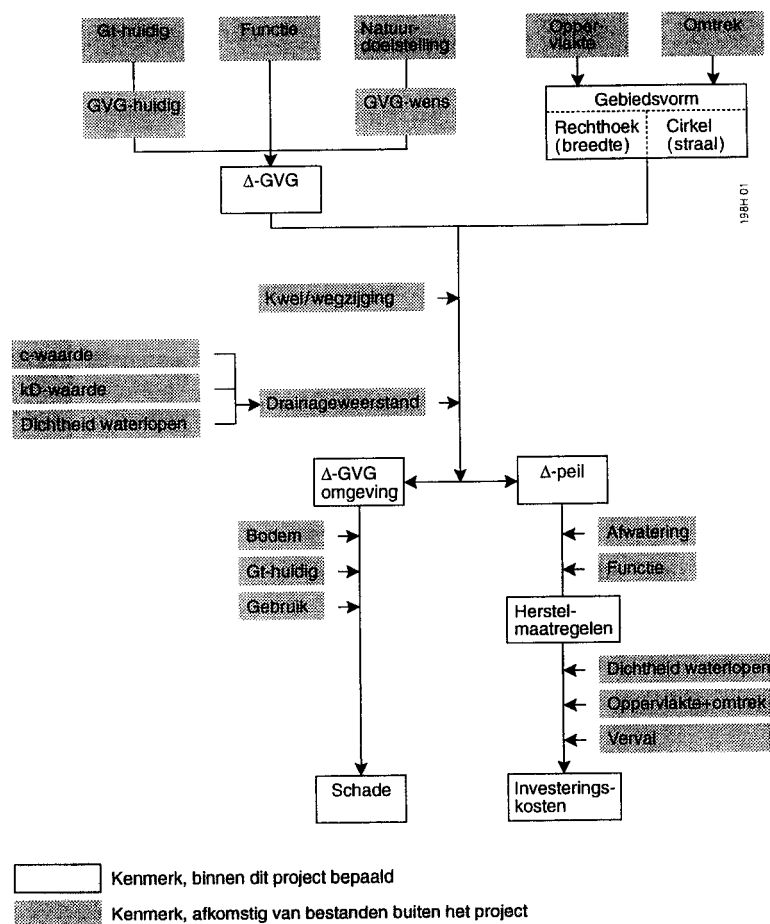
Als de gewenste verhoging van de ontwateringsbasis bekend is, kan worden bepaald via welke maatregelen dat wordt bereikt. Dit verschilt per gebied; in paragraaf 2.4 wordt dit uitgewerkt.

Enkele kanttekeningen

Bij N wordt delta-GVG zodanig beperkt de GVG-nieuw niet hoger komt dan 40 cm beneden maaiveld; bij een nog hogere GVG wordt verondersteld dat landbouw of wonen niet meer realistisch zijn. Het is echter wel mogelijk dat de GVG toch hoger (natter) wordt dan 40 cm - maaiveld, doordat het gebied binnen een beïnvloedingszone van een naastliggend gebied met hoofdfunctie natuur ligt. In die gevallen is de maximum-GVG van 40 cm niet meer aangehouden.

In deze berekeningen wordt rekening gehouden met de vorm (verhouding omtrek/oppervlakte) en grootte van het gebied. Verondersteld wordt dat het voldoende is als de GVG-wens in het midden van het gebied wordt gehaald. Dit geeft een beperkte onderschatting van de benodigde maatregelen en de afstand tot de contourlijnen. Aan de andere kant wordt echter geen rekening gehouden met beïnvloeding van het ene natuurgebied door het andere dat vlakbij kan liggen. Dit leidt tot een overschatting van de benodigde maatregelen.

De natuurgebieden worden niet opgedeeld in kleinere eenheden. Voor alle kenmerken wordt het naar oppervlakte gewogen gemiddelde genomen of de dominante waarde van het kenmerk. Tenslotte wordt verondersteld dat de drainageweerstand constant blijft als het peil hoger wordt; in werkelijkheid zal de drainageweerstand echter afnemen bij een hoger peil.



Figuur 1 Schematische weergave van de methodiek

2.4 Keuze van maatregelen per gebied

In deze paragraaf wordt per gebied aangegeven welke maatregelen relevant zijn. De uitgangspunten voor de kostenberekening staan in hoofdstuk 4.

Gebieden met hoofdfunctie natuur

Verondersteld wordt dat in gebieden met hoofdfunctie natuur geen landbouw van (economische) betekenis plaatsvindt, dus ook geen berekening van de landbouwschade. Het gebied is of wordt ingericht met het oog op de natuurdoelstelling.

Het verhogen van de ontwateringsbasis kan in vrij-afwaterende gebieden met hoofdfunctie natuur eenvoudig gerealiseerd worden via het verondiepen van watergangen; dit gebeurt praktisch door het plaatselijk verhogen van slootbodems, met behulp van een shovel. In het uiterste geval leidt dit tot afdammen van sloten. Het aantal plaatsen waarop de watergangen verondiept worden is afhankelijk van de helling van het gebied. Daarnaast zijn de kosten afhankelijk van de dichtheid en breedte van de watergangen in het gebied.

Voor bemalen gebieden geldt het volgende. Als een verhoging van de GVG nodig is, wordt verondersteld dat een verhoging van de ontwateringsbasis wordt gerealiseerd via het afdammen van watergangen langs de rand van het natuurgebied en het installeren van een klein gemaaltje om het hogere peil te kunnen handhaven. De kosten zijn afhankelijk van de dichtheid van watergangen.

Als er geen verhoging van de GVG nodig is, terwijl het gebied wel als verdroogd is gekenmerkt, wordt de verdroging waarschijnlijk veroorzaakt door een slechte waterkwaliteit, in het algemeen als gevolg van het inlaten van gebiedsvreemd water. In zo'n geval wordt aangenomen dat het gebied ook moet worden afgedamd en dat daarnaast een nieuwe watergang moet worden gerealiseerd voor omleiden van het overige water om het natuurgebied heen. In zo'n geval kan de situatie ontstaan waarin het gebied op een gegeven moment te weinig water heeft. Mogelijk kan het volledig dempen van sloten dan een oplossing zijn of het aanpassen van het natuurdoeltype. Deze twee opties worden in deze studie niet meegenomen.

Gebieden met nevenfunctie natuur

Verondersteld wordt dat in gebieden met nevenfunctie natuur ook landbouw plaatsvindt. De maatregelen moeten erop afgestemd worden dat landbouw mogelijk blijft. Dit betekent bijvoorbeeld dat het volledig dempen van watergangen niet aan de orde is. Dit leidt tot de volgende aannames:

Voor vrij afwaterende gebieden:

1. Het verondiepen van sloten via beperking van het onderhoud; daarmee kan een beperkte peilverhoging worden gerealiseerd. Het realiseren van een grotere peilverhoging gebeurt door automatisering van stuwen, hoger stellen van stuwen, het verondiepen van watergangen en/of het realiseren van extra stuwen. De mate waarin dit gebeurt en daarmee ook de kosten zijn afhankelijk van de omvang van de peilverhoging, de hellingklasse van het gebied en de dichtheid van de watergangen.

Voor bemalen gebieden:

2. Het verhogen van de ontwateringsbasis via het instellen van een hoger peil en/of omleiden van water ten behoeve van verbetering van de waterkwaliteit (idem als bij gebieden met hoofdfunctie natuur).

Voor beide:

3. Berekening van de verandering van opbrengsten in de landbouw per deelgebied met een gelijke GVG-verhoging.

Beïnvloedingszones

In beïnvloedingsgebieden ontstaat een hogere grondwaterstand als gevolg van maatregelen in de natuurgebieden. Uitgaande van de per natuurgebied bepaalde afstanden van de contourlijnen met de GVG-verhogingen, kunnen de contourlijnen om gebieden met hoofd- en nevenfunctie natuur worden getrokken. Als de contourlijnen bepaald zijn, wordt voor de zo ontstane beïnvloedingsgebieden de volgende kenmerken bepaald:

- huidige Gt;
- bodemtype;
- grondgebruik.

Hierbij wordt niet het gemiddelde of dominante kenmerk per beïnvloedingsgebied bepaald, maar de beïnvloedingsgebieden worden opgeknipt in kleinere gebieden, die uniform zijn voor bodem, Gt en gebruik.

Op basis van deze gegevens kan via de HELP-tabellen de bepaling van de opbrengstverandering in de landbouw plaatsvinden. Er is daarbij niet gekeken naar de mogelijkheid van een andere gewaskeuze in de natter wordende gebieden.

Kanttekeningen

Bovenstaande aanpak betekent dat eventuele maatregelen in de beïnvloedingszones buiten beschouwing blijven. De kosten ervan zijn echter in veel gevallen beperkt: de eerste 20 cm peilverhoging kan vaak met de bestaande inrichting worden gerealiseerd. Als dit ook daadwerkelijk gebeurt kan dit enerzijds leiden tot volledig herstel van het natuurgebied, maar anderzijds ook tot een grotere landbouwschade in de beïnvloedingszones en in eventuele herstelde gebieden met als nevenfunctie natuur. Deze extra landbouwschade kan wel een aanzienlijke extra kostenpost worden.

Ook blijft het verwijderen van drainage uit landbouwpercelen buiten beschouwing. Dit is een effectieve maatregel, maar het is niet bekend waar gedraineerde percelen liggen.

3. EFFECTIVITEIT VAN PEILVERHOOGING

3.1 Theoretische achtergrond

Voor de bepaling van de invloed van peilveranderingen op de grondwaterstroming kan gebruik worden gemaakt van de spreidingslengte als maat voor de invloedsafstand van peilverhogingen (Mazure, 1936; Kruseman en De Ridder, 1970; TNO, 1964). De spreidingslengte houdt naast de drainageweerstand ook rekening met het doorlaatvermogen van het watervoerend pakket en de weerstand van het afdekkende pakket. Bij lage weerstanden en een laag doorlaatvermogen van het watervoerend pakket is de spreidingslengte gering.

Alvorens de spreidingslengte bepaald kan worden moet de drainageweerstand berekend worden. Bij de berekening van de drainageweerstand is uitgegaan van de formule van Ernst (1983).

Voor de berekening van de spreidingslengte is gebruik gemaakt van de volgende formule:

$$\lambda = \sqrt{k D (c + \gamma)} \quad 1$$

waarin:

λ	:	spreadingslengte (m)
k	:	doorlatendheid (m/dag)
D	:	laagdikte (m)
γ	:	drainageweerstand (dagen)
c	:	verticale weerstand bodem (dagen)

De spreidingslengte is een maat waarmee de invloed van peilveranderingen berekend kan worden. De vorm van grens tussen het gebied waar een peilverandering plaatsvindt en de omgeving is bepalend voor het verloop van de grondwaterstand onder invloed van een peilverhoging. Bij langwerpige gebieden met een lijnvormige scheiding tussen het gebied met een peilverandering en de omgeving speelt, in tegenstelling tot cirkelvormige gebieden, radiale stroming geen rol. Bij een peilverandering in een bij benadering cirkelvormige gebied speelt radiale stroming wel een belangrijke rol.

Voor de ratio tussen de hoeveelheid water die is geïnfilteerd over een afstand x tot de (lange) grens bij een lijnvormig gebied en de totale hoeveelheid water die uit een lijnvormig gebied stroomt, geldt (naar Mazure, 1936; Edelman, 1972) (figuur 2):

$$\frac{Q_x}{Q_0} = e^{-x/\lambda} \quad 2$$

waarin:

- Q_x : debiet in een aquifer op een afstand x vanaf een lijnvormig gebied (m³/dag)
- Q_0 : debiet in een aquifer op de rand van een lijnvormig gebied (m³/dag)
- λ : spreidingslengte (m)
- x : afstand (m)

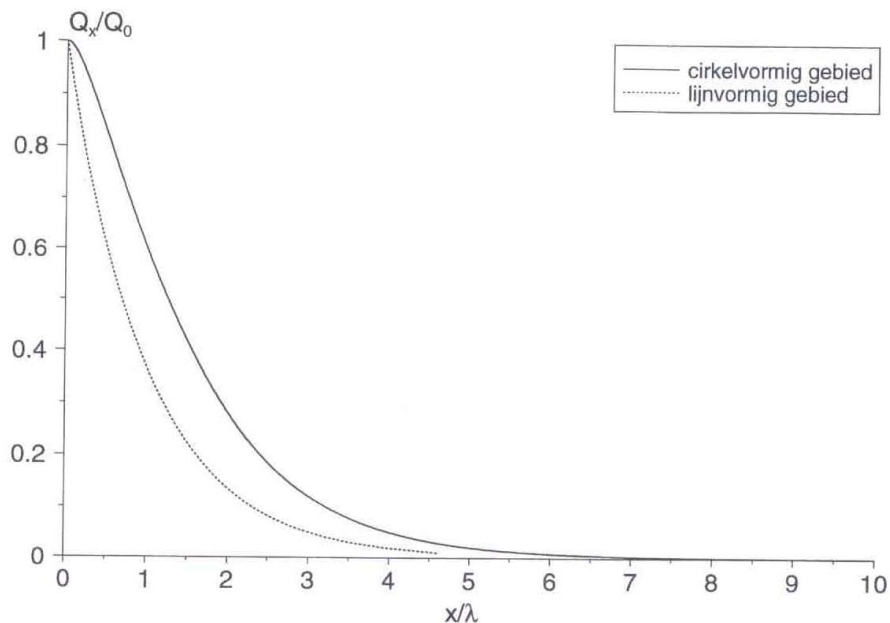
Indien een gebied met peilverandering kan worden benaderd door een cirkel geldt voor de ratio tussen de hoeveelheid water die is geïnfiltrerd over een afstand r tot een cirkelvormig gebied en de totale hoeveelheid water die uit een cirkelvormig gebied stroomt, de volgende formule (TNO, 1964):

$$\frac{Q_r}{Q_0} = \frac{r}{\lambda} K_1\left(\frac{r}{\lambda}\right) \quad 3$$

waarin:

- Q_r : debiet in een aquifer op een afstand r vanaf een cirkelvormig gebied (m³/dag)
- Q_0 : debiet in een aquifer met een dikte D op de rand van een cirkelvormig gebied (m³/dag)
- λ : spreidingslengte (m)
- r : straal (m)
- K_1 : Bessel-functie van de eerste orde

Door gebruik te maken van deze formules kan de afstand bepaald worden waarover invloed van peilverhogingen te verwachten is. In de figuren is te zien dat de invloed van peilveranderingen in cirkelvormige gebieden langzamer afneemt met de afstand dan in een lijnvormig gebied.



Figuur 2 Grafische weergave van formules 2 en 3

3.2 Effectbepaling

Voor de bepaling van de effecten van verhogingen van de openwaterstand (in het vervolg peilverhogingen genoemd) is als eerste gekeken naar de vorm van het natuurgebied. Aan de hand van de oppervlakte en de omtrek van een natuurgebied is bepaald of het desbetreffende natuurgebied kan worden benaderd door een cirkel of een langwerpige rechthoek. Met gebruikmaking van de vorm van het gebied en de daaruit voortkomende breedte of straal, is vervolgens de verandering in de gewenste oppervlaktewaterstand bepaald. In kleine gebieden is het immers moeilijker de freatische grondwaterstand te verhogen dan in grotere gebieden. Daarom zal in kleine gebieden de oppervlaktewaterstand extra verhoogd moeten worden om toch de gewenste GVG te kunnen halen. Deze peilverandering is mede afhankelijk van de gewenste verandering in de GVG, de weerstand van het afdekkende pakket (c), de doorlatendheid van het eerste watervoerende pakket (kD) en de drainageweerstand (γ). De gewenste peilverhoging voor lijnvormige gebieden (zie ook figuur 3) is bepaald met behulp van de volgende formules:

$$\varphi_f = \varphi_p l - (\varphi_p l - \varphi_x) \frac{\gamma}{(c + \gamma)} \quad 4$$

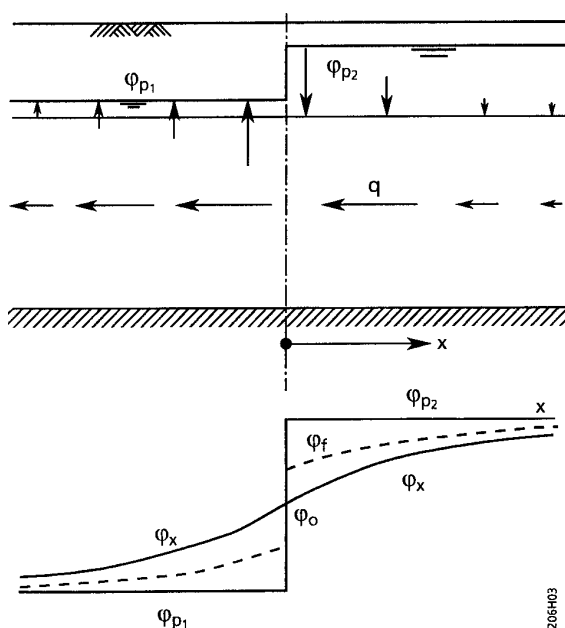
$$\varphi_x = \varphi_p 1 - ((\varphi_p 1 - \varphi_p 2) / 2) e^{-x/\lambda} \quad 5$$

waarin:

$_{p1}$: polderpeil (m)
 $_{p2}$: polderpeil (m)
 $_x$: polderpeil (m)
 f : freatische grondwaterstand (m)

Dit stelsel van vergelijkingen is met behulp van een iteratief proces opgelost om de gewenste peilverhoging, gegeven de gewenste GVG-verhoging, te kunnen bepalen. Voor cirkelvormige gebieden is in plaats van formule (4) gebruik gemaakt van de volgende formule (figuur 4):

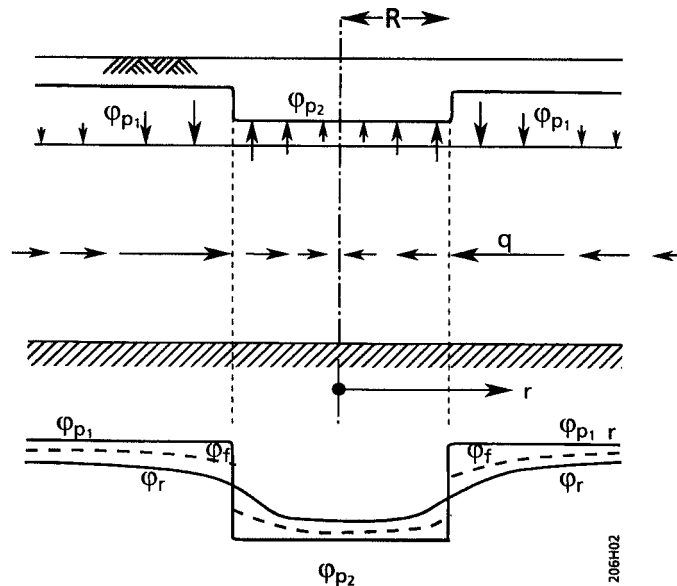
$$\varphi_r = \varphi_p 2 + (\varphi_p I - \varphi_p 2) \frac{R}{\lambda} K_I(\frac{R}{\lambda}) I_0(\frac{r}{\lambda}) \quad 6$$



Figuur 3 *Overzicht bij verschillende polderpeilen door een lijnvormige scheiding*

De freatische grondwaterstand (φ_f) bevindt zich altijd tussen het polderpeil en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket (figuur 3 en 4). De weerstand van het afdekkende pakket en de drainageweerstand zijn bepalend voor het niveau waarop de freatische grondwaterstand zich bevindt (formule 5). Indien er geen weerstand van het afdekkende pakket aanwezig is, is de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket gelijk aan de stijghoogte van het freatische grondwater.

Voor de gewenste peilverhoging is vervolgens gekeken of deze haalbaar is (figuur 1). Door een verhoging van het de openwaterstand in natuurgebieden zal de wegzijging immers toenemen of de kwel afnemen. Voor de bepaling van de haalbaarheid is er van uitgegaan dat wateraanvoer niet mogelijk is. De maximale peilverhoging is hierdoor afhankelijk van het neerslagoverschot en de huidige kwel of wegzijging. Voor het neerslagoverschot is een hoeveelheid van 1 mm/dag aangehouden. Indien de peilverhoging in gebieden met wegzijging een wegzijging van meer dan 1 mm/dag veroorzaakt is het gewenste peil naar omlaag bijgesteld. In dit geval is de gewenste peilverhoging immers niet haalbaar, uitgaande van een neerslagoverschot van 1 mm/dag. In gebieden met kwel is het gewenste peil alleen bijgesteld indien de wegzijging als gevolg van de peilverhoging hoger is dan het neerslagoverschot van 1 mm/dag en de huidige kwel. Als gevolg van de peilverhoging is het dus mogelijk dat de huidige kwel wordt weggedrukt. Hierdoor kan de kwelsituatie in een natuurgebied als gevolg van een peilverhoging overgaan in een wegzijgingssituatie. Als uiterste randvoorwaarde is een maximale peilverhoging van 2 m aangehouden. Deze grens is arbitrair; als deze grens wordt bereikt betekent dit meestal dat in zo'n gebied andere maatregelen nodig zijn dan peilverhoging.



Figuur 4 Overzicht bij verschillende polderpeilen van een cirkelvormig element

Met behulp van de gewenste peilverandering zijn vervolgens de effecten op de omgeving bepaald. Voor de bepaling van de effecten is berekend op welke afstand tot een natuurgebied een bepaalde grondwaterstandsverhoging voorkomt. Hierbij is voor lijnvormige gebieden uitgegaan van de volgende formule:

$$x = -\ln\left(\frac{(\varphi_p^2 - \varphi_f)}{(\varphi_p^2 - \varphi_p^1)^{1/2}} \frac{(c + \gamma)}{\gamma}\right) \lambda \quad 7$$

Voor cirkelvormige gebieden is gebruik gemaakt van de volgende vergelijkingen:

$$\varphi_r = \varphi_p^2 + (\varphi_p^1 - \varphi_p^2) \frac{R}{\lambda} K_0\left(\frac{r}{\lambda}\right) I_1\left(\frac{R}{\lambda}\right) \quad 8$$

$$\varphi_f = \varphi_p^1 - (\varphi_p^1 - \varphi_x) \frac{\gamma}{(c + \gamma)} \quad 9$$

Dit stelsel van vergelijkingen is met behulp van een iteratieve procedure opgelost om de afstand (r) voor verschillende verhogingen te bepalen. Met behulp van de berekende afstand kan het verloop van de verhogings-isohypsen als gevolg van de gewenste peilverandering getekend worden. Op deze manier kan een vernattingskaart van de omgeving van natuurgebieden gemaakt worden die als invoer kan dienen voor de berekening van vernattingsschade. In de kaart is voor verschillende intervallen de vernatting weergegeven (zie paragraaf 5.4).

4. UITGANGSPUNTEN VOOR KOSTENBEREKENING

De uitgangspunten voor de kostenberekening zijn mede gebaseerd op gesprekken met een deskundige van de Dienst Landelijk Gebied (G. Hartman). In tabel 1 is aangegeven welke maatregelen worden onderscheiden (gebaseerd op paragraaf 2.4). Daarnaast zijn in dit hoofdstuk de uitgangspunten voor berekening van de verandering van de opbrengstdepressie in de landbouw weergegeven (paragraaf 4.6).

Tabel 1 *Maatregelkeuze per gebied*

Afwatering	Natuurfunctie	Maatregelen
Vrij afwaterend	hoofd	- verondiepen door drempels (par. 4.1)
	neven	- beperken onderhoud waterlopen (par. 4.2)
		- peilverhoging door aanpassing stuwen, herprofilering watergangen en bodemvallen (par 4.3)
Bemalen	hoofd	- afdammen (par. 4.4) en/of omleiden (par. 4.5)
	neven	- afdammen (par. 4.4) en/of omleiden (par. 4.5)

4.1 Verondiepen van waterlopen door bodemdrempels

Het verondiepen van waterlopen door bodemdrempels is alleen van toepassing in gebieden met hoofdfunctie natuur (H) en hoeft dan ook niet nauwkeurig te gebeuren. Afhankelijk van de gewenste verhoging van de ontwateringsbasis worden watergangen beperkt verondiept of geheel afgedamd. Het heeft alleen zin in vrij-afwaterende gebieden.

Verondersteld wordt dat maximaal verondiepen, dat wil zeggen afdammen, het volgende kost: plaatselijk dichtschiiven met behulp van een shovel, 2 'dammen' per uur, 150 gld per uur, dus 75 gld per dam (op dergelijke dammen hoeft geen hekwerk te worden geplaatst). Dit geldt voor greppels en sloten tot 3 m. Bredere sloten zijn duurder: 120 gld per dam. Dit heeft betrekking op nagenoeg volledig afdammen.

Bij vlakke gebieden en zwak hellend (max. 1 m verval per km) is het aantal dammen per km sloot 2 (bij vlakke gebieden moeten sloten aan twee 'kanten' worden dichtgeschoven). Bij sterker verval neemt het aantal benodigde dammen per km sloot evenredig toe.

Dus investeringskosten afdammen sloten (gld/ha) =

(75 gld * 2 * slootdichtheid smaller dan 3 m * verval +
120 gld * 2 * slootdichtheid breder dan 3 m * verval) / 100 ha

(slootdichtheid in km/km², verval in m/km met als minimum 1).

Als de dammen slechts de helft van de slootdiepte zijn of minder (d.w.z. delta-ontwateringsbasis < 40 cm), wordt 70% van bovenstaande bedragen genomen. Maximaal verval: 20 m/km, daarboven stijgen de kosten niet meer.

Voorbeeldberekening:

Vrij-afwaterend gebied, verval 3 m/km, waterlopen < 3 m = 10 km/km², waterlopen > 3 m = 1 km/km², delta-peil = 60 cm, geen aquatische natuur:

(75 gld * 2 * 10 * 3 + 120 gld * 2 * 1 * 3)/100 ha = 52 gld per ha.

4.2 Verondiepen van sloten door beperking van het onderhoud

Het verondiepen van sloten door beperking van het onderhoud heeft alleen zin in vrij afwaterende gebieden. Het hoger leggen van bestaande duikers is veel te duur. Het laten dichtgroeien van watergangen, in combinatie met baggervorming, is wel een alternatief. Dit kan eventueel versneld worden door de watergangen plaatselijk te verondiepen via het storten van een beperkte hoeveelheid grond. Uitgangspunt is het halveren van het onderhoud (in plaats van twee keer maaien per jaar, slechts één keer). Deze maatregel heeft alleen invloed op de exploitatiekosten; er zijn geen investeringen mee gemoeid. In tabel 2 staan de exploitatiekosten van watergangen volgens Tauw (1996), welke vervolgens zijn toegepast in dit onderzoek. Het geschat effect van deze maatregel bedraagt 20 cm verhoging van de ontwateringsbasis.

Tabel 2 Onderhoudskosten van watergangen (Tauw, 1996)

Bodembreedte (m)	Exploitatiekosten (gld per m watergang per jaar)	Breedte watergangen top-10 (bovenbreedte in m)	Besparing onderhoud (gld per m per jaar)
< 1	1,25	greppel	0,63
1-2	1,84	< 3	0,92
2-4	2,09	3-6	1,05
> 4	2,19	> 6	1,10

In formule: besparing op onderhoud =

$$0,63 \cdot dh_1 + 0,92 \cdot dh_2 + 1,05 \cdot dh_3 + 1,10 \cdot dh_4$$

dh1, dh2, dh3, dh4 = respectievelijk dichtheid watergangen (km/km²) van greppels en droogvallende sloten, van watergangen < 3m, watergangen 3-6 m en watergangen > 6 m.

Voorbeeldberekening

vrij afwaterend gebied, dichtheid waterlopen: 6, 3, 1 en 1.

Besparing op exploitatiekosten =

$$1000 \cdot (0,63 \cdot 6 + 0,92 \cdot 3 + 1,05 \cdot 1 + 1,10 \cdot 1) / 100 = 87 \text{ gld per ha per jaar.}$$

4.3 Verandering van stuwen in vrij afwaterend gebied

Voor het verhogen van de ontwateringsbasis in vrij-afwaterende gebieden, door middel van een aanpassing van de stuwen kan het volgende verondersteld worden:

- Het iets hoger zetten van stuwen kost niets, daar zijn de aanwezige stuwen op berekend; hiermee kan maximaal 20 cm verhoging worden bereikt. Verondersteld wordt dat in dat geval geen aanpassing van eventuele oeverbeschoeiingen nodig is; het water komt er niet boven uit.
- Bij een verhoging van meer dan 20 cm zullen in het algemeen nieuwe stuwen nodig zijn en zal het peil boven de beschoeiing uitkomen. Aangezien tegenwoordig geen beschoeiingen meer worden gemaakt betekent dit dat vanzelf flauwe oevers zullen ontstaan: oftewel 2 m² landverlies per m beschoeide watergang, dat is 10 gld per m.

In het algemeen zijn watergangen beschoeid daar waar de grens tussen nat en droog bestaat uit zandgrond. Maar dit geldt niet voor alle watergangen bij zandgrond. Aangezien niet digitaal bekend is waar beschoeiingen liggen wordt dit kenmerk niet meegenomen.

In tabel 3 zijn de investeringskosten van nieuwe stuwen weergegeven (volgens Tauw, 1996), en omgezet naar uitgangspunten voor dit onderzoek.

Tabel 3 Investeringskosten van stuwen (Tauw, 1996)

Totale investeringskosten volgens Tauw			Uitgangspunten voor dit onderzoek		
Kruin- breedte (m)	vaste stuw (gld per m kruin- breedte)	regelbare stuw (gld per m kruin- breedte)	breedte wa- tergang (m)	kosten per vaste stuw (gld)	kosten per re- gelbare stuw (gld)
1	8 100	31 000	greppel	8 100	31 000
2	4 700	22 000	<3	9 400	44 000
3	3 900	26 000			
4	4 300	38 000	3-6	17 200	152 000
5	4 200	32 000			
6	4 100	50 000	> 6	28 700	350 000

Voor geautomatiseerde stuwen is een extra investeringsbedrag van 50 000 gld gerekend. De exploitatiekosten voor stuwen zijn begroot op 1% van de investeringskosten (Tauw, 1996). In het algemeen worden beweegbare stuwen geïnstalleerd als er water van meer dan 200 ha overheen moet. Als het gebied groter is dan 750 ha wordt meestal een geautomatiseerde stuw gepland. Het automatiseren van stuwen kan leiden tot een 20 cm hoger peil. Hoe sterker het gebied helt, des te meer stuwen zullen er nodig zijn.

Er zijn dus aannames nodig voor veranderingen in de stuwen. Probleem is dat niet digitaal bekend is wat voor stuwen waar aanwezig zijn. De volgende aannames zijn gemaakt:

1. Een peilverhoging van 20 cm is kosteloos (daarop zijn de reeds aanwezige stuwen gebouwd).
2. Een sterkere peilverhoging kan bereikt worden door:
 - a. Automatisering van reeds aanwezige regelbare stuwen (50 000 gld per stuw). Dit lijkt vooral zinvol in vlakke tot zwak hellende gebieden (max. 1 m verval per km); stel 1 stuw per 500 ha, dat betekent: $50\,000 / 500 = 100$ gld per ha. Het effect is 20 cm hoger peil.
 - b. Plaatsing van extra stuwen. Dit lijkt vooral relevant in meer hellende gebieden. Maar waarschijnlijk is het plaatsen van bodemvallen daar effectiever en goedkoper. Aanname: 1 bodemval per km watergang per m verval, kosten 500 gld per bodemval. Maximaal verval: 20 m/km, dat betekent dat daarboven de kosten niet meer stijgen.
 - c. In sommige gevallen kan het nodig zijn de watergangen in zijn geheel te verondiepen, en indien nodig te verbreden. Dit is echter relatief duur: 40 gld per m voor watergangen < 3 m, 120 gld voor 3-6 m en 300 gld voor sloten > 6 m. Daarbij is rekening gehouden met afvoer van grond over beperkte afstand (10 gld/m³) en landverlies (5 gld per m²).

Verondersteld wordt vervolgens dat een beperkte peilverhoging via stap 1 gebeurt (hoger zetten bestaande stuwen, kosteloos); een sterkere peilverhoging via stap 2 (in vlakke

gebieden automatisering van stuwen, in meer hellende gebieden bodemvallen en profielverandering watergangen). Vanwege de grove hellingklassenkaart wordt echter verondersteld dat bij een peilverhoging > 20 cm, zowel 2a, 2b als 2c worden toegepast. Bij een peilverhoging > 40 cm worden de kosten twee keer zo hoog verondersteld.

Voorbeeldberekening

Vrij afwaterend gebied, dichtheid waterlopen: 6, 3, 1 en 1 km/km² verval 3 m/km:

- peilverhoging < 20 cm: 0 gld/ha.

- peilverhoging > 20 cm:

 automatisering stuwen: 100 gld/ha.

 bodemvallen: $(500 * 3 * (6 + 3 + 1 + 1))/100 \text{ ha} = 165 \text{ gld/ha}$.

 profielverandering: $((6 + 3) * 40\,000 + 1 * 120\,000 + 1 * 300\,000)/100 \text{ ha} = 7800 \text{ gld/ha}$.

 Totaal: $100 + 165 + 7800 = 8065 \text{ gld/ha}$.

- peilverhoging > 40 cm: $8065 \text{ gld} * 2 = 16\,130 \text{ gld/ha}$.

4.4 Peilverandering in bemalen gebied

Voor bemalen gebieden wordt verondersteld dat het verhogen van het peil in een bepaald peilgebied kosteloos is. Als het echter gaat om een peilverandering in een deel van een peilgebied, moeten voorzieningen worden getroffen om dat te kunnen realiseren, bijvoorbeeld dammen in de watergangen. Ook bij grotere gebieden is er echter kans dat begrenzingen van natuurgebieden niet overeenkomen met grenzen van peilgebieden (als men bijvoorbeeld de achterste helft van een polder wil bestemmen als nevenfunctie natuur). Dit betekent dat ook de dichtheid van de watergangen van belang is. Het gaat vooral om het afdammen van watergangen aan de rand van het gebied; een andere mogelijkheid is het plaatsen van stuwen.

De volgende aannames zijn gemaakt:

- Het afdammen van x watergangen per km omtrek, waarbij x gelijk is aan de dichtheid van watergangen in km/km². Als de dichtheid van watergangen bijvoorbeeld 10 is betekent dat voor elke 100 m omtrek 1 dam wordt gerekend. Het afdammen moet goed gebeuren: 750 gld per dam.
- Daarnaast is een pompje/gemaaltje nodig om het hogere peil te handhaven in droge periodes. De kosten daarvan zijn begroot op 150 gld/ha (gebaseerd om de relatief beperkte capaciteit van een aanvoergemaaltje: 2 mm per dag).

Voorbeeldberekening

Gebied 300 ha, omtrek 8 km, waterlopen 1, 10, 2 en 3 km/km²:

$$750 \text{ gld} * 8 * (1 + 10 + 2 + 3) / 300 \text{ ha} + 150 = 470 \text{ gld/ha}$$

Gebied 3 ha, omtrek 1 km, waterlopen 1, 10, 2 en 3 km/km²:

$$750 \text{ gld} * 1 * (1 + 10 + 2 + 3) / 3 \text{ ha} + 150 = 4150 \text{ gld/ha}$$

Hier is duidelijk het effect van gebiedsgrootte zichtbaar: beide gebieden hebben een vergelijkbare vorm, maar het grote gebied heeft een veel gunstiger verhouding tussen omtrek en oppervlakte.

4.5 Aanleggen van omleiding om natuurgebied

Uitgaande van watergangen < 3 m zijn de volgende investeringskosten nodig (Tauw, 1996):

- lengtekosten: 29,86 gld per m;
- inhoudskosten: 5,34 gld per m³;
- grondkosten: 7 gld per m².

Een watergang met een inhoud van 2 m³ en een kruinbreedte van 4 m kost dan: $29,86 + 2 * 5,34 + 4 * 7 \text{ gld} = 68,54 \text{ gld per m}$, afgerond 70 gld/m.

Verondersteld wordt dat een omleiding nodig is met een lengte van de halve omtrek van het natuurgebied.

Voorbeeldberekening

Gebied 100 ha, omtrek 4 km:

$$70 \text{ gld} * 4000 * 0,5 / 100 \text{ ha} = 1400 \text{ gld/ha}.$$

4.6 Landbouwschadeberekening

Met behulp van de HELP-tabel uit BODEP (Berekening Opbrengst DEPressie landbouw) (Voet, 1995) wordt bepaald wat het schadebedrag is voor de landbouw in de huidige situatie. Vervolgens wordt de GVG-verhoging omgerekend naar een Gt-verandering en wordt opnieuw de landbouwschade bepaald. Met beide landbouwschades kan bepaald worden wat de verandering in landbouwschade is.

Bij de bepaling van GVG-verandering naar Gt-verandering is de volgende aanpak gevolgd. Via de HELP-tabel is de GHG en de GLG van de huidige Gt bepaald. Vervolgens wordt daarmee de huidige GVG bepaald, mbv de volgende formule:

$GVG = 5,4 + 0,83*GHG + 0,19*GLG$ uit De Waal (1992, p. 30 volgens Locher en De Bakker, 1985). Daarnaast kan het verschil tussen GHG en GLG berekend worden. Door te veronderstellen dat het verschil tussen GHG en GLG gelijk blijft, kan de GVG-verhoging

met behulp van bovenstaande formule vertaald worden in een verandering van GHG en GLG, en op basis daarvan kan de nieuwe Gt worden bepaald.

De opbrengstdepressie-verandering wordt berekend door aan de oude Gt en de nieuwe Gt het schadepercentage volgens de HELP-tabel te koppelen (via de combinatie bodemtype-Gt-gebruik). Daarbij wordt gebruik gemaakt van de HELP-tabel voor bouwland en voor grasland.

In de HELP-tabel (LD, 1987) wordt aangegeven hoe groot de schade als gevolg van wateroverlast is en als gevolg van droogte, kortweg nat- en droogteschade. Daarbij wordt rekening gehouden met:

- grondwatertrap;
- bodemtype;
- gebruik: grasland, bouwland of anders; bij bouwland wordt een gemiddeld bouwplan gehanteerd; als het grondgebruik anders is wordt geen landbouwschade berekend.

Onwaarschijnlijke combinaties van bovenstaande parameters blijven buiten beschouwing (bv. bouwland op veengrond). De schade gaat tot maximaal 35%.

De schade wordt weergegeven als % van de opbrengst. Deze percentages zijn vervolgens in geld vertaald via de volgende uitgangspunten:

- 26 gld per % per ha voor grasland (pers. med. DLG, 1997);
- 52 gld per % per ha voor bouwland (Huinink, 1993).

Er is gebruik gemaakt van de gegevens uit de bodemkaart 1:50 000. Deze is gedurende de afgelopen 40 jaar opgenomen. Als gevolg van landinrichtingsprojecten en drinkwaterwinningen kan het zijn dat de Gt in werkelijkheid droger is dan volgens de kaart. Het is echter niet mogelijk hiervan een compleet beeld te geven. Voor een up-to-date beeld zou een nieuwe inventarisatie nodig zijn. Momenteel wordt daaraan gewerkt, maar een volledig up to date beeld is voorlopig nog niet in zicht.

Van de provincie Drenthe is onder andere een actualisatie uitgevoerd van de Gt-kaarten voor Steenwijk en Emmen (Finke e.a., 1996). In dat gebied zijn ingrepen in de waterhuishouding uitgevoerd en er zijn veranderingen geweest van grondwateronttrekkingen door pompstations. Uit de resultaten blijkt dat de grondwaterstand plaatselijk sterk gedaald is. Gemiddeld genomen is de Gt één klasse droger geworden. De Gt's I en II komen niet meer voor; de GHG bij gebieden die voorheen Gt III of V hadden is gedaald tot onder de 25 cm - maaiveld.

Ook binnen de provincie Noord-Brabant is een actualisatie beschikbaar, namelijk voor het Land van Cuijk, waar een ruilverkaveling is uitgevoerd (Te Riele en Brus, 1996). Ook daar bleek dat de Gt gemiddeld minstens één klasse dieper is gekomen; vooral de oorspronkelijk natte gronden zijn droger geworden. Uit beide voorbeelden blijkt duidelijk dat de gebruikte Gt-kaart sterk afwijkt van de realiteit voor die gebieden waar ingrepen hebben

plaatsgevonden.

Een ander discussiepunt is dat de HELP-tabel gemaakt is voor bepaling van effecten van ontwatering, gericht op een verandering van de waterhuishouding op het hele bedrijf; dit in tegenstelling tot verdrogingsbestrijding waarbij het meer lijkt te gaan om maatwerk in de waterhuishouding, hetgeen verschillen binnen het bedrijf kan opleveren. Uit de resultaten van het NOV-project 12.2 moet blijken in hoeverre de HELP-tabel afwijkt van de resultaten, gebaseerd op simulaties per perceel per dag.

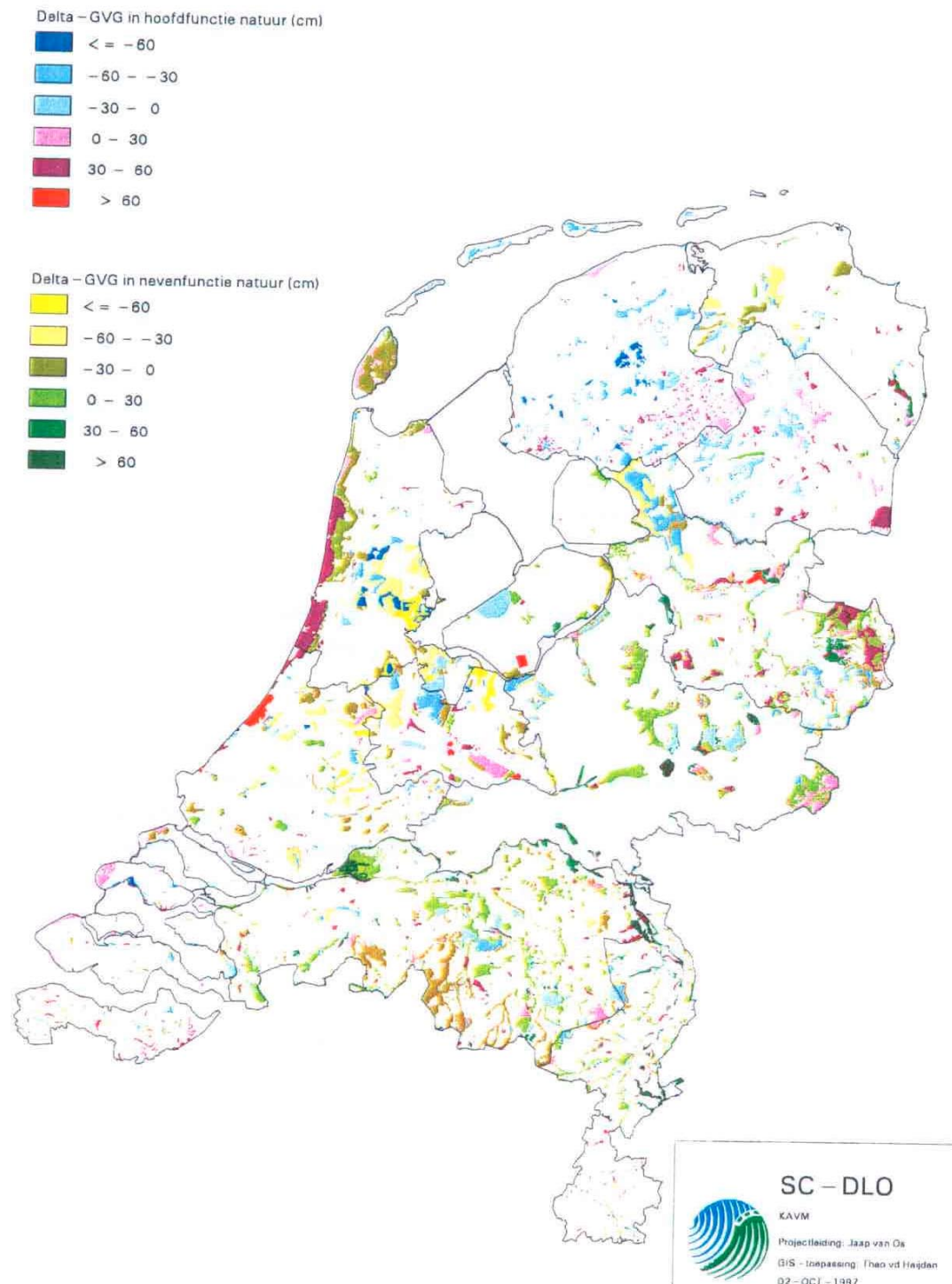
5. VOORBEELDBEREKENING

5.1 Inleiding

Met de ontwikkelde methode is een landsdekkende voorbeeldberekening uitgevoerd, om een beter beeld te krijgen van hoe de methode uitpakt en wat de haken en ogen zijn van een toepassing op nationaal niveau. Achtereenvolgens worden de volgende berekende kengetallen besproken:

1. Delta-GVG. De benodigde GVG-verhoging die nodig is om van de huidige situatie naar de gewenste situatie te komen.
2. Delta-ontwateringsbasis. De berekende verhoging van de ontwateringsbasis die nodig is om in een bepaald natuurgebied het gewenste effect (GVG-verhoging) te bereiken.
3. Effect-lijnen. Dit zijn contourlijnen om natuurgebieden met een bepaalde verhoging van de GVG.
4. Kosten waterhuishoudkundige maatregelen. Hierbij gaat het om de waterhuishoudkundige maatregelen die intern in de natuurgebieden worden getroffen om de ontwateringsbasis te verhogen.
5. Verandering landbouwschade. Dit is de verandering van de landbouwschade in gebieden met nevenfunctie natuur en in de beïnvloedingsgebieden om de natuurgebieden, als gevolg van de verhoging van de ontwateringsbasis in de natuurgebieden. Voor gebieden met hoofdfunctie natuur wordt geen landbouwschade berekend (dwz niet intern, wel extern).

Kaart 2 Delta – GVG in gebieden met hoofd – en nevenfunctie natuur



5.2 Delta-GVG

De GVG-verhoging die nodig is om van de huidige situatie naar de gewenste situatie te komen is bepaald met behulp van de huidige GVG (volgens de bodemkaart 1:50 000) en de gewenste GVG volgens de natuurdoeltypenkaart. Het resultaat hiervan is weergegeven op kaart 2. Daaruit blijkt voor welke gebieden een verhoging van de GVG (vernatting) is gewenst (rode en groene gebieden) voor welke gebieden dat niet nodig is (blauw en geel-bruin). De gebieden waar geen verhoging van de GVG nodig is, kunnen een te slechte waterkwaliteit als verdrogingsvorm hebben; dit kan zijn veroorzaakt door aanvoer van gebiedsvreemd water en/of door een gebrek aan kwel.

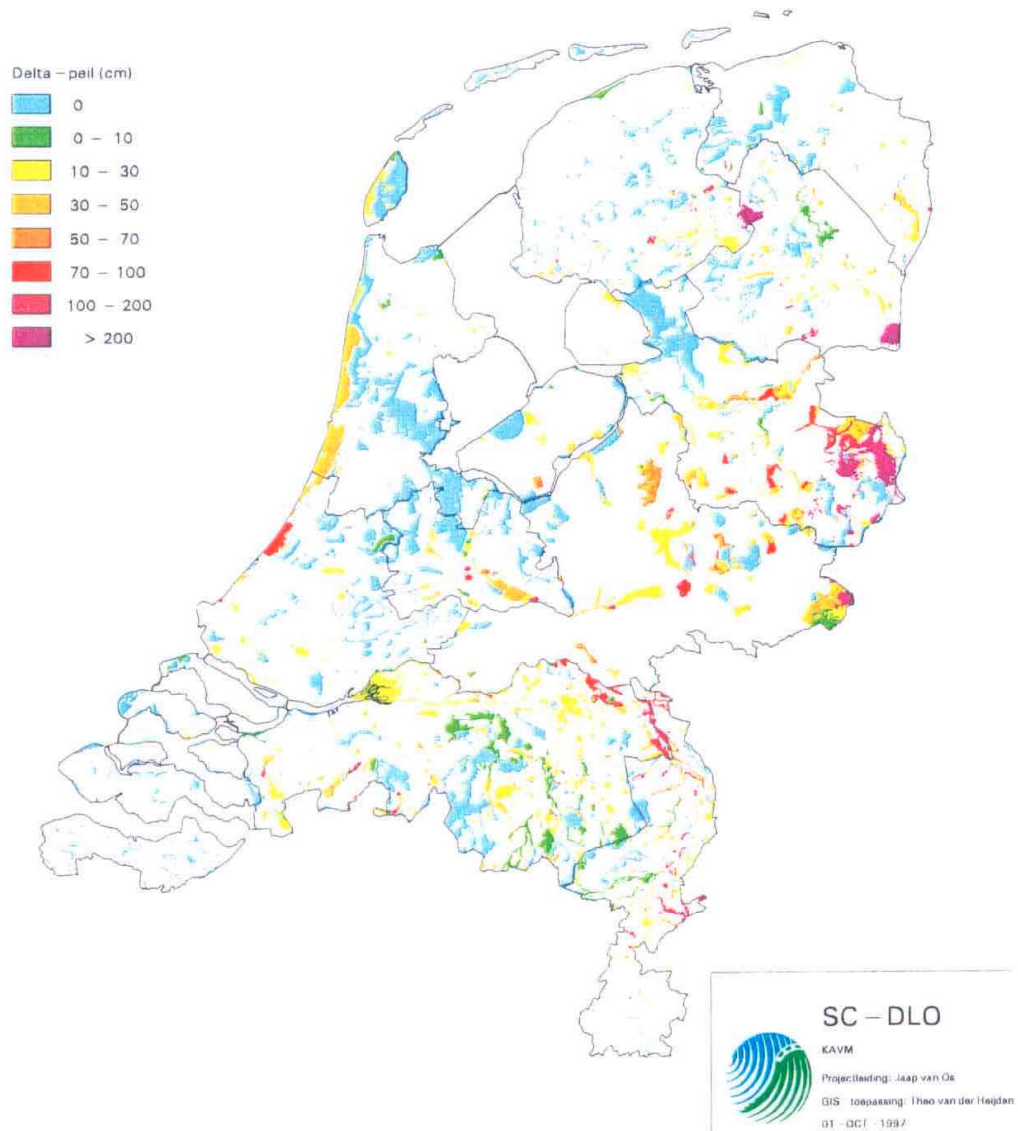
De kaart zal echter ook onjuistheden bevatten door de gedeeltelijke gedateerdheid van de huidige Gt-kaart en doordat de natuurdoeltypenkaart het resultaat is van een tamelijk grove actie. Daarbij is het schaalniveau eigenlijk te grof (1 x 1 km grids) en het betreft een eerste resultaat van een procedure waaraan nogal wat haken en ogen zitten (Bal en Reijnen, 1997).

Opvallend is dat voor gebieden in bv. Noord-Holland (behalve de duinen) de GVG-natuurdoeltypen bijna altijd droger is dan de huidige GVG. Blijkbaar is daar niet de waterhoeveelheid het probleem, maar de waterkwaliteit. Dit komt voor een beperkt deel (13% van de oppervlakte N) door de 40 cm grens bij N: als GVG-wens boven de 40 cm - maaiveld uitkomt, wordt GVG-wens 40 cm, en wordt delta-GVG daaraan aangepast.

Aan de andere kant blijkt dat voor het gebieden in bv. Oost-Groningen forse verhogingen van de GVG (vernattingen) nodig zijn om van de huidige tot de gewenste situatie (volgens de natuurdoeltypenkaart) te komen, ook in gebieden met nevenfunctie natuur.

Opvallend is ook een aantal gebieden in Drenthe, Gelderland en Brabant, bv. het gebied Beerze-Reusel, waar tegen de verwachting in een verlaging van de GVG is gewenst ipv een vernatting. In het algemeen kan gesteld worden dat een negatieve delta-GVG in vrij afwaterende gebieden meestal onjuist is. Dit is waarschijnlijk het resultaat van tekortkomingen zowel in de huidige-GVG-kaart als in de kaart met gewenste GVG.

Kaart 3 Delta – peil in gebieden met hoofd – en nevenfunctie natuur



5.3 Delta-ontwateringsbasis

De delta-ontwateringsbasis is de via analytische formules berekende verhoging van de ontwateringsbasis (delta-peil) die nodig is om in een bepaald natuurgebied het gewenste effect (GVG-verhoging) te bereiken. Deze verhoging is bepaald met behulp van de analytische formules uit hoofdstuk 3.

Op kaart 3 is de berekende verandering van de ontwateringsbasis (open waterstand) weergegeven. Op deze kaart is duidelijker dan op de vorige te zien dat bij een groot aantal gebieden geen peilverhoging wordt doorgerekend (de blauwe gebieden). In deze gebieden is delta-GVG negatief of nul (zie ook tabel 4). In een beperkt aantal gebieden, vooral in Twente en Midden- en Noord-Limburg, zijn forse peilverhogingen nodig om de gewenste situatie te bereiken.

Tabel 4 Gewenste GVG-verhoging en berekende peilverhoging voor verdroogde natuurgebieden, ingedeeld naar mate van bereiken van delta-GVG

	Delta-GVG negatief of nul	Delta-GVG gehaald	Delta-GVG niet gehaald vanwege wegzijging	Delta-GVG niet gehaald vanwege 2 m grens
Oppervlakte (1000 ha)	331	128	132	25
Delta-GVG (cm)	-28	16	33	24
Delta peil (cm)	0	27	46	200

In tabel 4 is weergegeven in hoeverre de gewenste GVG-verhogingen haalbaar zijn door interne veranderingen van de ontwateringsbasis. In deze tabel wordt geen onderscheid gemaakt in natuurfunctie van het gebied (hoofd of neven). Het blijkt dat in ruim de helft van de oppervlakte verdroogd gebied geen verhoging van de GVG gewenst is. In bijna de helft van de oppervlakte waar delta-GVG positief is, blijkt het haalbaar om met interne maatregelen de gewenste GVG te bereiken. Het blijkt dat voor die gebieden waar dat niet lukt dat de gewenste GVG-verhoging gemiddeld groter is.

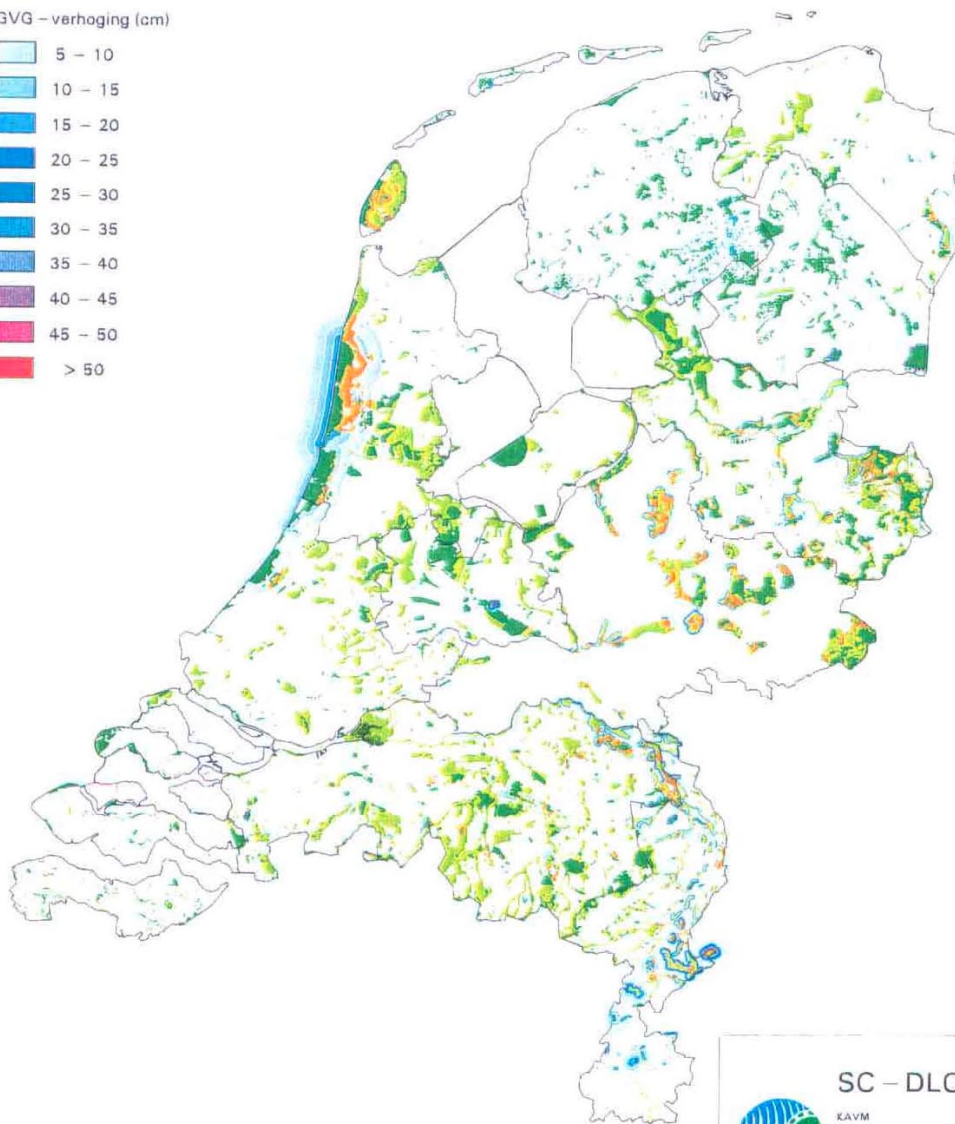
Kaart 4 Buffers rond gebieden met hoofd – en nevenfunctie natuur

Legenda

-  hoofdfunctie natuur
-  nevenfunctie natuur
-  nevenfunctie natuur, echter binnen buffers rond gebieden met hoofdfunctie natuur

GVG – verhoging (cm)

-  5 – 10
-  10 – 15
-  15 – 20
-  20 – 25
-  25 – 30
-  30 – 35
-  35 – 40
-  40 – 45
-  45 – 50
-  > 50



SC – DLO

KAVM

Projectleiding: Jaap van Os

GIS – toepassing: Theo van der Haagen

01 OC1 – 1997

5.4 Effect-lijnen

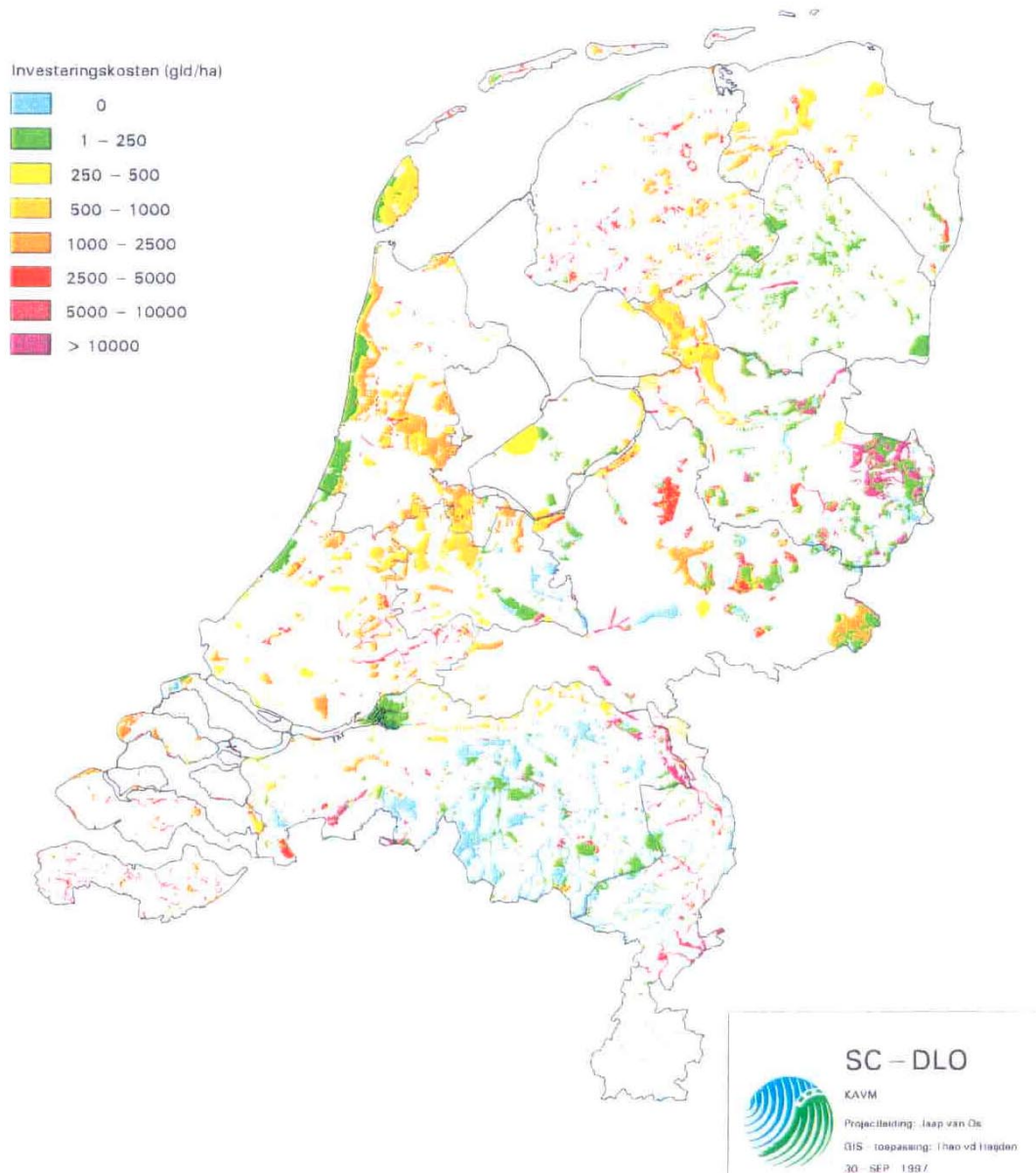
Effect-lijnen zijn de contourlijnen om natuurgebieden met een bepaalde verhoging van de GVG. Deze lijnen zijn voor elke 5 cm verhoging getrokken; het zijn maximaal 10 lijnen (van 5 tot 50 cm). Op kaart 4 zijn deze beïnvloedingsgebieden weergegeven onderverdeeld naar GVG-verhoging, waarbij ook de gebieden met hoofd- en nevenfunctie zijn ingetekend. Het betreft hier alleen de beïnvloedingsgebieden rond hoofd- en nevenfunctie samen. De beïnvloedingsgebieden van gebieden met hoofdfunctie natuur die in gebieden met nevenfunctie natuur vallen zijn op deze kaart apart weergegeven (oranje, niet onderverdeeld naar GVG-verhoging).

Vooraf bij de gebieden met de wat bredere beïnvloedingszones is duidelijk het exponentiële verloop van de beïnvloedingscurves te zien, dat wil zeggen de afzonderlijke zones worden van binnen naar buiten toe steeds breder. Zie hiervoor ook kaart 1, waarin is ingezoomd op een klein stukje van de verdrogingskaart, met daaraan de beïnvloedingsgebieden toegevoegd. Uit kaart 4 blijkt dat in de meeste beïnvloedingsgebieden de GVG-verhoging niet groter is dan 15-20 cm.

Voor een groot gedeelte in Noord- en Zuid-Holland en Friesland is geen vernatting als gevolg van peilverhogingen te zien. In dit gebied zijn peilverhogingen ook niet gewenst (zie kaart 3). Deze gebieden zijn waarschijnlijk als verdroogd aangemerkt doordat ze onder invloed staan van gebiedsvreemd water. In het oostelijk deel van Overijssel en Gelderland zijn de effecten van de vernatting nauwelijks zichtbaar. In dit gebied komt een relatief dun watervoerend pakket voor en ontbreekt het afdekkende pakket. Hierdoor is de spreidingslengte en daarmee de invloedsafstand van hydrologische ingrepen zeer gering.

Uit kaart 4 blijkt dat vooral in de provincies Gelderland en Overijssel er veel beïnvloedingsgebieden rondom gebieden met hoofdfunctie natuur in gebieden met nevenfunctie natuur liggen. In deze provincies zijn de gebieden met nevenfunctie natuur veelal naast die met hoofdfunctie natuur gesitueerd. In de provincies Friesland, Drenthe en Zeeland zijn nauwelijks of geen gebieden met nevenfunctie natuur aangewezen.

Kaart 5 Investeringskosten waterhuishoudkundige maatregelen
voor gebieden met hoofd – en nevenfunctie natuur



5.5 Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen

Het gaat het om waterhuishoudkundige maatregelen die intern in de natuurgebieden worden getroffen om de ontwateringsbasis te verhogen. In hoofdstuk 4 is aangegeven met welke uitgangspunten de berekeningen zijn gedaan. De investeringskosten zijn weergegeven in tabel 5 en op kaart 5. In tabel 5 zijn de gebieden, waarvoor geen investeringskosten zijn berekend apart weergegeven. Het zijn naar oppervlakte gewogen gemiddelden.

Deze resultaten hebben betrekking op de aanpak van alle verdroogde gebieden in Nederland, volgens de GVG van de natuurdoeltypenkaart, of waar deze ontbreekt + 10 cm voor gebieden met nevenfunctie natuur en + 30 cm voor gebieden met hoofdfunctie natuur.

Gebieden waar delta-peil gelijk is aan nul (omdat delta-GVG negatief is) zijn voor een groot deel toch meegenomen bij de maatregelen. Bij de bemalen gebieden is het namelijk voor de maatregelkeuze niet van belang welke peilverhoging nodig is. Er wordt altijd gekozen voor de maatregel afdammen + gemaaltje. Dit is ook voor gebieden waar niet de waterhoeveelheid, maar de waterkwaliteit problematisch is, een effectieve maatregel; voor die gebieden is naast het afdammen ook nog nodig een omleiding te realiseren.

Bij vrij-afwaterende gebieden is het zo dat alleen maatregelen worden genomen bij een peilverhoging groter dan 20 cm; verondersteld is dat een peilverlaging kleiner dan 20 cm (of gelijk aan nul) met de bestaande infrastructuur kan worden uitgevoerd.

Dit betekent dus ook dat voor vrij-afwaterende gebieden, die als verdroogd op de kaart zijn gezet, waarbij de peilverhoging nul of kleiner dan 20 cm is, er geen kosten worden berekend. Deze situatie geldt voor een groot aantal gebieden in Noord-Brabant en enkele gebieden in het midden en oosten van Nederland. Zoals al bij kaart 2 (delta-GVG) is vermeld, is deze situatie waarschijnlijk niet overeenkomstig de werkelijkheid, als gevolg van tekortkomingen in de bestanden. Dit betekent ook dat voor die gebieden ten onrechte geen kosten voor waterhuishoudkundige maatregelen zijn berekend.

De totale investeringskosten bedragen $624\,000\text{ ha} \cdot 1662\text{ gld / ha} = 1037\text{ mln gld}$. Daarnaast zou echter een besparing op de onderhoudskosten van waterlopen van $624\,000 \cdot 17\text{ gld} = 11\text{ mln gld}$ per jaar mogelijk zijn.

Het blijkt dat de investeringskosten het laagst zijn in vrij afwaterende gebieden met hoofdfunctie natuur; daar kan grover en eenvoudiger worden gewerkt: het plaatselijk afdammen van watergangen lijkt voldoende. De kosten zijn het hoogst voor vrij afwaterende gebieden met nevenfunctie natuur. Dit wordt vooral veroorzaakt door de kosten voor

herprofilering van waterlopen, die al snel oplopen tot 10 000 gld per ha (zie ook de voorbeeldberekening in paragraaf 4.3).

Tabel 5 Enkele gebiedskenmerken en kosten voor waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging

Natuurfunctie	Hoofd		Neven		Totaal	
	vrij-afwat.	bema-len	vrij-afwaterend	bema-len		
Investeringskosten	> 0	> 0	= 0	> 0	> 0	
Oppervlakte (1000 ha)	153	146	98	70	157	624
Dichtheid waterlopen (km/km ²)						
- greppels + droogvallende sloten	4,5	1,6	5,5	2,8	1,8	3.1
- < 3 m	1,8	6,0	2,3	1,4	7,4	4.3
- 3-6 m	0,8	2,2	0,7	0,6	2,4	1.5
- > 6 m	0,9	1,3	0,9	0,8	1,6	1.2
Kosten (gld/ha)						
1. verondiepen via drempels	36					9
2. beperken onderhoud			-74	-45		-17
3. peilverhoging via stuwen				8672		979
4. afdammen		511			460	235
5. omleiden		997			820	440
Invest. kosten (gld/ha)	36	1508		8672	1280	1662
Onderh. kosten (gld/ha per jr)			-74	-45		-17

Gemiddeld bedragen de kosten voor de vrij-afwaterende gebieden ongeveer 1900 gld per ha; voor de bemalen gebieden is dat circa 1400 gld per ha. Deze bedragen wijken duidelijk af van de bedragen die gebruikt voor MilieuVerkenning 3 en 4 (Beugelink en Claessen, 1995). De kosten voor waterhuishoudkundige maatregelen zijn in dat onderzoek voor vrij-afwaterende gebieden begroot op 1100 tot 1500 gld per ha (afhankelijk van het beoogde effect: 1 of 2 Gt's) en voor bemalen gebieden op 2500 tot 3500 gld/ha (afhankelijk van het beoogde effect en de mogelijkheid voor wateraanvoer); in dat onderzoek zijn de bemalen gebieden dus duurder begroot.

Vergelijken we echter de resultaten van deze voorbeeldberekening met de eerste voortgangsrapportage van de GEBEVE-projecten (Prak, 1996), dan blijkt dat de kosten in de meeste provincies lager uitvallen. Vooral in de 'zand-provincies' (Drenthe, Overijssel, Gelderland, Utrecht en Noord-Brabant), die in het algemeen als vrij-afwaterende kunnen worden beschouwd, zijn de kosten laag: gemiddeld ruim 600 gld/ha; voor de overige provincies is dat 2800 gld/ha.

5.6 Opbrengstverandering in de landbouw

De verandering van de opbrengsten in de landbouw is bepaald in gebieden met nevenfunctie natuur en in de beïnvloedingsgebieden om de natuurgebieden (beïnvloedingsgebieden), als gevolg van de verhoging van de ontwateringsbasis in de natuurgebieden. Voor gebieden met hoofdfunctie natuur wordt geen landbouwschade berekend (d.w.z. niet intern, wel extern).

In tabel 6 is de opbrengstverandering in de landbouw weergegeven. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in natschade en droogteschade. Het vernatten leidt in het algemeen tot een afname van de droogteschade en een toename van de natschade. Waarschijnlijk zullen deze effecten zich grotendeels op verschillende landbouwbedrijven afspelen, zodat het zinvol is beide bedragen weer te geven.

Het blijkt dat gebieden met een relatief hoge toename van de landbouwschade gemiddeld natter zijn dan de overige gebieden. De gebieden waar de landbouwschade afneemt, zijn gemiddeld het droogst.

Op kaart 6 en 7 is het saldo van droogte en natschade weergegeven. Het blijkt dat in veel van de brede beïnvloedingszones de GVG-verandering te klein is om te resulteren in een duidelijke schadeverandering in de landbouw. Voor de beïnvloedingsgebieden die buiten Nederland vallen of in het water liggen is geen schadeberekening uitgevoerd. Een belangrijke toename van de landbouwschade treedt op in een groot aantal kleine gebiedjes om de natuurgebieden en binnen de gebieden met nevenfunctie natuur.

Uit tabel 6 blijkt dat de natschade in de landbouw toeneemt:

- beïnvloedingsgebieden: $316\,000\text{ ha} \times 45\text{ gld per ha} = 14\text{ mln gld per jaar}$
- nevenfunctie natuur: $326\,000\text{ ha} \times 58\text{ gld per ha} = 19\text{ mln gld per jaar}$
- totaal: 33 mln gld per jaar.

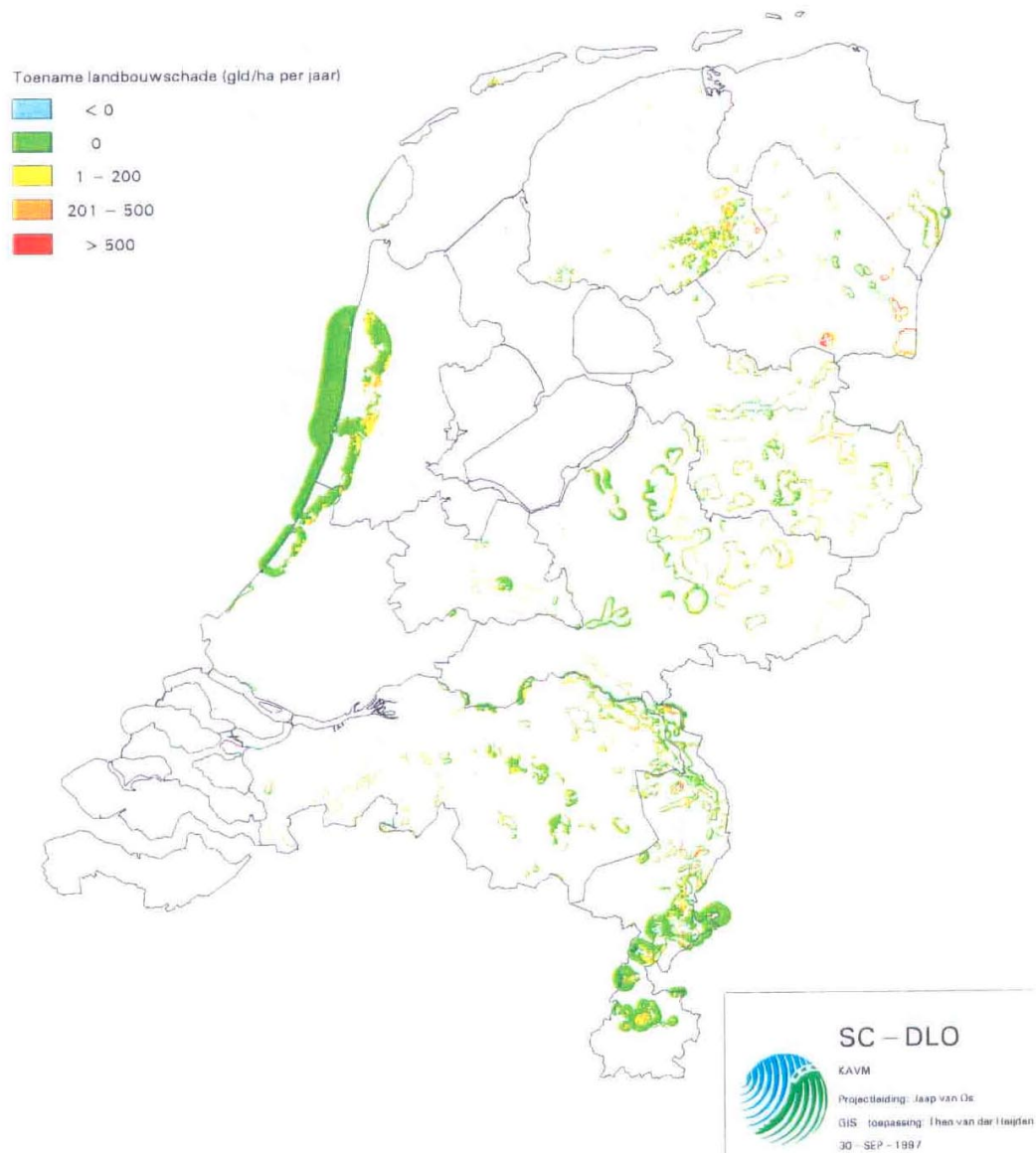
De droogteschade neemt af met:

- beïnvloedingsgebieden: $316\,000\text{ ha} \times 15\text{ gld per ha} = 5\text{ mln gld per jaar}$
- nevenfunctie natuur: $326\,000\text{ ha} \times 19\text{ gld per ha} = 6\text{ mln gld per jaar}$
- totaal: 11 mln gld per jaar.

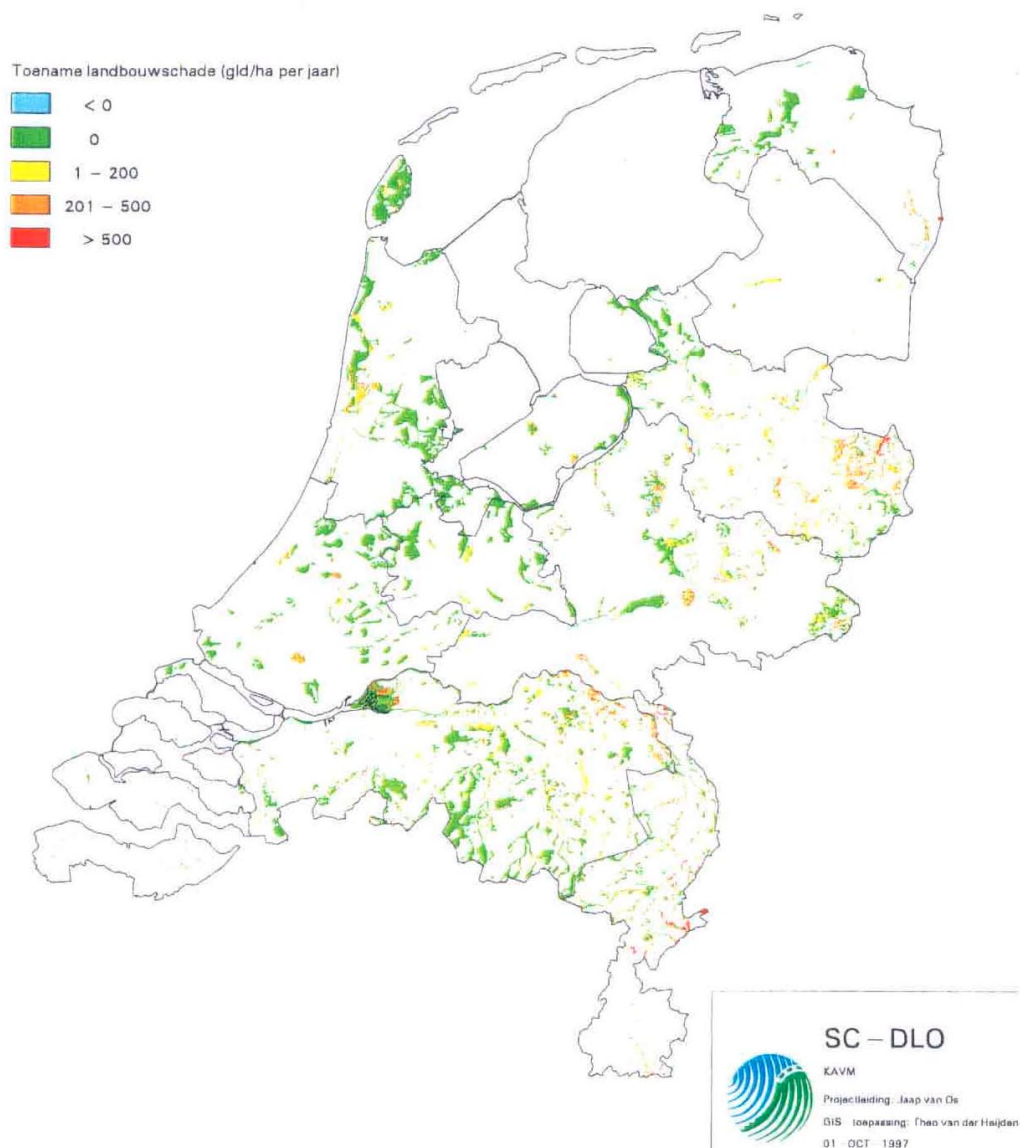
Zowel bij de beïnvloedingsgebieden als bij nevenfunctie natuur blijkt dat voor een groot deel van de oppervlakte de berekende schade verandering gelijk is aan nul. Dit betekent dat de GVG wel veranderd is, maar het schadebedrag per ha niet. Dit heeft twee oorzaken:

- de Gt zat al aan de rand van de help-tabel en bleef daar ook;
- de GVG-verhoging was te beperkt om in een Gt-verandering te resulteren.

Kaart 6 Toename landbouwschade in buffers rond gebieden met hoofd – en nevenfunctie natuur



Kaart 7 Toename landbouwschade in gebieden met nevenfunctie natuur



Deze beperkingen van de methode kunnen leiden tot onderschatting en overschatting van de schadeverandering. Waarschijnlijk zal echter de onderschatting het sterkst zijn, doordat het vaak gaat om relatief kleine veranderingen van de grondwaterstand.

Tabel 6 Verandering van landbouwschade bij beïnvloedingsgebieden en gebieden met nevenfunctie natuur, ingedeeld naar toename van de landbouwschade

	Toename landbouwschade (saldo nat- en droogteschade, gld/ha per jaar)					Totaal
	< 0	0	1-200	201-500	> 500	
Beïnvloedingsgebieden						
oppervlakte (1000 ha)	16	250	30	18	2	316
GVG (cm - maaiveld)						
oud	114	101	58	47	57	94
nieuw	88	90	45	28	30	82
verandering	-25	-11	-13	-19	-27	-12
natschade						
oud	29	69	194	518	765	109
nieuw	75	69	362	876	1614	154
verandering	46	0	168	358	849	45
droogteschade						
oud	467	164	199	135	314	182
nieuw	317	164	156	93	183	167
verandering	-150	0	-43	-42	-131	-15
Nevenfunctie natuur						
oppervlakte (1000 ha)	15	254	28	25	3	326
GVG (cm - maaiveld)						
oud	111	73	55	55	74	72
nieuw	77	67	40	23	27	61
verandering	-33	-6	-15	-32	-47	-10
natschade						
oud	17	182	183	351	360	189
nieuw	67	182	353	765	1213	247
verandering	50	0	170	414	853	58
droogteschade						
oud	416	165	171	157	179	177
nieuw	268	165	120	78	73	158
verandering	-148	0	-51	-79	-106	-19

6. DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Discussiepunten

Hieronder is puntsgewijs aangegeven welke discussiepunten er zijn in de gevolgde aanpak voor de bepaling van kosten van waterhuishoudkundige maatregelen tegen verdroging.

1. De berekening van *delta-peil en de afstanden* van de beïnvloedingslijnen is voor elk gebiedje met hoofd- of nevenfunctie natuur apart gebeurd. Dit betekent dat de systematiek niet meer klopt als twee gebiedjes tegen elkaar aan of vlak bij elkaar liggen. Maar aan de andere kant is het ook niet mogelijk om er één gebied van te maken aangezien verschillende gebieden vaak een verschillende GVG-gewenst hebben. Deze fout leidt tot een overschatting van de benodigde peilverhoging (open waterstand): het elkaar versterkende effect van beide gebieden wordt achterwege gelaten. Aan de andere kant treedt ook onderschatting op van de berekende peilverhoging, doordat de verhoging zodanig is berekend dat in het midden van het gebied de gewenste GVG-verhoging wordt gerealiseerd (en niet langs de randen).
2. *Actualiteit van de Gt-kaart.* De actualiteit verschilt per gebied; een oude datum is alleen bezwaarlijk als zich nadien belangrijke veranderingen hebben voorgedaan: bv. een landinrichtingsproject of een nieuwe grondwaterwinning. Het algemeen effect is een toename van de gewasverdamping als gevolg van een hogere productie per ha. Aangezien van bovenstaande ontwikkelingen geen landsdekkende gegevens zijn is geen correctie op de Gt-kaart uitgevoerd.
Het gevolg van deze verouderde Gt-kaart is dat in een aantal gebieden de huidige GVG in werkelijkheid droger is dan volgens de kaart. Dit betekent dat delta-GVG in die gebieden onderschat wordt en daarmee ook de intensiteit van de maatregelen en het niveau van de kosten.
3. *GVG-wens-kaart.* In dit onderzoek is het verdrogingsprobleem gekarakteriseerd door het verschil in GVG-huidig en GVG-wens. De GVG-wens is het resultaat van een snelle, grove actie, waarin natuurdoeltypen (per 1 x 1 km grid) zijn vertaald naar een gewenste GVG. Deze kaart heeft twee tekortkomingen: er zitten vreemde getallen in en hij is niet dekkend voor alle gebieden van de verdrogingskaart 1996 (bij deze studie is voor 12% van de oppervlakte het natuurdoeltype onbekend). Ook in het Achtergrondrapport van MilieuBalans 1997 (in voorbereiding) concludeert het RIVM dat de betrouwbaarheid van de informatie om de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie vast te stellen en te realiseren tekort schiet. In dat achtergrondrapport wordt verslag gedaan van vergelijkbare exercitie voor de provincie

Gelderland met betere bestanden: het natuurdoeltype is bepaald per grid van 250 x 250 m, de huidige grondwaterstand met behulp van het grondwaterstandsnet. Het resultaat hiervan, namelijk de mate van verdroging, stemde slechts matig overeen met het algemene beeld.

4. *Hellingklassenkaart*. De klassen die hierin zijn onderscheiden zijn eigenlijk veel te grof. Gewenst is het verval per waterloop, bv. per 1 x 1 km grid. Wellicht kan dit later uit de top-10-vector worden afgeleid. Momenteel wordt uit de hellingklasse het verval berekend; dit gebeurt vaak met een marge van enkele meters.
5. *De verdrogingskaart 1996*. Deze kaart wordt ook wel de 'consensus-kaart' genoemd. Door de beleidsruimte die provincies hebben, zijn door de verschillende provincies verschillende methoden gebruikt om natuurfuncties toe te kennen en vervolgens het al of niet verdroogd zijn vast te stellen. Deze variatie in het totstandkomingsproces bemoeilijkt een uniforme interpretatie van deze kaart. Daarnaast is via de provinciale inventarisatie geen informatie opgenomen over de mate van verdroging en de oorzaak of verschijningsvorm ervan.
6. De bestanden met *geohydrologische gegevens* (c-waarde, kD en drainageweerstand) zijn nog van onvoldoende kwaliteit. Voor de provincies Overijssel en Gelderland zijn verschillende controles uitgevoerd en verbeteringen aangebracht. In het project ontbrak echter de tijd om deze bewerkingen ook voor de rest van Nederland uit te voeren. Daarnaast zijn deze bestanden nog niet landsdekkend: een groot deel van Zeeland en de zuidelijke helft van Zuid-Limburg ontbreken nog.
7. De bepaling van de *landbouwschade* gaat vrij grof: opbrengstdepressie in % * het opbrengstbedrag per ha. In werkelijkheid kunnen er nog meer kosten zijn door een toename van de bewerkingskosten, als gevolg van nattere percelen: duurdere machines, lagere werksnelheden, meer bestrijdingsmiddelen.
8. De maatregelen zijn beperkt tot *interne maatregelen* in de natuurgebieden. Vooral voor de kwelafhankelijke natuurgebieden zal dit ontoereikend zijn of soms zelfs averechts kunnen werken. In die gebieden zal een peilverhoging in de omgeving waarschijnlijk veel effectiever zijn. Hiermee kan alleen rekening worden gehouden als de oorzaak en verschijningsvorm van de verdroging in een bepaald gebied bekend zijn, en als bekend is van welk omringend gebied de kwelsituatie in het natuurgebied afhankelijk is.

6.2 Conclusies en aanbevelingen

1. Door tekortkomingen in de verschillende databestanden (verdrogingskaart 1996, Gt-kaart, GVG-wens-kaart, topografische gegevens, geohydrologische gegevens) is het moeilijk een goede bepaling uit te voeren van effecten en kosten van waterhuishoudkundige maatregelen ten behoeve van herstel van verdroogde gebieden in Nederland. De aanpak van verdroging vereist maatwerk; de te ruime marges in de verschillende bestanden vertroebelen het beeld van de problematiek.
2. Uit de berekeningen blijkt dat in ruim de helft van de oppervlakte verdroogd gebied geen verhoging van de GVG gewenst is. In bijna de helft van de oppervlakte waar delta-GVG positief is, blijkt het haalbaar om met interne maatregelen de gewenste GVG te bereiken. Het blijkt dat voor die gebieden waar dat niet lukt dat de gewenste GVG-verhoging gemiddeld groter is. Voor deze natuurgebieden zijn ook externe maatregelen nodig. De methode zou uitgebreid moeten worden met de mogelijkheid voor het opnemen van externe maatregelen. Daarnaast zou de methode rekening moeten houden met allerlei obstakels, zoals reeds aanwezige grote waterlopen en de grote infrastructuur.
3. De investeringskosten van waterhuishoudkundige maatregelen voor herstel van verdroogde gebieden zijn sterk afhankelijk van de dichtheid van watergangen, de breedte ervan en de helling van het gebied. Dure maatregelen zijn het realiseren van nieuwe watergangen ten behoeve van omleiding van (kwalitatief onvoldoende) water en het herprofilen van watergangen met als doel de afvoercapaciteit te handhaven op een hogere ontwateringsbasis.
Bij deze kostenraming is geen rekening gehouden met waterhuishoudkundige maatregelen buiten de natuurgebieden; daarnaast zijn voor een beperkt deel van de natuurgebieden ten gevolge van ontbrekende informatie ten onrechte geen kosten berekend.
Het grootste probleem bij de kostenraming is de bepaling van de benodigde intensiteit van de maatregelen, bijvoorbeeld hoeveel extra stuwen moeten er geplaatst worden of welk deel van de watergangen geherprofileerd moet worden.
4. Door de vernatting treedt een toename van de natschade in de landbouw op; daarnaast is er een beperkte afname van de droogteschade. Ook hierbij is geen rekening gehouden met extra natschade die kan optreden als buiten natuurgebieden peilverhogingen worden gerealiseerd ten behoeve van herstel van verdroogde natuurgebieden. In NOV-project 12.2 worden de kosten en baten van herstelmaatregelen voor de rundveehouderij in detail gekwantificeerd.

5. De volgende inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland zou een duidelijke karakterisering van de verdrogingsproblematiek moeten bevatten, in termen van:
 - huidige en gewenste oppervlaktewaterregime;
 - huidige en gewenste grondwaterregime;
 - huidige en gewenste kwaliteit van het oppervlaktewater;
 - huidige en gewenste kwelintensiteit.

6. Nader onderzoek is nodig om na te gaan wat de effecten en kosten zijn van externe maatregelen: waterhuishoudkundige maatregelen waarmee de ontwateringsbasis van omliggende gebieden wordt verhoogd, met als doel kwelstromen in natuurgebieden te herstellen.

LITERATUUR

Bal, D. en R. Reijnen, 1997. *Natuurbeleid in uitvoering: inspanningen, effecten, verwachtingen en kansen*. Informatie en Kenniscentrum Natuurbeheer, Wageningen.

Beugelink G.P en F.A.M Claessen, 1995. *Operationalisatie van de 25%-doelstelling Verdroging; maatregelen, kosten en effecten*. Bilthoven, RIVM, Rapport 715001001, Lelystad, RIZA, Nota 95.029.

Bolsius, E.C.A. en J.H.M. Eulderink (redactie), 1994. *Eén digitaal bestand voor de landschapsecologie van Nederland. Eindrapport van het LKN-project*. Den Haag, Rijksplanologische Dienst, LKN-rapport 4.

Bracht, M. van, 1993. *REGIS. Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem*. Delft, Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO.

Duijvenbooden, W. van en A. Breeuwsma, 1987. *Kwetsbaarheid van het grondwater, kartering van kenmerken van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van het grondwater voor verontreiniging*. 's-Gravenhage, RIVM, rapport 65.

Edelman, H.J., 1972. *Groundwater hydraulics of extensive aquifers*. Wageningen, International institute for land reclamation and improvement, ILRI, bulletin 13.

Ernst, L.F., 1983. *Wegzijging en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden*. Wageningen, ICW, rapport 7.

Finke, P.A., D.J. Groot Obbink, H. Rosing en F. de Vries, 1996. *Actualisatie Gt-kaarten 1:50 000 Drents deel kaartbladen 16Oost (Steenwijk) en 17West (Emmen)*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 439.

Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. *Verdroging door droge en natte rijksinfrastructuur in Overijssel en Gelderland; een verkennende studie*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 500.

Grontmij, 1991. *Handboek inrichtingselementen voor bos, natuur en landschap. Richtlijnen voor aanleg, beheer en constructie van technische voorzieningen in het landelijk gebied*. Min. van LNV, dir. Bos- en Landschapsbouw en Staatsbosbeheer, rapport 1991-02.

Huinink, J.Th.M., 1993. *Bodemgeschiktheidstabellen voor landbouwkundige vormen van*

bodemgebruik. Ede, Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw.

IPO/RIZA, 1996. *Verdrogingskaart 1996 van Nederland. Landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden en projecten verdrogingsbestrijding in 1996*. Lelystad, RIZA en Den Haag, IPO, IPO-publikatienummer 93.

Kruseman, G.P. en N.A. de Ridder, 1970. *Analysis and evaluation of pumping test data*. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement.

Latour ea., 1997, *Natuurplanner* Bilthoven, RIVM-rapport 711901019

LBL, 1995. *Overzicht Standaard Eenheidsprijzen*. Utrecht, Landinrichtingsdienst en Beheer Landbouwgronden, Sectie Projecten en Begrotingen.

LD, 1992. *CLUS. Clustering van standardeenheidsprijzen. Gebruikershandleiding kavelaanvaardingswerken*. Utrecht, Landinrichtingsdienst, versie 1.0.

LD, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Rapport van de werkgroep HELP-tabel*. Utrecht, Landinrichtingsdienst, Mededeling 176.

Mazure, J.P., 1936. *Geohydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. 's-Gravenhage, Algemene landsdrukkerij, p. 67-131.

Meetkundige Dienst, 1995. *Handleiding Waterstaatkundig Informatie Systeem*. Delft, Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst, hoofdafdeling Geo Advisering. Versie 0.3, oktober 1995.

Pastoors, M.J.H., 1992. *Landelijk grondwatermodel; conceptuele modelbeschrijving*. RIVM, RIVM-rapport nr. 714305004.

Prak, H., 1996. *Regeling Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging (GEBEVE); 1^e voortgangsrapportage*. Utrecht, Min. LNV, Dienst LBL.

Riele, W.J.M. te, en D.J. Brus, 1996. *Actualisatie van de grondwatertrappenkaart van het Land van Cuijk met een gestratificeerde tweefasensteekproef en regressieschatters*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 441.

Tauw, 1996. *Toedelingsonderzoek waterschapslasten waterschap Rijn en IJssel i.o.* Deventer, Tauw Civiel en Bouw bv, rapport 960932.

Thunnissen, H.A.M, R. Olthof, P. Getz en L. Vels, 1992. *Grondgebruiksdatabank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 168.

TNO, 1964. *Steady flow of ground water towards wells*. The Hague, TNO.

Vries, F. de en J. Denneboom, 1992. *De bodemkaart van Nederland digitaal*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 1.

Voet, H.A.L.J., 1995. *Bodep handleiding*. Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden, mei 1995, Utrecht.

Vrieze A.G.M. de en N.P. Pellenbarg, 1994. *Proefprojecten verdroging in 1993, technische aspecten en projectgegevens op basis van ingediende projectvoorstellen*. Lelystad, RIZA, werkdocument nr 94.019X.

V & W, Ministerie van, 1989. *Derde Nota Waterhuishouding*. Den Haag SDU Uitgeverij, Tweede Kamer, 1988-1989, Kamerstuk 21.250, no's 1-2.

V & W, Ministerie van, 1994. *Evaluatie Nota Water*. Den Haag SDU Uitgeverij, Tweede Kamer, 1993-1994, Kamerstuk 21.250, no's 27-28.

V & W, Ministerie van, 1996. *Nota watersysteemverkenningen. Toekomst voor water*. Den Haag, DG-Rijkswaterstaat, RIZA/RIKZ.

Waal, R.W. de, 1992. *Landschapsecologische kartering van Nederland: Bodem en grondwatertrappen. Toelichting bij het databestand "BODEMGT" van het LKN-project (fase III)*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 132, LKN-rapport 2.

Niet-gepubliceerde bronnen

Driel, D.J. van, A.M.C.F. Buit en J. Roos. *Metadata centrale databestanden NVK'97*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, interne mededeling 441.

Os, J. van, G.F.P. Ijkenstam, J.B.Sprink en J.M.P.M. Peerboom, 1996. *Kosten van waterhuishoudkundige maatregelen voor bestrijding van verdroging; eindconcept fase A*. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Bijlage 1 BESCHRIJVING VAN BESTANDEN EN BEWERKINGEN

In dit aanhangsel wordt allereerst weergegeven welke bestanden binnen het onderzoek zijn gebruikt. Per bestand wordt aangegeven de inhoud, de ruimtelijke resolutie, de bron en indien beschikbaar het versienummer of jaar; eventueel wordt vermeld met welk programma het bestand is gegenereerd. Eventuele bewerkingen die specifiek zijn voor het bestand zijn ook vermeld.

Naast de bestanden wordt weergegeven welke programma's zijn gemaakt voor de meer uitgebreide bewerkingen. Daarbij is kort aangegeven wat deze programma's doen. Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van enkele resultaat bestanden die uit het project zijn voortgekomen.

Bronbestanden

1. Verdrogingskaart 1996

Bron: IPO/RIZA, 1996.

Ruimtelijk: polygonen, ArcInfo-export bestand.

Inhoud: Inventarisatie van verdroogde gebieden in Nederland, 2e versie, uitgevoerd in 1996 door provincies en RIZA.

Bewerkingen:

Aangezien het bestand op veel plaatsen uit erg veel kleine gebiedjes bestaat is een bewerking uitgevoerd (dissolve), waarbij aan elkaar grenzende gebieden met dezelfde functie (hoofd- of nevenfunctie natuur) zijn samengevoegd tot grotere gebieden. Hiermee is het totaal aantal gebieden teruggebracht van ruim 16 000 naar ruim 5 000 waarvan ca. de helft bestaat uit hoofdfunctie natuur en de andere helft uit nevenfunctie natuur.

Het gegeven landgebruik uit dit bestand is niet gebruikt aangezien, dit niet voor alle gebieden is ingevuld en voor een aantal gebieden uit verschillende codes bestaat, waardoor de eenduidigheid verloren gaat.

(Van de nieuwe gebieden zijn de oppervlakte en omtrek bepaald. Deze zijn nodig omdat de kosten soms afhankelijk zijn van de omtrek van het gebied (afdammen, omleiden). De verhouding omtrek/oppervlakte is ook per gebied uitgerekend en gerelateerd aan die van een cirkel met gelijke oppervlakte als het gebied; deze varieert van 1 tot 3.)

2. Geohydrologische gegevens

Bron: LGM, Landelijk Grondwatermodel RIVM (Pastoors, 1992).

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: kD-waarde, c-waarde en drainageweerstand

Bewerkingen: Zie Van der Gaast en Van Bakel, 1997.

3. Gt-huidig

Bron: SC-DLO, bodemkaart 1:50 000

Ruimtelijk: 250 x 250 m grid;

Inhoud: grondwatertrappen of combinaties daarvan

Bewerkingen:

Vanuit het bodemkundig bestand in rasterformaat, BRAS (De Vries en Denneboom, 1992), bestandsversie 1994, is de Gt geselecteerd en geaggregeerd naar grids van 250 x 250 m, welke vervolgens zijn geconverteerd naar ArcInfo. Vervolgens zijn de Gt's omgewerkt naar de Gt's die in de HELP-tabellen worden onderscheiden, via hun waarden voor de GHG en de GLG. Als de Gt missing is, is Gt VI verondersteld (HELP-code 12).

Bij de vertaling van Gt's volgens bodemkaart 1:50 000 moet eigenlijk rekening worden gehouden met de drie door SC gehanteerde Gt indelingen, afhankelijk van het opnamejaar. Dit is nog niet gedaan. Er is momenteel gebruik gemaakt van het overzicht Gt-indelingen uit bijlage A5 van de handleiding BODEP.

4. Bodemtype

Bron: SC-DLO, bodemkaart 1:50 000

Ruimtelijk: 250 x 250 m grid

Inhoud: bodemcodes of combinaties daarvan

Bewerkingen:

Vanuit het bodemkundig bestand in rasterformaat, BRAS (De Vries en Denneboom, 1992), bestandsversie 1994, is de bodem geselecteerd en geaggregeerd naar grids van 250 * 250 m, waarbij de codes zijn vertaald in bodemcodes volgens de HELP-tabel; vervolgens is het bestand geconverteerd naar ArcInfo. Als het bodemtype missing is, is zandgrond verondersteld (HELP-code 15).

5. GVG-huidig

Bron: SC-DLO, bodemkaart 1:50 000;

Ruimtelijk: 250 x 250 m grid;

Inhoud: GVG in cm - maaiveld;

Bewerkingen:

Het bestand is afkomstig van het Landelijk Grondwater Model. Binnen dit model is de GVG afgeleid van de Gt volgens de relatie Van der Sluis.

6. GVG-natuurdoeltypen

Bron: IKC-N, SC-DLO, RIVM;

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: omschrijving natuurdoeltype en optimale GVG;

Het natuurdoeltype is bepaald volgens de natuurdoeltypenkaart van het IKC-N.

Voor elk natuurdoeltype, is met de Natuurplanner (Latour ea., 1997) de optimale GVG

berekend. Daarnaast zijn ook de optimale pH en stikstofbeschikbaarheid berekend.

Bewerkingen: -

7. Kwel/wegzijging (huidig)

Bron: gecombineerde kwelkaart van LGM (RIVM) en NAGROM/MONA (RIZA);

Ruimtelijk: 250 * 250 m grid;

Inhoud: kwel en/of wegzijging in mm/dag, < 0 = kwel, > 0 = wegzijging.

Bewerkingen: -

8. Dichtheid waterlopen

Bron: Top-10-vector bestand, LKN;

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: lengte van de waterlopen per breedteklasse, uitgedrukt in km/km²; er is onderscheid gemaakt in de volgende breedteklassen: greppels en droogvallende sloten, waterlopen < 3 m breed, van 3-6 m en > 6 m.

Bewerkingen:

Voor de dichtheid van de waterlopen is gebruik gemaakt van de beschikbare kaartbladen uit de Top-10-vector; ontbrekende kaartvlakken zijn ingevuld met getallen uit het LKN-bestand: IPI-ECO, lengte van de waterlopen per 1 x 1 km grid.

In de Top-10-vector wordt onderscheid gemaakt in:

- greppels en droogvallende sloten;
- waterlopen < 3 m breed;
- waterlopen 3-6 m breed;
- waterlopen > 6 m breed.

Uit de eerste kaartbeelden hiervan blijkt dat waterlopen 3-6 m relatief het minst voorkomen; greppels en droogvallende sloten komen vooral voor in de vrij afwaterende gebieden; brede sloten (> 6m) vooral in bemalen gebieden. In tabel 7 staat een grove frequentieverdeling.

Tabel 7 Grove frequentieverdeling van de dichtheid watergangen uit de Top-10-vector (km/km²)

Breedteklasse	Bemalen gebieden	Zandgebieden
Greppels en droogvallende sloten	0,5 - 1,0	1,0 - 10,0
Waterlopen < 3 m	5 - > 15	0 - 5
Waterlopen 3-6 m	0.5 - 5	0 - 1
Waterlopen > 6 m	1 - 5	0 - 1

Voor gebieden waar de dichtheid via de top-10-vector niet bekend is, is gebruik gemaakt

van de dichtheid uit LKN, die in gelijke mate over de verschillende breedte klassen is verdeeld. Als zowel de top-10-vector als LKN ontbraken, is voor waterlopen als standaardwaarde aangenomen: 2, 2, 2, en 1 km/km² voor resp. greppels/droogvallend, < 3 m, 3-6 m en > 6 m.

9. Hellingklasse

Bron: LKN, geomorfologie;

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: indicatie van het reliëf, onderverdeeld in hellingklassen;

Bewerkingen:

Binnen LKN wordt onderscheid gemaakt in drie reliëfvormen, en per vorm 3-5 subgroepen, zie tabel 8. Op basis van de karakteristieken per groep is het verval afgeleid, uitgedrukt in m per km. Dit is een tamelijk grove benadering, moet op termijn mogelijk verbeterd kan worden.

Tabel 8 Reliëfvormen uit LKN

Nr	Reliëfvorm en karakteristieken			Verval (m/km)
	helling	hellingshoek in graden	hellingspercentage (%)	
1		0,25	0,45	3
2		1,0	1,75	18
3		2,0	3,5	35
4		8,0	14,0	140
5		> 8,0	>14,0	200
	golvend	max. hoogteverschil (m)	frequentie/km	
6		0,5-1,5	1-2	1
7		1,5-5,0	1-2	3
8		1,5-5,0	6-8	3
9		5,0-30	6-8	20
10		30-115	4-5	70
	dal	max. hoogteverschil (m)	dalbreedte (m)	
11		0-5	500	3
12		5-30	500	18
13		>30	500	40

Het grootste deel van Nederland bestaat volgens deze karakterisering uit hellende of golvende gebieden; dalen nemen slechts een klein deel in beslag. Bij de 'hellende' gebieden komt klasse 1 veel voor.

Het verval bestaat dus vooral uit gebieden met een verval van 1-3 m per km (grotendeels 3). Voor de vlakke delen van Nederland (veengebieden) zal dit een overschatting zijn; maar waarschijnlijk niet bezwaarlijk voor de kostenberekening.

10. Afwateringssituatie

Bron: LKN-opp.water;

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: codering afwateringssituatie;

Bewerkingen:

Er is binnen LKN een kaart beschikbaar met de dominante typering van de afwateringssituatie, gebaseerd op het WIS. De codes hebben de volgende betekenis:

0 = hoofdwater;

1 = polder

2 = boezem (open water)

3 = hoge gronden (vrij afwaterend)

4 = gemengd gerioleerd (stedelijk gebied)

8 = anders

De hoge gronden worden als vrij afwaterend beschouwd, de rest als bemalen.

11. Grondgebruik

Bron: CBS-bodemstatistiek, bewerking SC-DLO (Van Driel e.a., 1997);

Ruimtelijk: 1 x 1 km grid;

Inhoud: dominante grondgebruiksvorm per 1 x 1 km grid;

Bewerkingen:

De volgende gebruiksvormen worden onderscheiden:

0 = nvt

1 = grasland

2 = maïsland

3 = akkerland

4 = glastuinbouw

5 = braak

10 = bebouwing

20 = bos

30 = natuur

40 = recreatie

50 = natuur in de EHS

10000 = wateren

Hiervan zijn gebruikt: grasland en maïsland + akkerbouw (samen bouwland);

Bewerkingen

Binnen het project zijn de volgende bewerkingen op de bestanden uitgevoerd:

1. Koppeling van kenmerken aan het bestand met verdroogde gebieden

Alle bovenstaande kenmerken zijn toegevoegd aan het bestand met verdroogde gebieden, behalve bodem, Gt en gebruik. Als het toegevoegde kenmerk numeriek is, dan is per verdroogd natuurgebied het gemiddelde van dat kenmerk bepaald; zijn het coderingen (omschrijving natuurdoeltypen, hellingklasse) dan is de dominante code per gebied bepaald. Deze bewerkingen zijn gebeurd binnen ArcInfo (via AML's) onder UNIX en via enkele Oracle-procedures voor bewerkingen die binnen Info erg traag verliepen.

2. Bepaling delta-GVG

Delta-GVG = GVG-huidig - GVG-natuurdoeltypen.

Deze berekening moet alleen gebeuren als beide GVG's bekend zijn; als één van beide missing is wordt delta GVG 30 cm voor de gebieden H en 10 cm voor N. Daarnaast geldt de beperking dat de nieuwe GVG (GVG-wens) niet hoger mag worden dan 40 cm - maaiveld voor N en 0 cm - maaiveld voor H. Deze bewerking is gebeurd binnen Info.

3. Bepaling delta-ontwateringsbasis (delta-peil) en beïnvloedingsafstanden

De ontwateringsbasis moet verhoogd worden om een vernatting van het gebied te bereiken; de gewenste vernatting wordt weergegeven door positieve delta-GVG. Als delta-GVG negatief is wordt geen peilverhoging berekend, en ook geen peilverlaging. Verondersteld wordt dat dergelijke situaties ontstaan door fouten in beide kaarten die ten grondslag liggen aan delta-GVG of door het bestaan van gebieden waar de verdroging zich niet voordoet in de vorm van watertekort maar in de vorm van een te lage waterkwaliteit.

Delta-peil wordt berekend met behulp van analytische formules, waarbij gebruik gemaakt wordt van de geo-hydrologische en topografische kenmerken van de gebied. Relevant zijn: de oppervlakte, de omtrek, de verhouding omtrek/oppervlakte, c- en kD-waarden, de drainageweerstand en de kwel/wegzijging. Daarbij wordt bepaald of de gewenste GVG haalbaar is via interne peilverhoging.

Het bepalen van de beïnvloedingsafstanden gebeurt met hetzelfde programma en dezelfde gegevens als delta-peil. Per natuurgebied wordt bepaald op welke afstand de verhogings-isohypsen van de GVG liggen. Gebieden waar delta-GVG negatief of nul is, krijgen voor alle beïnvloedingsgebieden de afstand 0, dat wil zeggen dat daaromheen geen beïnvloedingsgebieden komen.

Deze bewerking wordt gedaan door een Pascal-programma (onder MS-DOS).

4. Bepaling investeringskosten waterhuishoudkundige maatregelen

Bij de bepaling van de investeringskosten van waterhuishoudkundige maatregelen zijn de volgende gegevens relevant: oppervlakte, omtrek, delta-peil, functie, afwatering, dichtheid waterlopen, verval, natuurdoeltype.

Deze bewerking is eerst geïmplementeerd binnen SPSS-PC (onder MS-DOS), maar later ten behoeve van de gebruikersvriendelijkheid omgezet naar Avenue (binnen ArcView).

5. Bepaling beïnvloedingsgebieden

Met behulp van de beïnvloedingsafstanden worden beïnvloedingsgebieden bepaald rond gebieden H en N. Dit gebeurt in twee stappen. Eerst worden beïnvloedingsgebieden om H bepaald, en daarvan worden alleen die delen geselecteerd die in N liggen. Vervolgens worden de beïnvloedingsgebieden om H en N tegelijkertijd bepaald. Beïnvloedingsgebieden van vlakbij elkaar liggende gebieden lopen vloeiend in elkaar over.

Deze bewerking levert dus 2 soorten gebieden op:

- beïnvloedingsgebieden om H en N;
- beïnvloedingsgebieden om H die in N liggen.

Deze bewerking gebeurt binnen ArcInfo.

6. Toevoegen bodem, Gt en gebruik aan beïnvloedingsgebieden

Deze overlay gaat niet via de dominante waarde per beïnvloedingsgebied, maar via de unieke combinaties van beïnvloedingsgebied, bodem, Gt en gebruik. Deze bewerking levert voor beide soorten beïnvloedingsgebieden een bestand om met zeer veel (vaak kleine) gebiedjes waar mogelijk een verandering van de landbouwschade aan de orde is. (In eerste instantie is gewerkt via grids van 250 x 250 m, maar deze indeling was te grof voor de vaak vrij smalle buffers).

Deze bewerking gebeurt binnen ArcInfo.

7. Bepaling verandering landbouwschade

Per gebiedje uit beide bestanden met beïnvloedingsgebieden wordt de opbrengstderving in de landbouw (in gld per ha per jaar) bepaald met behulp van de depressie-tabellen uit de HELP (LD, 1987). Dit wordt gedaan voor de huidige situatie en voor de situatie met verhoogde GVG. Bij de gebieden met nevenfunctie natuur wordt de sterkste GVG-verhoging gebruikt: delta-GVG van N of de GVG-verhoging van een in N liggend beïnvloedingsgebied van H.

Deze bewerking gebeurt binnen Fortran (onder MS-DOS).

Werk- en resultaatbestanden

Verdroogde gebieden (H en N)

- functie (1 = H, 2 = N)
- kD-waarde (m²/dag)
- c-waarde (dagen)
- drainageweerstand (dagen)
- GVG-huidig (cm - maaiveld)
- GVG-natuurdoeltypen (cm - maaiveld)
- delta-GVG (cm)
- omschrijving natuurdoeltype
- kwel/wegzijging (mm/dag, < 0 = kwel, > 0 = wegzijging)
- afwatering (1 = vrij-afwaterend, 2 = bemalen)
- dichtheid waterlopen (km/km²:- Wldv, Wl03, Wl36, Wl60 (top-10-vector)
 - Lwater (LKN)
 - Wlcdv, Wlc03, Wlc36, Wlc60 (combinatie: top-10-vector, LKN, standaardwaarde)
- hellingklasse (LKN)
- verval (m/km)

na bewerking met analytische formules:

- delta peil hoogte (cm)
- afstand beïnvloedingslijnen (m)
- codering delta GVG bereikt (0=delta-GVG negatief, 1=verhoging haalbaar, 2=niet haalbaar door wegzijging, 3=niet haalbaar door 2-m-grens)
- gebiedscode voor maatregelen (111, 112, 121, enz.; opgebouwd uit resp. afwatering, functie en delta peil, waarbij delta peil is ingedeeld in: 1 = < 0, 2 = 0-20, 3 = 20-40, 4 = > 40)

na bewerking waterhuishoudkundige maatregelen:

- investeringskosten whhk-maatregelen (gld/ha)

Deze bestanden zijn beschikbaar binnen ArcView: HOOFD_1.SHP en NEVEN_2.SHP.

Beïnvloedingsgebieden: B en N (N onderverdeeld in beïnvloedingsgebieden-hoofd en overig-neven)

- bodemcode (HELP, 1 - 70)
- Gt-code (HELP, 1 - 14)
- grondgebruik (1 = grasland, 2 en 3 = bouwland, rest = overig)
- GVG-verhoging-beïnvloedingsgebied (cm)
- delta-GVG (alleen bij neven) (cm)

na bewerking *HELP*-tabel

- verandering landbouwschade (schade-klasse 1-5 overeenkomstig kaart 6 en 7)

Deze bestanden zijn beschikbaar binnen ArcView: BUFHN.SHP en BUFNEV.SHP.

Software

De oorspronkelijke doelstelling was een zelfstandig systeem te maken, waarmee de kosten en de effectiviteit van verschillende maatregelscenario's zouden kunnen worden doorgerekend. Aanvankelijk leek dit mogelijk binnen het software pakket ArcView, echter bij de veronderstelling dat alle ruimtelijke bewerkingen vooraf in ArcInfo zouden gebeuren; dit zou resulteren in een bestand met gebieden H, N en B, waaraan de relevante kenmerken zijn gekoppeld. Binnen ArcView zou vervolgens de keuze van de gewenste effecten, de maatregelen en de kostenberekening mogelijk zijn.

Bij de gekozen aanpak (2.3 en 2.4) is het echter zo dat na bepaling van de gewenste effecten een ruimtelijke bewerking nodig is om de effectlijnen (beïnvloedingszones) in te tekenen. Vervolgens moeten aan deze beïnvloedingsgebieden bodem, Gt en gebruik worden gekoppeld, zodat de berekening van de landbouwschade kan plaatsvinden. Dit betekent dat in het 'gebruikerstraject' van effect-maatregelen-kosten nog verschillende ruimtelijke bewerkingen zitten die qua omvang en complexiteit veel beter in ArcInfo kunnen gebeuren.

Bovenstaande aanpak betekent dat de momenteel gerealiseerde software en bestanden er als volgt uit zien:

- De verdroogde gebieden kaart 1996, met daaraan gekoppeld dominante of de gemiddelde waarde van de verschillende relevante kenmerken. Veronderstelling is dat dit een bewerkt bestand is geworden, dat vrij verstrekt kan worden.
- AML's waarmee de kenmerken gekoppeld zijn aan de kaart met verdroogde gebieden; dit is bruikbaar voor een gebruiker die andere basisbestanden wil gebruiken. Aangezien sommige bewerkingen via Info erg traag verliepen, zijn ook enkele Oracle-procedures gebruikt.
- Programma voor bepaling delta-ontwateringsbasis en effect-lijnen (beïnvloedingszones), geschreven in Pascal.
- AML voor het bepalen van de effectgebieden (zowel binnen gebieden met nevenfunctie natuur, als de beïnvloedingszones).
- AML voor het koppelen van bodem, Gt en gebruik aan de effectgebieden; daarnaast is er ook een AML, waarmee alle relevante kenmerken op gridniveau (250 x 250 m) worden bepaald.
- Programma voor bepaling van kosten van interne maatregelen, SPSS-programma en

Avenue-script.

- Programma voor bepaling van de verandering in landbouwschade, Fortran.
- Bodem, Gt en grondgebruiksbestand; deze bestanden zullen echter volgens de geldende voorwaarden van SC-DLO moeten worden aangeschaft als gebruikers deze nog niet in hun bezit hebben.

De resultaatbestanden zijn zodanig weggeschreven dat ze leesbaar zijn met ArcView. Dit betekent dat het daardoor mogelijk is een beter beeld te krijgen van verschillende gebieden door daarop in te zoomen. Ook kunnen daarmee de verschillende kenmerken van de verdroogde gebieden in beeld gebracht worden.

Daarnaast is het mogelijk om uitgaande van de in de resultaatbestanden opgenomen voorbeeldberekening zelf andere uitgangspunten voor de kostenberekening in te voeren en daarmee een alternatief scenario door te rekenen.