

Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1

Beschrijving reparatie-acties, analyseresultaten
en beoordeling plausibiliteit

P.J.T. van Bakel
T. Kroon
J.G. Kroes
J. Hoogewoud
R. Pastoors
H.Th.L. Massop
D.J.J. Walvoort

werkdOCUMENTEN

wot
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu



WAGENINGEN UR

For quality of life

Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1

Beschrijving reparatie-acties, analyse-
resultaten en beoordeling plausibiliteit

P.J.T. van Bakel

T. Kroon

J.G. Kroes

J. Hoogewoud

R. Pastoors

H.Th.L. Massop

D.J.J. Walvoort

Werkdocument 81

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, december 2007

De reeks 'Werkdocumenten' bevat tussenresultaten van het onderzoek van de uitvoerende instellingen voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu (WOT Natuur & Milieu). De reeks is een intern communicatiemedium en wordt niet buiten de context van de WOT Natuur & Milieu verspreid. De inhoud van dit document is vooral bedoeld als referentiemateriaal voor collega-onderzoekers die onderzoek uitvoeren in opdracht van de WOT Natuur & Milieu. Zodra eindresultaten zijn bereikt, worden deze ook buiten deze reeks gepubliceerd. De reeks omvat zowel inhoudelijke documenten als beheersdocumenten.

Dit werkdocument is gemaakt conform het Kwaliteitshandboek van de WOT Natuur & Milieu.

Bakel, P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop, D.J.J. Walvoort, 2007. *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1. Beschrijving reparatie-acties, analyseresultaten en beoordeling plausibiliteit*. (Adjusting the hydrology in the STONE 2.1 model; a description of the adjustment process, results of the analysis and a plausibility assessment)

Referaat

Voor de berekeningen met het STONE-instrumentarium voor de Evaluatie Mestbeleid is de hydrologie van de 6405 plots op een aantal punten aangepast ten opzichte van STONE 2.0. De effecten van deze veranderingen zijn geanalyseerd en beoordeeld. De belangrijkste conclusie is dat de veranderingen leiden tot een verbeterde hydrologie van een aantal plots maar dat dit niet leidt tot een betere *overall* beoordeling. De oorzaak daarvan is vooral het grote aantal plots waar de grondwaterstand te diep wegzakt als gevolg van het gebruik van een fluxonderrandvoorwaarde. De belangrijkste aanbeveling is de koppeling met het verzadigd regionaal systeem te verbeteren.

Trefwoorden: verdamping, lekweerstanden, beregening, buisdrainage, veengronden, grondwatertrap, waterbalans, drooglegging, landgebruik.

Abstract

Compared to STONE 2.0, a number of aspects of the hydrology of the 6405 plots have been adjusted in the new 2.1 version, to allow the STONE set of instruments to be used for calculations to evaluate the Dutch manure policy. The report analyses and assesses the effects of these adjustments. The main conclusion is that although the changes have led to improved hydrology for a number of plots, this has not resulted in a better overall performance. This is caused especially by the large number of plots where the water table drops too low due to the use of a lower boundary flux condition. The main recommendation is to improve the linkage with the saturated regional system.

Key words: evaporation, leakage resistance, irrigation, pipe drainage, peaty soils, water table classes, water balance, freeboard, land use

©2007 **Alterra**

Postbus 47, 6700 AA Wageningen.

Tel: (0317) 47 47 00; fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.alterra@wur.nl

Plant Research International (PRI)

Postbus 16, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 47 70 01; fax: (0317) 41 80 94; e-mail: info.pri@wur.nl

RIZA (Rijkswaterstaat)

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

e-mail: info.waterdienst@rws.nl

De reeks WOt-werkdocumenten is een uitgave van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, onderdeel van Wageningen UR. Dit werkdocument is verkrijgbaar bij het secretariaat. **Het document is ook te downloaden via www.wotnatuurenmilieu.wur.nl**

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Postbus 47, 6700 AA Wageningen

Tel: (0317) 47 78 44; Fax: (0317) 42 49 88; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

Inhoud

Samenvatting	5
Summary	7
1 Inleiding	9
2 Beschrijving van de reparatie-acties	11
2.1 Algemeen	11
2.2 Meteogegevens	11
2.3 Verandering landgebruik	13
2.4 Verdamping	14
2.4.1 Kale-grondverdamping	14
2.4.2 Bosverdamping	15
2.5 Temperatuursafhankelijke processen	15
2.5.1 Bodemtemperatuur	15
2.5.2 Vorstverschijnselen	16
2.6 Lekweerstand	16
2.7 Berekening	17
2.8 Buisdrainage	19
2.9 Analyse en reparatie zakkers	20
2.9.1 Algemeen	20
2.9.2 Oorzaken zakkers	20
2.9.3 De reparatiewerkzaamheden	21
3 Analyse en plausibiliteit	25
3.1 Algemeen	25
3.2 Analyse van de grondwaterstanden	25
3.2.1 Landsdekkende analyse	25
3.2.2 Veengronden	34
3.2.3 Droge landbouw op zandgronden	46
3.2.4 Waterschappen	47
3.2.5 Conclusies	54
3.3 Waterbalansen	54
3.4 Vergelijking drainagefluxen STONE 2.1 met STONE 2.0	54
3.4.1 Resultaten	54
3.4.2 Conclusies	55
4 Conclusies, discussie en aanbevelingen	59
4.1 Conclusies	59
4.2 Discussie	60
4.3 Aanbevelingen	60
Literatuur	63
Bijlage 1 Arealen berekende Gt's per gekarteerde Gt	65

Samenvatting

Voor de Evaluatie Mestbeleid moeten regelmatig nieuwe berekeningen met het STONE-instrumentarium worden uitgevoerd. Bij toepassing ervan voor de evaluatie van het mestbeleid in 2003 zijn een aantal tekortkomingen in de hydrologie van STONE 2.0 geconstateerd die noopten tot verbetering. Dit heeft geresulteerd in de hydrologie voor STONE 2.1. Dit werkdocument is de vastlegging ervan.

De volgende veranderingen zijn doorgevoerd:

- *Bodemfysische gegevens*. De meest recente Staringreeks voor bodemfysische parameterisering is doorgevoerd;
- *Bodemtemperatuur*. Voor elk bodemcompartiment wordt de temperatuur gesimuleerd;
- *Vorstverschijnselen*. De waterbeweging bij vorst is aangepast en neerslag in vaste vorm blijft op het maaiveld liggen als de temperatuur dit toelaat;
- *Berekening*. De berekening is realistischer geschematiseerd, gebaseerd op een recente LEI-inventarisatie;
- *Buisdrainage*. De aanwezigheid van buisdrainage is geactualiseerd volgens nieuwe inzichten en ten dele getoetst bij waterbeheerders;
- *Meteogegevens*. de meetreeks is uitgebreid met de jaren 2000 t/m 2002; er zijn 6 stations gebruikt voor de verdamping (in plaats van 15 omdat is gerekend met dagwaarden);
- *Verdamping*. De verdamping van kale grond is wat opgevoerd. Dit is gedaan om de evapotranspiratie van bouwland te verhogen en meer in overeenstemming te brengen met waterbalansstudies;
- *Verandering landgebruik*. Natuur is opgesplitst in natuur (is gras), loofbos en naaldbos;
- *Zakkers*. Deze zijn opgesplitst naar onderuitzakkers¹ en doorzakkers². Onderuitzakkers zijn gemakkelijk te herkennen; doorzakkers zijn geïdentificeerd met een bepaald criterium. Vervolgens zijn de zakkers (1104) herberekend met een andere onderrandvoorwaarde;
- *Lekweerstand*. Op basis van actualisatie van de topsysteemparemeters door NITG-TNO zijn de lekweerstand opnieuw berekend. De resultaten waren aanleiding om de geleverde resultaten opnieuw te beoordelen met als voorlopige uitkomst dat ze vooral in het peilbeheerste deel van Nederland op zijn minst twijfelachtig zijn. Daarop is besloten te blijven uitgaan van de lekweerstand en onderrandvoorwaarden zoals gebruikt bij versie 2.0;
- *Gewasverdamping*. Voor 109 plots waar in enig jaar in de reeks 1986-2000 de gewasverdamping van maïs en aardappelen lager is dan 50 mm/jaar (als gevolg van reductie door te natte omstandigheden in de wortelzone), is de potentiaalwaarde waar boven opname van water door de wortels niet mogelijk is, op 0 gezet.

In hoofdstuk 2 worden deze zogenoemde reparatiewerkzaamheden in meer detail beschreven.

In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de reparatie van de hydrologie geanalyseerd en beoordeeld. Allereerst zijn de gesimuleerde grondwaterstanden landsdekkend vergeleken met die van STONE 2.0. Er treedt een lichte verschuiving op: voor 7% van de plots wordt een drogere Gt gesimuleerd en 2% komt in een nattere Gt. De verschuiving naar drogere Gt's

¹ Onderuitzakkers zijn plots waarvan de grondwaterstand gedurende de simulatieperiode van 30 jaar door de onderkant van het profiel (13 m –mv) zakt

² Doorzakkers zijn plots waarbij de grondwaterstand gedurende de simulatieperiode blijft dalen maar niet zover dat de onderkant van het profiel wordt bereikt

treedt vooral op bij kleibouwlanden en is een gevolg van de hogere actuele evapotranspiratie. Vergelijking van de gesimuleerde Gt's met puntwaarnemingen laat grote verschillen zien bij met name hogere zandgronden. De veengronden zijn in meer detail geanalyseerd omdat de berekende grondwaterstanden aan de hoge kant leken, met als belangrijkste conclusie dat de drooglegging in STONE 2.1 aanpassing behoeft. De vergelijking met de grondwaterstanden in twee waterschappen (Regge en Dinkel en De Dommel), waar resultaten van de gt-actualisatie beschikbaar waren, laat vooral bij De Dommel vrij grote verschillen zien tussen 'gemeten' en gesimuleerde GHG en GLG. Ook ten opzichte van STONE 2.0 treedt een verslechtering op.

Het gesimuleerde verdampingsoverschot is in een aparte rapportage nader geanalyseerd. Vervolgens zijn de gesimuleerde drainagefluxen vergeleken met de van STONE 2.0. Door introductie van vorstgerelateerde processen is de oppervlakkige afvoer toegenomen. Door wijzigingen in buisdrainage en berekening treden ook beperkte wijzigingen op.

In hoofdstuk 4 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan. De belangrijkste conclusie is dat de doorgevoerde verbeteringen voor een aantal plots leiden tot een verbeterde hydrologie maar dat dit zich niet vertaalt in een betere plausibiliteitsbeoordeling. De aanbeveling is wel om in studies waarvoor het STONE-instrumentarium wordt gebruikt de hydrologie van STONE 2.1 te gebruiken omdat met name de simulatie van de verdamping is verbeterd en geactualiseerde bestanden voor drainage en berekening zijn gebruikt. De belangrijkste aanbeveling is echter dat de koppeling tussen de hydrologie van de plots en het regionaal grondwatersysteem verbeterd dient te worden om het probleem van de zakkers op te lossen. Samen met nog andere verbeterpunten zoals aanpassing van de drooglegging van veengronden moet dit resulteren in de finale versie van de hydrologie voor de bestaande STONE-plots.

Summary

The Dutch national manure policy evaluation programme requires regular new calculations using the STONE set of modelling instruments. Since the hydrology component for STONE 2.0 had a number of shortcomings, a new and improved version, STONE 2.1, has been produced. This report discusses these improvements.

The following adjustments have been implemented:

- *Soil physics data*: the most recent so-called 'Staring series' for the parameterisation of soil physics has been implemented.
- *Soil temperature*: temperature is now simulated for each soil compartment.
- *Frost effects*: water movements in frosty conditions have been adjusted and solid precipitation remains at the surface if temperatures permit.
- *Irrigation*: sprinkler irrigation has been more realistically quantified, based on the recent survey by the Dutch Agricultural Economics Research Institute (LEI).
- *Pipe drainage*: the presence of pipe drainage has been updated using new information, and partly checked by water managers.
- *Meteorological data*: the meteorological data set has been expanded to include the 2000 – 2002 period, using 6 stations for evaporation (instead of 15, since daily values are used).
- *Evaporation*: the evaporation of bare soil has been set at a higher rate, in order to increase the evapotranspiration on arable land and make it correspond better to the findings of water balance studies.
- *Land-use change*: natural habitats were subdivided into grassland, deciduous forest and coniferous forest.
- *Falling water tables*: they have been divided into those situations where the water table drops below the lower boundary of the soil profile defined for the model (*onderuitzakkers*) and those where the water table drops, but not below the lower profile boundary (*doorzakkers*). The former can be easily identified, while the latter were identified using a specific criterion. We then recalculated the falling water tables (1104), using a different lower boundary condition.
- *Leakage resistance*: using the updated top system parameters provided by NITG-TNO we have recalculated the leakage resistance values. In view of the outcomes of these calculations, we have reviewed the results delivered so far and found that they are at least doubtful, especially for the parts of the Netherlands where water levels are being controlled. We have decided to keep using the leakage resistance values and flux lower boundary conditions used in the 2.0 version.
- *Evapotranspiration*: The matrix head above which water uptake by roots becomes impossible has been set at zero for 109 plots for which evaporation by maize and potato crops was less than 50 mm/year (as a result of reduction by excessively wet conditions in the root zone) in any of the years between 1986 and 2000.

Chapter 2 provides a more detailed description of the adjustments made.

Chapter 3 reports on our analysis and evaluation of the results of the hydrology adjustments. First, the simulated water tables were compared with those of STONE 2.0 for the entire country. This revealed a slight shift (7% for the group with drier water table classes and 2% for wetter classes). The shift to drier water table classes was found mainly in arable land on clay soil and is a consequence of higher current evapotranspiration values. A comparison between

the simulated water table classes and local spot checks showed major differences, especially for sandy soils in higher areas. Peaty soils were analysed in greater detail as the calculated water tables seemed rather high. The main conclusion was that the freeboard in STONE 2.1 needs to be further adjusted. A comparison with water tables in the areas managed by two district water boards (Regge & Dinkel and Dommel) where updated water table class data were available, showed considerable differences between 'measured' and simulated mean highest and lowest water tables, especially for the Dommel area. The results were also poorer than those in STONE 2.0.

After the simulated evaporation excess had been analysed in more detail in a separate report, we compared the simulated drainage fluxes with those in STONE 2.0. The introduction of frost-related processes led to an increased surface runoff. The adjustment for pipe drainage and irrigation produced limited changes.

Chapter 4 presents conclusions and recommendations. The main conclusion is that the adjustments we have implemented in STONE have led to improved hydrology for a number of plots, but that this does not result in a better plausibility assessment. The report nevertheless recommends using the STONE 2.1 hydrology in studies based on the STONE set of instruments. The main recommendation, however, is to improve the linkage between plot hydrology and the regional water table system to solve the problem of falling water tables. Together with other aspects that need improvement, such as the freeboard of peaty soils, this should result in the final version of the hydrology for the existing STONE plots.

1 Inleiding

Aanleiding

Voor de Evaluatie Mestbeleid moeten om de paar jaar berekeningen met het STONE-instrumentarium worden uitgevoerd. Bij de berekeningen voor de Evaluatie Mestwet 2003 met STONE 2.0 is geconstateerd dat de hydrologie een aantal tekortkomingen vertoonde. Daarom was het noodzakelijk om de hydrologie te verbeteren en te actualiseren. In Kroes *et al.* (2001) en Kroon *et al.* (2001) zijn aanbevelingen gedaan voor verbetering. De belangrijkste aandachtspunten waren onder meer de vereenvoudigde geohydrologie van de ondiepe ondergrond, de onderschatting van beregening, de lage verdamping van bouwland en het voorkomen van zakkende grondwaterstanden. Bovendien werd aanbevolen de natuur nader te differentiëren in de hydrologische berekeningen en de buisdrainage beter te laten aansluiten op de indeling in STONE-plots. Vanuit het STONE-project was er daarnaast sterke behoefte om recente weerjaren aan te vullen omdat hiervoor gegevens beschikbaar zijn.

Probleem- en doelstelling

De hydrologische invoer en de beschrijving van de plots zoals vastgesteld voor STONE 2.0 moeten worden verbeterd, omdat een aantal tekortkomingen zijn geconstateerd. Op basis van de aanbevelingen en aanvullende behoeften is door de Stuurgroep Stone een opdracht verstrekt tot een beperkte reparatie-actie van de hydrologische invoer voor STONE 2.1. Hierbij is een aantal hydrologische invoerparameters en hydrologische processen in het model SWAP verbeterd. Op basis van expertise en enkele databestanden wordt getoetst of de wijzigingen leiden tot verbetering van de hydrologie voor STONE 2.1, vergeleken met de hydrologie voor STONE 2.0

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de reparatie-acties beschreven. De resultaten voor de hydrologie worden beschreven in hoofdstuk 3, opgesplitst naar een analyse van de grondwaterstanden (landelijke en regionale schaal) en een vergelijking van drainagefluxen tussen STONE 2.1 en STONE 2.0. Hoofdstuk 4 geeft conclusies en geeft een oordeel over de gemiste kansen en verslechtingen. Op basis hiervan worden aanbevelingen gedaan.

2 Beschrijving van de reparatie-acties

2.1 Algemeen

De volgende onderdelen zijn aan een reparatie-actie onderworpen:

- *Bodemfysische gegevens.* De meest recente Staringreeks (Wösten *et al.*, 2001) voor bodemfysische parameterisering is doorgevoerd. Het effect hiervan is niet in beeld gebracht;
- *Meteogegevens.* De meteoreeks is uitgebreid met de jaren 2000 t/m 2002, en er zijn 6 stations gebruikt voor de verdamping (in plaats van 15);
- *Verandering landgebruik.* Natuur is opgesplitst in natuur (is gras), loofbos en naaldbos;
- *Verdamping.* De verdamping van kale grond is wat opgevoerd. Dit is gedaan om de evapotranspiratie van bouwland te verhogen en meer in overeenstemming te brengen met waterbalansstudies;
- *Bodemtemperatuur.* Voor elk bodemcompartiment wordt de temperatuur gesimuleerd;
- *Vorstverschijnselen.* De waterbeweging bij vorst is aangepast en neerslag in vaste vorm blijft op het maaiveld liggen als de temperatuur dit toelaat;
- *Lekweerstand.* Op basis van actualisatie van de topsysteemparemeters door NITG-TNO zijn de lek-weerstanden opnieuw berekend. De resultaten waren aanleiding om de geleverde resultaten opnieuw te beoordelen met als voorlopige uitkomst dat ze vooral in het peilbeheerste deel van Nederland op zijn minst twijfelachtig zijn. Daarop is besloten te blijven uitgaan van de lekweerstand en onderrandvoorwaarden zoals gebruikt bij versie 2.0;
- *Berekening.* De berekening is realistischer geschematiseerd, gebaseerd op de meest recente LEI-inventarisatie;
- *Buisdrainage.* De aanwezigheid van buisdrainage is geactualiseerd volgens nieuwe inzichten en ten dele getoetst bij waterbeheerders;
- *Zakkers.* Deze zijn opgesplitst naar 'onderuitzakkers' en 'doorzakkers'. Onderuitzakkers zijn plots waarvan de grondwaterstand gedurende de simulatieperiode van 30 jaar door de onderkant van het profiel (13 m –mv) zakt en dus gemakkelijk te herkennen. Doorzakkers zijn plots waarbij de grondwaterstand gedurende de simulatieperiode blijft dalen maar niet zover dat de onderkant van het profiel wordt bereikt. Vervolgens zijn de zakkers (1104) herberekend met een andere onderrandvoorwaarde;
- *Gewasverdamping.* Van 109 plots, waar in enig jaar in de reeks 1986-2000 de gewasverdamping van maïs en aardappelen lager is dan 50 mm/jaar (als gevolg van reductie door te natte omstandigheden in de wortelzone), is de potentiaalwaarde waar boven opname van water door de wortels niet mogelijk is op 0 gezet. In een volgend rapport wordt hier uitgebreid op ingegaan (Van Bakel *et al.*, 2007, in voorbereiding)

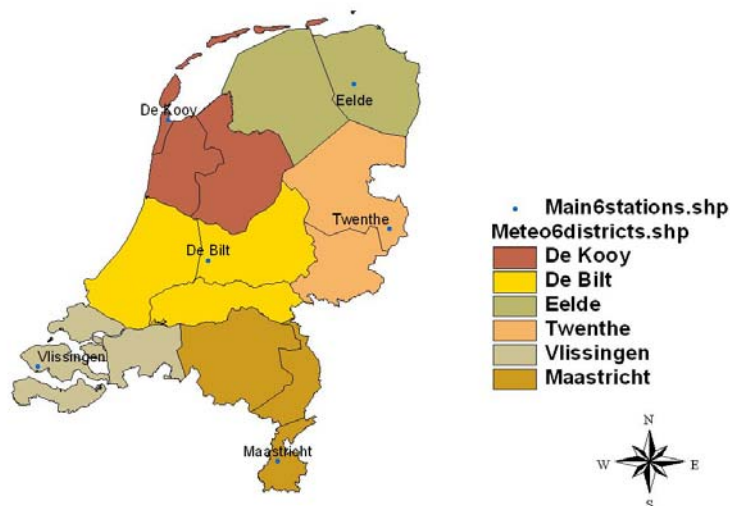
De berekeningen zijn uitgevoerd met Swap 3.0.3 (Kroes and Van Dam, 2003).

2.2 Meteogegevens

De volgende veranderingen in de meteogegevens zijn doorgevoerd:

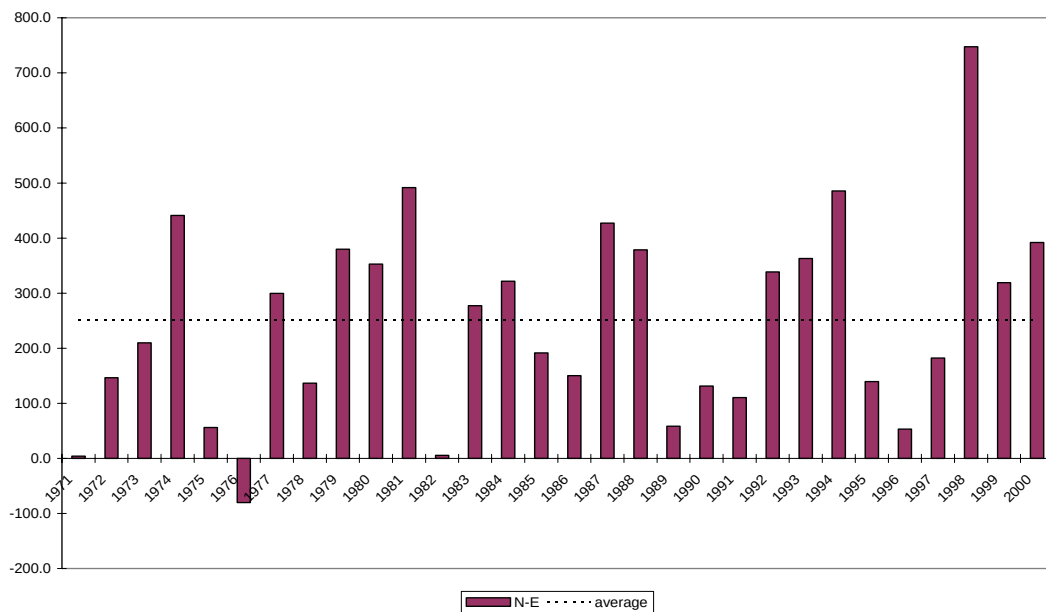
- de neerslaggegevens van de historische jaren 1971 t/m 1999 zijn ongewijzigd (zie Kroon *et al.*, 2001). Tevens zijn recente jaren toegevoegd (2000-2002) op basis van nieuwe beschikbare gegevens (het jaar 2003 was ten tijde van dit schrijven nog niet volledig beschikbaar).

- voor de verdampingsgegevens is in de nieuwe berekening gekozen voor een grovere ruimtelijke indeling, te weten gegevens op basis van zes hoofdstations in plaats van de voorheen gebruikte 15 KNMI-districten. Enerzijds zijn daarmee de gegevens ruimtelijk vereenvoudigd, anderzijds zijn ze in de tijd verfijnd, te weten van decadebasis naar dagbasis. De cijfers van de zes KNMI hoofdstations (figuur 1) zijn toegekend aan de 15 KNMI-districten voor neerslaggegevens;
- de hydrologie wordt volgens de eisen van STONE opgeleverd in reeksen van 15 jaar en een referentiesituatie, te weten:
 - o reeks 1971 t/m 1985, 15 reële weerjaren;
 - o reeks 1986 t/m 2000, 15 reële weerjaren;
 - o reeks 2001 t/m 2015, 2 reële weerjaren (2001 en 2002), en 13 weerjaren (1988 t/m 2000). Deze reeks is bedoeld voor scenario's. Volgende jaren (2003 en verder) schuift deze reeks telkens een jaar op door introductie van een nieuw reële weerjaar;
 - o Voor scenarioberekeningen met STONE is het gewenst om een extra scenario een aantal referentie jaren (bijvoorbeeld 1995 en 2000) te vervangen door gemiddelde jaren, droge jaren en natte jaren. Hiervoor worden de jaren 1973 (gemiddeld), 1987 (10% nat jaar) en 1996 (10% droog jaar) geadviseerd (Bosveld, 2004). De jaren zijn geselecteerd op basis van het neerslagoverschot, zowel op de jaarlijkse hoeveelheid (zie figuur 2) als de overschotten/tekorten in het winter- en zomerhalfjaar.



Figuur 1 KNMI-hoofdstations met dagcijfers (235=De Kooy, 260=De Bilt, 280=Eelde, 290=Twenthe, 310=Vlissingen, 380=Maastricht), waarvan de gegevens openbaar zijn via klimaatatlas en internet

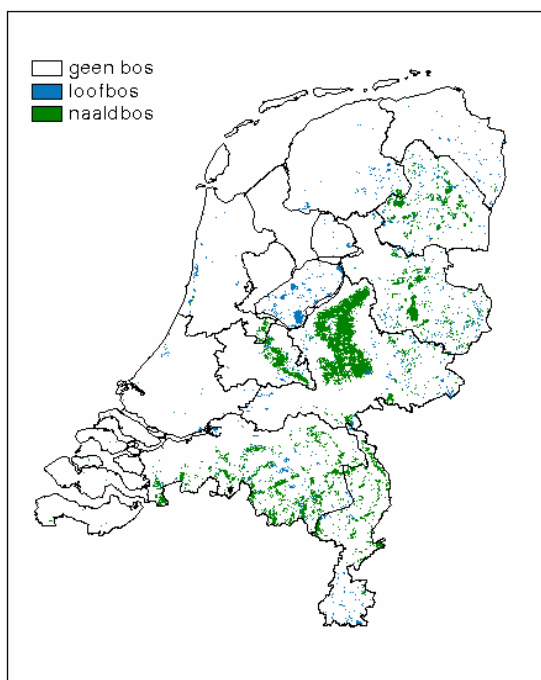
Het voordeel van het gebruik van verdampingscijfers op basis van zes hoofdstations in plaats van 15 weerdistricten is dat deze gegevens nu en in de toekomst door het KNMI vrij beschikbaar worden gesteld op internet, zodat een *update* van nieuwe gegevens eenvoudig en zonder kosten kan worden gerealiseerd. Verwacht wordt dat de ruimtelijke detaillering van de verdamping door zes stations voldoende detailniveau beschikt voor een landelijke studie. Een ander belangrijk voordeel is dat er voor dezelfde zes hoofdstations ook temperatuurgegevens beschikbaar zijn, die nodig zijn voor Animo. Voor de zes stations zijn bovendien dagwaarden bekend, in plaats van in het verleden gebruikte decadewaarden. Door de beperkte variatie van de verdamping binnen een decade levert dit echter nauwelijks voordeel op. Een nadeel is dat in de nieuwe schematisering voor de verdamping van met name Noord-Holland en West-Brabant een kuststation wordt gebruikt, met relatieve hoge verdampingswaarden. De verdamping wordt hierdoor enigszins overschat.



Figuur 2 Neerslagoverschot 1971-2000, De Bilt (mm/jaar)

2.3 Verandering landgebruik

Om de verdamping van natuurgebieden beter te benaderen zijn in de hydrologische berekeningen de STONE-plots met de klasse natuur gedifferentieerd naar bosgebieden en overige natuur. Bij deze differentiatie is per STONE-plot met de klasse natuur gekeken of het grootste areaal binnen het plot bestond uit loofbos, naaldbos, of overige natuur volgens het LGN4-bestand. Deze meest voorkomende klasse natuur is vervolgens aan het hele STONE-plot toegekend. Uiteindelijk is in de hydrologische schematisering 300.000 ha aangepast in loofbos (74.000 ha) en naaldbos (226.000 ha). De aangepaste plots zijn weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 Plots die gewijzigd zijn van natuur (algemeen) naar loofbos en naaldbos

Voor de bosgebieden zijn de worteldiepte en verdampingseigenschappen gewijzigd (zie paragraaf 2.4). De eigenschappen voor de klasse overige natuur zijn ongewijzigd en worden met dezelfde (verdampings)eigenschappen als gras gemodelleerd.

Door de aanpassing worden de actuele verdamping en grondwaterstanden in de natuurgebieden naar verwachting realistischer benaderd. In een groot deel van deze gebieden komen veelal diepe grondwaterstanden voorkomen, waardoor het effect van de wijziging op de uit- en afspoeling beperkt zal zijn.

2.4 Verdamping

2.4.1 Kale-grondverdamping

In de nieuwe berekeningen is de verdamping van kale grond nader geanalyseerd en verbeterd, op basis van de aanbeveling in Kroes *et al.* (2001). Destijds waren er aanwijzingen dat de berekende verdamping van bouwland niet plausibel zou zijn. Er werd een langjarig gemiddelde verdamping (evapotranspiratie) van bouwland berekend van 408 mm, terwijl jaargemiddelde waarden van rond de 500 mm worden verwacht. Verwacht werd dat de verdamping van kale grond te laag was. In de oude berekeningen werd de kale grondverdamping niet gespecificeerd naar bodemtype. Verwacht werd dat ook specificatie naar bodemtype tot verbetering zou leiden.

Voor de onderbouwing van deze hypothesen zijn twee bodemprofielen (zavel en duinzand) geselecteerd en voor een lange periode doorgerekend zonder gewas. Voor de verdampingsberekeningen is, conform eerdere berekeningen voor STONE, de formule van Black (1969) gehanteerd. Uit analyse blijkt dat de kale-grondverdamping wordt bepaald door de gehanteerde parameters in de formule van Black en niet door de door SWAP bepaalde Darcy-flux in het bovenste compartiment. De verbetering van de kale-grondverdamping heeft zich daarom gefocust op aanpassingen in de parameters van de formule van Black:

$$\sum E_a = \beta \sqrt{t_{dry}}$$

waarin: E_a is de kale grondverdamping (mm), β is een bodemspecifieke parameter ($\text{cm d}^{0.5}$), t_{dry} is de tijd (d) na een opgegeven hoeveelheid neerslag P_{min} .

Bekend is dat de berekende gemiddelde jaarverdamping voor zavel en duinzand respectievelijk ca. 350 en 200 mm moeten zijn (Ad hoc groep Verdamping, 1984). Dit duidt er op dat de kale-grondverdamping inderdaad naar bodemtype dient te worden gespecificeerd. In de nieuwe berekeningen is daarom onderscheid naar bodemtype ingevoerd, te weten leemarme (grof) zandige bovengronden (type B1 en B5 volgens de Staringreeks) en overige bodemtypen. Deze indeling is gebaseerd op basis van (lysimeter)experimenten en expertise. De berekende waarden voor kale-grondverdamping zijn samen met de gebruikte parameters in de formule van Black (SWAP, handleiding) weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Met verschillende methoden berekende kale-grondverdamping van 2 bodemeenheden, gemiddeld over de periode 1942-1971 (mm/jaar)

	Waarden voor β in formule van Black (P_{min} default van 0,50 cm/d)	Black (defaultwaarden)
Leemarm zand	0,30	215 (23)
Overig	0,54	306 (27)

In de nieuwe berekening wordt voor bouwland een langjarig gemiddelde verdamping (evapotranspiratie) berekend van circa 480 mm. Dit stemt beter overeen met expertise en waterbalansstudies dan de oude waarde van 408 mm. Dit bevestigt de conclusie uit Kroes *et al.* (2001) dat de verdamping van bouwland te laag is omdat de kale-grondverdamping te laag wordt berekend.

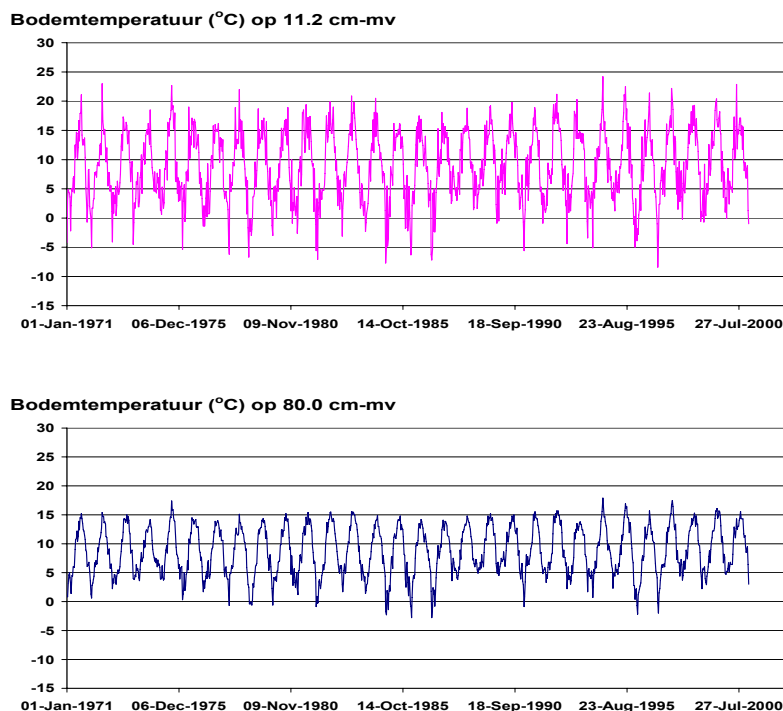
2.4.2 Bosverdamping

Er zijn twee bostypen onderscheiden: naaldbos en loofbos (zie paragraaf 2.3). Naaldbos is in de berekeningen geparameteriseerd als “Douglas”, waarbij gebruik is gemaakt van een bestaande dataset (Van der Salm, pers.meded.). Voor loofbos zijn parameters gebruikt van naaldbos, maar de Leaf Area Index (LAI) en gewasfactor zijn aangepast op basis van een toetsing van berekening van enkele STONE-plots aan de hand van lysimeterexperimenten van Castricum en van Dolman *et al.* (2000).

2.5 Temperatuursafhankelijke processen

2.5.1 Bodemtemperatuur

In de nieuwe schematisering is de bodemtemperatuur realistischer gesimuleerd. In de oude schematisering werd de bodemtemperatuur gesimuleerd op basis van een jaarlijkse gemiddelde temperatuur aan de oppervlakte en een veronderstelde variatie binnen het jaar in de vorm van een sinus. Het model berekende dan de demping van de temperatuur in de verschillende bodemlagen. In de nieuwe schematisering is de werkelijk gemeten temperatuur aan de oppervlakte gebruikt op basis van de maximale en minimale dagelijkse temperatuur van zes weerstations (zie paragraaf 2.2). Het model simuleert vervolgens weer de temperatuur in de verschillende bodemlagen. (zie voorbeeld in figuur 4). Hierbij zijn de parameters voor de bepaling van warmtegeleiding per bodemtype gevarieerd en gebaseerd op bodemtextuurgegevens. Deze gegevens zijn overgenomen van GeoPearl (Tiktak *et al.*, 2003).



Figuur 4
Voorbeeld van de gesimuleerde temperatuur in bodemlagen op een diepte van 11,2 en 80 cm -mv

2.5.2 Vorstverschijnselen

Het simuleren van bodemtemperaturen maakte het tevens mogelijk om op relatief eenvoudige wijze rekening te houden met de invloed van sneeuw en vorst op de waterstroming. Bij simulatie van vorst worden de volgende beperkingen in het model opgelegd (zie ook Kroes and Van Dam, 2003):

- de doorlatendheid wordt gereduceerd;
- de drainagefluxen worden stopgezet;
- de gewasopname wordt geleidelijk gereduceerd.

Bij sneeuwval wordt een apart reservoir met sneeuw gevuld. Bij stijging van de temperatuur komt dit reservoir versneld tot afvoer.

Door de introductie van de simulatie van vorst worden de hydrologische processen tijdens koude omstandigheden naar verwachting realistischer geschematiseerd. Voor de modelresultaten betekent dit dat dan een grotere afspoeling wordt gesimuleerd ten koste van een kleiner aandeel van de 'doordegrondse' drainage in de waterbalans. In hoofdstuk 3 wordt hier nader op ingegaan.

2.6 Lekweerstand

In de STONE-schematisering is met name in de zandgebieden de ondiepe geohydrologie eenvoudig geschematiseerd door het gebruik van veelal gemiddelde waarden per hydrotype (zie Kroon *et al.*, 2001). Op basis van de aanbeveling om de waarde realistischer te differentiëren is door RIZA, RIVM en Alterra opdracht gegeven aan NITG-TNO om het topsysteem te karakteriseren in weerstandswaarden (c-waarden) en transmissiviteiten (kD-waarden). Het topsysteem is hierbij opgevat als de slecht tot matig goed doorlatende afzettingen, die vanaf maaiveld aanwezig zijn tot het eerste watervoerend pakket of, bij het ontbreken daarvan tot de eerste scheidende laag. Bij de analyse zijn ca 250.000 boringen uit het DINO-bestand gebruikt. Dit heeft geresulteerd in een diktekaart van het topsysteem alsmede kaarten met gesommeerde c-waarden en kD-waarden van het topsysteem in een grid-bestand van 250 maal 250 m². Deze informatie is nader beschreven en te vinden op de website van NITG-TNO.

Met de nieuwe kaarten zijn vervolgens nieuwe freatische lekweerstand berekend, op dezelfde wijze als beschreven in Kroon *et al.* (2001). Na nadere analyse van de afgeleide freatische lekweerstand in combinatie met de basisgegevens van kD- en c-waarden bleek dat voor diverse regio's in Nederland werd getwijfeld aan de juistheid van de basisgegevens en dus ook afgeleide gegevens (weerstand en fluxen). Uit een beknopte analyse van de nieuwe en de oude gegevens bleek dat er aanzienlijke verschillen kunnen optreden in eigenschappen van de deklaag (zie tabel 2).

Voor een aantal gebieden leek de nieuwe schematisering een verbetering, maar voor sommige gebieden werd sterk getwijfeld aan de juistheid van de eigenschappen van de deklaag. Vooral de soms lage k-waarden in West-Nederland leiden tot zeer geringe kD-waarden. Dit zou leiden tot zeer natte situaties in ongedraineerde situaties en dat is niet aannemelijk.. Een nadere analyse en selectie van naar verwachting verbeterde gebieden was echter niet mogelijk in de beschikbare tijd. Daarom is besloten om de nieuwe gegevens niet te gebruiken in de nieuwe berekeningen. In de nieuwe berekeningen is dan ook gerekend met freatische lekweerstand zoals gedocumenteerd in Kroon *et al.* (2001), waarbij in het Pleistoceen voor de kD- en c-waarden veelal gemiddelden per hydrotype zijn gehanteerd en in het Holoceen specifieke weerstandswaarden uit de NAGROM-schematisering en gemiddelde kD-waarden. Alleen de schematisering van de drainagebuizen is gewijzigd; zie paragraaf 2.8.

Tabel 2 Oude en nieuwe geohydrologische parameterwaarden per hydrotype

Hydrotype	kD_oud	KD_MEAN_nieuw	kD_nieuw ST Dev	c-Hydro type_oud	c_nieuw	c_ST Dev	Dikte_Topsys-teem nieuw
Duinstrook	12	203,9	179,2	2400,0	1161,2	1845,4	22,3
Westland-D-profiel	3	51,2	80,5		1984,4	1796,4	11,0
Westland-DHC-profiel	5	14,2	23,4		4253,2	2679,7	12,4
Westland-DC-profiel	5	25,0	55,1		3766,0	2336,7	10,9
Westland-DH-profiel	2	8,5	14,9		1650,1	1898,0	6,7
Keileem-Peeloo profiel	50	6,4	7,9	150,0	83,0	126,4	3,2
Westland-H-profiel	1	7,5	10,5		435,9	717,8	5,4
Keileem profiel	55	9,3	19,6	80,0	153,6	332,9	5,4
Peeloo profiel	250	46,3	44,7	150,0	320,9	545,0	12,7
Singraven-beekdalen	1	50,7	94,0		296,4	592,3	10,2
Dekzand profiel	20	31,6	61,9	0,0	91,2	345,5	5,7
Eem en/of keileemprofiel	200	18,7	20,4		262,0	347,0	11,2
Westland-C-profiel	6	6,3	12,2		3582,3	2013,1	8,8
Open profiel	1000	15,8	13,5	0,0	46,1	72,6	2,4
Westland-HC-profiel	5	9,5	16,4		3416,0	1982,3	10,9
Stuwwallen	3500	55,1	64,6		424,2	1121,3	10,8
Betuwe-stroomruggonden	15	26,6	33,6		366,6	329,0	3,5
Betuwe-komgronden	12	17,3	34,6		477,9	412,5	4,4
Oost-Nederland profiel	5	48,1	51,4	0,0	493,7	1297,3	12,1
Nuenengroep profiel	10	67,3	55,0	180,0	469,3	630,8	16,6
Tegelen/Kedichem profiel	30	69,2	80,8	450,0	2217,6	2526,8	26,5
Loss profiel	15	5,3	5,4	0,0	265,7	115,5	2,0

2.7 Berekening

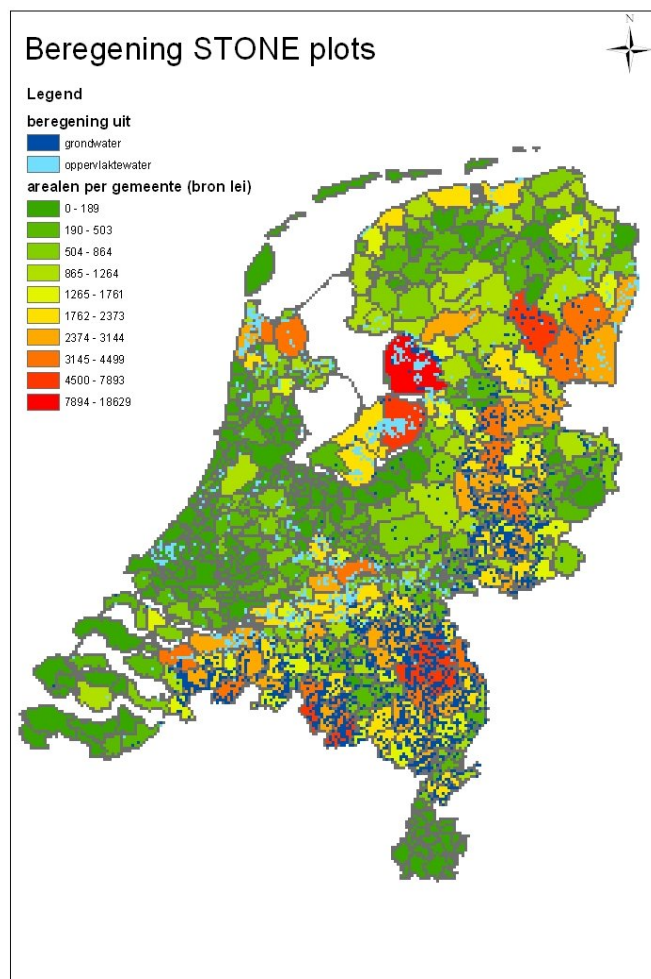
Door het LEI zijn in opdracht van de droogtestudie bij het RIZA nieuwe kengetallen voor de berekening onderzocht. (Hoogeveen *et al.*, 2003). Resultaten van dit onderzoek zijn onder meer arealen die per gemeente potentieel berekend kunnen worden in verschillende (droogte)jaren en gerealiseerde hoeveelheden en arealen berekening, gespecificeerd naar LEI-regio's en diverse gewastypen. Voor de droogtestudie zijn de diverse informatietypen in GIS gecombineerd en uiteindelijk toegekend aan 250 m-gridcellen, op zodanige wijze dat de balansen van de beregende arealen per LEI-gebied, per gemeente en per type gewas zoveel mogelijk kloppend worden gemaakt.

Bij de toekenning van het wel of niet beregenen van gridcellen hebben te verwachten droogtegevoelige STONE-plots een hogere prioriteit gekregen dan nattere STONE-plots. Bij deze prioritering zijn de eigenschappen kwel/infiltratie, afstand tot waterlopen, bodemtype en type gewas betrokken. Gridcellen met infiltratie hebben bijvoorbeeld een hogere prioriteit dan gridcellen met kwel. De gebieden waar volgens het LGN4-bestand intensieve teelten voorkomen, zoals bloembollen en boomgaarden, hebben ook voorrang gekregen, omdat deze typen gewas veel berekend worden. Voor berekening uit oppervlaktewater is tevens als criterium genomen dat de gridcel zich dicht bij een primaire of secundaire waterloop moet

bevinden. Voor een uitgebreide beschrijving van de ruimtelijke toekenning wordt verwezen naar de technische achtergrondrapportage (Peereboom, 2003).

Het resultaat van de toekenning van beregening is weergegeven in figuur 5. In de figuur zijn naast de beregende plots uit grond- en oppervlaktewater ook de door het LEI opgegeven beregende arealen per gemeente weergegeven. In de nieuwe schematisering kan er ongeveer 400.000 ha worden beregend, waarvan 68% uit grondwater en 32% uit oppervlaktewater. Dit areaal is een overschatting van het officiële door LEI geregistreerde areaal, maar afhankelijk van de vochtcondities in de berekening en de grenswaarden waarbij volgens het model wordt beregend zal het model een deel van dit areaal daadwerkelijk beregenen. Bovendien lijkt een overschatting gerechtvaardigd omdat niet het gehele areaal bij het LEI geregistreerd is, omdat van een aantal gemeenten geen gegevens zijn ontvangen (bijv. Zuid-Limburg).

In de oude schematisering werd ongeveer 275.000 ha beregend. De beregening is met name in het Pleistocene gebied sterk toegenomen en naar verwachting ten opzichte van de vorige schematisering sterk verbeterd. Aangeraden wordt om de volumes beregend water voor een aantal basisjaren te toetsen aan ervaringscijfers en aan beschikbare cijfers in genoemd LEI-rapport.



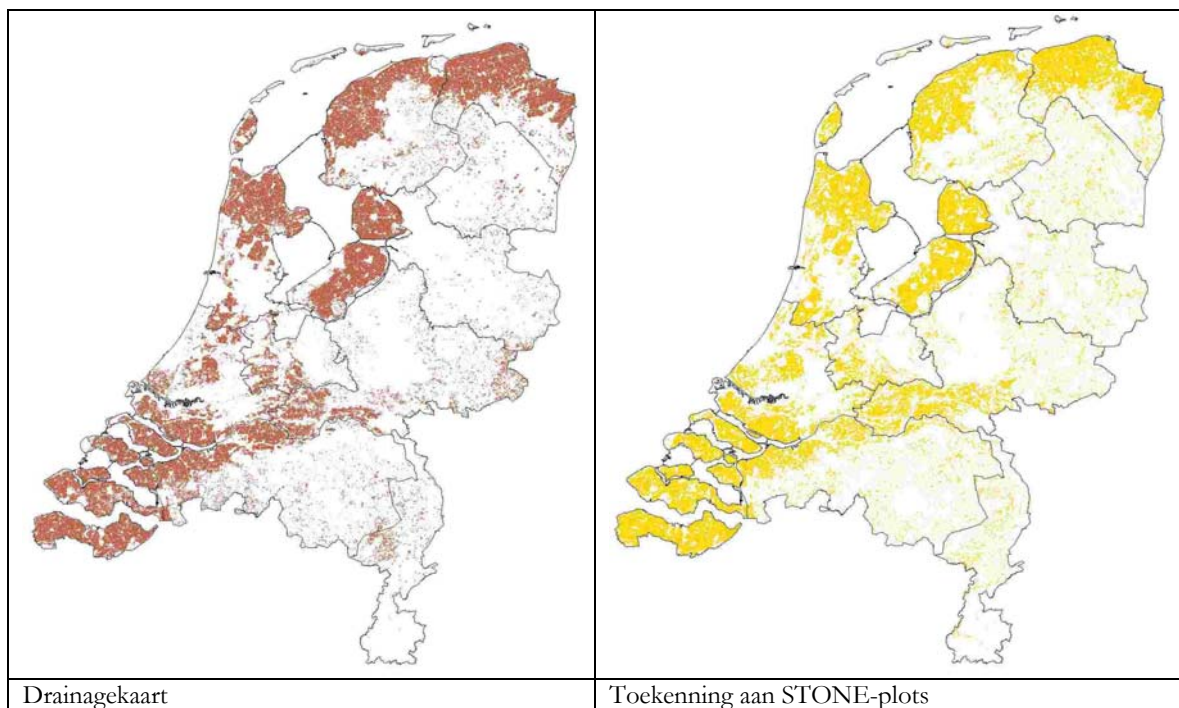
Figuur 5 Toegekende beregening uit grondwater en oppervlaktewater in de nieuwe schematisering. Tevens zijn beregende arealen uit de brongegevens (Hoogeveen et al., 2003) opgenomen op de achtergrond

2.8 Buisdrainage

Voor de droogtestudie is de ligging van buisdrainage in Nederland geactualiseerd (Massop, 2002). De nieuwe schematisering is vervolgens zo goed mogelijk toegekend aan de STONE-plots. Hiervoor zijn zowel de STONE-plots als de nieuwe schematisering van buisdrainage geclassificeerd naar :

- ligging Holocene of Pleistocene deel van Nederland;
- landgebruik: gras, maïs en akkerbouw (natuur geen drainage);
- bodem (bodempysische eenheden kaart 1 : 250.000);
- Gt.

Per combinatie van bovenstaande factoren is het percentage c.q. areaal gedraineerd gebied bepaald. Meerdere plots kunnen dezelfde combinatie van bovenstaande factoren hebben. Vervolgens zijn *random* STONE-plots geselecteerd die de volgorde bepalen waaraan drainage is toegekend totdat het areaal is opgevuld (figuur 6).



Figuur 6 De originele kaart met gebieden met buisdrainage (links; Massop, 2002) en de toekenning aan de STONE-plots (rechts)

In de nieuwe schematisering is in totaal in 862.800 ha buisdrainage geschematiseerd. In de oude schematisering was dit 1.200.000 ha.

De nieuwe schematisering wordt als verbetering beoordeeld doordat deze naast voortschrijdend inzicht ook is verbeterd door aanwijzingen van waterschappen. Een andere aanwijzing is dat het areaal in de nieuwe schematisering beter de schatting van Huinink (Ministerie LNV, pers. meded.) benadert (circa 800.000 ha).

2.9 Analyse en reparatie zakkers

2.9.1 Algemeen

Een belangrijke reden voor reparatie van de hydrologie vormde het grote aantal zogenoemde zakkers. Zakkers zijn plots waarvan de grondwaterstand tijdens een rekenperiode van 15 jaar lager werd gemodelleerd dan 13 m beneden maaiveld en dus onder het profiel uitzakt, waardoor de berekening stopt. Voortaan zullen deze gevallen worden aangeduid als onderuitzakkers. Want er zijn ook plots die gemiddeld over de periode blijven zakken maar onvoldoende om onder uit het profiel te zakken. Deze zullen worden aangeduid als doorzakkers. Laatstgenoemde categorie is veel lastiger te onderkennen maar is in hydrologische zin bijna net zo onjuist. Bij de reparatie zullen zowel de onderuitzakkers als doorzakkers worden gerepareerd.

In een aantal plots zijn er andere oorzaken waardoor de berekening wordt afgebroken. Deze plots zijn ook zo goed als mogelijk gerepareerd.

2.9.2 Oorzaken zakkers

De oorzaak van het optreden van zakkers hangt samen met de keuze van het type onderrandvoorwaarde. Elke plot krijgt een flux-onderrandvoorwaarde die is afgeleid van berekeningen met MONA (Vermulst en De Lange, 1999) voor een langjarig gemiddelde situatie (periode 1977-1985). Dat heeft als consequentie dat bij een onderrandflux die groter is dan het veeljarig gemiddelde neerslagoverschot berekend met SWAP, de grondwaterstand een dalende trend gaat vertonen. Waarom de met MONA berekende onderrandflux groter kan zijn dan het neerslagoverschot (bruto neerslag minus actuele evapotranspiratie) minus netto drainage binnen de plot (inclusief maaiveldsdrainage), kan de volgende redenen hebben:

- in de berekening van de kwel/wegzijgingsflux heeft een beperkte iteratie tussen NAGROM en SWAP plaats gevonden. Een eerste orde onderrand is berekend met het jaar 1985, dat geldt als een wat natter jaar met een lage referentieverdamping, waardoor een relatief grote wegzijging werd berekend. In een tweede onderrand zijn de resultaten van de gemiddelde grondwateraanvulling van SWAP over de periode 1977-1985 verwerkt. Het is mogelijk dat in een deel van de gebieden onvoldoende iteratie heeft plaats gevonden met deze beperkte terugkoppeling over de gemiddelde periode, en dat de modellen NAGROM en SWAP voor delen van Nederland nog onvoldoende met elkaar in evenwicht waren;
- tussen STONE- en NAGROM-eenheden zitten verschillende schalen. Vanuit de zelfde basisbestanden wordt zowel invoer voor STONE-plots als voor NAGROM-elementen gegenereerd en moet een aantal parameters worden opgeschaald (de flux, freatische lekweerstand, weerstand tegen verticale stroming). Door schaalverschillen in de schematisering wordt mogelijk het in evenwicht brengen van de modellen moeilijker gemaakt, waardoor afwijkingen kunnen ontstaan;
- de plots zijn voorzien van een onderrandvoorwaarde voor een gemiddelde situatie, maar een gemiddelde situatie bestaat in feite niet. Het is mogelijk dat de actuele verdamping voor een berekende periode (bijvoorbeeld een jaar lang) groter is dan de langjarig gemiddelde situatie waarmee de onderrandvoorwaarde is berekend, waardoor gedurende een periode netto te veel water uit het plot kan verdwijnen;
- in de koppeling van NAGROM en SWAP was het op plotniveau mogelijk dat de in MONA berekende wegzijgingsflux groter is dan de gemiddelde grondwateraanvulling berekend in SWAP, door dat op plotniveau geen begrenzing van de waterbalans was gedefinieerd, maar uitsluitend op NAGROM-elementniveau;

- voor een aantal plots bleek een profielverlenging naar 13 meter een oplossing te bieden, maar op deze wijze werd de feitelijke oorzaak voor de daling in deze plots waarschijnlijk niet aangepakt;
- voor gebieden met weinig tot geen drainagemiddelen (zeer hoge freatische lekweerstand) is er voor SWAP geen randvoorwaarde aanwezig om een juiste grondwaterstand te bepalen. Een flux-onderrandvoorwaarde (alleen) is hier onvoldoende; er moet ook een stijghoogtekoppeling plaats vinden.

2.9.3 De reparatiewerkzaamheden

Vooraf werd ingeschat dat een beter itereren met MONA veel van de problemen zou oplossen. Echter, twijfels aan de nieuwe geohydrologische parameters als gevolg van de toelevering van de NITG-data, maakte het onmogelijk met de nieuwe fluxen te werken. Daarom is gerekend met de oude fluxrandvoorwaarden.

Met deze oude onderrandvoorwaarden maar wel met de aanpassingen in SWAP zoals hiervoor beschreven, zijn alle plots opnieuw doorerekend voor de periode 1971-1985. Daarbij is een instelperiode van 3 jaar gebruikt (1968-1970), om op 1 januari 1971 een redelijk ingeregelde begingrondwaterstand te krijgen.

Vervolgens is elke plot aan een serie tests ontworpen om te onderzoeken of de berekende hydrologische variabelen en het verloop daarvan plausibel zijn.

Ter controle van de rekenresultaten zijn alle plots gescreend op basis van een aantal criteria. Plots die niet door de *screening* heen kwamen zijn grondig geanalyseerd en na aanpassing van de parameterisering opnieuw doorerekend. De volgende criteria zijn bij de *screening* gehanteerd:

- de waterbalans moet sluitend zijn. SWAP is per definitie een waterbalansmodel maar door numerieke oorzaken is er altijd een sluitfout. Deze moet voldoende klein zijn;
- de grondwaterstand moet hoger liggen dan 12 m beneden maaiveld. Dit criterium moet onderuitzakkers detecteren;
- het bereik van de grondwaterstanden moet kleiner zijn dan een kritieke waarde. Het bereik is gedefinieerd als het verschil tussen de hoogste en laagste gesimuleerde grondwaterstand. De kritieke waarde die gehanteerd is bedraagt 3 m. Indien het bereik groter is dan 3 m wordt de flux-onderrand vervangen door de weerstand/stijghoogte-onderrand van SWAP;
- er mag geen significante en relevante monotone trend aanwezig zijn. De aanwezigheid van een monotoon dalende trend kan duiden op een doorzakker. Hierop is getoetst met behulp van niet-parametrische trendanalyse (Gilbert, 1987);
- de actuele transpiratie moet groter zijn dan 200 mm/jaar en kleiner dan 500 mm/jaar;
- de actuele bodemevaporatie moet groter zijn dan 50 mm/jaar maar kleiner dan 400 mm/jaar;
- de bodemtemperatuur mag de +40 °C niet overstijgen en niet dalen onder de -30 °C. Voor het Nederlandse klimaat wordt hier altijd aan voldaan;
- het bodemvochtgehalte mag niet groter zijn dan het vochtgehalte bij verzadiging;
- de kwel/wegzijgingsflux moet tussen de -1,2 en 5,0 mm/d (- = wegzijging). Zie voor een uitgebreide beschrijving, zie bijlage 1.

De onderuitzakkers worden op de klassieke manier gedetecteerd, nl. de grondwaterstand komt beneden 13 m -mv. Na ampele overwegingen is besloten plots als doorzakker aan te merken als het verschil tussen hoogste en laagste berekende grondwater op dagbasis groter is dan 3,0 m. In hydrologische zin is het bijvoorbeeld op de Veluwe (en andere systemen met grote traagheid) mogelijk dat genoemd verschil ook daadwerkelijk meer is dan 3 m, maar voor

plots die voor STONE relevant zijn is 3,0 m een redelijke grens. Een uitzondering zijn wellicht plots waar schijngrondwaterstanden berekend worden.

De plots met zakkers zijn vervolgens doorgerekend met een gemengde randvoorwaarde: een tijdinvariante diepe potentiaal als randvoorwaarde en daartussen een weerstand. Zowel diepe potentiaal als weerstand is door RIZA aangeleverd. De rekenwijze om die vast te stellen is als volgt uitgevoerd:

Met NAGROM is de zogenaamde kwelelasticiteit uitgerekend. Deze berekening is als volgt uitgevoerd. NAGROM is 2 keer gedraaid. Eén keer met een voeding van 1 mm/d en een keer met een voeding van 0,5 mm/d. Dit resulteerde in 2 verschillende stijghoogtes. Met de vergelijking:

$$C^T = \frac{\varphi_1 - \varphi_{0.5}}{q_1 - q_{0.5}}$$

CT = kwelelasticiteit [d]

$\varphi_1, \varphi_{0.5}$ = stijghoogte bij een grondwateraanvulling van respectievelijk 1,0 en 0,5 mm/d [m]

$q_1, q_{0.5}$ = onderrandflux bij een grondwateraanvulling van respectievelijk 1,0 en 0,5 mm/d [m/d]

is de waarde van de kwelelasticiteit bepaald. Het teken van de kwelelasticiteit voor inzijgingsgebieden is tegengesteld aan die voor de kwelgebieden. Typische waarden voor de inzijgingsgebieden zijn 1000-3000 dagen in de Beerze-Reusel tot 20.000 dagen op de Veluwe. Het RIZA gebruikt deze kwelelasticiteit alleen in de 'harde' inzijgingsgebieden. Deze inzijgingsgebieden zijn op basis van de kwelelasticiteit bepaald.

De stijghoogte van de gekoppelde run voor de rekenperiode (1977-1985) is met behulp van de verticale weerstand omgerekend naar een grondwaterstand. Deze grondwaterstand komt overeen met de gemiddelde grondwaterstand voor de rekenperiode.

Voor een rekencel is nu de grondwaterstand, de kwelelasticiteit en de flux bekend.

$$\varphi^T = h - q \cdot C^T$$

φ^T = onderrandstijghoogte behorend bij de kwelelasticiteit (t.b.v. SWAP) [m]

h = grondwaterstand [m]

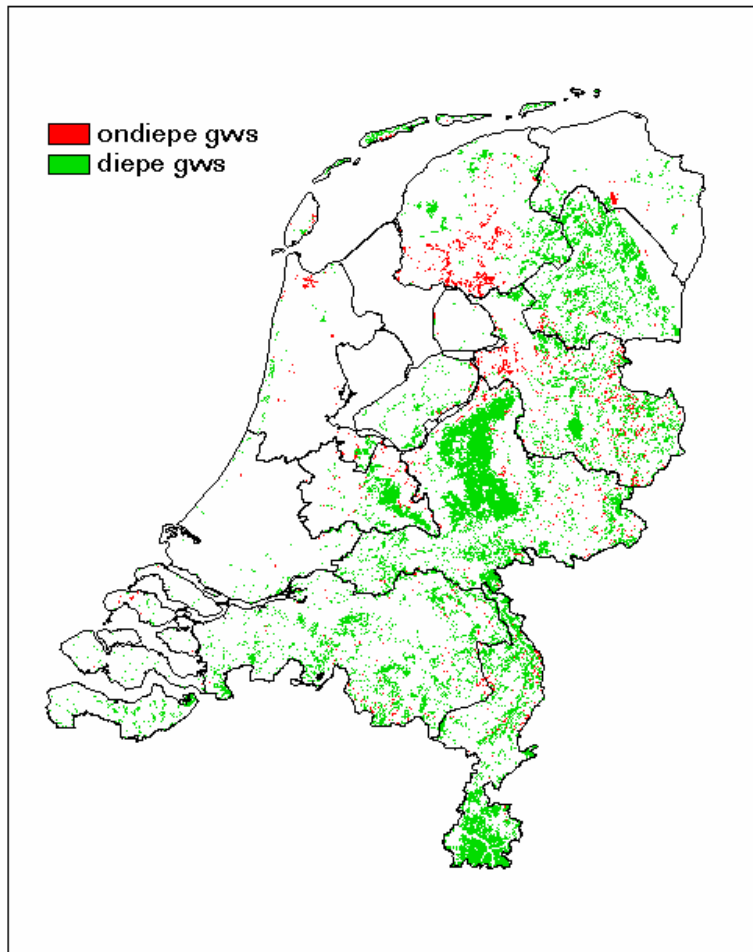
q = onderrandflux [m/d]

is een onderrandstijghoogte berekend die er voor zorgt dat bij een gemiddelde grondwaterstand en kwelelasticiteit de opgelegde flux optreedt.

De onderrandstijghoogte en de kwelelasticiteit zijn opgelegd aan SWAP.

In figuur 7 zijn de plots weergegeven waar een nieuwe onderrand is gegenereerd, dit betreft zowel de oude zakkers als zakkers in de nieuwe schematisering (met name door toegenomen bosverdamping). In totaal is dit ongeveer 500.000 ha, ofwel circa 15% van Nederland. Met name in de gebieden met ondiepe grondwaterstanden (grondwatertrap I t/m IV en V, weergegeven in figuur 7) kon een zakker echt als fout worden aangemerkt, omdat de grondwaterstand onterecht diep werd gemodelleerd.

Het groot areaal zakkers geeft overigens wel aan dat het werken met een fluxrandvoorwaarde zonder terugkoppeling met een verzadigd regionaal grondwatermodel vragen om moeilijkheden is. In de discussie en aanbevelingen wordt hier op terug gekomen.

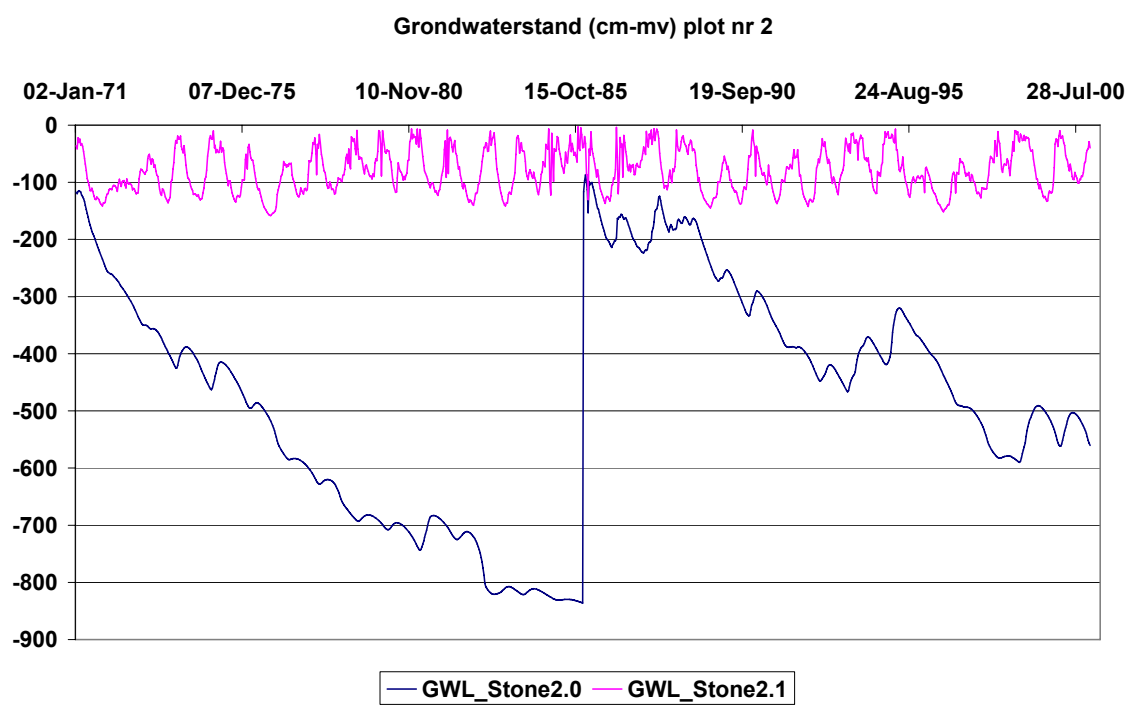


Figuur 7 Ruimtelijke weergave van plots waarvoor een nieuwe onderrand is gegenereerd

De reparatie van de zakkers leidt in de betreffende plots tot een behoorlijk veranderde hydrologie. Een voorbeeld van een plot met een zakker is gegeven in figuur 8. Het verloop van de grondwaterstand ziet er nu redelijk uit, evenals de waterbalans. Duidelijk is dat de grondwaterstandstroming een nieuwe ontwateringsbasis heeft gekregen gelijk aan de waarde van de diepe potentiaal.

In gebieden met diepere grondwaterstanden (Gt VI en VII(*)) leidt de reparatie ook tot verbetering, maar naar verwachting heeft dit minder groot effect op STONE. Met name in type gebieden als de Veluwe en heuvelruggen ontstonden t.o.v. de oude schematisering door de nieuw ingevoerde hogere bosverdamping nieuwe zakkers, die meteen zijn gerepareerd.

In verband met beperkingen in tijd en geld is besloten om alle zakkers op dezelfde manier te repareren. Om alsnog te voorkomen dat er onderuitzakkers ontstaan zijn de waarden van de diepe potentiaal begrensd op 10 m -mv. Dat betekent dat de grondwaterstand van plots op de Veluwe bijvoorbeeld door deze begrenzing niet dieper wegzakken dan 10 m. In hydrologische zin is het onjuist maar voor het effect op STONE is dit niet van belang.



Figuur 8 Voorbeeld van een “doorzakker” met een ondiepe grondwaterstand, voor en na reparatie

3 Analyse en plausibiliteit

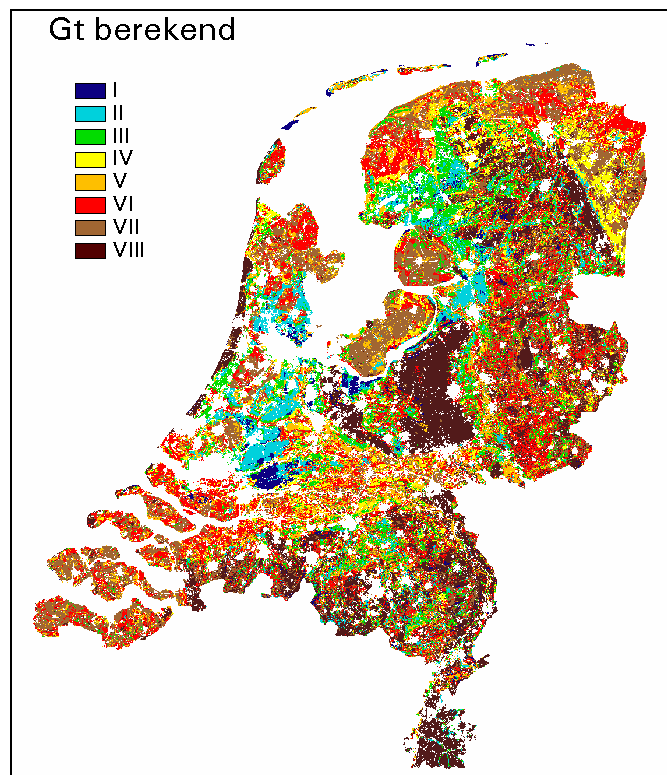
3.1 Algemeen

Een belangrijke vraag is of de reparatie-acties ook leiden tot een betere hydrologische beschrijving van de plots. Dit zal worden beoordeeld aan de hand van grondwaterstanden en waterbalansberekeningen. Omdat plots per definitie nooit een 1-op-1 relatie hebben met de werkelijkheid is de beoordeling te beschrijven in termen van plausibel.

3.2 Analyse van de grondwaterstanden

3.2.1 Landsdekkende analyse

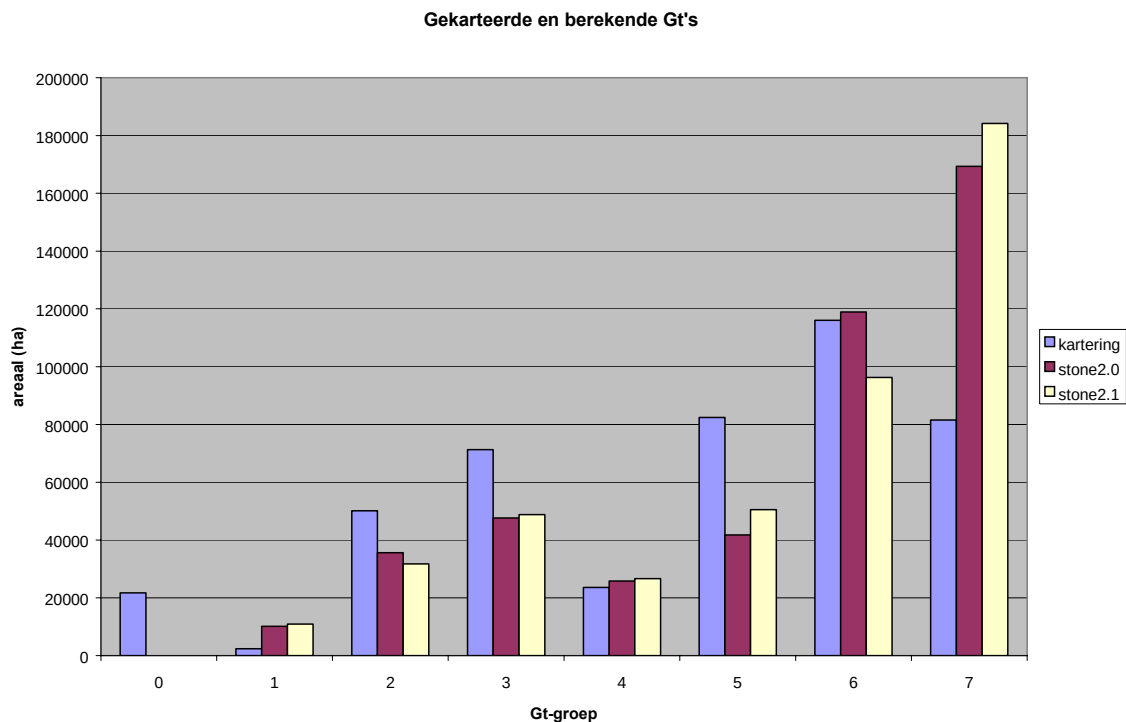
In figuur 9 is de met SWAP berekende grondwatertrap (Gt) over een periode van 30 jaar weergegeven. In de patronen zijn de verschillende landschapseenheden, zoals de kleibouwlonden, de droogmakerijen, de veenweidegebieden, beekdalen, en de drogere zandgronden goed herkenbaar. Wanneer de grootte van de Gt globaal wordt beschouwd valt op dat in delen van de kleibouwlonden een combinatie van Gt VI en VII gevonden, waar men eerder een Gt VI zou verwachten. Verder valt op dat een vrij groot deel van de zandgronden in de droogste klasse (Gt VIII) wordt gemodelleerd.



Figuur 9 Berekende Gt in de nieuwe schematisering (STONE 2.1)

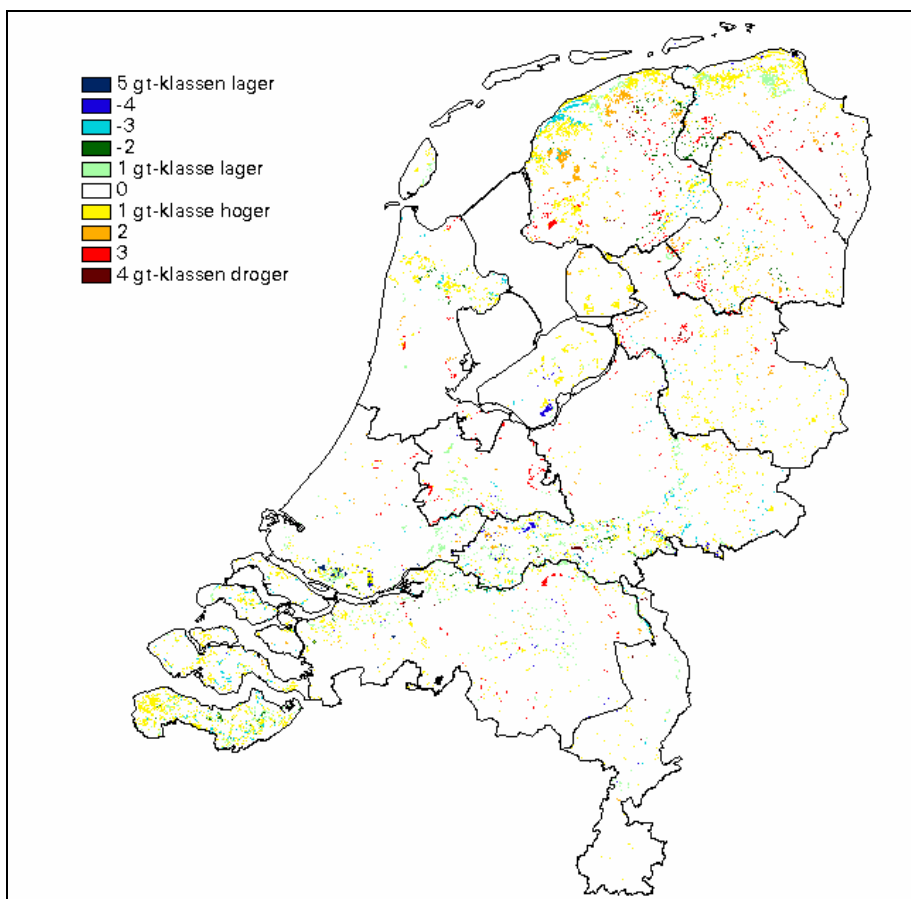
De berekende Gt is vergeleken met de Gt van de bodemkaart, voor zowel de oude als de nieuwe schematisering (zie figuur 10). De klasse Gt VIII is niet beschouwd, omdat deze niet overal op de Gt-kaart (bodemkaart) wordt gehanteerd. Bij de vergelijking met de bodemkaart is de berekende Gt VIII omgezet naar Gt VII. Verder wordt opgemerkt dat bij de gekarteerde Gt een klasse "0" voorkomt, waarbij de grondwaterstand onbekend is. Dit betreft voornamelijk een groot deel van (Zuid) Limburg, waar veelal diepe grondwaterstanden kunnen worden verondersteld, en verder gebieden rond de grote rivieren. Dit gekarteerde areaal "Gt onbekend" kan dus grotendeels aan Gt VII worden toegekend (waardoor het verschil tussen de gekarteerde Gt VII en de gemodelleerde Gt VII wat wordt verkleind). Zie ook bijlage 1 voor een tabellarisch overzicht van arealen per Gt, landgebruik en bodemtype.

Uit de verdelingen is af te leiden dat ten opzichte van de oude schematisering een wat groter areaal Gt VII en Gt V is gemodelleerd, terwijl het areaal Gt VI enigszins is afgenomen. Ten opzichte van de gekarteerde Gt is een algemene tendens van verdroging merkbaar. Bekend van de Gt-kaart is dat deze in veel gebieden niet actueel is. Met name in het Pleistocene deel van Nederland worden in de praktijk drogere Gt's aangetroffen dan gekarteerd op de bodemkaart. In de oude schematisering werd al geconstateerd dat een dergelijke verschuiving richting drogere Gt's t.o.v. de kartering goed overeenkomt met waarnemingen in de landelijke steekproef (Kroon *et al.*, 2001). Het verschil tussen de nieuwe schematisering en de oude schematisering is relatief gering t.o.v. het verschil tussen de berekening en de kartering. Daarom wordt aangenomen dat de nieuwe schematisering nog steeds goed zal overeenkomen met de trends uit de landelijke steekproef. Aanbevolen wordt om dit nog te controleren. Een nadere detaillering van de berekende Gt's per gekarteerde Gt is weergegeven in bijlage 1.



Figuur 10 Verdeling van de berekende Gt-classes en de gekarteerde Gt over het areaal van Nederland, voor de oude schematisering (STONE 2.0) en de nieuwe schematisering (STONE 2.1)

De verschillen tussen de berekende Gt's in STONE 2.1 en STONE 2.0 zijn nader ruimtelijk uitgewerkt in figuur 11. De figuur geeft het verschil tussen de berekende Gt-groepen (7), waarin de "Gt-*"-klassen zijn samengevoegd bij de "gewone" klassen en geen Gt VIII is onderscheiden. De verschuiving van het areaal is ook in tabelvorm weergegeven (tabel 3).



Figuur 11 Verschil in Gt-classes: STONE 2.1 – STONE 2.0

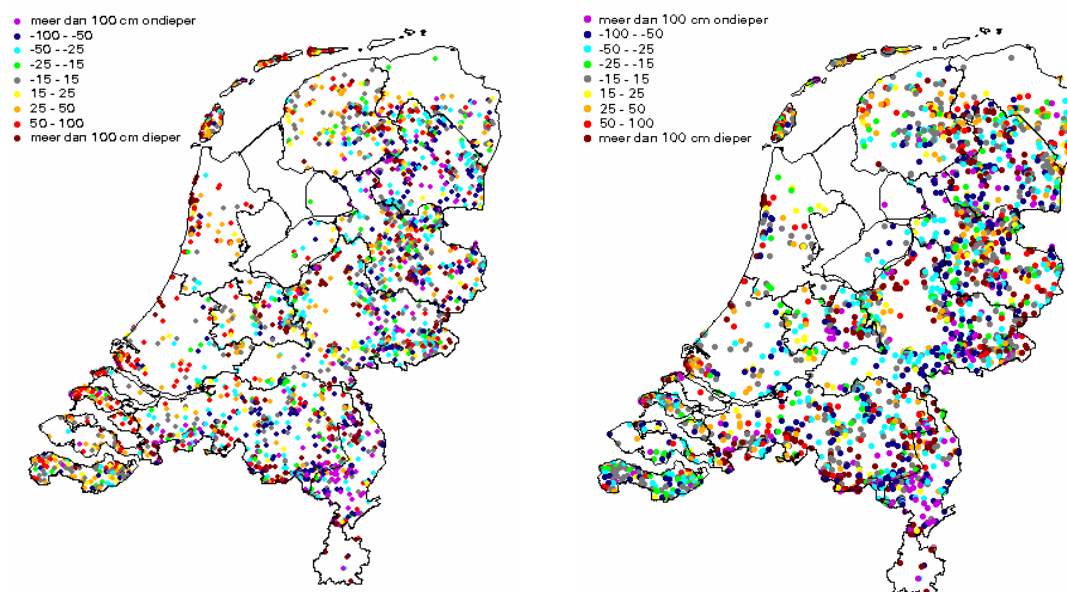
Tabel 3 Verschuiving van de Gt-groepen in de nieuwe en oude berekening, uitgedrukt in arealen (ha) en arealen landbouw en natuur

Gt-new t.o.v. Gt-oud	Gewijzigd areaal totaal	Gewijzigd areaal landbouw	Gewijzigd areaal natuur	%areaal-totaal
5 klassen lager ("natter")	2.050	1.775	275	0,1
4 klassen lager	4.681	3.400	1.281	0,2
3 klassen lager	15.513	15.113	400	0,6
2 klassen lager	8.344	8.069	275	0,3
1 klassen lager	32.675	31.819	856	1,2
gelijk	2.603.256	2.161.950	441.306	92,7
1 klasse hoger	103.675	98.575	5.100	3,7
2 klasse hoger	15.900	15.638	263	0,6
3 klasse hoger	19.194	17.444	1.750	0,7
4 klasse hoger ("droger")	2.256	2.256	0	0,1
Totaal	2.807.544	2.356.038	451.506	100,0

Uit figuur 11 en tabel 3 is op te maken dat in ongeveer 7% van het landelijk gebied een verschuiving van Gt heeft plaats gevonden, waarbij in 5% van het areaal een drogere Gt-groep is gemodelleerd in de nieuwe berekening t.o.v. de oude berekening en in 2% een nattere Gt-groep is gemodelleerd. De verschuiving is grotendeels 1 klasse groot. De verschuiving vindt voor een groot deel plaats in de kleibouwlanden, waar de verdamping is verhoogd (zie paragraaf 2.3) en dus een lagere grondwaterstand kan worden verwacht.

Aangezien de Gt-kaart niet meer overal actueel is, worden de gemodelleerde gronden tevens vergeleken met metingen van grondwaterstanden, van zowel het langjarige gemiddelde als het jaar 1995 (Van der Gaast en Massop, 2003). De metingen en berekeningen zijn hierbij uitgedrukt in een grondwaterstand beneden maaiveld en als zodanig direct met elkaar vergeleken. Zie figuur 12.

Bij de vergelijking van berekende grondwaterstanden met metingen op puntlocaties moet worden gerealiseerd dat de berekende grondwaterstanden als een gemiddelde voor een groot vlak moet worden gezien, namelijk een vlak bestaande uit een STONE-plot, met een grootte variërend van 25 tot ongeveer 22.000 ha en een mediaanwaarde van 287,5 ha. De grote variatie van de hoogte van het maaiveld binnen de STONE-plots zal per definitie bijdragen aan een afwijking tussen de berekende en de gemeten grondwaterstanden, omdat er een verschil is tussen de maaiveldswaarde bij een puntlocatie en het gemiddelde gehanteerde maaiveld. Toch kan met de verdeling van de afwijkingen van de elementen van de Gt, de gemiddeld hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand de gemodelleerde grondwaterstanden goed worden beoordeeld.



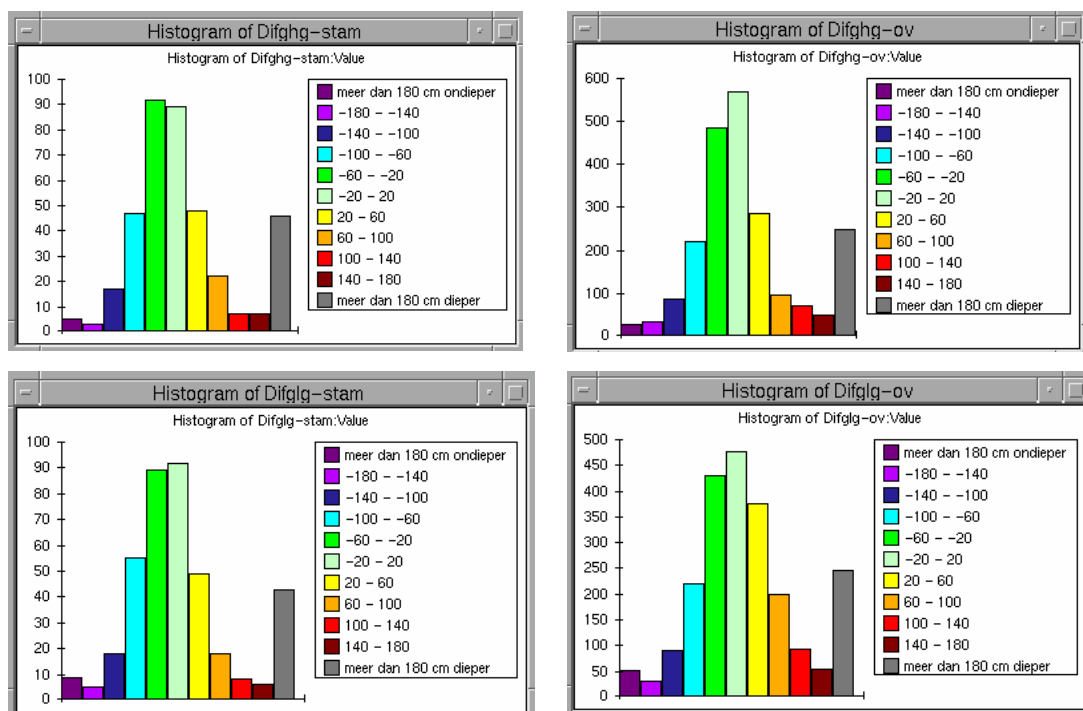
Figuur 12 Verschil tussen de langjarig berekende GHG (links) en GLG (rechts) en metingen in stambuizen en overige buizen

Uit figuur 12 is af te leiden dat met name in de hogere zandgronden, waar veel maaiveldsverschil aanwezig is, grote afwijkingen in gemodelleerde grondwaterstanden voorkomen, van meer dan 1 meter. Dit is ten dele te verklaren door variatie in maaiveld maar voor een groot deel ook de (werkelijke) afwijking tussen berekening en meting. Voor de GHG

komen zowel positieve als negatieve afwijkingen voor, voor de GLG lijkt een systematisch onderscheid tussen het Holocene en het Pleistocene gedeelte van Nederland naar voren te komen, waarbij in het Holoceen te diep berekende grondwaterstanden vaak lijken voor te komen. Om hier conclusies over te kunnen trekken worden de verschillen nader geanalyseerd, waarbij ook de kwaliteit van de metingen wordt beschouwd.

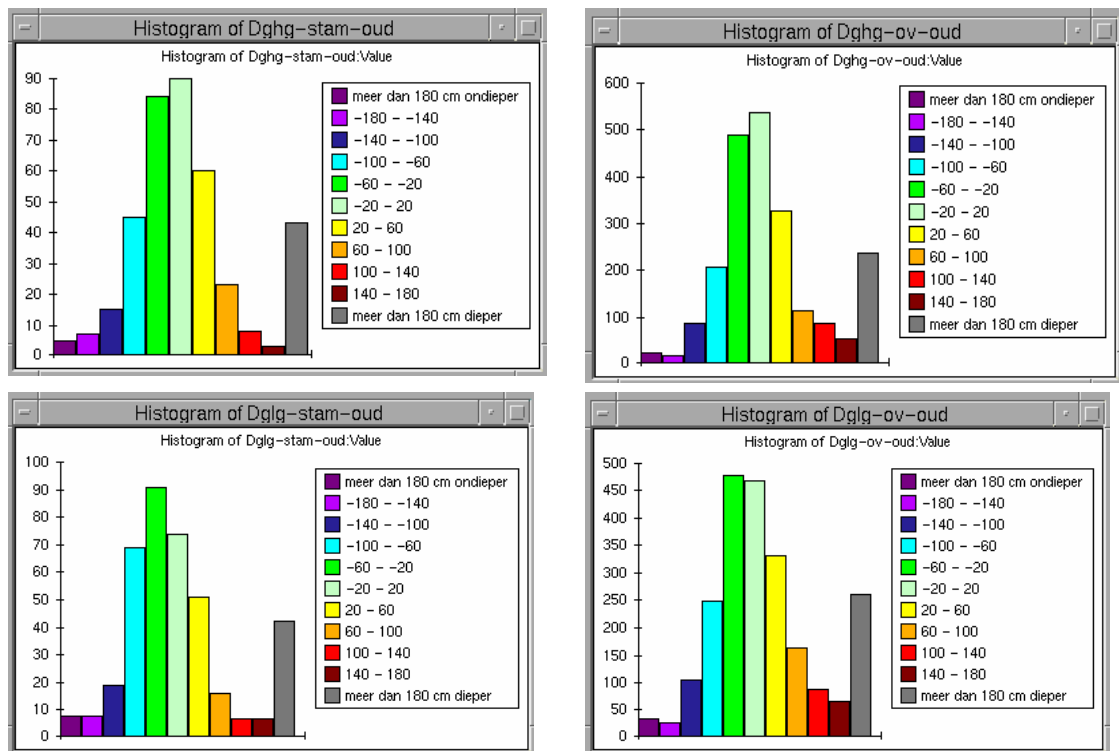
In figuur 13 zijn de verdelingen van de afwijking gegeven van de langjarig berekende GHG en GLG versus metingen in stambuizen en overige buizen. Voor het grootste deel van de buizen komen afwijkingen tussen meting en berekening voor. De afwijkingen zijn in redelijke mate normaal verdeeld

Opvallend is dat de klasse “meer dan 180 cm dieper” (= “te droog”) relatief groot is in de gepresenteerde figuur. Deze relatief sterk vertegenwoordigde klasse is te verklaren door dat deze klasse zou moeten worden uitgesmeerd over een groot aantal intervals. Een dergelijke klasse is logischerwijs aan de “te natte” kant niet te vinden, omdat de grondwaterstand niet boven het maaiveld kan worden berekend en dus aan de “natte kant” sterker begrensd is door het maaiveld dan aan de “droge kant (onderkant plot).



Figuur 13 Afwijking van de berekende GHG (boven) en GLG (onder) van STONE 2.1 met metingen in stambuizen (links) en overige buizen (rechts). Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as). Negatief is te nat gemodelleerd, positief te droog gemodelleerd

De stambuizen hebben de hoogste kwaliteit, en bestaan zuiver uit meetwaarden. Deze waarnemingen zijn echter alleen beschikbaar in het Pleistoceen. Opvallend is voor zowel de GHG als de GLG een groot aantal waarnemingen in de klasse 50 tot 100 cm te diep. De overige buizen bestaan uit metingen, aangevuld met een deel interpolatie van waarnemingen op basis van meteorologische data (Van der Gaast en Massop 2003), waardoor de klasse overige buizen wat minder betrouwbaar zijn. Ook voor de oude berekening (STONE 2.0) zijn de dezelfde meetgegevens vergeleken met de berekening (zie figuur 14).



Figuur 14 Afwijking van de berekende GHG (boven) en GLG (onder) voor stambuizen (links) van STONE 2.0 en overige buizen (rechts).

Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as)

Wanneer de nieuwe en de oude berekening met elkaar vergeleken worden blijkt dat de 'afwijking' tussen meting en berekening in STONE 2.1 iets beter normaal verdeeld is dan STONE 2.0. De klasse met beperkte afwijkingen tot 20 cm is wat groter en de afwijkingen zijn wat evenwichter verdeeld over te nat en te droog.

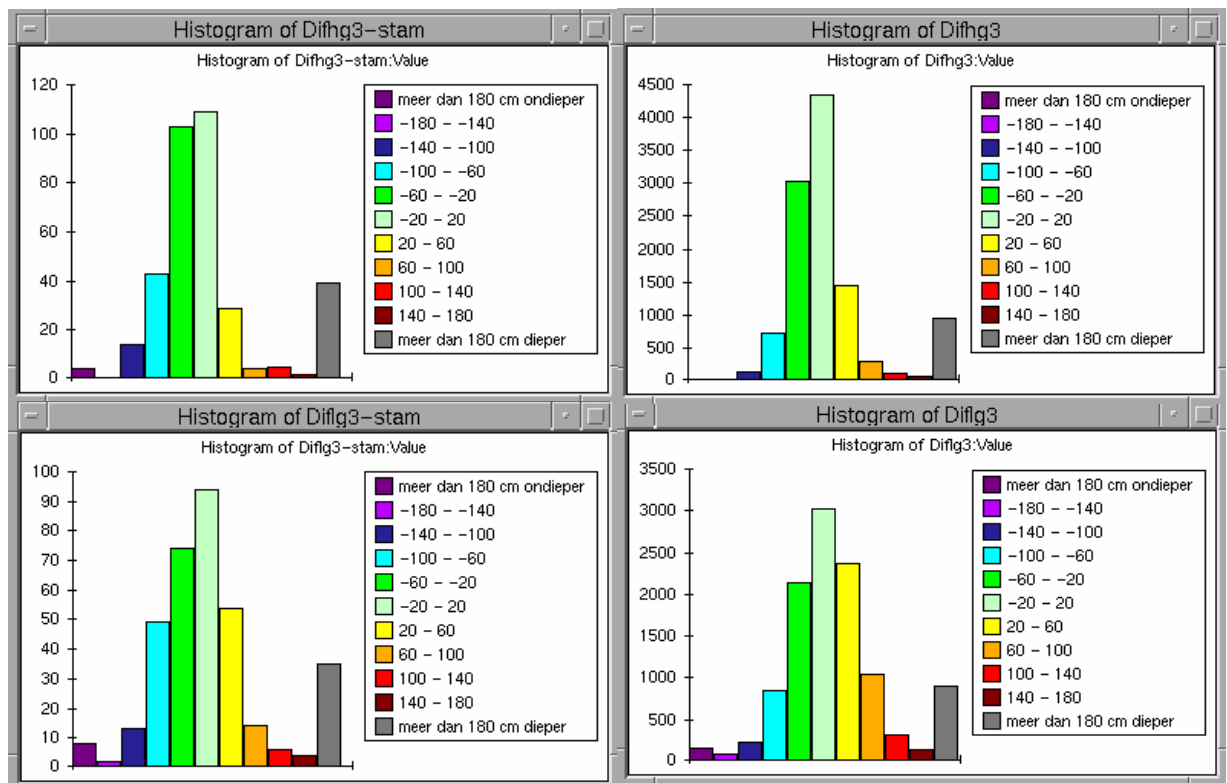
Naast de GLG en GHG is ook het jaar 1995 beschouwd, alleen voor de resultaten van STONE 2.1. Dit jaar kent een nat voorjaar en een relatief droge zomer. Voor dit jaar zijn eveneens stambuismetingen beschikbaar, maar ook statistisch afgeleide gegevens (van der Gaast en Massop, 2003). Van deze gegevens maken ook gerichte opname deel, dit betreft een groot aantal metingen waar een korte periode is gemeten en stochastische grondwaterstandsverlopen zijn afgeleid op basis van onder meer invoer van neerslag en verdamping en metingen bij referentiebuizen in de buurt van de opname. Deze grote groep van statistische afgeleide gegevens heeft beperkte betrouwbaarheid, daarom wordt niet alleen het totaal aantal buizen, maar ook de meer betrouwbare stambuizen beschouwd.

Uit figuur 15 blijkt dat de afwijking van de laagste grondwaterstanden in het jaar 1995 vergelijkbare patronen opleveren als bij het langjarig gemiddelde. Dit houdt in dat het model bij dieper uitzakkende grondwaterstanden in een droger jaar vergelijkbare presteert als in een langjarig gemiddelde. De GHG vertoont kleinere afwijkingen voor het jaar 1995 dan voor het langjarig gemiddelde. De extreem natte condities in het begin van jaar 1995 worden in het model dus wat beter benaderd dan de gemiddeld natte condities. Het is ook logisch dat onder deze omstandigheden het aandeel met van te ondiepe grondwaterstanden afneemt, omdat

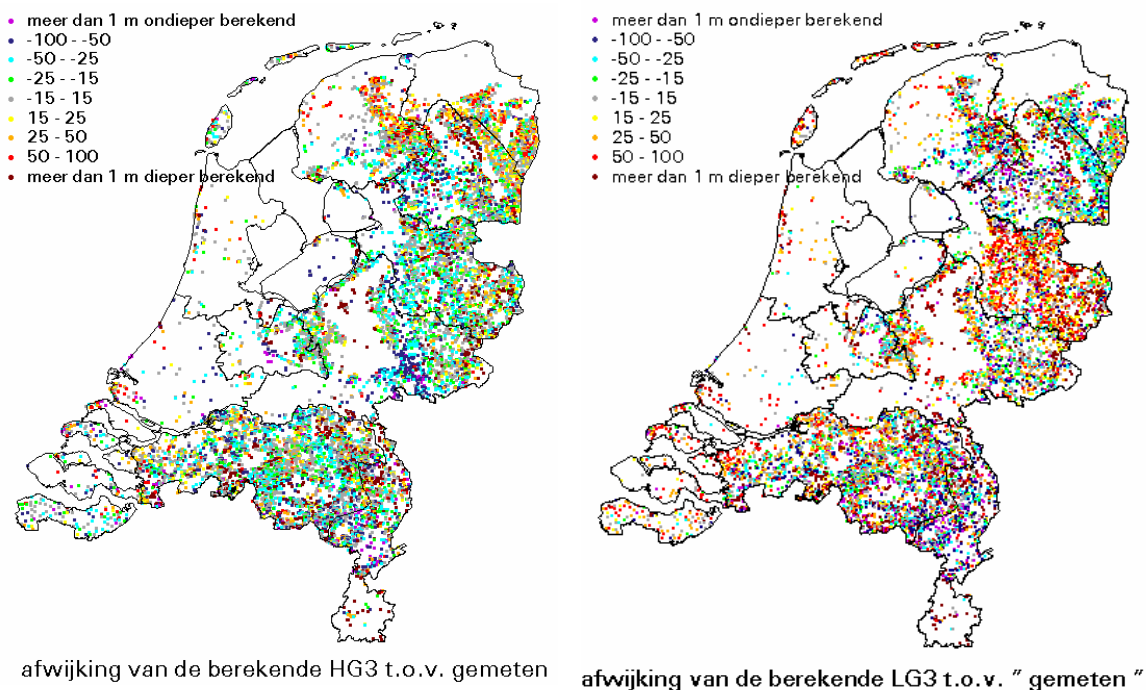
veel grondwaterstanden zich in die natte tijd zich tegen het maaiveld bevonden (en ondieper dan het maaiveld kan niet worden berekend).

In figuur 16 zijn is het ruimtelijk voorkomen van de afwijkingen tussen berekende en “gemeten” grondwaterstanden in 1995 weergegeven. Uit de figuur volgen onder meer aanwijzingen dat in de noordelijke zandgebieden te hoogste grondwaterstanden te droog worden gemodelleerd en een zuidelijk deel van Gelderland alsmede sommige delen in Brabant te nat worden gemodelleerd. Bij de laagste grondwaterstanden lijkt Overijssel mogelijk te droog te worden gemodelleerd, en delen van Oost-Brabant en Noord-Limburg te nat. Vanwege de onzekerheden in de statistisch afgeleide gerichte opnamen, kan niet met zekerheid gezegd worden of de afwijking gezocht moet worden in afwijking in de modellering of afleiding van de gerichte opnamen. Nader onderzoek zal dit moeten aantonen.

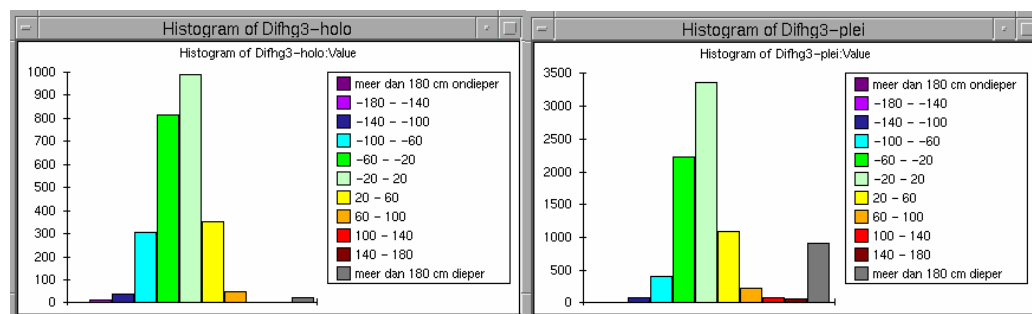
Voor een nadere analyse van de berekende grondwaterstanden is Nederland opgedeeld in verschillende gebieden. Er is een opsplitsing gemaakt tussen Holocene en Pleistoocene Nederland (figuur 17). Hieruit bleek dat de klasse ‘meer dan 180 cm te diep’ eigenlijk alleen in het Pleistoceen voorkomt. Dit is te verklaren omdat in de Pleistocene gronden veel diepere grondwaterstanden voorkomen dan in het Holoceen. In het Holoceen liggen de grondwaterstanden door de drainagemiddelen ook veel meer vast.



Figuur 15 Afwijking van de berekende HG3-1995 (boven) en LG3-1995 (onder) voor stamhuizen (links) en overige buizen (rechts). Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as)

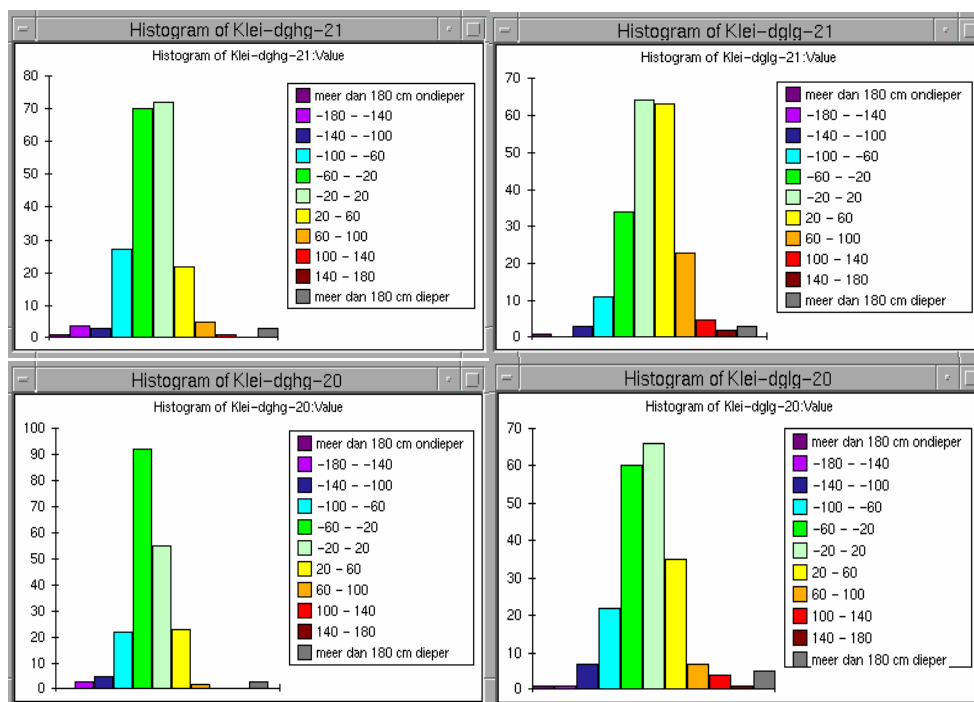


Figuur 16 Verschil tussen de HG3-95 (links) en LG3-95 (rechts) en metingen in stambuizen en overige buizen



Figuur 17 Afwijking van de berekende HG3-1995 van het Holoceen (links) en het Pleistoceen (rechts) voor de complete peilbuisreeks. Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as)

Uit de analyse van de veranderingen in GHG en GLG tussen STONE 2.0 en STONE 2.1 komt naar voren dat in de kleibouwlanden grote verschillen optraden. De kleibouwlanden (zie figuur 18) zijn daarom nader geanalyseerd. De verdamping in STONE 2.1 is hoger dan in STONE 2.0. Het is de verwachting dat de grondwaterstanden daardoor zullen dalen.



Figuur 18 Afwijking van de berekende GHG (links) en GLG (rechts) voor de peilbuisreeks in de kleibouwlanden. Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as). Voor STONE 2.1 boven en STONE 2.0 onder, (bijgevoegd een plaatje met de ligging van de kleibouwlanden)

De GHG en de GLG zijn in deze gebieden droger geworden. De GHG van STONE 2.0 was duidelijk te nat en wordt nu beter gemodelleerd. De GLG was ook te nat en wordt nu iets te droog gemodelleerd. Dat hier een Gt-verschuiving richting diepere Gt's uit voorkomt is dus te verklaren en is ook als een verbetering aan te merken. In de uitzakplots is de Gt ook verschoven. In tabel 4 is te zien dat het areaal met Gt VI is afgenomen en dat de arealen Gt V en VII duidelijk zijn toegenomen.

Tabel 4 Verdeling van de Gt's in de 'uitzak-plots' in STONE 2.0 en STONE 2.1

Gt	aantal plots STONE 2.0	aantal plots STONE 2.1
I	29	87
II	1.754	2.091
III	2.283	1.517
IV	127	560
V	4.346	5.914
VI	12.857	9.626
VII	51.861	53.462

3.2.2 Veengronden

Inleiding

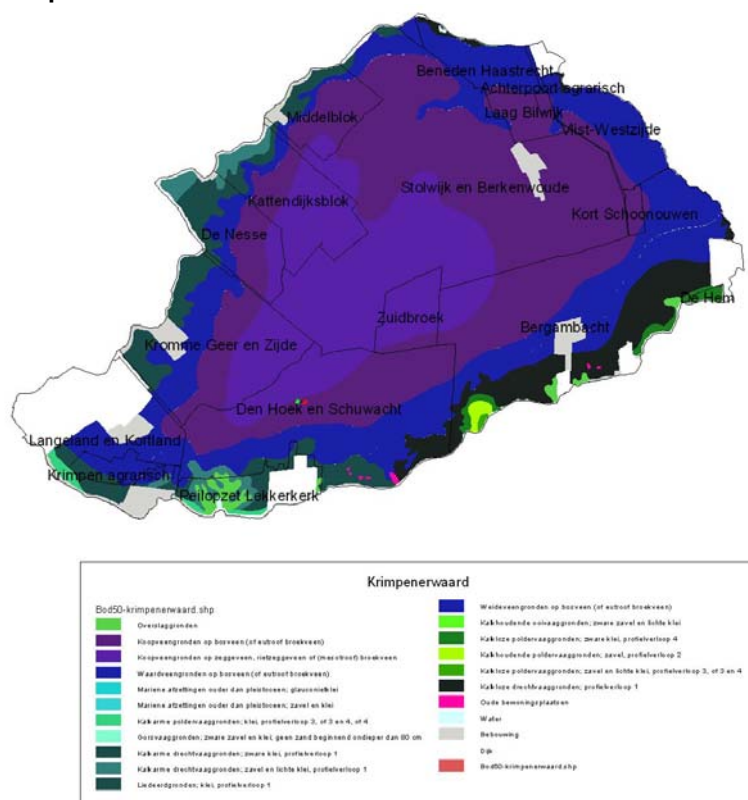
Bij de analyse van de resultaten van de STONE 2.1-berekeningen is speciale aandacht geschonken aan berekende GHG en GLG in veenweidegebieden. De berekende grondwaterstanden lijken namelijk aan de natte kant. Of de berekende grondwaterstanden werkelijk te hoog zijn en of de toegepaste drooglegging correct is, is onderzocht in twee typische veenweidegebieden, waarvoor recente karteringen van de GxG beschikbaar zijn in de vorm van puntschattingen en een daarop gebaseerde vlakdekkende GxG-kaart. Deze gebieden zijn Krimpenerwaard en Staphorst/Rouveen. In STONE 2.1 zijn voor veengebieden de volgende streefpeilen gehanteerd:

Tabel 5 Streefpeilen (cm -mv) toegepast bij berekeningen tbv STONE 2.1 in veenweidegebieden

Gt	Veenweide
	30
II	40
	70
IV	80
V	90
VI	110
VII	145

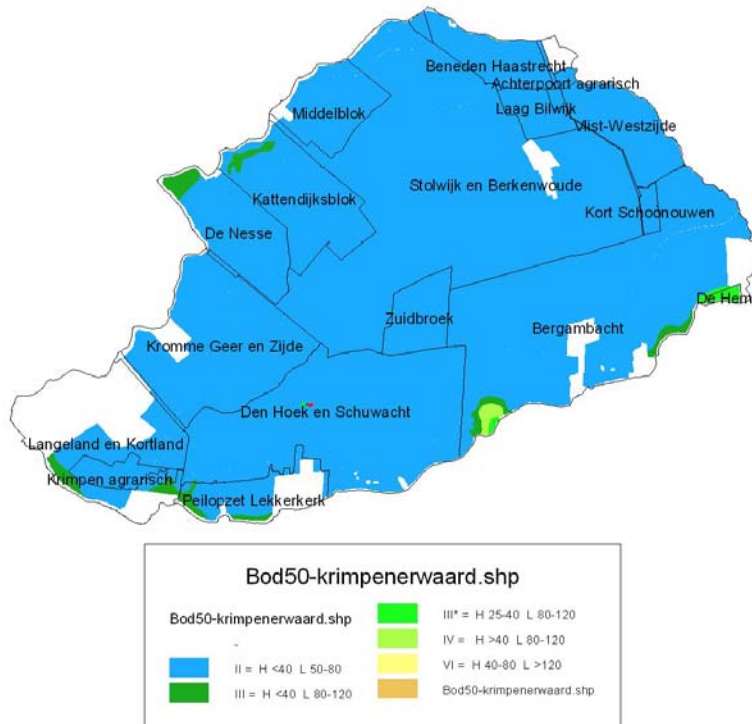
Gebiedsbeschrijving

Krimpenerwaard



Figuur 19 Bodemtypen Krimpenerwaard (Bodemkaart 1: 50.000)

In de kern bestaat de Krimpenerwaard uit koopveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of (meso-troof) broekveen(hVc), daaromheen liggen koopveengronden op bosveen, of (eutroof broekveen) (hVb). Daaromheen liggen de waardveengronden op bosveen, of (eutroof broekveen) (pVb). Langs de randen liggen kalkloze en kalkhoudende polder- en ooivaaggronden en drechtvaaggronden. Het veen heeft een dikte van meerdere meters. Zie figuur 19.

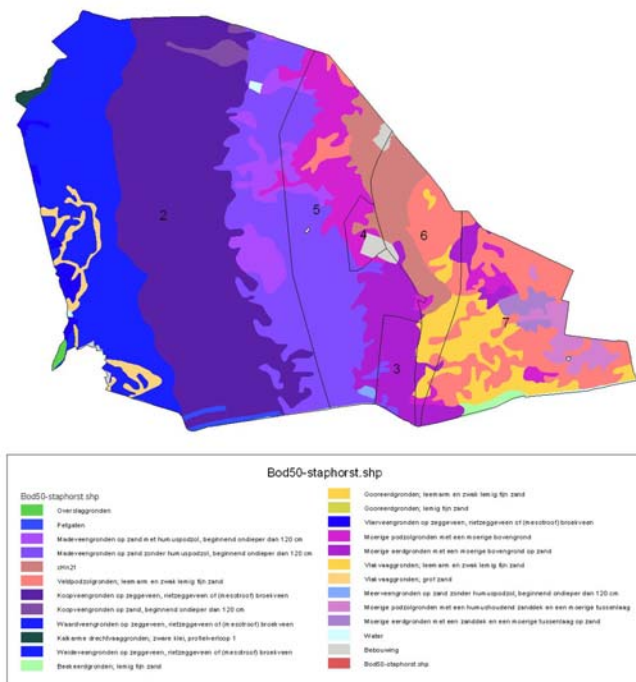


Figuur 20 Grondwatertrappen Krimpenerwaard (Bodemkaart 1: 50.000)

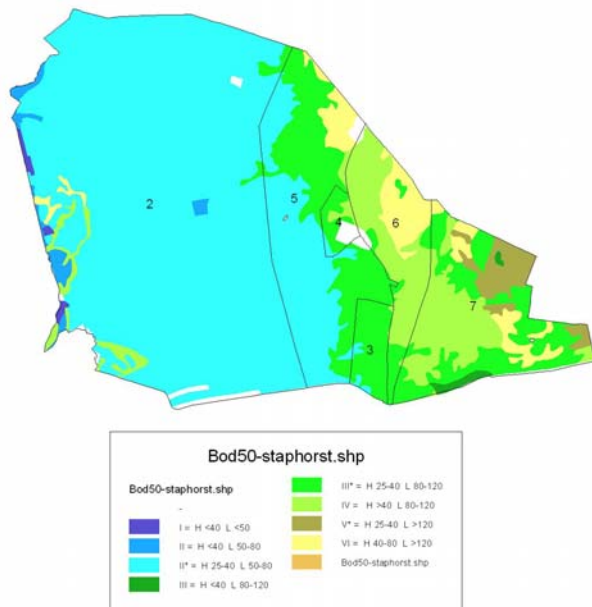
Volgens de bodemkaart is de overheersende Gt de Gt II (figuur 20), met GHG < 40 cm -mv en GLG 50-80 cm -mv. In STONE 2.1 is gerekend met een drooglegging van 40 cm. Het waterschap is ingedeeld in een aantal polders waarin overwegend één peil wordt gehanteerd. De meeste polders slaan hun water direct uit op de Hollandse IJssel en de Lek.

Staphorst/Rouveen

Van west naar oost gaan de bodemtypen achtereenvolgens over van weideveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of (mesotroof) broekveen (pVc) op koopveengronden op zeggeveen, rietzeggeveen of (mesotroof) broekveen (hVc), vervolgens op madeveengronden op zand, zonder of met humuspodzol beginnend ondieper dan 120 cm (aVz, aVp), moerige podzolgronden (vWp en vWz), tenslotte overgaande in laar- en veldpodzolgronden. De dikte van de veenlaag neemt al in oostelijk richting en verdwijnt. Alleen peilgebied 2 is een zuiver veengebied, en gebied 5 is grotendeels een veengebied. Zie figuur 21.



Figuur 21 Bodemtypen Staphorst/Rouveen (Bodemkaart 1: 50.000)



Figuur 22 Grondwatertrappen Staphorst/Rouveen (Bodemkaart 1: 50.000)

Peilgebied 2 heeft volgens de bodemkaart een Gt II*, dwz GHG 25-40 en GLG 50-80. Voor STONE 2.1 is dit gebied ingedeeld bij Gt II, dwz een drooglegging van 40 cm. In peilgebied 5 komen volgens de bodemkaart overwegend Gt II* en III* voor. Meer in oostelijke richting overheerst GT IV. Zie verder figuur 22.

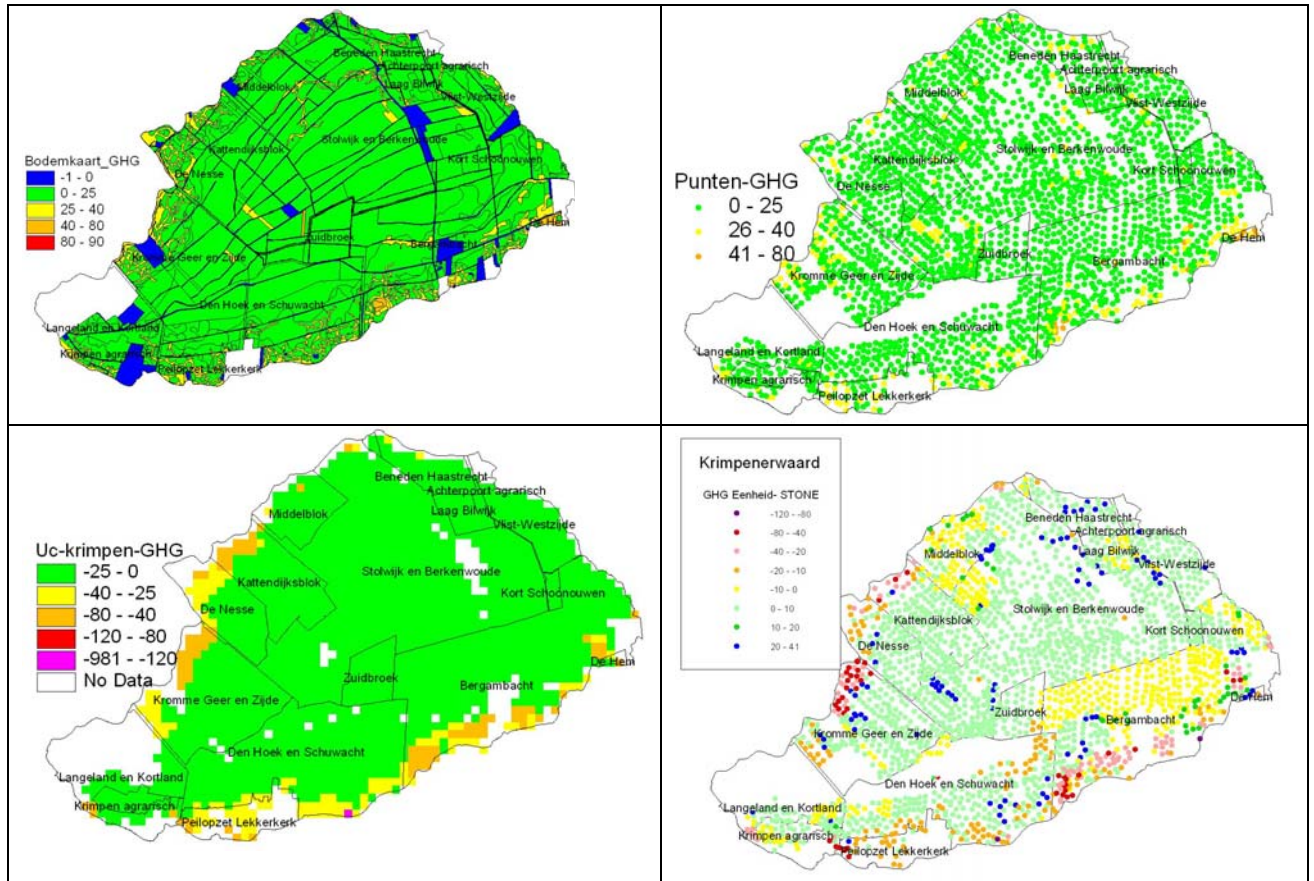
Waterhuishoudkundig is het gebied ingedeeld in een aantal peilgebieden, waarvoor een zomer en een winterpeil worden gehanteerd. Voor peilgebied 7 zijn nog geen peilen vastgesteld. Voor Peilgebied 5 varieert het zomerpeil tussen 0,80 en 0,90 m –NAP. De overige peilen betreffen vaste waarden.

Analyse

Krimpenerwaard

GHG

In figuur 23 is de GHG weergegeven.

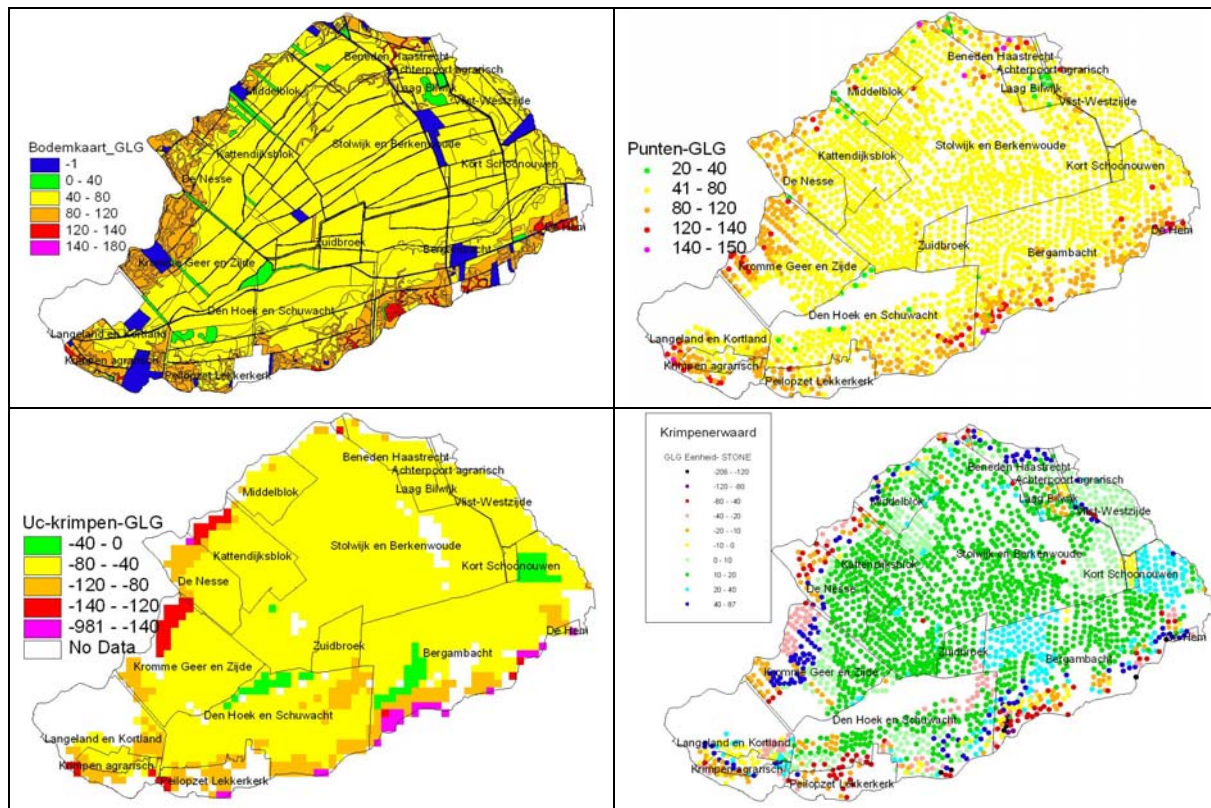


Figuur 23 GHG volgens Bodemkaart (Bod5182) (linksboven), volgens opnamepunten (rechtsboven), STONE 2.1 -berekeningen (linksonder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.1 (rechtsonder)

In figuur 23 valt de goede overeenkomst op tussen STONE 2.1 en de recente bodemkaart en opnamepunten. De verschillen op puntniveau zijn overwegend kleiner dan 10 cm en zijn het grootst op de rand.

GLG

In figuur 24 is de GLG weergegeven.



Figuur 24 GLG volgens Bodemkaart (Bod5182) (linksboven), volgens opnamepunten (rechtsboven), STONE-berekeningen (linksonder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE (rechtsonder)

In figuur 24 valt eveneens de goede overeenkomst op tussen STONE 2.1 en de recente bodemkaart en opnamepunten. De verschillen op puntniveau zijn overwegend tussen 10-20 cm en zijn het grootst op de rand.

Aan de opnamepunten zijn de GHG en GLG uit de nieuwe bodemkaart en de berekende STONE 2.1-waarden gekoppeld. In tabel 6 zijn de statistieken weergegeven. De verschillen in GHG zijn voor het gemiddelde gering; voor de mediaan zijn de verschillen iets groter: STONE 2.1 is iets natter: 3,5 cm. Voor de GLG zijn de verschillen groter tussen punt en STONE. Het gemiddelde is 9 cm natter voor STONE 2.1 en de mediaan zelfs 13 cm. De overeenkomst is dus goed te noemen

Tabel 6 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE 2.1

GHG	GHG	GHG	GHG	GLG	GLG	GLG
	punt	eenheid	STONE	punt	eenheid	STONE
Mean	14,70	12,66	13,62	71,07	71,05	62,36
Standard Error	0,15	0,14	0,25	0,35	0,32	0,53
Median	12,5	10	9	65	65	52
Mode	10	10	9	60	65	52
Standard Deviation	7,6	7,0	12,0	17,5	16,1	25,7
Sample Variance	57,9	48,6	143,6	305,0	260,1	660,4
Kurtosis	3,8	9,0	17,2	3,7	4,1	11,1
Skewness	1,5	2,7	3,5	1,7	1,2	2,8
Range	60	61	128	130	141	244
Minimum	0	-1	7	20	-1	39
Maximum	60	60	135	150	140	283
Sum	36929	31805	32477	178540	178480	148736
Count	2512	2512	2385	2512	2512	2385
Confidence Level(95,0%)	0,30	0,27	0,48	0,68	0,63	1.03

Vervolgens is gekeken naar de verschillen. Deze zijn van dezelfde orde grootte (tabel 7).

Tabel 7 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE 2.1

	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GLG	DIFF_GLG
	punt-STONE	Eenh-STONE	punt-STONE	Eenh-STONE
Mean	0,91	-1,18	8,04	8,11
Standard Error	0,25	0,23	0,48	0,46
Median	1	1	12	13
Mode	1	1	8	13
Standard Deviation	12,3	11,2	23,4	22,6
Sample Variance	150,5	125,4	546,6	510,7
Kurtosis	12,0	16,9	12,9	12,4
Skewness	-2,2	-2,5	-1,9	-2,1
Range	161	166	316	293
Minimum	-120	-125	-218	-206
Maximum	41	41	98	87
Sum	2177	-2805	19182	19336
Count	2385	2385	2385	2385
Confidence Level (95,0%)	0,49	0,45	0,94	0,91

Drooglegging

Mede bepalend voor de berekende grondwaterstand is de drooglegging (verschil tussen maaiveld en oppervlaktewaterstand). Hoe dieper de drooglegging, hoe dieper de ontwateringsbasis voor het grondwatersysteem.

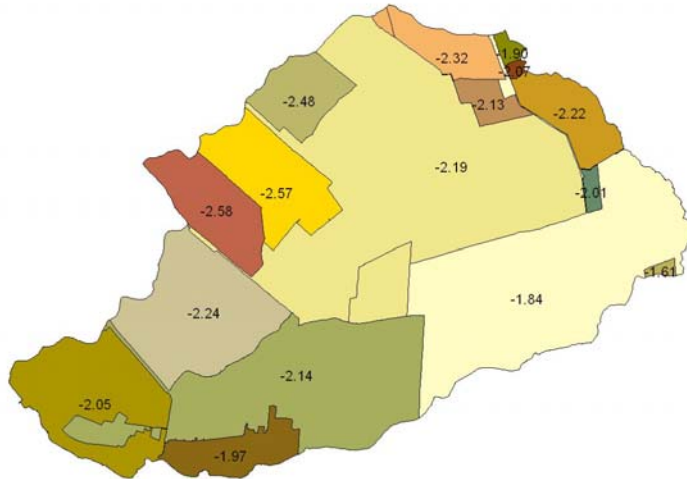
Om de drooglegging te bepalen zijn de volgende kaarten gebruikt:

- AHN-5 m grid;
- peilvakken5-shp (huidige peilen, geen verschil tussen winter en zomerpeil);
- waterlopen uit Top10-vector.

De maaiveldhoogte nabij de waterloop kan afwijken van het maaiveld op enkele meters van de waterloop. Mogelijke oorzaken van deze verschillen zijn:

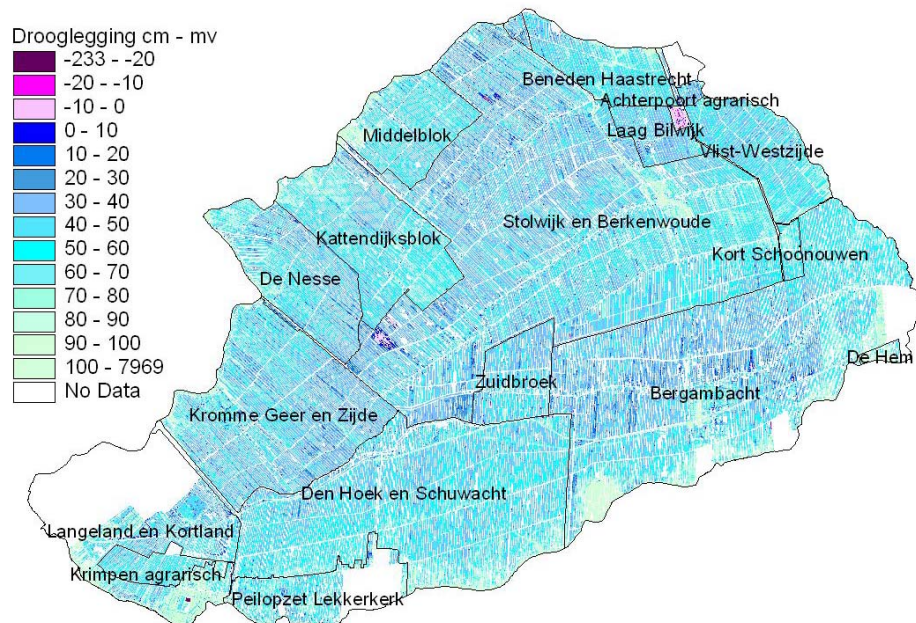
- effect van sloot op AHN;
- periodieke ophoging met slootbagger;
- geringere uitdroging van het profiel nabij de sloot in vergelijking met het midden van de sloot, waardoor de maaiveldsdaling geringer is.

Om dit effect uit te bannen is een strook van 5 m rondom de waterlopen niet meegenomen bij de bepaling van de drooglegging. De drooglegging is bepaald uit het verschil tussen AHN en polderpeil. In figuur 25 zijn de polderpeilen weergegeven. Er is een duidelijke gradiënt in de polderpeilen in de richting van de Lek (zuiden) naar de Hollandsche IJssel in het noordwesten.



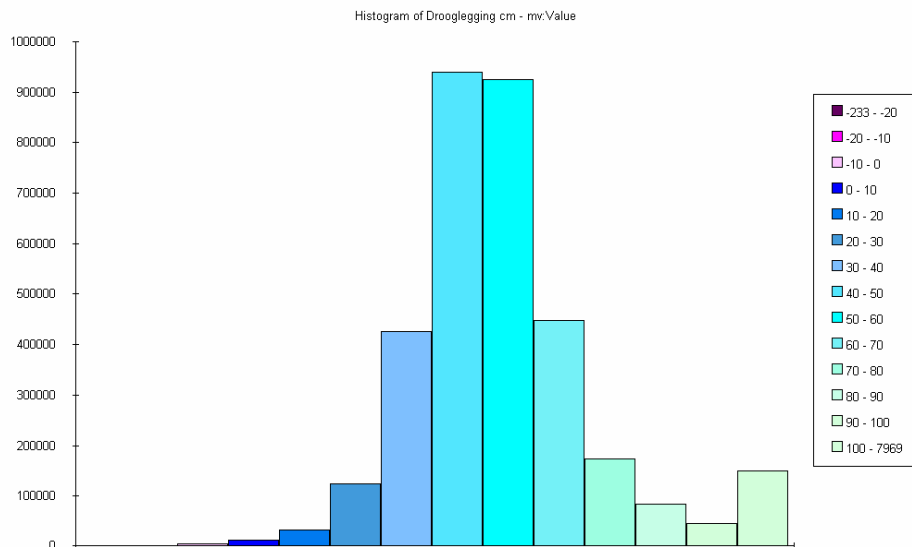
Figuur 25 Peilen Krimpenerwaard (in m tov NAP)

In figuur 26 is het ruimtelijke beeld van de berekende drooglegging weergegeven.



Figuur 26 Drooglegging Krimpenerwaard

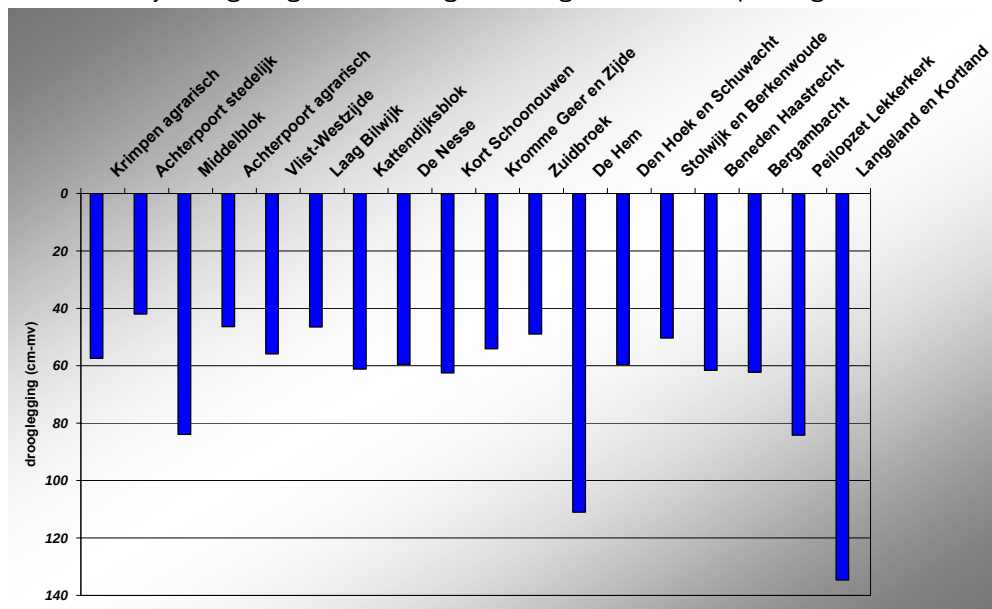
Gemiddeld over de gehele Krimpenerwaard is de drooglegging 61 cm -mv. In figuur 27 is de verdeling van de drooglegging weergegeven. Uit de verdeling blijkt dat het gemiddelde wordt beïnvloed, doordat de verdeling niet normaal is maar enigszins scheef naar de droge kant. Op basis van figuur 27 is het gemiddelde ca 50 cm -mv.



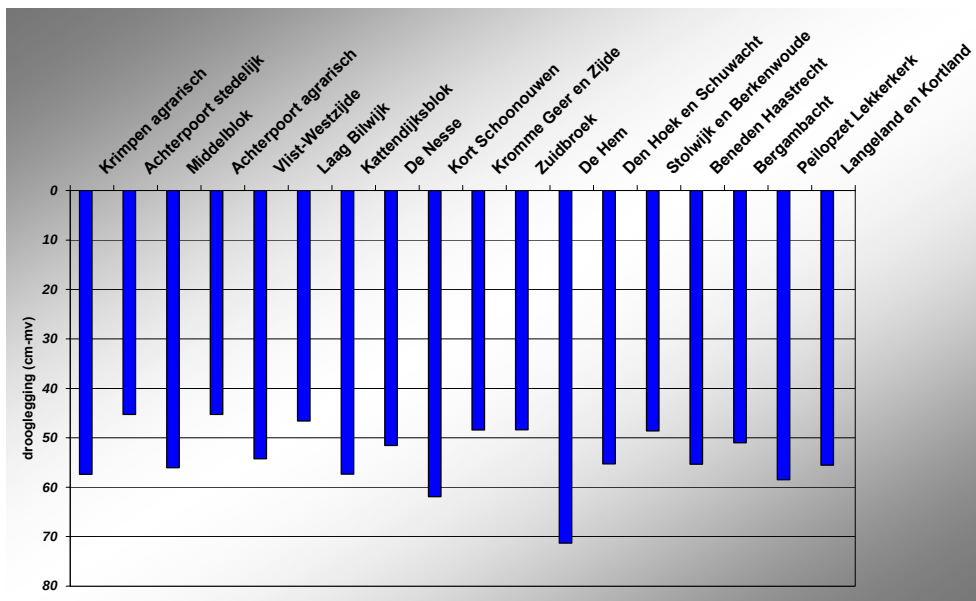
Figuur 27 Verdeling van de drooglegging in de Krimpenerwaard

Selectie van de punten (weglaten uitschieters) met een drooglegging tussen 0-100 cm geeft een gemiddelde voor de Krimpenerwaard 54 cm.

Om een nog beter beeld te krijgen over de ruimtelijke verdeling, is het gemiddelde voor de verschillende polders weergegeven in figuur 28, zonder correctie van uitschieters en in figuur 29 met correctie van uitschieters. Uitschieters kunnen vooral worden veroorzaakt door fouten in het AHN (bijv. als gevolg van aanwezigheid van gebouwen of beplanting).

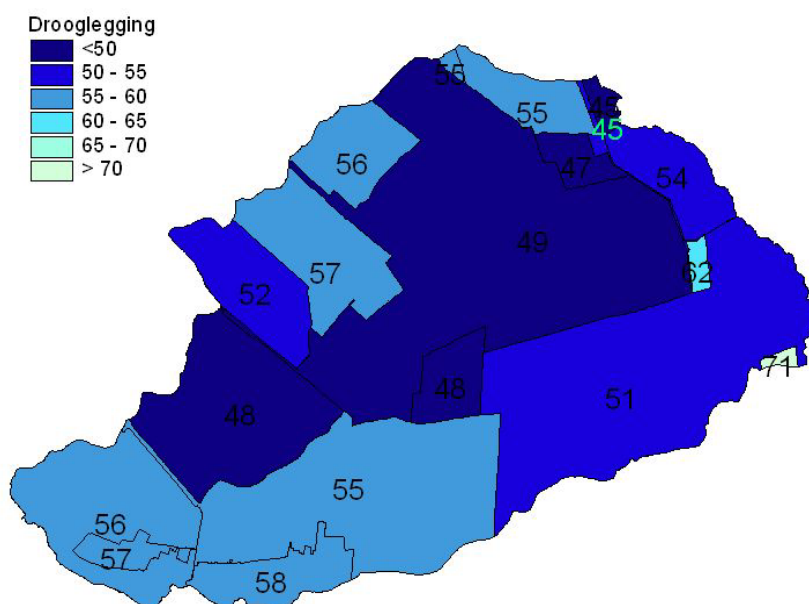


Figuur 28 Gemiddelde drooglegging voor polders binnen de Krimpenerwaard, zonder correctie voor uitschieters naar de droge en natte kant



Figuur 29 Gemiddelde drooglegging voor polders binnen de Krimpenerwaard, met correctie voor uitschieters naar de droge en natte kant.

In figuur 30 is de gemiddelde drooglegging per peilvak weergegeven.



Figuur 30 Gemiddelde drooglegging per peilvak in de Krimpenerwaard

Conclusie

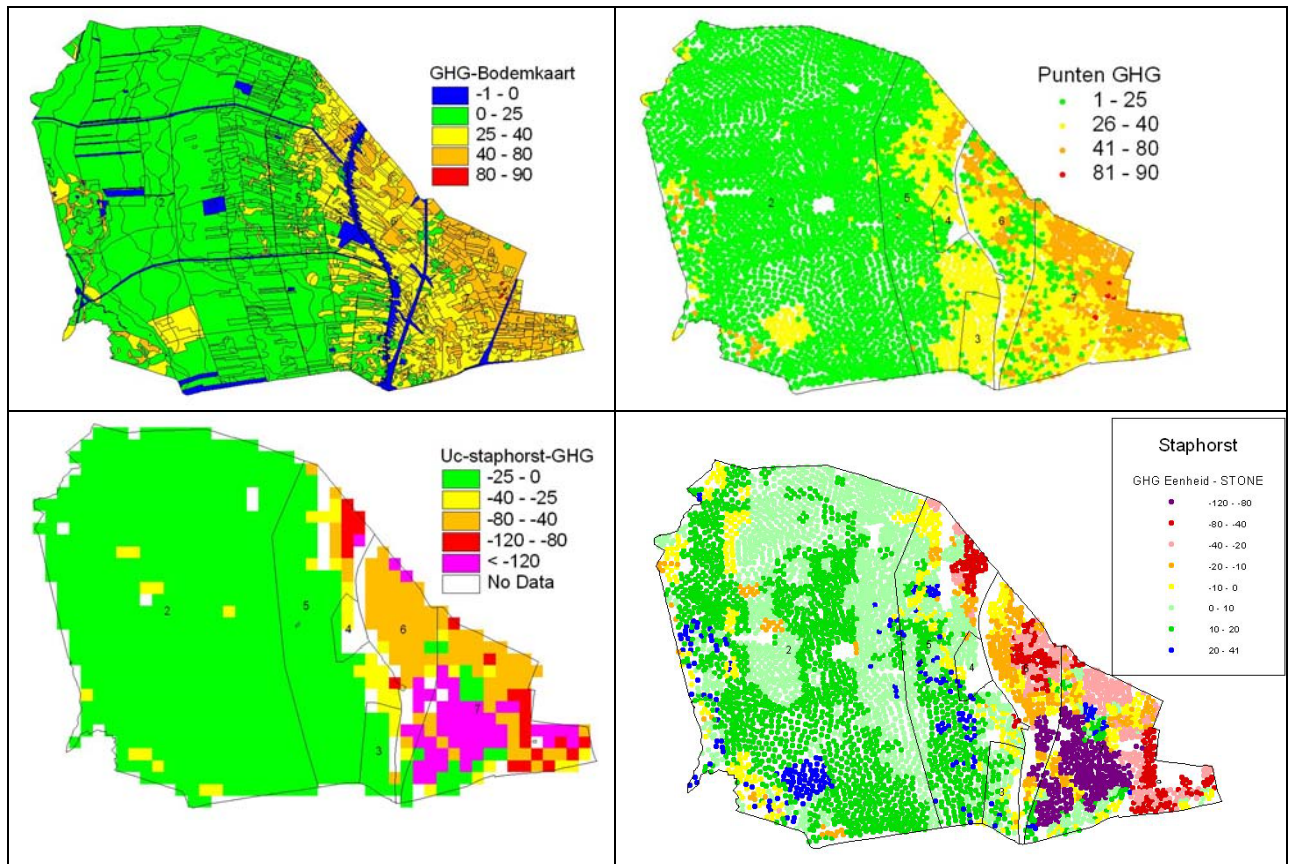
Het gemiddelde verschil tussen GHG-kartering en STONE 2.1 bedraagt 1 cm, voor de GLG is dit 8 cm (STONE natter).

De gemiddelde drooglegging voor de Krimpenerwaard is 54 cm, dit verschilt 14 cm met de gebruikte drooglegging in STONE 2.1. Bij volgende versies van de hydrologie voor STONE zullen de gevonden waarden worden toegepast.

Staphorst/Rouveen

GHG

In figuur 31 is de GHG weergegeven.

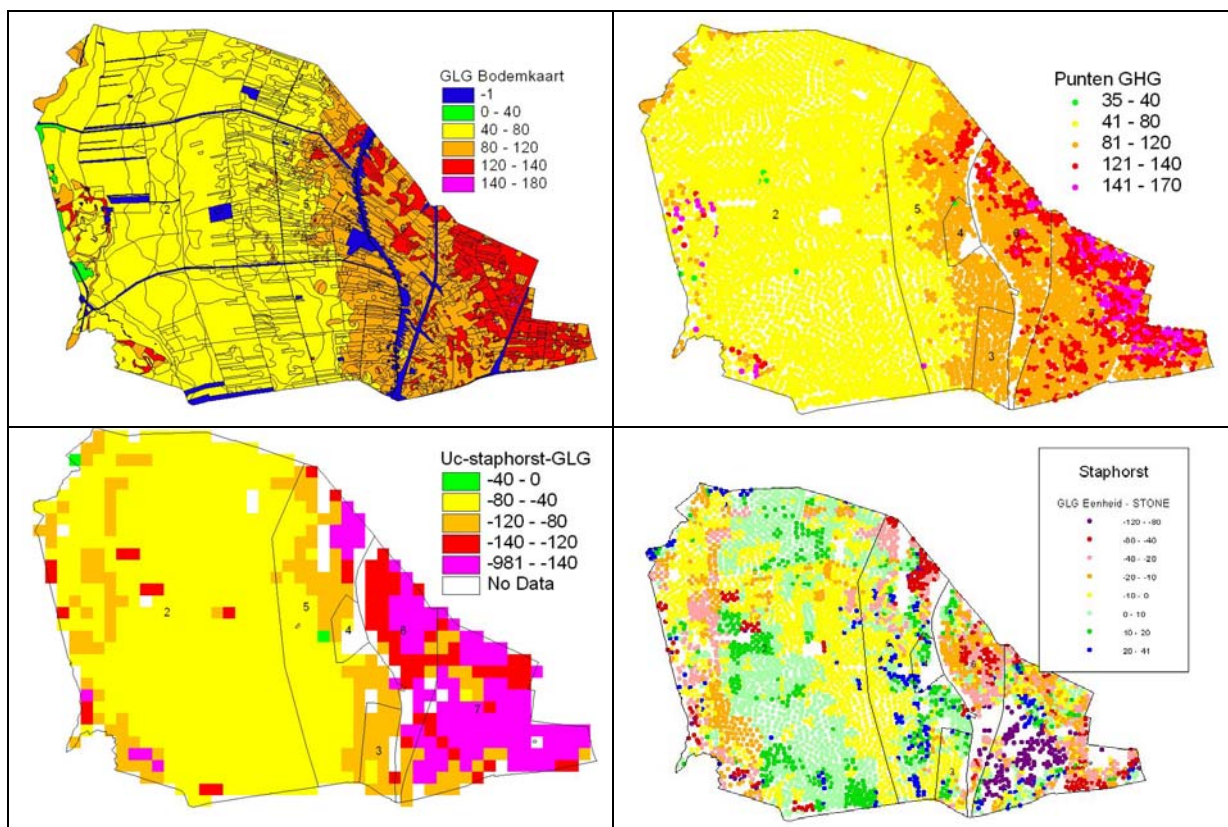


Figuur 31 GHG volgens Bodemkaart (Bod5171) (linksboven), volgens opnamepunten (rechtsboven), STONE-berekeningen (linksonder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE (rechtsonder)

Overwegend is er een goede overeenkomst tussen de recente bodemkaart en de STONE-berekeningen. Alleen in het oostelijk deel komen enkele plekke voor met te diep berekende GHG's voor in vergelijking met de kartering.

GLG

In figuur 32 is de GLG weergegeven.



Figuur 32 GLG volgens Bodemkaart (Bod5171) (linksboven), volgens opnamepunten (rechtsboven), STONE 2.1-berekeningen (linksonder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.1 (rechtsonder)

Ook hier komt de GHG voor de veengebieden redelijk overeen, alleen in het zandgebied nemen de verschillen toe (tabel 8).

Tabel 8 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE 2.1

	GHG	GHG	GHG	GLG	GLG	GLG
	punt	eenheid	STONE	punt	eenheid	STONE
Mean	25,01	26,51	33,16	82,50	80,58	96,55
Standard Error	0,14	0,13	0,73	0,37	0,35	0,87
Median	20	20	10	70	65	70
Mode	20,0	20,0	8,0	60,0	60,0	62,0
Standard Deviation	10,6	9,7	53,3	27,7	26,6	63,5
Sample Variance	112,0	93,7	2842,9	769,0	708,9	4030,4
Kurtosis	1,7	0,1	74,6	-0,4	-0,1	32,5
Skewness	1,3	0,9	6,7	0,9	1,1	4,1
Range	89	91	713	135	181	722
Minimum	1	-1	3	35	-1	36
Maximum	90	90	716	170	180	758
Sum	140889	149329	177165	464720	453889	515764
Count	5633	5633	5342	5633	5633	5342
Confidence Level(95,0%)	0,28	0,25	1,43	0,72	0,70	1.70

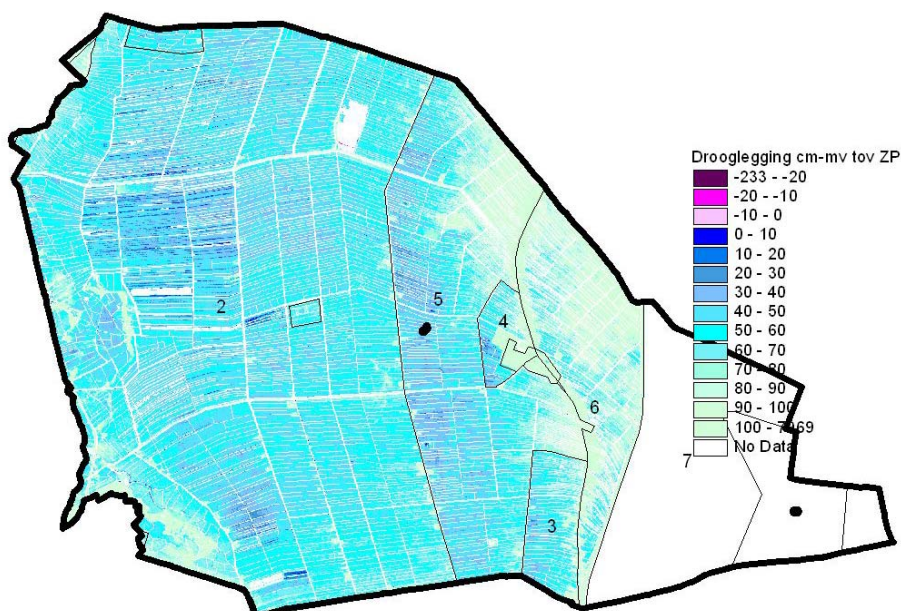
De verschillen tussen GHG voor STONE en de bodemkaart bedragen ca. 8 cm voor het gemiddelde waarbij STONE droger is terwijl voor de mediaan STONE 10 cm natter is. Deze waarden lijken beïnvloed door uitschieter naar de droge kant. Voor de GLG is de het gemiddelde 16 cm droger en de mediaan verschil nauwelijks voor de punten en voor de vlakken. Zie tabel 9.

Tabel 9 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE 2.1

	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GLG	DIFF_GLG
	punt-STONE	Eenh-STONE	punt-STONE	Eenh-STONE
Mean	-8,26	-6,81	-14,64	-16,46
Standard Error	0,67	0,66	0,67	0,69
Median	7	10	-2	-2
Mode	12,0	12,0	-1,0	-2,0
Standard Deviation	48,7	48,5	49,2	50,3
Sample Variance	2375,6	2356,7	2416,8	2530,1
Kurtosis	97,4	99,4	69,3	62,6
Skewness	-7,9	-8,0	-6,4	-6,0
Range	753	718	757	737
Minimum	-691	-681	-658	-658
Maximum	62	37	99	79
Sum	-44131	-36385	-78204	-87939
Count	5342	5342	5342	5342
Confidence Level(95,0%)	1,31	1,30	1,32	1,35

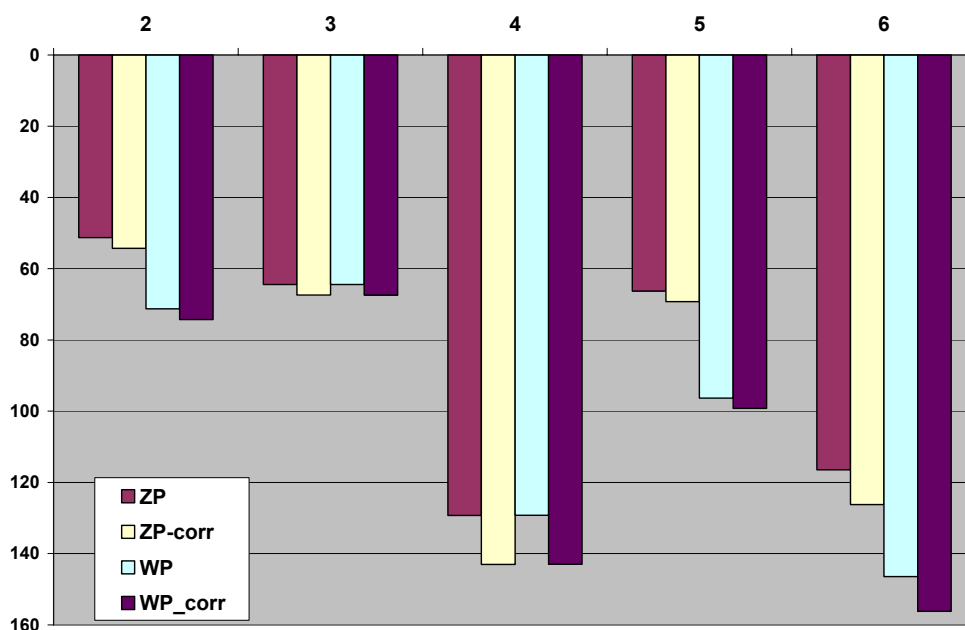
Drooglegging

Om het effect van de sloot in de AHN op de te berekenen drooglegging te vermijden zijn alleen maaiveldhoogten meegenomen die op minimaal 5 m van de sloot liggen. Zie figuur 33.



Figuur 33 Drooglegging Staphorst/Rouveen

Per peilvak is de gemiddelde drooglegging bepaald ten opzichte van zomer- en winterpeil, waarbij tevens is gecorrigeerd voor “slooteffect” (afstand van 5 m). De resultaten zijn weergegeven in grafiek (figuur 34) en tabel 10.



Figuur 34 Drooglegging Staphorst/Rouveen per peilvak

Tabel 10 Drooglegging per peilvak, gebied Staphorst/Rouveen

Peilvak	ZP	ZP-corr	WP	WP_corr
2	51.3	54.3	71.3	74.3
3	64.5	67.4	64.5	67.4
4	129.3	143.0	129.2	143.0
5	66.3	69.2	96.3	99.2
6	116.4	126.2	146.4	156.2

Conclusie

De gemiddelde drooglegging voor het peilvak (2) dat het meeste overeenkomt met een veenweidegebied heeft een drooglegging in de zomer van 54 cm en in de winter van 74 cm. Op basis van de mediaan is STONE 2.1 gemiddeld natter dan de kaart voor de GLG zijn de verschillen geringer: ca 2 cm.

3.2.3 Droge landbouw op zandgronden

Op verzoek van MNP is een uitgebreide analyse uitgevoerd van de verschillen in arealen droge landbouwgronden tussen de Gd-kaart en STONE 2.1 en verschillen tussen de meetpunten van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en STONE 2.1. De aanleiding was dat het areaal droge landbouw op zandgronden (GHG dieper dan 70 cm –mv) volgens STONE 2.1 ruim 100.000 ha (16%) groter is dan volgens de Gd-kaart. De expliciete vraag was: is daar een verklaring voor?

De uitgebreide analyse hierover is niet in dit rapport opgenomen maar kan op aanvraag worden toegestuurd.

De voornaamste conclusies van de analyse zijn:

- Door STONE 2.1 wordt het areaal droge landbouwgronden met **5% overschat**, als gevolg van vooral het niet meenemen van schijngrondwaterspiegels, te diep berekende grondwaterstanden van droge gt's en het niet meenemen van de opstuwing in waterlopen;
- De Gd-methode **onderschat** genoemd areaal met **7%**, als gevolg van de afvlakkende werking gaande van gerichte opname naar GxG en van punt naar vlak en door het niet expliciet in model brengen van gedraineerde percelen. Vermelde percentages zijn nadrukkelijk schattingen (waarbij de schatting voor de Gd-methode harder is dan die van STONE 2.1). Dat STONE 2.1 het areaal overschat en de Gd-methode onderschat is een harde conclusie. Daarmee is het oorspronkelijke verschil van 16% redelijk goed te verklaren;
- De vergelijking van de STONE 2.1-resultaten met de LMM-metpunten ondersteunen de conclusie dat STONE 2.1 gemiddeld de grondwaterstanden in het natte seizoen te diep berekend. De mate van afwijking is echter voor de mediaanwaarde groter dan verwacht kan worden uit de vergelijking tussen de Gd-methode en STONE 2.1. De meest aannemelijke verklaring is dat bij de middeling van de grondwaterstanden per bedrijf en daarna de mediaan bepalen de mediaan lager is dan de mediaan van alle LMM-metpunten.

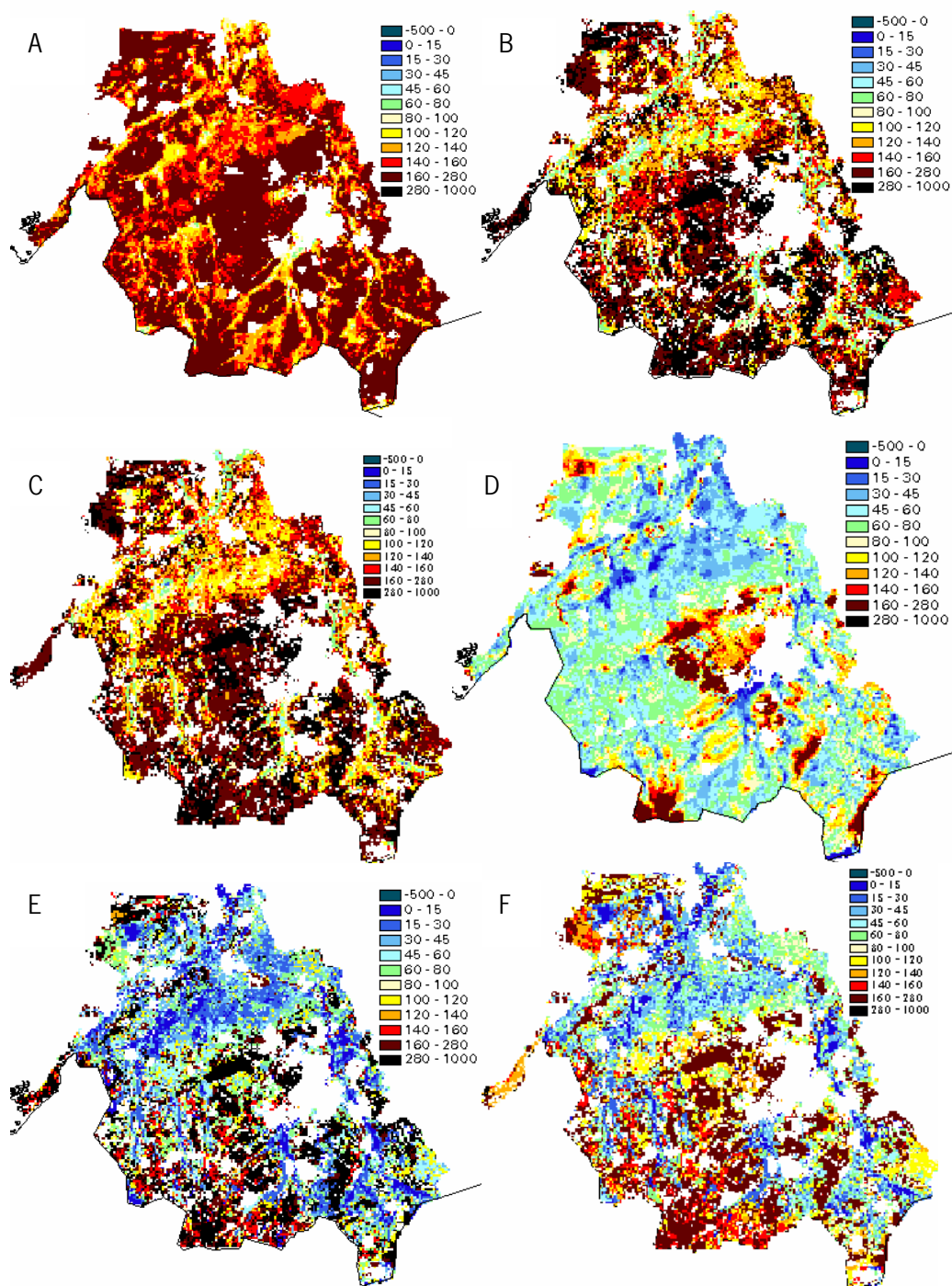
3.2.4 Waterschappen

Van de Gt-kaart is algemeen bekend dat daarop de gebieden over het algemeen te nat worden weergegeven. Voor grote delen van Nederland is de Gt-kaart geactualiseerd en beschikbaar voor nadere analyse. Voor de beheersgebieden van de waterschappen De Dommel en Reest en Wieden, zijn de STONE-berekeningen vergeleken.

Waterschap De Dommel

De geactualiseerde Gt-kaart is berekend uit een GLG-kaart en een GHG-kaart. Deze 'geactualiseerde' GHG- en GLG-kaarten zijn gebruikt voor de analyse en worden samen de geactualiseerde GxG genoemd (zie figuur 35).

Uit de figuur blijkt dat STONE 2.1 de berekende GHG en GLG wat in de extremen trekt. D.w.z. waar de geactualiseerde GxG een ondiepe grondwaterstand laat zien, berekent STONE 2.1 een nog ondiepere grondwaterstand, en waar de geactualiseerde GxG een diepe grondwaterstand voorspelt berekent STONE 2.1 een nog diepere grondwaterstand. De geactualiseerde GxG heeft ook geen grondwaterstanden beneden de 280 cm-mv. In STONE komen deze wel voor.



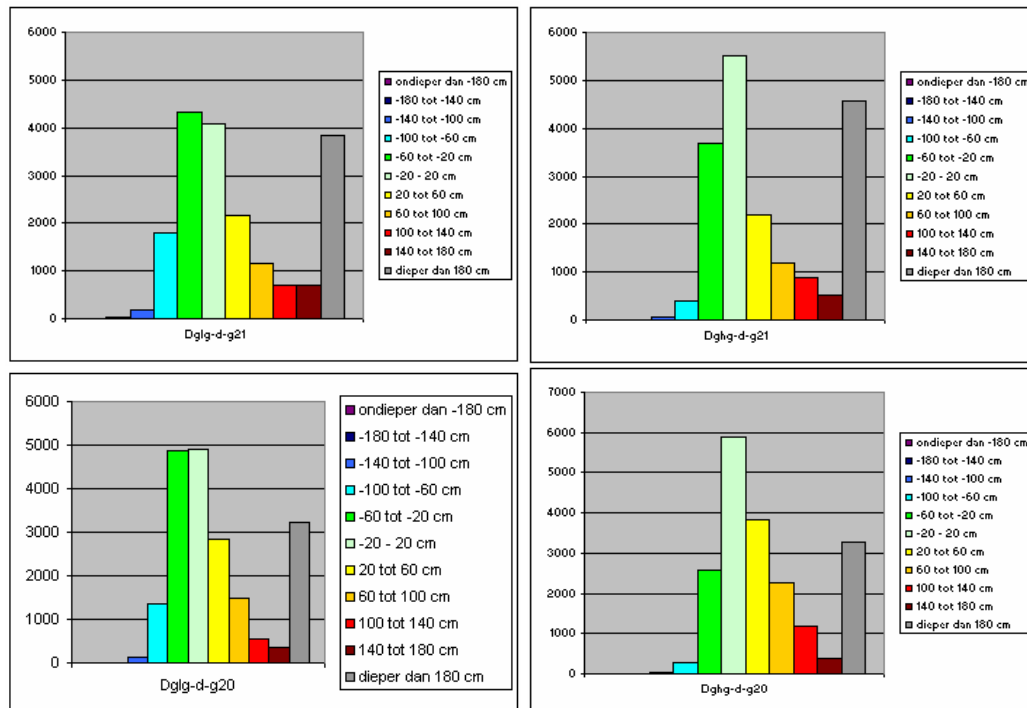
Figuur 35 Resultaten analyse grondwaterstanden voor het beheersgebied van De Dommel.

A. De GLG; de geactualiseerde GxG; B. GLG, STONE 2.; C, GLG STONE 2.0.

D. De GHG, de geactualiseerde GxG; E. GHG, STONE 2.1; F, GHG STONE 2.0.

De legenda is in cm -mv

De afwijkingen tussen de berekende en gemeten GLG en GHG zijn in grafiek gezet (figuur 36).

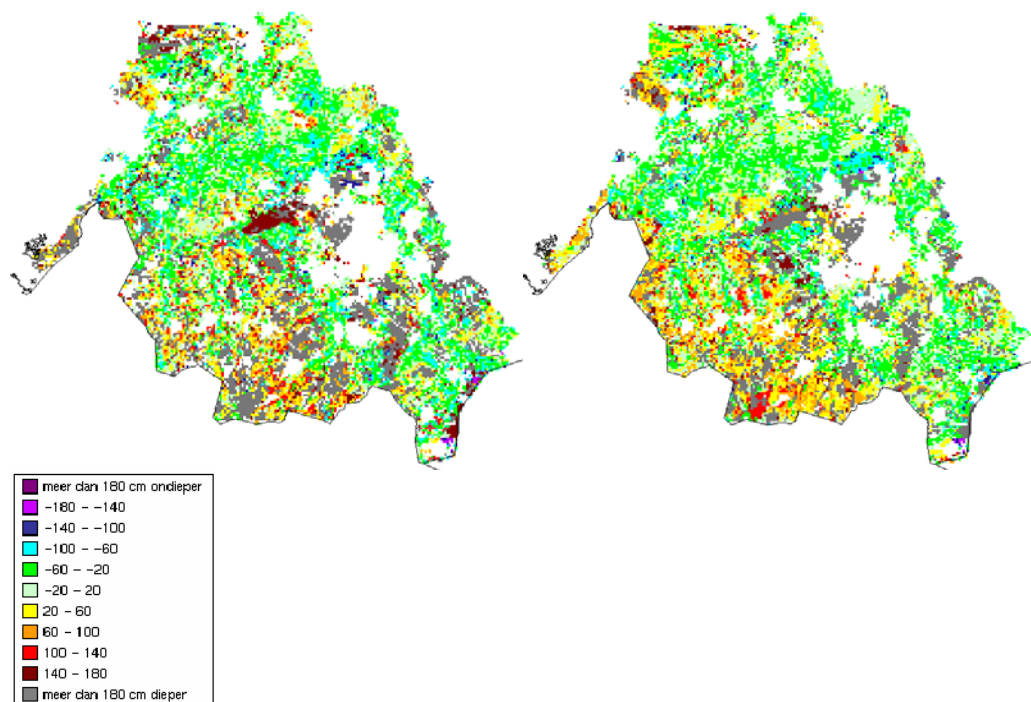


Figuur 36 Afwijking van de berekende GLG (links) en GHG (rechts) voor de geüpdate GxG van het beheersgebied van De Dommel. Boven STONE 2.1 en onder STONE 2.0. Geplot zijn verschillende klassen afwijkingen (x-as, in cm) tegen het aantal waarnemingen (y-as)

Uit de figuren blijkt dat:

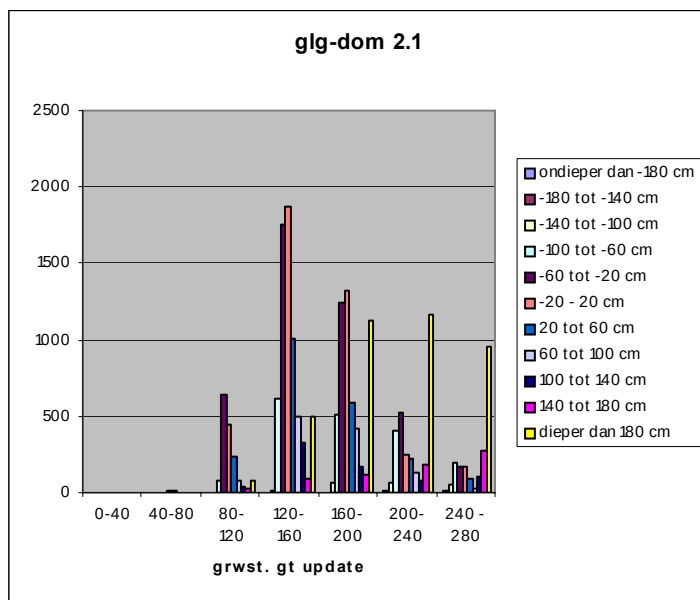
- de klasse dieper dan 180 cm neemt toe. In STONE 2.0 is de onderrand van uitzakkende plots aangepast om te zorgen dat de plots minder uitzakten en de grondwaterstand bovenin bleef hangen. In STONE 2.1 is de onderrand voor deze plots anders aangepast. Op basis van de stijghoogte is een 'evenwichts-grondwaterstand' mee gegeven aan een plot. Deze grondwaterstand is blijkbaar dieper dan gekarteerd, waardoor er een toename van de klasse dieper dan 180 cm is. In de Dommel komen ook relatief veel gronden voor waarvoor gecorrigeerd is;
- de verdeling van de fout in de GHG is verbeterd. De 'negatieve' klassen zijn wat gegroeid t.o.v. de positieve klassen;
- zowel de GLG als de GHG van STONE 2.1 lijken minder op de geüpdate GxG-kaart dan de GLG en GHG van STONE 2.0. De verklaring is dat in STONE 2.0 de zakkers anders zijn aangepast.;

De verschillen tussen de gemeten en berekende GLG's en GHG's zijn ook ruimtelijk geanalyseerd. Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 37.



Figuur 37 Ruimtelijk verspreiding van de afwijking van de geactualiseerde GLG-kaart met de STONE-GLG voor het beheersgebied van De Dommel. Links STONE 2.1, rechts STONE 2.0

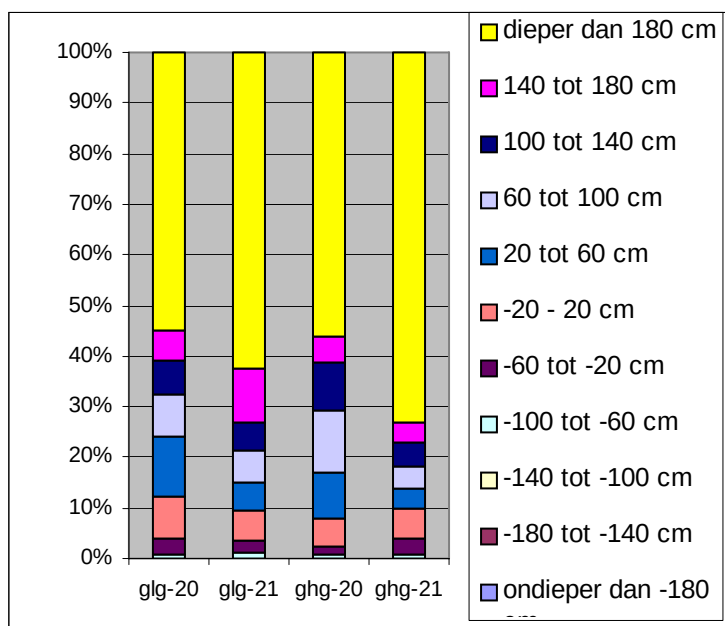
Het areaal dieper dan 180 cm (grijze gebieden) lijkt zich te concentreren op de drogere delen van de Dommel. In een nadere analyse wordt ook duidelijk dat juist in de gebieden waar de geüpdate GXG-kaart een diepe grondwaterstand voorspelt, STONE een nog diepere grondwaterstand berekend. Dit wordt ook geïllustreerd in figuur 38.



Figuur 38 De verschillen tussen de berekende GLG van STONE2.1 en de geüpdate GLG van de Dommel. Per grondwaterklasse van de geüpdate GLG worden de berekende verschillen aangegeven

In de gebieden waar de geactualiseerde GLG meer dan 160 cm onder maaiveld ligt is het verschil relatief vaak meer dan 180 cm! De relatief lage grondwaterstanden worden dus met een grotere betrouwbaarheid berekend dan de relatief drogere grondwaterstanden. De ondiepe grondwaterstanden worden vaak wat te nat gemodelleerd en de diepe grondwaterstanden meestal te droog.

Op de droge gronden is het verschil tussen de geactualiseerde GxG en berekening (STONE 2.1) erg groot. In deze gebieden komen ook veel uitzakkers voor. Voor de Dommel is daarom gekeken naar de verschillen in GLG en GHG tussen de zogenoemde uitzakkers en de meting.

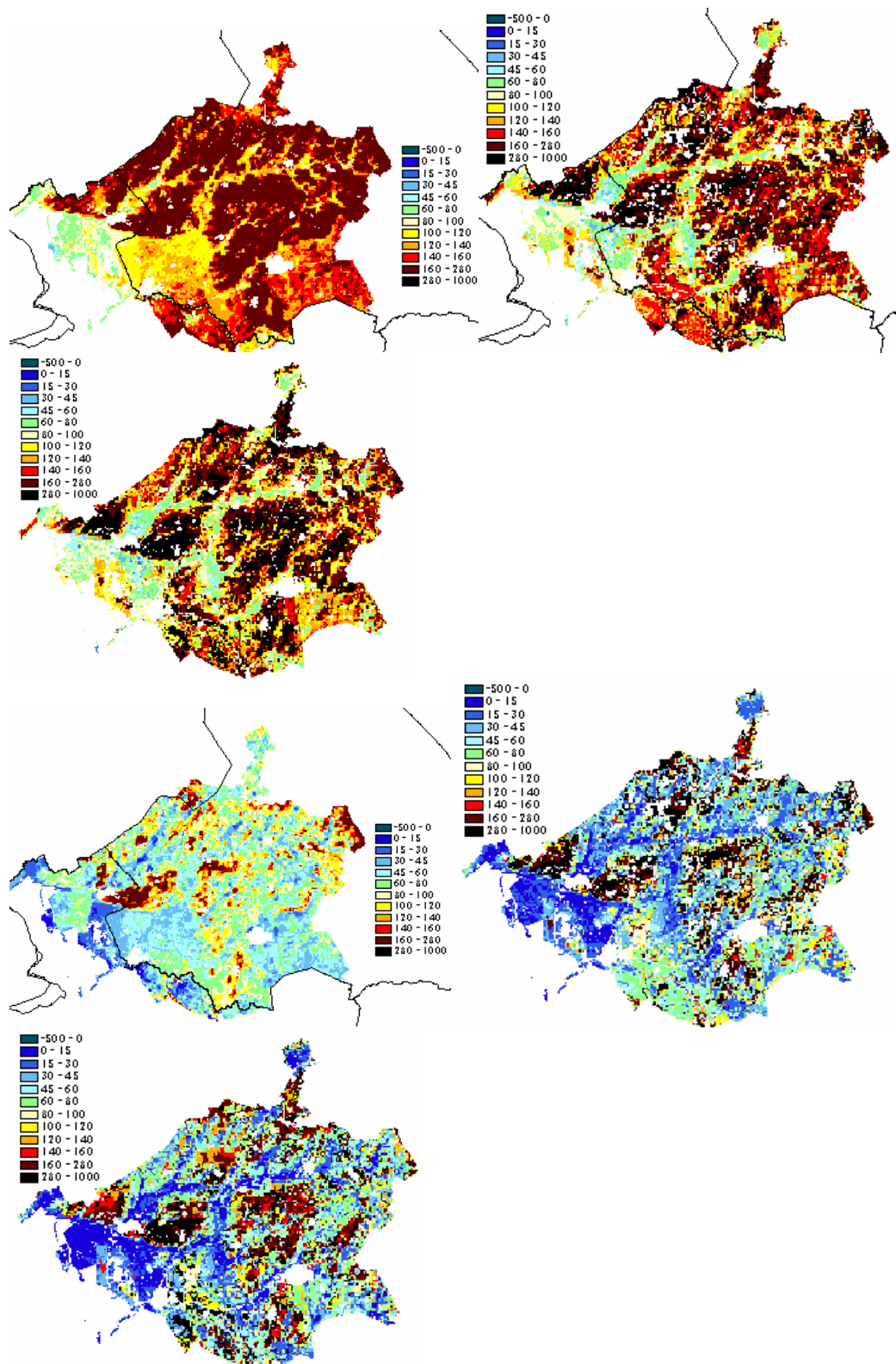


Figuur 39 Afwijking van GHG en GLG in de uitzakplots van de Dommel met de geüpdate Gt-kaart. De afwijkingen zijn uitgezet als het percentage van het totaal aantal plots

Uit figuur 39 blijkt dat de uitzakkers inderdaad vaak een groot verschil met de meting laten zien. In STONE 2.1 zijn de verschillen groter dan in STONE 2.0.

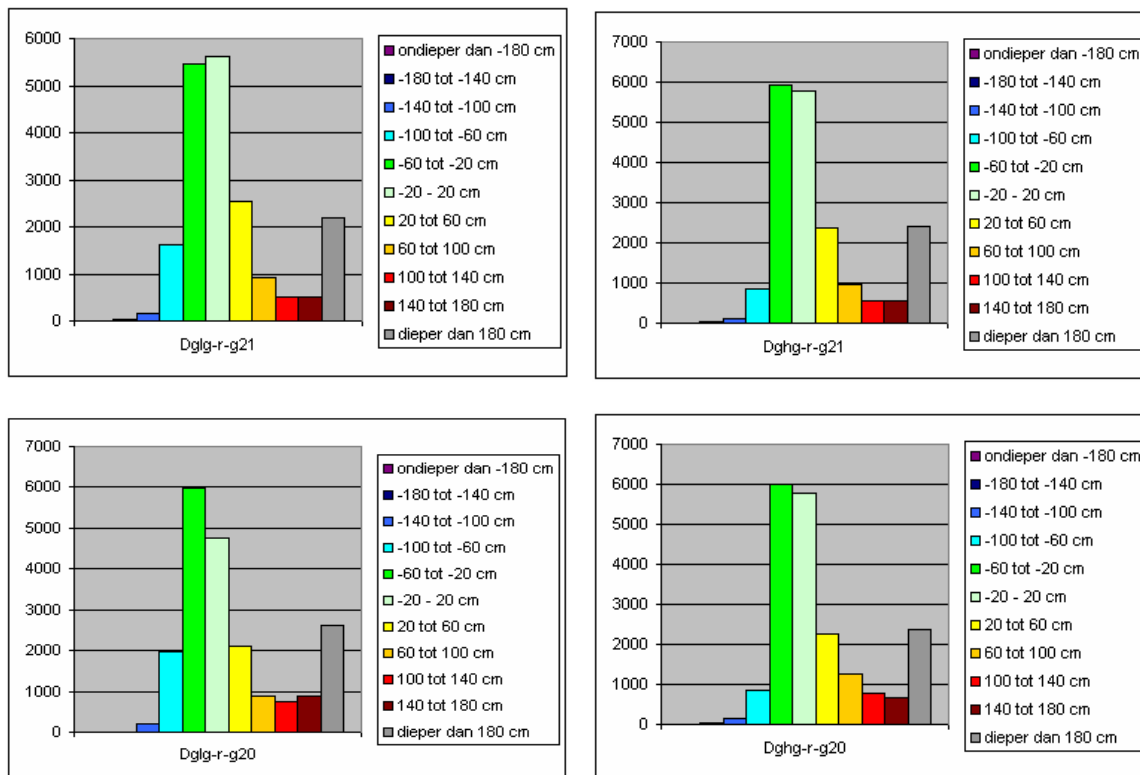
Waterschap Reest en Wieden

Voor het beheersgebied van het waterschap Reest en Wieden is een vergelijkbare analyse uitgevoerd. Wat betreft de absolute vergelijking zijn de uitkomsten vergelijkbaar met die van De Dommel. STONE lijkt de GHG en de GLG (net als voor de Dommel) wat in extremen te trekken. Zoals eerder opgemerkt: de diepste grondwaterstand in de geactualiseerde GLG-kaart komt niet beneden de 280 cm –mv. In STONE 2.1 worden echter wel diepere grondwaterstanden berekend (zie figuur 40).

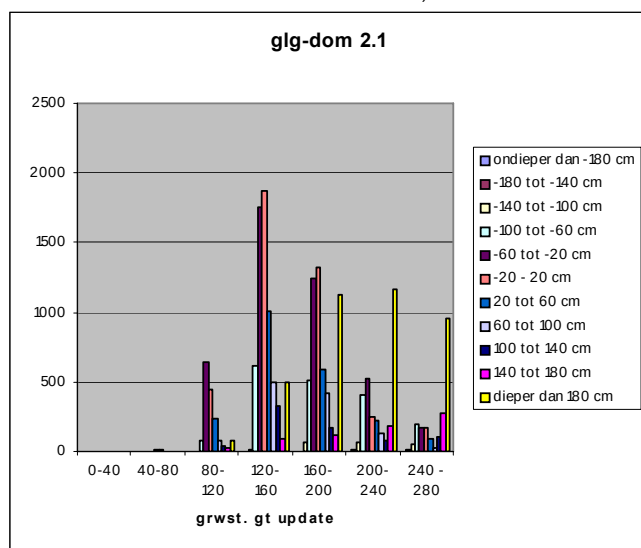


Figuur 40 Resultaten analyse grondwaterstanden beheersgebied van Reest en Wieden. Boven de GLG onder de GHG. Van links naar rechts de geactualiseerde GxG-kaart, STONE 2.1 en STONE 2.0. Legenda in cm -mv

De verschillen tussen STONE 2.1 en STONE 2.0 (figuur 41 en 42) zijn minder groot dan in het gebied van de Dommel. Uit de verdeling van de verschillen tussen de geüpdate GxG-kaart en de berekende GHG en GLG is af te lezen dat STONE 2.1 de GLG beter modelleert dan STONE 2.0. Voor de GHG treden geen noemenswaardige verschillen tussen STONE 2.1 en STONE 2.0 op. In beide gevallen is de GHG wat aan de natte kant.



Figuur 41 Verschillen tussen de GLG en GHG van de geactualiseerde GxG-kaart en de STONE-berekeningen voor het beheersgebied van Reest en Wieden. Boven de verschillen met STONE 2.1, beneden met STONE 2.0. Links de GLG, rechts de GHG



Figuur 42 De verschillen tussen de berekende GLG van STONE 2.1 en de geactualiseerde GLG van het beheersgebied van Reest en Wieden. Per grondwaterklasse van de geactualiseerde GLG zijn de berekende verschillen aangegeven

In de gebieden waar de geactualiseerde GLG meer dan 160 cm -mv ligt is de afwijking relatief vaak meer dan 180 cm! De ondiepe grondwaterstanden worden dus met een grotere betrouwbaarheid berekend dan de diepere grondwaterstanden. Daarnaast geldt dat de ondiepe grondwaterstanden worden vaak wat te nat gemodelleerd en de diepe meestal te droog.

3.2.5 Conclusies

De volgende conclusies zijn te trekken:

1. Uit de analyse van de grondwaterstanden blijkt dat de gemodelleerde Gt's in een gering areaal zijn gewijzigd, voornamelijk een verschuiving van in de kleibouwlonden van veelal Gt VI naar Gt VII door een hogere verdamping van kleibouwland. De wijzigingen ten opzichte van de vorige schematisering lijken plausibel door een betere modellering van processen.
2. De nieuwe verdeling van gemodelleerde Gt's ten opzichte van gekarteerde Gt's lijken ook plausibel. Hierbij wordt gesteund op eerdere analyses van vergelijking tussen berekende grondwaterstanden en steekproef waarnemingen.
3. Uit de analyse van de GLG en GHG blijkt dat STONE 2.1 de grondwaterstanden iets beter lijkt te modelleren dan STONE 2.0.
4. Ondiepe grondwaterstanden worden beter gemodelleerd dan diepe grondwaterstanden. Waarbij kan worden aangetekend dat de ondiepe grondwaterstanden vaak wat te nat worden berekend en de diepe grondwaterstanden meestal te droog.
5. In de 'uitzak-plots' treedt ook een verschuiving op van Gt VI naar Gt V en VI. De berekende grondwaterstand blijkt bovendien vaak fors dieper te liggen dan de meting. De klasse dieper dan 180 cm (in de histogrammen) wordt voor een aanzienlijk deel gevuld met 'uitzakkers'. De verklaring hiervoor is een te lage stijghoogte als onderrandvoorwaarde.
6. Hoewel de verdeling van de grondwaterstanden over Nederland plausibel lijkt, blijkt uit werkelijke vergelijking van grondwaterstanden met metingen op puntlokaties dat er forse afwijkingen kunnen voorkomen van gemodelleerde grondwaterstanden, waarbij zowel te natte als te droge grondwaterstanden worden gemodelleerd. Dit wijst er op dat met de gemodelleerde grondwaterstanden alleen uitspraken kunnen worden gedaan over grote gebieden en dat de resultaten niet op lokale schaal van toepassing zijn, hetgeen ook te verwachten is.

3.3 Waterbalansen

In een aparte rapportage (Massop *et al.*, 2005) is uitgebreid aandacht besteed aan de berekende verdamping en het neerslagoverschot. De voornaamste conclusies zijn dat de verdamping van grasland te hoog lijkt en die voor bouwland duidelijk realistischer dan berekend met STONE 2.0. Toetsing van de actuele berekende verdamping aan veldwaarnemingen en regionale waterbalansen is echter moeizaam omdat regionale waterbalansen een te beperkte nauwkeurigheid hebben om hiermee de restpost verdamping goed te berekenen.

3.4 Vergelijking drainagefluxen STONE 2.1 met STONE 2.0

3.4.1 Resultaten

Voor de berekeningen met SWAP zijn de ontwateringsystemen gesorteerd naar ontwateringsdiepte, waardoor de systeemvolgorde is gewijzigd. Bovendien kent het STONE-

instrumentarium een maximum van 3 drainagesystemen, waardoor een omzetting van 5 naar 3 systemen is doorgevoerd, conform STONE 2.0:

- de fluxen van het 4e en het 5e systeem zijn altijd bij het 3e systeem worden opgeteld;
- de buisdrainage altijd in het 3e systeem terecht is gekomen.

De drie systemen, die voor STONE 2.1 gebruikt worden, hebben zijn gekarakteriseerd in tabel 11.

Tabel 11 Karakteristieken van de 3 ontwateringssystemen die in STONE 2.1 worden gehanteerd.

Oppervlaktewatersysteem	Omschrijving
1e nivo	lange verblijftijd, diep en groot systeem (kanaal, grote rivier)
2e nivo	matig lange verblijftijd, matig diep en middelgroot (rivier, bredere sloot, diepe drainage)
3e nivo	korte verblijftijd, ondiep (droogvallende sloot, ondiepe drains, maaiveldsdrainage, buisdrainage)

Om zicht te geven op de eventuele verschuivingen in de grootte van de fluxen en in de verdeling over de typen ontwateringsmiddelen zijn de drainagefluxen van STONE 2.0 en STONE 2.1 met elkaar vergeleken. De resultaten zijn gegeven in de figuren 43 t/m 46 (pag 56 en 57) voor resp. runoff, drainage van systeem 3, 2 en 1.

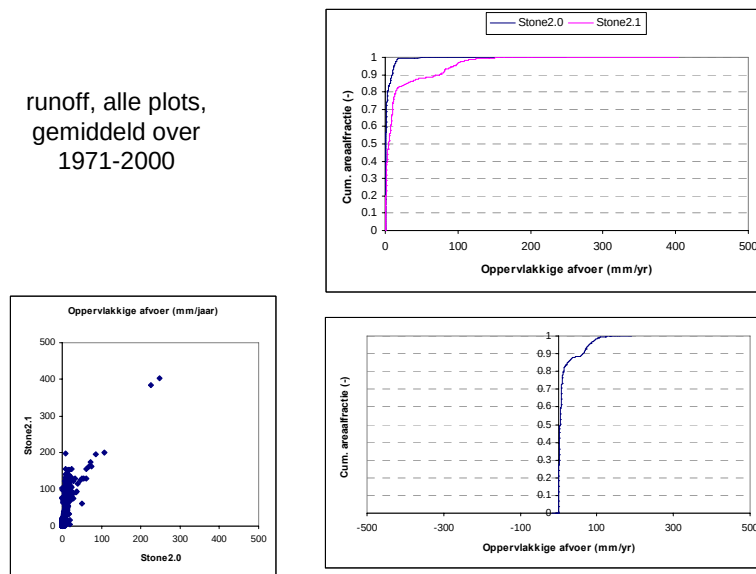
Elke figuur heeft drie onderdelen: linksonder staat de fluxen 1 : 1 tegen elkaar uitgezet, rechtsonder is een cumulatief frequentiediagram gemaakt van de verschillen en rechtsboven staat het cumulatieve frequentiediagram van de verschillende berekeningen.

3.4.2 Conclusies

Op basis van de resultaten zijn de volgende conclusies te trekken:

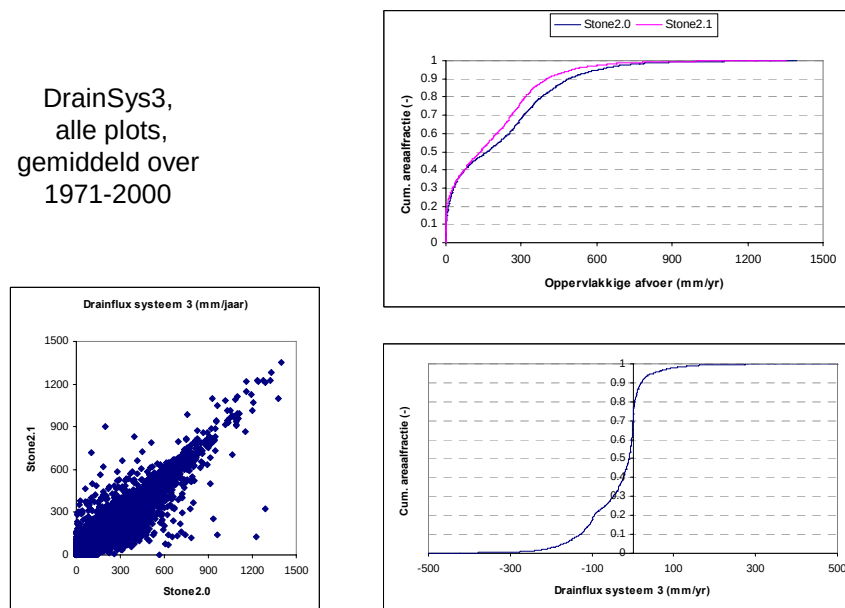
- de oppervlakkige afvoer (runoff) is toegenomen mede door de introductie van temperatuurgerelateerde processen (sneeuw, vorst);
- de drainagefluxen van systeem 3 zijn afgenomen doordat: i) runoff meer water heeft afgevangen en ii) de ruimtelijke verdeling van drainbuizen is gewijzigd;
- de drainagefluxen van systemen 2 en 1 zijn in beperkte mate gewijzigd door ruimtelijke aanpassingen in buisdrainage en/of beregening.

runoff, alle plots,
gemiddeld over
1971-2000



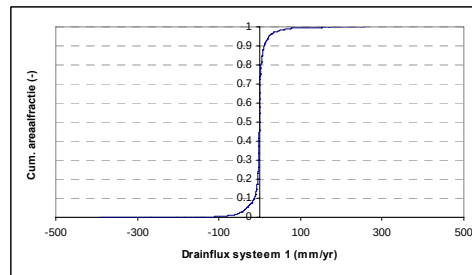
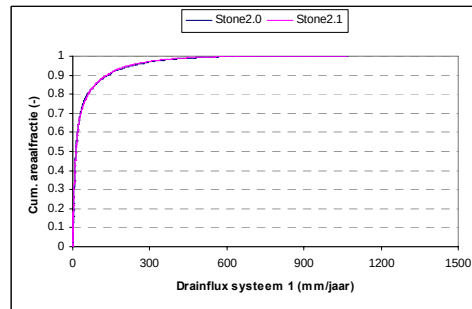
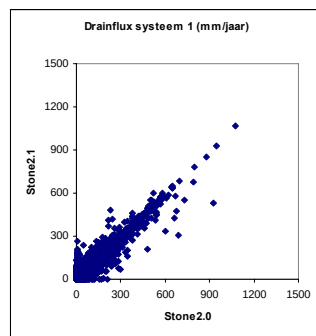
Figuur 43 Vergelijking van runoff berekend met STONE 2.0 en STONE 2.1(mm/d)

DrainSys3,
alle plots,
gemiddeld over
1971-2000



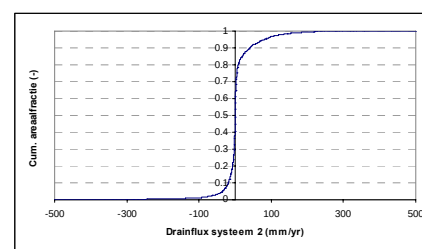
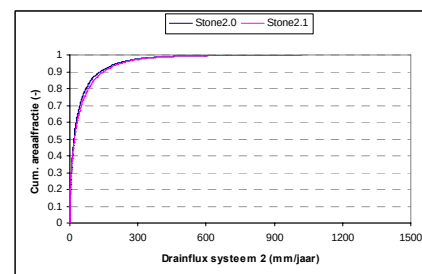
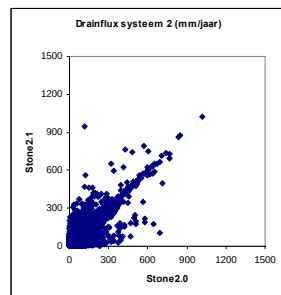
Figuur 44 Vergelijking van drainagefluxen van systeem 3 berekend met STONE 2.0 en STONE 2.1 (mm/d)

DrainSys1,
alle plots,
gemiddeld over
1971-2000



Figuur 45 Vergelijking van drainagefluxen van systeem 2 berekend met STONE 2.0 en STONE 2.1 (mm/d)

DrainSys2,
alle plots,
gemiddeld over
1971-2000



Figuur 46 Vergelijking van drainagefluxen van systeem 1 berekend met STONE 2.0 en STONE 2.1 (mm/d)

4 Conclusies, discussie en aanbevelingen

Dit hoofdstuk geeft weer tot welke conclusies de reparatie-acties hebben geleid en welke discussiepunten resteren. Ook worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

4.1 Conclusies

De centrale vraag is of de resultaten van de hydrologie voor STONE 2.1 in hydrologische zin beter zijn dan die van versie 2.0. De volgende verbeteringen zijn gerealiseerd:

1. De berekening is vooral in het zandgebied toegenomen en realistischer benaderd.
2. De oppervlakkige en oppervlakte-afvoer tijdens en vlak na vorstperiodes wordt beter berekend.
3. De buisdrainage is gewijzigd volgens een recente inventarisatie en door controle bij waterschappen verbeterd.
4. De verdamping van maïs en bouwland is hoger en beter in overeenstemming met de praktijk c.q. expertise.
5. De verdamping van bos is niet meer gelijk aan de verdamping van gras. Gezien de aanzienlijke verschillen in verdamping van gras en bos is dat een duidelijke verbetering. Door de introductie van loof- en naaldbos is het aantal zakkers wel toegenomen (en gerepareerd).
6. De onderuitzakkers zijn gerepareerd.
7. De doorzakkers zijn in versie 2.0 niet geïdentificeerd (wat als een duidelijke tekortkoming is te beschouwen) maar nu wel. Ook zijn ze gerepareerd.
8. Het aanpassen van de wortelopname van maïs en aardappelen op plots die zo nat waren dat de gewasverdamping regelmatig tot nul reduceerde, is hydrologisch gezien een verslechtering maar was voor de ANIMO-berekeningen een noodzakelijke aanpassing.

Uit de analyse van twee veenweidegebieden kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De GHG en GLG berekend met het STONE-instrumentarium komen goed overeen met recente karteringen van de GHG en GLG in de Krimpenerwaard en Staphorst/Rouveen. Overwegend is STONE 2.1 iets natter vergeleken met STONE 2.0.
2. De gemiddelde drooglegging in veenweidegebieden varieert binnen nauwe grenzen, namelijk tussen 45 en 60 cm. Gemiddeld bedraagt de huidige drooglegging 54 cm. In STONE 2.1 wordt de droogleggingen berekend op 40 cm en is dus te gering.

Een belangrijke vraag is of de geschetste aanpassingen zich ook vertalen naar een betere plausibiliteitsbeoordeling. Daartoe zijn de volgende vergelijkingen uitgevoerd met bijbehorende conclusies:

1. Beschouwing van de langjarig gemiddelde waterbalans voor Nederland. De actuele evapotranspiratie van grasland was en is aan de hoge kant (gemiddeld 531 mm/jaar op niet beregend grasland). Op basis van expertise zou een 30 mm lagere verdamping zijn te verwachten. Waarschijnlijk vindt tijdens droge zomers onvoldoende reductie van de verdamping plaats.
2. Vergelijken van berekende grondwaterstandsverlopen, en vooral daarvan afgeleide kengetallen zoals de GHG en GLG, met die berekend met STONE 2.0 of met gekarteerde (al of niet geactualiseerde) grondwaterstandsverlopen. Ten opzichte van STONE 2.0 is de overeenkomst groot. Wel is in 9% van het areaal een andere grondwatertrap gesimuleerd. Daarbij is het aandeel Gt VII en VII* toegenomen, in vooral zeekleigebied. Vergelijking van de berekeningen van STONE 2.1 met stambuisgegevens en gerichte opnamen van de LG3-95 en HG3-95 laat zien dat grote afwijkingen tussen gemodelleerde en gemeten grondwaterstanden voorkomen. Ten dele is die toe te schrijven aan het vergelijken van vlakgemiddelde waarnemingen versus waarnemingen op

puntlocaties. Daarbij dragen maaiveldverschillen tussen de puntlocatie en (de variatie in) het gemiddelde maaiveld in de STONE-plots zeker bij aan ruis. De daarbij geproduceerde histogrammen van afwijkingen tussen berekende en 'gemeten' HG3-95 resp. LG3-95 laten erg veel spreiding zien, met een lichte tendens naar te nat berekend. De ruimtelijke beelden geven opvallend genoeg regionale tendenties. Zo is bijvoorbeeld Overijssel duidelijk te droog berekend vergeleken met de gerichte opnamen. De indruk bestaat dat de deelgebiedsindeling voor de Gt-actualisatie een rol speelt. Uit de vergelijking tussen gemeten en berekende grondwaterstanden blijkt nogmaals dat met de hydrologie voor STONE geen uitspraken kunnen worden gedaan op lokale schaal.

4.2 Discussie

Ten opzichte van de vorige versie van de hydrologie voor STONE 2.0 zijn er duidelijke verbeteringen maar er resteren nog duidelijke verbeterpunten:

1. De grootste tekortkoming is dat noodzakelijkerwijs is teruggevallen op oude freatische lekweerstand en onderrandvoorwaarden (uit versie 2.0). Daarbij is de recent gewijzigde verdamping in SWAP niet teruggekoppeld naar de onderrandvoorwaarde, berekend met het grondwatermodel NAGROM. Naar verwachting is in verdere terugkoppeling tussen SWAP en NAGROM nog de meeste winst te behalen, vooral door de koppeling te differentiëren in de tijd, door verschillende klimatologische jaren. Dergelijke differentiatie, die in feite nu ten dele benaderd is voor de plots met zakkers, is waarschijnlijk vooral in de zandgebieden sterker van invloed dan het ontbreken van de terugkoppeling van gewijzigde bodemverdamping. Dit moet echter nog nader onderzocht worden.
2. Ook bij de huidige versie wordt gewerkt met vrijwel niet met de afvoer variërende openwaterstanden. In vooral het hellende gebied is dat niet juist. Er is een voorstel geformuleerd om dit te repareren maar dat is door tijd- en geldgebrek niet doorgevoerd.
3. Het aantal te repareren zakkers is aanzienlijk. De reparatie-actie leidt hierbij tot een (aanzienlijke) vermindering van de wegzijging waardoor de balans van kwel en wegzijging die via NAGROM was gewaarborgd, is verstoord. Over heel Nederland is dat bijvoorbeeld 20 mm minder wegzijging. Dit is een duidelijk voorbeeld van een inconsistentie die hydrologisch gezien vrij bezwaarlijk is.
4. Uit de analyse van de verschillen in arealen droge landbouw op zandgronden tussen de Gd-methode³ en STONE 2.1 komt naar voren dat vooral de droge grondwatertrappen te diep worden berekend waardoor genoemd areaal door STONE 2.1 met naar schatting 5% wordt overschat. Als mogelijke verklaringen zijn opgevoerd het niet meenemen van schijngrondwaterspiegels (meetbare stijghoogteverschillen in het freatisch pakket) en het voorkomen van 'zakkers'. Dit is een duidelijke aanwijzing dat in conceptueel opzicht nog verbeteringen nodig zijn. Voor de reparatie van de zakkers wordt een reparatie-actie aanbevolen. Het wel of niet meenemen van schijngrondwaterspiegels vereist nadere analyse.

4.3 Aanbevelingen

Aanbeveling 1

Door het vrij groot aantal verbeteringen ten opzichte van STONE 2.0 is de aanbeveling om de rekenresultaten van de hydrologie voor STONE 2.1 te gebruiken voor de mestevaluatie in plaats van versie 2.0, omdat de verdamping van natuur en kale grond beter wordt berekend en de meest recente databestanden voor berekening en drainage zijn gebruikt.

³ Methode om aan de hand van gerichte opnamen en geostatistische methoden de grondwaterstandsdynamiek kaartdekkend vast te stellen.

Aanbeveling 2

De rekenresultaten van STONE 2.1 zoals ze er liggen zijn, gelet op de gemiste kansen, worden **niet** vrijgegeven voor ander gebruik dan voor de landelijke Evaluatie Mestbeleid 2004. De meest noodzakelijk geachte verbetering is het verbeteren van de koppeling tussen de hydrologie van de plots en het regionaal, verzadigd-grondwatersysteem, waardoor het probleem van de zakkers wordt opgelost. Dat moet een iteratieve koppeling zijn;

De overige noodzakelijk geachte verbeteringen zijn, gegeven de plotbenadering, redelijk snel te realiseren en dienen eerst te worden uitgevoerd voordat de resultaten worden vrij gegeven voor gebruik door derden.

Aanbeveling 3

De huidige indeling voor STONE is gegenereerd op basis van de rond 2000 beschikbare basisbestanden. Elke keer als er nieuwe basisbestanden worden gebruikt, kan er bij de toekenning aan de STONE-plots onzuiverheid ontstaan. Voor sommige basisbestanden bestaat er grote samenhang met reeds gespecificeerde parameters en is toekenning niet bezwaarlijk. Voor andere parameters, waaronder een mogelijke toekomstige wijziging van de geohydrologie kan dit grotere consequenties hebben en is het wenselijk om de samenstelling van de plots te actualiseren. Bij het niet actualiseren van de plots zou dit waarschijnlijk betekenen dat er dan over grotere oppervlakten moet worden geaggregeerd om goede uitspraken te kunnen doen. In tijden waarin juist echter steeds meer wordt verfijnd en ingezoomd is de constatering dat plotbenadering vrijwel aan het einde van zijn levenscyclus is gekomen. De aanbeveling is nog eenmaal een reparatie-actie door te voeren en het product daarvan te afficheren als het best haalbare van de plotbenadering zoals toegepast voor de hydrologie voor STONE.

Aanbeveling 4

1. De gebruikte drooglegging in STONE voor veenweidegebieden is te ondiep en dient te worden aangepast van 40 naar 55 cm.
2. Bij analyse van de drooglegging dient men bij het waterschap te verifiëren of men beschikt over de juiste polderpeilen. De polderpeilen uit het Waterstaatkundige Informatie Systeem (WIS) kloppen voor de onderzochte gebieden niet meer met de huidige praktijk.

Aanbeveling 5

Het voorkomen van schijngrondwaterspiegel als mogelijke verklaring voor verschillen tussen simulatieresultaten en 'veldwaarnemingen' is naar aanleiding van de vergelijking van het areaal droge landbouw op zandgronden opgekomen en verdient nadere analyse.

Literatuur

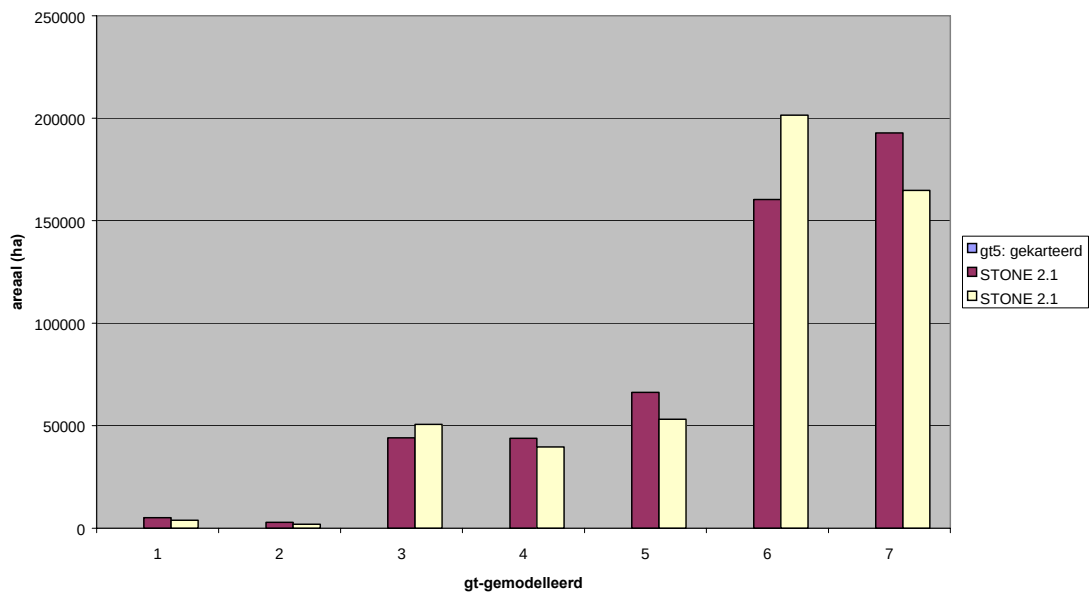
- Ad hoc groep Verdamping (1984). Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model Gelgam. Provincie Gelderland, Arnhem.
- Bakel, P.J.T. van, H. Th. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors en T. Kroon (2007). Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets (rapport i.v.)
- Black, T.A., W.R. Gardner and G.W. Thurtell (1969). The prediction of evaporation, drainage, and soil water storage for a bare soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 33, 655-660.
- Bosveld, F. (2004). Accuracy of evapotranspiration in the Cabauw 11 year time series 1986-1996. Interne notitie KNMI.
- Dolman, H., E. Moors, J. Elbers, W. Snijders en Ph. Hamaker (2000). Het waterverbruik van bossen in Nederland. Samenvattende borchure, zie ook: <http://www.alterra-research.nl/boshydrologie>
- Gaast, J.W.J. en H.Th.L. Massop (2003). Karakterisering van de freatische grondwaterstand in Nederland. Bepaling van de GxG voor 1995 op puntlocaties. Alterra-rapport 819, ISSN 1556-7171. Alterra, Wageningen.
- Gilbert, R.O. (1987). Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY. 320 pp.
- Hoogeveen, M.W., K.H.M. van Bommel en G. Cotteleer (2003). Berekening in land- en tuinbouw. Rapport voor de Droogtestudie Nederland. LEI, Den Haag.
- Massop, H.Th.L. (2002). Landelijke karakterisering buisdrainage. Interne notitie Alterra.
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak en W. Werkman (2005). Op zoek naar de "ware" neerslag en verdamping. Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten. Alterra-rapport 1158/Reeks Milieu en Landelijk Gebied 28.
- Massop, H.Th.L. T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen (2000). Hydrologie voor STONE. Schematisatie en parameterisering. Alterra rapport 038, ISSN 1566-919. Reeks milieuplanbureau 9.
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam (2003). Soil water - groundwater interaction. Reference manual SWAP version 3.0.3. Alterra-arapport 773.
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon en R. Pastoors (2001). Actualisatie van de hydrologie voor STONE 2.0. Alterra-rapport 298.

- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen (2001). Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA-rapport 2001.017. ISBN 9036953713.
- Peereboom, I. (2003). Verbetering van kD- en c-waarden van het topsysteem. Interne notitie RIZA.
- Tiktak, A., A.M.A. van der Linden en J.J.T.I. Boesten (2003). The GeoPEARL model. Model description, applications and manual. Report 716601007, RIVM/Alterra.
- Vermulst, J.A.P.H. en W.J. de Lange (1997). An analytical-based approach for coupling models for unsaturated and saturated groundwater flow at different scales. J. Hydrol. 226: 262-273
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman, W.J.M. de Groot en J. Stolte (2001). Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra-rapport 153.

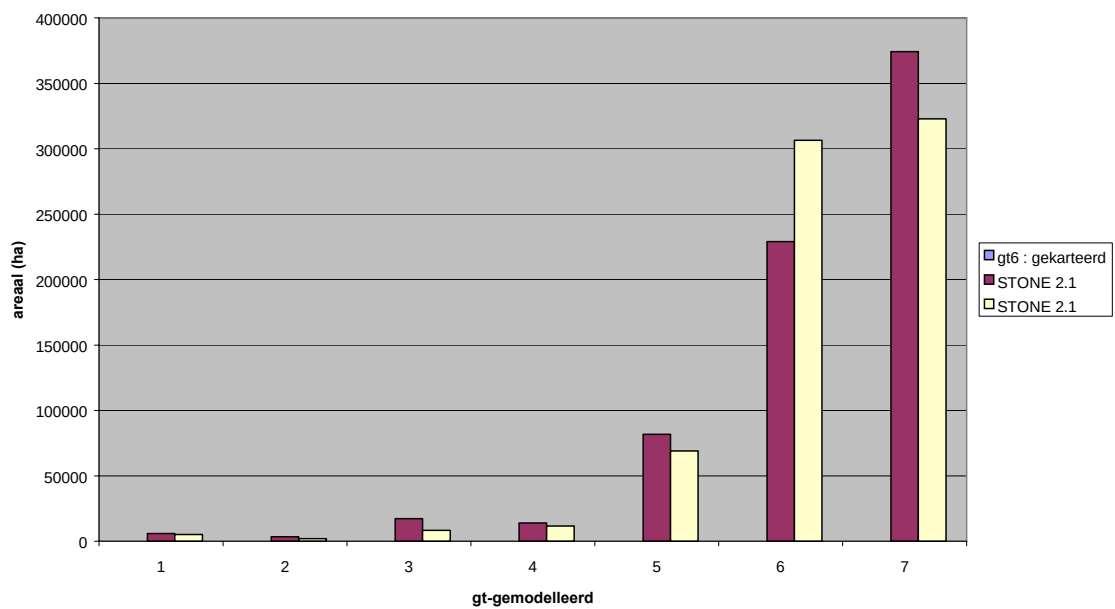
Bijlage 1 Arealen berekende Gt's per gekarteerde Gt



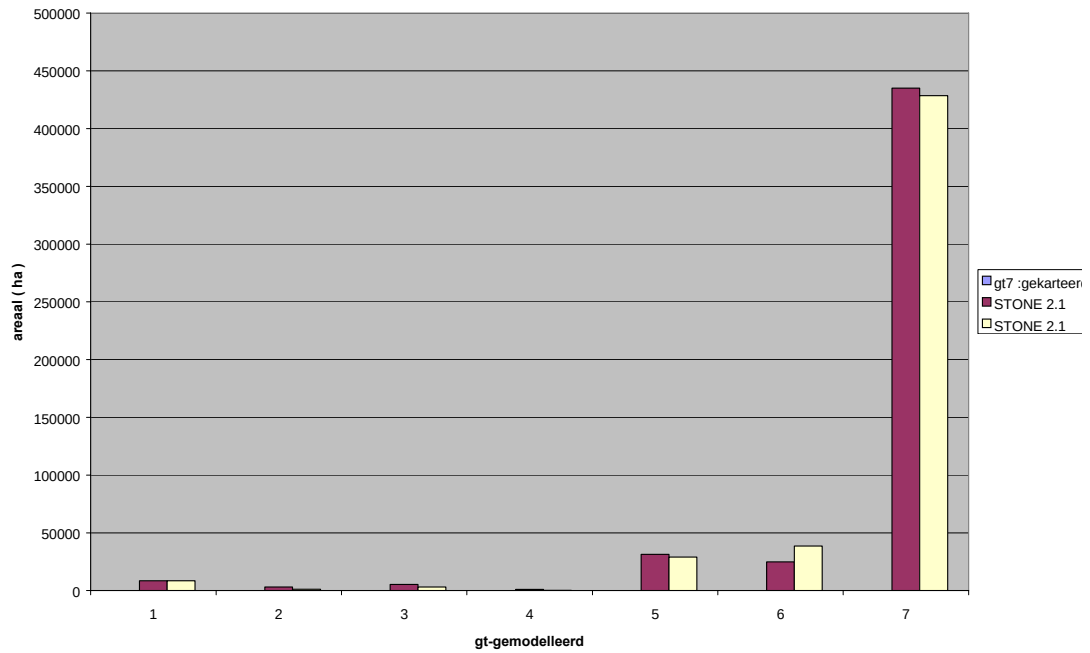
Gekarteerde Gt 5 : arealen van de berekende Gt's



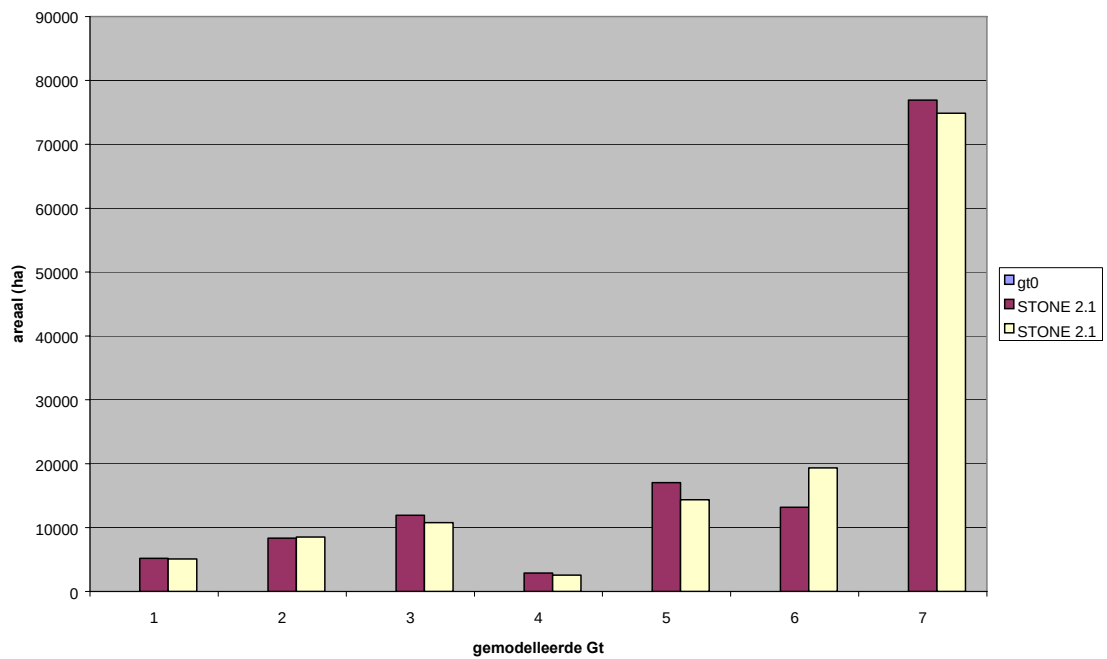
Gekarteerde Gt6 : arealen van de berekende Gt's



Gekarteerde Gt 7 : arealen van de berekende Gt's



Gekarteerde Gt0 (onbekend): arealen van de berekende Gt's



Tabel B1.1 Arealen (ha) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (ha)		landgebruik				
<i>Bodem</i>	<i>Gt</i>	<i>bouwland</i>	<i>grasland</i>	<i>natuur</i>	<i>snijmaïs</i>	<i>Eindtotaal</i>
<i>Klei</i>	I	244	594	1913		2750
	II	1463	12519	9113	1219	24313
	III	5381	40531	35031	3731	84675
	III*		113			113
	IV	16406	31519	14313	1631	63869
	V	47144	67950	41225	10806	167125
	V*	763	1438	706	194	3100
	VI	236850	127694	55200	12638	432381
	VII	163863	60838	33681	7881	266263
	VII*	18781	13806	18825	5194	56606
<i>Totaal klei</i>		490894	357000	210006	43294	1101194
<i>Veen</i>	I	1719	28625	3769	1756	35869
	II	8856	124469	29794	4169	167288
	III	6681	54275	37888	4875	103719
	III*	381		806		1188
	IV	26975	5431	17269	1494	51169
	V	2994	9300	8600	1863	22756
	V*			1700		1700
	VI	11000	12425	15444	5531	44400
	VII	25006	2088	15906	1275	44275
	VII*	3663	2225	7725	944	14556
<i>Totaal veen</i>		87275	238838	138900	21906	486919
<i>Zand</i>	I	1275	325	23075		24675
	II	2506	10869	13131	4438	30944
	III	9500	52419	28250	15988	106156
	III*		1519	206	288	2013
	IV	11275	25575	6950	2381	46181
	V	9300	20150	21625	7250	58325
	V*	644	5181	250	2069	8144
	VI	35531	130888	67838	32131	266388
	VII	45419	80425	38431	34325	198600
	VII*	52731	61150	306775	57350	478006
<i>Totaal zand</i>		168181	388500	506531	156219	1219431
<i>Eindtotaal</i>		746350	984338	855438	221419	2807544

Tabel B1.2 Berekende arealen (% van totaal) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		Landgebruik				
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmaïs	Eindtotaal
Klei	I	0,03%	0,06%	0,22%	0,00%	0,10%
	II	0,20%	1,27%	1,07%	0,55%	0,87%
	III	0,72%	4,12%	4,10%	1,69%	3,02%
	III*	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
	IV	2,20%	3,20%	1,67%	0,74%	2,27%
	V	6,32%	6,90%	4,82%	4,88%	5,95%
	V*	0,10%	0,15%	0,08%	0,09%	0,11%
	VI	31,73%	12,97%	6,45%	5,71%	15,40%
	VII	21,96%	6,18%	3,94%	3,56%	9,48%
	VII*	2,52%	1,40%	2,20%	2,35%	2,02%
Totaal klei		65,77%	36,27%	24,55%	19,55%	39,22%
Veen	I	0,23%	2,91%	0,44%	0,79%	1,28%
	II	1,19%	12,64%	3,48%	1,88%	5,96%
	III	0,90%	5,51%	4,43%	2,20%	3,69%
	III*	0,05%	0,00%	0,09%	0,00%	0,04%
	IV	3,61%	0,55%	2,02%	0,67%	1,82%
	V	0,40%	0,94%	1,01%	0,84%	0,81%
	V*	0,00%	0,00%	0,20%	0,00%	0,06%
	VI	1,47%	1,26%	1,81%	2,50%	1,58%
	VII	3,35%	0,21%	1,86%	0,58%	1,58%
	VII*	0,49%	0,23%	0,90%	0,43%	0,52%
Totaal veen		11,69%	24,26%	16,24%	9,89%	17,34%
Zand	I	0,17%	0,03%	2,70%	0,00%	0,88%
	II	0,34%	1,10%	1,54%	2,00%	1,10%
	III	1,27%	5,33%	3,30%	7,22%	3,78%
	III*	0,00%	0,15%	0,02%	0,13%	0,07%
	IV	1,51%	2,60%	0,81%	1,08%	1,64%
	V	1,25%	2,05%	2,53%	3,27%	2,08%
	V*	0,09%	0,53%	0,03%	0,93%	0,29%
	VI	4,76%	13,30%	7,93%	14,51%	9,49%
	VII	6,09%	8,17%	4,49%	15,50%	7,07%
	VII*	7,07%	6,21%	35,86%	25,90%	17,03%
Totaal zand		22,53%	39,47%	59,21%	70,55%	43,43%
Eindtotaal		100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Tabel B1.3 Berekende arealen (% van landgebruik) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		Landgebruik				
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmaïs	Eindtotaal
Klei	I	0,01%	0,02%	0,07%	0,00%	0,10%
	II	0,05%	0,45%	0,32%	0,04%	0,87%
	III	0,19%	1,44%	1,25%	0,13%	3,02%
	III*	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	IV	0,58%	1,12%	0,51%	0,06%	2,27%
	V	1,68%	2,42%	1,47%	0,38%	5,95%
	V*	0,03%	0,05%	0,03%	0,01%	0,11%
	VI	8,44%	4,55%	1,97%	0,45%	15,40%
	VII	5,84%	2,17%	1,20%	0,28%	9,48%
	VII*	0,67%	0,49%	0,67%	0,18%	2,02%
Totaal klei		17,48%	12,72%	7,48%	1,54%	39,22%
Veen	I	0,06%	1,02%	0,13%	0,06%	1,28%
	II	0,32%	4,43%	1,06%	0,15%	5,96%
	III	0,24%	1,93%	1,35%	0,17%	3,69%
	III*	0,01%	0,00%	0,03%	0,00%	0,04%
	IV	0,96%	0,19%	0,62%	0,05%	1,82%
	V	0,11%	0,33%	0,31%	0,07%	0,81%
	V*	0,00%	0,00%	0,06%	0,00%	0,06%
	VI	0,39%	0,44%	0,55%	0,20%	1,58%
	VII	0,89%	0,07%	0,57%	0,05%	1,58%
	VII*	0,13%	0,08%	0,28%	0,03%	0,52%
Totaal veen		3,11%	8,51%	4,95%	0,78%	17,34%
Zand	I	0,05%	0,01%	0,82%	0,00%	0,88%
	II	0,09%	0,39%	0,47%	0,16%	1,10%
	III	0,34%	1,87%	1,01%	0,57%	3,78%
	III*	0,00%	0,05%	0,01%	0,01%	0,07%
	IV	0,40%	0,91%	0,25%	0,08%	1,64%
	V	0,33%	0,72%	0,77%	0,26%	2,08%
	V*	0,02%	0,18%	0,01%	0,07%	0,29%
	VI	1,27%	4,66%	2,42%	1,14%	9,49%
	VII	1,62%	2,86%	1,37%	1,22%	7,07%
	VII*	1,88%	2,18%	10,93%	2,04%	17,03%
Totaal zand		5,99%	13,84%	18,04%	5,56%	43,43%
Eindtotaal		26,58%	35,06%	30,47%	7,89%	100,00%

Tabel B1.4 Berekende arealen (% van bodemtype en Gt) per Gt, bodemsoort, landgebruik

Som van Area (%)		Landgebruik				
Bodem	Gt	bouwland	grasland	natuur	snijmaïs	Eindtotaal
Klei	I	8,86%	21,59%	69,55%	0,00%	100,00%
	II	6,02%	51,49%	37,48%	5,01%	100,00%
	III	6,36%	47,87%	41,37%	4,41%	100,00%
	III*	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100,00%
	IV	25,69%	49,35%	22,41%	2,55%	100,00%
	V	28,21%	40,66%	24,67%	6,47%	100,00%
	V*	24,60%	46,37%	22,78%	6,25%	100,00%
	VI	54,78%	29,53%	12,77%	2,92%	100,00%
	VII	61,54%	22,85%	12,65%	2,96%	100,00%
	VII*	33,18%	24,39%	33,26%	9,18%	100,00%
Totaal klei		44,58%	32,42%	19,07%	3,93%	100,00%
Veen	I	4,79%	79,80%	10,51%	4,90%	100,00%
	II	5,29%	74,40%	17,81%	2,49%	100,00%
	III	6,44%	52,33%	36,53%	4,70%	100,00%
	III*	32,11%	0,00%	67,89%	0,00%	100,00%
	IV	52,72%	10,61%	33,75%	2,92%	100,00%
	V	13,16%	40,87%	37,79%	8,18%	100,00%
	V*	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	100,00%
	VI	24,77%	27,98%	34,78%	12,46%	100,00%
	VII	56,48%	4,71%	35,93%	2,88%	100,00%
	VII*	25,16%	15,29%	53,07%	6,48%	100,00%
Totaal veen		17,92%	49,05%	28,53%	4,50%	100,00%
Zand	I	5,17%	1,32%	93,52%	0,00%	100,00%
	II	8,10%	35,12%	42,44%	14,34%	100,00%
	III	8,95%	49,38%	26,61%	15,06%	100,00%
	III*	0,00%	75,47%	10,25%	14,29%	100,00%
	IV	24,41%	55,38%	15,05%	5,16%	100,00%
	V	15,95%	34,55%	37,08%	12,43%	100,00%
	V*	7,90%	63,62%	3,07%	25,40%	100,00%
	VI	13,34%	49,13%	25,47%	12,06%	100,00%
	VII	22,87%	40,50%	19,35%	17,28%	100,00%
	VII*	11,03%	12,79%	64,18%	12,00%	100,00%
Totaal zand		13,79%	31,86%	41,54%	12,81%	100,00%
Eindtotaal		26,58%	35,06%	30,47%	7,89%	100,00%

Wot-onderzoek

Verschenen documenten in de reeks Werkdocumenten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu
Werkdocumenten zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, te
Wageningen. T 0317 – 47 78 44; F 0317 – 41 90 00; E info.wnm@wur.nl

De werkdocumenten zijn ook te downloaden via de WOT-website www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

2005

- 1 Eimers, J.W. (Samenstelling). Projectverslagen 2004.
- 2 Hinssen, P.J.W. Strategisch Plan van de Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, 2005 – 2009.
- 3 Sollart, K.M. Recreatie: Kennis en datavoorziening voor MNP-producten. Discussienotitie.
- 4 Jansen, M.J.W. ASSA: Algorithms for Stochastic Sensitivity Analysis. Manual for version 1.0.
- 5 Goossen, C.M. & S. de Vries. Beschrijving recreatie-indicatoren voor de Monitoring en Evaluatie Agenda Vitaal Platteland (ME AVP)
- 6 Mol-Dijkstra, J.P. Ontwikkeling en beheer van SMART2-SUMO. Ontwikkelings- en beheersplan en versiebeheerprotocol.
- 7 Oenema, O. How to manage changes in rural areas in desired directions?
- 8 Dijkstra, H. Monitoring en Evaluatie Agenda Vitaal Platteland; inventarisatie aanbod monitoringsystemen.
- 9 Ottens, H.F.L. & H.J.A.M. Staats. BelevingsGIS (versie2). Auditverslag.
- 10 Straalen, F.M. van. Lijnvormige beplanting Groene Woud. Een studie naar het verdwijnen van lanen en perceelsrandbegroeiing in de Meierij.
- 11 Programma Commissie Natuur. Onderbouwend Onderzoek voor de Natuurplanbureau-functie van het MNP; Thema's en onderzoeksvragen 2006.
- 12 Velthof, G.L. (samenstelling). Commissie van Deskundigen Meststoffenwet. Taken en werkwijze.
- 13 Sanders, M.E. & G.W. Lammers. Lokaliseren kansen en knelpunten van de Ecologische Hoofdstructuur – met informatie van de terreinbeheerders.
- 14 Verdonshot, P.F.M., C.H.M. Evers, R.C. Nijboer & K. Dideren. Graadmeters aquatische natuur. Fase 1: Vergelijking van de graadmeter Natuurwaarde met de Natuurdoeltypen en KRW-maatlatten
- 15 Hinssen, P.J.W. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. Werkplan 2006
- 16 Melman, Th.C.P., R.G. Groeneveld, R.A.M. Schrijver & H.P.J. Huisjes. Ontwikkeling economisch-ecologisch optimaliseringsmodel natuurbeheer in combinatie met agrarische bedrijfsvoering. Studie in het licht van LNV-beleidsombuiging "van verwerving naar beheer"
- 17 Vreke, J., R.I. van Dam & F.J.P. van den Bosch. De plaats van natuur in beleidsprocessen. Casus: Besluitvormingsproces POL-aanvulling Bedrijventerrein Zuid-Limburg
- 18 Gerritsen, A.L., J. Kruit & W. Kuindersma. Ontwikkelen met kwaliteit. Een verkenning van evaluatiecriteria
- 19 Bont, C.J.A. de, M. Boekhoff, W.A. Rienks, A. Smit & A.E.G. Tonneijck. Impact van verschillende wereldbeelden op de landbouw in Nederland. Achtergronddocument bij 'Verkenning Duurzame Landbouw'
- 20 Niet verschenen
- 21 Rienks, W.A., I. Terluin & P.H. Vereijken. Towards sustainable agriculture and rural areas in Europe. An assessment of four EU regions
- 22 Knegt, B. de, H.W.B. Bredenoord, J. Wiertz & M.E. Sanders. Monitoringsgegevens voor het natuurbeheer anno 2005. Ecologische effectiviteit regelingen natuurbeheer: Achtergrondrapport 1
- 23 Jaarrapportage 2005. WOT-04-001 – Monitor- en Evaluatiesysteem Agenda Vitaal Platteland
- 24 Jaarrapportage 2005. WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek Natuurplanbureau-functie
- 25 Jaarrapportage 2005. WOT-04-385 – Milieuplanbureau-functie
- 26 Jaarrapportage 2005. WOT-04-394 – Natuurplanbureau-functie
- 27 Jaarrapportage 2005. WOT-04 - Kennisbasis
- 28 Verboom, J., R. Pouwels, J. Wiertz & M. Vonk. Strategisch Plan LARCH. Van strategische visie naar plan van aanpak
- 29 Velthof, G.L. en J.J.M. van Grinsven (eds.) Inzet van modellen voor evaluatie van de meststoffenwet. Advies van de CDM-werkgroep Harmonisatie modellen
- 30 Hinssen, M.A.G., R. van Oostenbrugge & K.M. Sollart. Draaiboek Natuurbalans. Herziene versie
- 31 Swaay, C.A.M. van, V. Mensing & M.F. Wallis de Vries. Hotspots dagvlinder biodiversiteit
- 32 Goossen, C.M. & F. Langers. Recreatie en groen in en om de stad. Achtergronddocument bij Natuurbalans 2006
- 33 Turnhout, Chr. Van, W.-B. Loos, R.P.B. Foppen & M.J.S.M. Reijnen. Hotspots van biodiversiteit in Nederland op basis van broedvogelgegevens
- 34 Dideren, K. en P.F.M. Verdonshot. Graadmeter Natuurwaarde aquatisch. Typen, indicatoren en monitoring van regionale wateren
- 35 Wamelink, G.W.W., G.J. Reinds, J.P. Mol-Dijkstra, J. Kros, H.J. Wieggers. Verbeteringen voor de Natuurplanner
- 36 Groeneveld, R.A. & R.A.M. Schrijver. FIONA 1.0; Technical description
- 37 Luesink, H.H., M.J.C. de Bode, P.W.G. Groot Koerkamp, H. Klinker, H.A.C. Verkerk & O. Oenema. Protocol voor monitoring landelijke mestmarkt onder een stelsel van gebruiksnormen
- 38 Bakker-Verdurmen, M.R.L., J.W. Eimers, M.A.G. Hinssen-Haenen, T.J. van der Zwaag-van Hoorn. Handboek secretariaat WOT Natuur & Milieu
- 39 Pleijte, M. & M.A.H.J. van Bavel. Europees en gebiedsgericht beleid: natuur tussen hamer en aambeel? Een verkennend onderzoek naar de relatie tussen Europees en gebiedsgericht beleid
- 40 Kramer, H., G.W. Hazeu & J. Clement. Basiskaart Natuur 2004; vervaardiging van een landsdekkend basisbestand terrestrische natuur in Nederland
- 41 Koomen, A.J.M., W. Nieuwenhuizen, J. Roos-Klein Lankhorst, D.J. Brus & P.F.G. Vereijken. Monitoring landschap; gebruik van steekproeven en landsdekkende bestanden
- 42 Selnes, T.A., M.A.H.J. van Bavel & T. van Rheenen. Governance of biodiversity
- 43 Vries, S. de. (2007) Veranderende landschappen en hun beleving
- 44 Broekmeijer, M.E.A. & F.H. Kistenkas. Bouwen en natuur:

- Europese natuurwaarden op het ruimtelijk ordeningsspoor. Achtergronddocument bij Natuurbalans 2006
- 45 *Sollart, K.M. & F.J.P. van den Bosch*. De provincies aan het werk; Praktijkervaringen van provincies met natuur- en landschapsbeleid in de periode 1990-2005. Achtergronddocument bij Natuurbalans 2006
- 46 *Sollart, K.M. & R. de Niet met bijdragen van M.M.M. Overbeek*. Natuur en mens. Achtergronddocument bij de Natuurbalans 2006
- ## 2007
- 47 *Ten Berge, H.F.M., A.M. van Dam, B.H. Janssen & G.L. Velthof*. Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek; Advies van de CDM-werkgroep Mestbeleid en Bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek
- 48 *Kruit, J. & I.E. Salverda*. Spiegeltje, spiegeltje aan de muur, valt er iets te leren van een andere planningscultuur?
- 49 *Rijk, P.J., E.J. Bos & E.S. van Leeuwen*. Nieuwe activiteiten in het landelijk gebied. Een verkennende studie naar natuur en landschap als vestigingsfactor
- 50 *Ligthart, S.S.H.* Natuurbeleid met kwaliteit. Het Milieu- en Natuurplanbureau en natuurbeleidsevaluatie in de periode 1998-2006
- 51 *Kennismarkt 22 maart 2007; van onderbouwend onderzoek Wageningen UR naar producten MNP in 27 posters*
- 52 *Kuindersma, W., R.I. van Dam & J. Vreke*. Sturen op niveau. Perversies tussen nationaal natuurbeleid en besluitvorming op gebiedsniveau.
53. *Reijnen, M.J.S.M.* Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. National Capital Index version 2.0
53. *Windig, J.J., M.G.P. van Veller & S.J. Hiemstra*. Indicators voor 'Convention on Biodiversity 2010'. Biodiversiteit Nederlandse landbouwhuisdieren en gewassen
53. *Melman, Th.C.P. & J.P.M. Willemen*. Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. Coverage protected areas.
53. *Weijden, W.J. van der, R. Leewis & P. Bol*. Indicatoren voor 'Convention on Biodiversity 2010'. Indicatoren voor het invasieproces van exotische organismen in Nederland
53. *Nijhof, B.S.J., C.C. Vos & A.J. van Strien*. Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. Influence of climate change on biodiversity.
53. *Moraal, L.G.* Indicatoren voor 'Convention on Biodiversity 2010'. Effecten van klimaatverandering op insectenplagen bij bomen.
53. *Fey-Hofstede, F.E. & H.W.G. Meesters*. Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. Exploration of the usefulness of the Marine Trophic Index (MTI) as an indicator for sustainability of marine fisheries in the Dutch part of the North Sea.
53. *Reijnen, M.J.S.M.* Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. Connectivity/fragmentation of ecosystems: spatial conditions for sustainable biodiversity
53. *Gaaff, A. & R.W. Verburg*. Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010' Government expenditure on land acquisition and nature development for the National Ecological Network (EHS) and expenditure for international biodiversity projects
53. *Elands, B.H.M. & C.S.A. van Koppen*. Indicators for the 'Convention on Biodiversity 2010'. Public awareness and participation
- 54 *Broekmeyer, M.E.A. & E.P.A.G. Schouwenberg & M.E. Sanders & R. Pouwels*. Synergie Ecologische Hoofdstructuur en Natura 2000-gebieden. Wat stuurt het beheer?
- 55 *Bosch, F.J.P. van den*. Draagvlak voor het Natura 2000 gebiedenbeleid. Onder relevante betrokkenen op regionaal niveau
- 56 *Jong, J.J. & M.N. van Wijk, I.M. Bouwma*. Beheerskosten van Natura 2000 gebieden
- 57 *Pouwels, R. & M.J.S.M. Reijnen & M. van Adrichem & H. Kuipers*. Ruimtelijke condities voor VHR-soorten
- 58 *Bouwma, I.M.* Quickscan Natura 2000 en Programma Beheer.
- 59 *Schouwenberg, E.P.A.G.* Huidige en toekomstige stikstofbelasting op Natura 2000 gebieden
- 60 *Hoogeveen, M.* Herberekening Ammoniak 1998 (werktitel)
- 61 *Jaarrapportage 2006*. WOT-04-001 – ME-APV
- 62 *Jaarrapportage 2006*. WOT-04-002 – Onderbouwend Onderzoek
- 63 *Jaarrapportage 2006*. WOT-04-003 – Advisering Natuur & Milieu
- 64 *Jaarrapportage 2006*. WOT-04-385 – Milieuplanbureaufunctie
- 65 *Jaarrapportage 2006*. WOT-04-394 – Natuurplanbureaufunctie
- 66 *Brasser E.A., M.F. van de Kerkhof, A.M.E. Groot, L. Bos-Gorter, M.H. Borgstein, H. Leneman* Verslag van de Dialogen over Duurzame Landbouw in 2006
- 67 *Hinssen, P.J.W.* Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. Werkplan 2007
- 68 *Nieuwenhuizen, W. & J. Roos Klein Lankhorst*. Landschap in Natuurbalans 2006; Landschap in verandering tussen 1990 en 2005; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2006.
- 69 *Geelen, J. & H. Leneman*. Belangstelling, motieven en knelpunten van natuuraanleg door grondeigenaren. Uitkomsten van een marktonderzoek.
- 70 *Didderen, K., P.F.M. Verdonschot, M. Bleeker*. Basiskaart Natuur aquatisch. Deel 1: Beleidskaarten en prototype
- 71 *Boesten, J.J.T.I., A. Tiktak & R.C. van Leerdam*. Manual of PEARLNEQ v4. (unofficial draft version of manual)
- 72 *Grashof-Bokdam, C.J., J. Frissel, H.A.M. Meeuwssen & M.J.S.M. Reijnen*. Aanpassing graadmeter natuurwaarde voor het agrarisch gebied
- 73 *Bosch, F.J.P. van den*. Functionele agrobiodiversiteit. Inventarisatie van nut, noodzaak en haalbaarheid van het ontwikkelen van een indicator voor het MNP
- 74 *Kistenkas, F.H. en M.E.A. Broekmeyer*. Natuur, landschap en de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht
- 75 *Luttik, J., F.R. Veeneklaas, J. Vreke, T.A. de Boer, L.M. van den Berg & P. Luttik*. Investeren in landschapskwaliteit
- 76 *Vreke, J.* Evaluatie van natuurbeleidsprocessen
- 77 *Apeldoorn, R.C. van*, Working with biodiversity goals in European directives. A comparison of the implementation of the Birds and Habitats Directives and the Water Framework Directive in the Netherlands, Belgium, France and Germany
- 81 *Bakel, P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop, D.J.J. Walvoort*, 2007. Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1. Beschrijving reparatie-acties, analyseresultaten en beoordeling plausibiliteit.