

Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3

Aanpassing randvoorwaarden en parameters,
koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets

P.J.T. van Bakel, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud,
M.J.H. Pastoors & T. Kroon

rapporten

wot
Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu



WAGENINGEN UR

For quality of life

Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3

Dit rapport is gemaakt conform het Kwaliteitshandboek van de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.

De reeks 'Wot-rapporten' bevat onderzoeksresultaten van projecten die kennisorganisaties voor de unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu hebben uitgevoerd.

Wot-rapport 57 is het resultaat van een opdracht van LNV, in programma 398-III en van de WOT Natuur & Milieu, programma WOT-04-007 - Milieuplanbureau functie: toetsing, monitoring en evaluatie van het Mest- en Mineralenbeleid.

Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3

Aanpassing randvoorwaarden en
parameters, koppeling tussen NAGROM
en SWAP, en plausibiliteitstoets

P.J.T. van Bakel

H.Th.L. Massop

J.G. Kroes

J. Hoogewoud

M.J.H. Pastoors

T. Kroon

Rapport 57

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

Wageningen, mei 2008

Referaat

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, M.J.H. Pastoors en T. Kroon, 2008. *Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3; Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitstoets*. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 57. 108 blz.; 38. fig.; 22 tab.; 34 ref.; 5 bijl.

Voor evaluaties van het Mestbeleid is de hydrologie van het STONE-instrumentarium geactualiseerd. Het betreft aanpassing van de volgende invoerparameters: meteorologische gegevens, bodemfysische parameters, landgebruik, verdampings-eigenschappen, lekweerstanden en ontwateringsbasis. De koppeling tussen de 6405, met SWAP gemodelleerde, plotmodellen en het met NAGROM gemodelleerd regionaal grondwatersysteem is in STONE 2.3 sterk verbeterd. De resultaten zijn geanalyseerd en vergeleken met de hydrologie voor STONE 2.1, en met metingen.

Trefwoorden: berekening, buisdrainage, drooglegging, grondwaterstanden, kwel, landgebruik, lekweerstanden, verdamping, waterbalans, wegzijging

Abstract

Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors en T. Kroon, 2008. *Updating the hydrology component in STONE 2.3; Adjusting boundary conditions and parameters, linking NAGROM and SWAP, and plausibility test*. Wageningen, Statutory Research Tasks Unit for Nature and the Environment. WOt-rapport 57. 108 p.; 38. Fig.; 22 Tab.; 34 Ref.; 5 Annexes

The hydrology component of the STONE set of instruments has been updated to facilitate the evaluation of Dutch fertiliser policy. The update concerns the following input parameters: meteorological data, soil physics parameters, land use, evaporation characteristics, leakage resistance values and levels of drainage basis. The linkage between the 6,405 plot models created by means of SWAP and the regional groundwater system modelled by means of NAGROM has been greatly improved in STONE 2.3. The results have been analysed and compared with the hydrology component in STONE 2.1, and with measured values.

Key words: irrigation, pipe drainage, freeboard, water tables, seepage, land use, leakage resistance, evaporation, water balance

ISSN 1871-028X

Auteurs

P.J.T. van Bakel, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes (Alterra, Wageningen UR)
R. Pastoors (PBL)
J. Hoogewoud, T. Kroon (RWS-Waterdienst)

©2008 Alterra, Wageningen UR

Postbus 47, 6700 AA Wageningen
Tel: (0317) 47 47 00; fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.terra@wur.nl

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) – vestiging Bilthoven (voorheen Milieu- en Natuurplanbureau

Postbus 303, 3720 AH Bilthoven
Tel: (030) 274 27 45; fax: (030) 274 44 79; e-mail: info@mnpl.nl

RWS-Waterdienst

Postbus 17, 8200 AA Lelystad
Tel: (0320) 29 84 11; e-mail: info.waterdienst@rws.nl

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

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

Tel: (0317) 48 54 71; Fax: (0317) 41 90 00; e-mail: info.wnm@wur.nl; Internet: www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting	7
Summary	11
1 Inleiding	15
2 Wijzigingen ten opzichte van STONE 2.1	17
2.1 Invoergegevens en parameters	17
2.1.1 Algemeen	17
2.1.2 Meteogegevens	18
2.1.3 Bodemfysische eigenschappen	18
2.1.4 Landgebruik	18
2.1.5 Gewasparameters landbouwgewassen	19
2.1.6 Lekweerstand	20
2.1.7 Ontwateringsbasis	22
2.2 Tijdstap voor berekening grondwatertrap	23
2.3 Conclusies en discussie	25
3 Koppeling NAGROM-SWAP	27
3.1 Iteratie NAGROM –SWAP	27
3.1.1 Korte historie, vergelijking iteratieprocedure met vorige versies	27
3.1.2 De gevolgde iteratieprocedure in de hydrologie voor STONE 2.3	28
3.2 Resultaten	29
3.2.1 Grondwateraanvulling	29
3.2.2 Onderrandflux	31
3.2.3 Probleemplots	34
3.3 Conclusies	35
4 Resultaten van de hydrologie voor STONE 2.3	37
4.1 Inleiding	37
4.2 Termen van de waterbalans	37
4.2.1 Landelijke gemiddelden	37
4.2.2 Neerslag	38
4.2.3 Referentiegewasverdamping	39
4.2.4 Actuele evapotranspiratie	39
4.2.5 Actuele gewasverdamping	41
4.2.6 Oppervlakte-afvoer	42
4.2.7 Overige drainagefluxen	42
4.2.8 Infiltratie	44
4.2.9 Kwel/wegzijging	45
4.2.10 Bergingsverandering	46
4.3 Grondwatertrappen	47
4.3.1 Verschuiving in Gt	47

4.3.2	Ruimtelijke beelden	48
4.4	Conclusies	50
5	Plausibiliteit hydrologie voor STONE 2.3	51
5.1	Inleiding	51
5.2	Waterbalansen	51
5.2.1	Vergelijking berekende verdamping met regionale waterbalansen	51
5.3	Grondwaterstanden	54
5.3.1	Verschillen tussen de klimaatrepresentatieve Gt in peilbuizen en STONE 2.3	54
5.3.2	Vergelijking met stambuizen	55
5.3.3	Overige buizen	56
5.3.4	Areaal uitspoelingsgevoelige landbouwgronden	57
5.3.5	Analyse grondwaterstanden in veengebieden	59
5.4	Conclusies	60
6	Conclusies, aanbevelingen en discussie	61
6.1	Conclusies	61
6.2	Aanbevelingen	62
6.3	Discussie	62
Literatuur		65
Bijlage 1	Gewasparameters in STONE 2.1 en STONE 2.3	67
Bijlage 2	Foutenanalyse en acties om missers, zakkers en te nat gesimuleerde plots te repareren	71
Bijlage 3	Vergelijking verdamping STONE 2.1 en STONE 2.3	77
Bijlage 4	Draindieptes, bodemdieptes en streefpeilen per hydrotype	85
Bijlage 5	Analyse grondwaterstanden in veengebieden	99

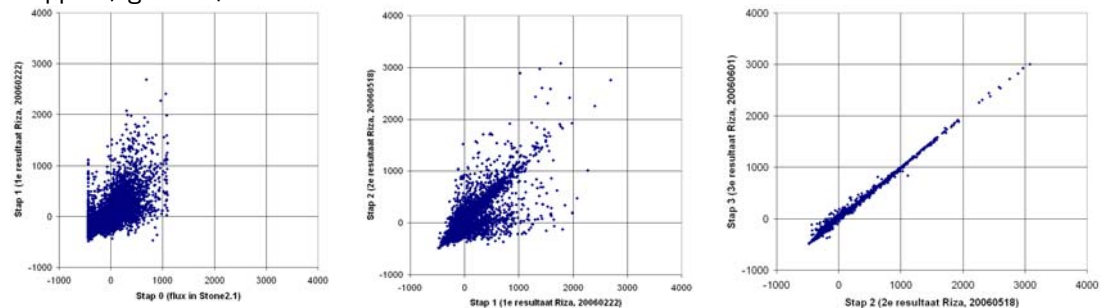
Samenvatting

Voor de Evaluatie Mestbeleid worden om de paar jaar nieuwe berekeningen met het STONE¹-instrumentarium uitgevoerd. Dit instrumentarium is een simulatiemodel dat wordt gebruikt om een beeld te krijgen van de gevolgen van het mestbeleid voor de emissie van stikstof en fosfaat naar grondwater en oppervlaktewater. Dit STONE-instrumentarium heeft hydrologische gegevens als invoer nodig. Hiervoor dient de hydrologie van Nederland te worden beschreven met 6405 rekeneenheden die zijn voorzien van een adequate koppeling met het regionale grondwatersysteem. Dit dient zodanig beschreven te worden dat de toestandsvariabelen van water in het topsysteem een goede basis vormen voor de simulatie van de lotgevallen van nutriënten in het topsysteem.

Vorige versies van het STONE-instrumentarium vertoonden tekortkomingen in de invoergegevens en de parameterisering. Dit resulteerde onder meer in ongewenste continue dalende grondwaterstanden. Recente aanbevelingen voor verbetering van de hydrologie van het STONE-instrumentarium zijn uitgevoerd en worden in dit rapport beschreven. Het betreft voornamelijk de volgende verbeteringen:

- voor de meteorologische gegevens is gebruikt gemaakt van dagelijkse in plaats decade waarnemingen;
- voor de bodemfysische parameters is de Staringreeks1994 gebruikt, in verband met fouten in de Staringreeks2001;
- het landgebruik is opgesplitst in gras, heide, loofbos, sparrenbos en dennenbos;
- de verdampingseigenschappen van gras en bouwland zijn realistischer via een verbeterde parameterisering;
- de interactie tussen grond- en oppervlaktewater is verbeterd door de lekweerstanden van de verschillende ontwateringssystemen opnieuw te berekenen, met gebruikmaking van de bijgestelde waarden voor de geohydrologische parameters;
- oplossing van continue dalende grondwaterstanden (zakkers).

Voor de laatstgenoemde verbetering heeft veel aandacht gehad. Continue dalende grondwaterstanden worden als problematische gezien omdat ze niet realistisch zijn en veroorzaakt worden door verkeerde randvoorwaarden. Dit probleem is opgelost door de onderrandvoorwaarde te wijzigen in een sterk verbeterde iteratieve koppeling tussen het model voor het diepe grondwater (NAGROM) en het model voor het topsysteem (SWAP). In drie stappen is een koppeling op afstand uitgevoerd. Het succes van deze iteratie is te illustreren aan de hand van de veranderingen in de onderrandflux tussen de verschillende stappen (figuur S1).



Figuur S1. Verandering in onderrandflux tussen stap 0 en stap 1 (links), tussen stap 1 en stap 2 (middens) en tussen stap 2 en stap 3 (rechts)

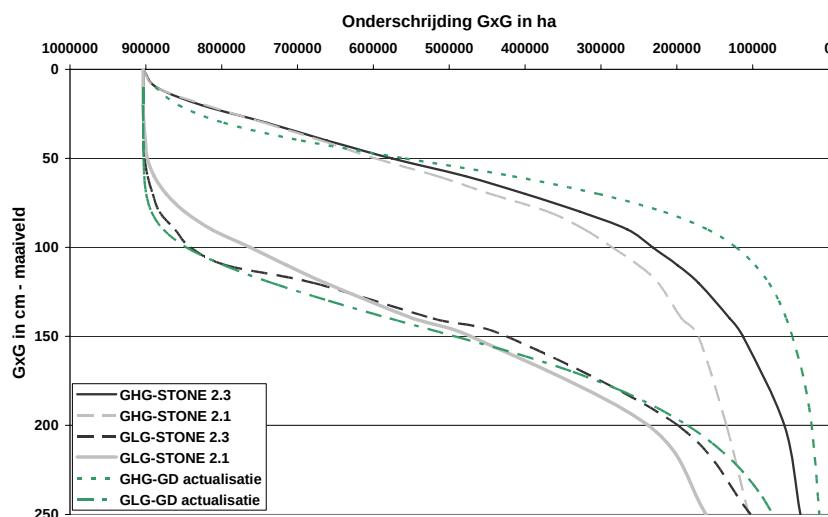
¹ STONE is een afkorting van Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel

Het eindresultaat van de iteratie-stappen bestaat uit gedetailleerde dagelijkse waterbalansen en toestandsvariabelen zoals grondwaterstanden. Dit eindresultaat is beschreven en vergeleken met de resultaten van STONE 2.1. De hydrologische gegevens van STONE 2.1 en 2.2 zijn identiek. De belangrijkste veranderingen ten opzichte van STONE 2.1 zijn:

- De gemiddelde jaarlijkse verdamping is verminderd met 34 mm (van 531 naar 497 mm), de gemiddelde jaarlijkse drainage is toegenomen met 50 mm (van 276 naar 326 mm);
- De kwel en wegzijging in het Pleistocene (hoger gelegen) deel van Nederland vormen een verbetering t.o.v. de berekeningen voor STONE 2.1. In het Holocene (lager gelegen) deel van Nederland is in eerste instantie in een aantal polders de kwel als te hoog beoordeeld. Nadere analyse leerde dat dit een gevolg is van te laag vastgestelde verticale weerstand van het topsysteem voor hydrotypen met Westlandformatie in de ondergrond. Voor de hydrotypen in het Holocene deel van Nederland is daarom gerekend met de 'oude' kwelwaarden uit de hydrologie voor STONE 2.1 en heeft geen actualisatie van de kwel en wegzijging plaatsgevonden.
- De grondwaterstanden zijn over het algemeen verbeterd, met uitzondering van delen van het Drents Plateau waar te diepe grondwaterstanden zijn berekend en delen van Zuid-Limburg waar te ondiepe grondwaterstanden zijn berekend.
- Regionale waterbalansen voor gebieden in het Pleistoceen zijn verbeterd; voor gebieden in het Holocene is er geen verandering. Voor 2 veengebieden (Krimpenerwaard en Staphorst) is geconcludeerd dat de gesimuleerde gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) iets te ondiep is en er geen verbetering is t.o.v. STONE 2.1.

Vergelijking van GHG en GLG op basis van metingen van grondwaterstanden in peilbuizen met de gesimuleerde GHG en GLG van de plots ter plaatse van de buizen levert over het algemeen een goede overeenkomst op. De te nat en te droog berekende plots zijn ongeveer gelijk in aantal en vertonen geen regionale tendensen, met uitzondering van de reeds eerder genoemde delen van het Drents Plateau (te droog berekend) en Zuid-Limburg (te nat).

Een aparte toets is uitgevoerd voor GHG en GLG in het areaal uitspoelingsgevoelige gronden (zandgronden met een GHG >70 cm -mv uit de Gd-actualisatie). Het areaal GHG en GLG, berekend met de geactualiseerde hydrologie is beter in overeenstemming met de Gd-actualisatie (figuur S2).



Figuur S2. Vergelijking van de arealen met een GHG resp. GLG dieper dan de waarde op de y-as tussen de Gd-actualisatie en de hydrologie voor STONE 2.1 en STONE 2.3

De studie heeft geleid tot een aantal conclusies.

Voor de methode:

- o de iteratie tussen SWAP en NAGROM is sterk verbeterd;
- o de koppeling op afstand (modelmatig en letterlijk: rekenen met SWAP bij Alterra en rekenen met NAGROM bij RIZA) is in inhoudelijke en logistieke zin succesvol verlopen;
- o het vasthouden aan de plotindeling kan leiden tot onnatuurlijke combinaties van grondsoort en gewas.

Voor de parameterisering en randvoorwaarden:

- o het gebruik van 6 meteostations voor de referentiegewasverdamping doet onvoldoende recht aan de ruimtelijke variatie daarvan binnen Nederland (m.n. het kusteffect komt onvoldoende tot uiting);
- o landgebruik Natuur is veel verder opgesplitst en daarmee state of the art;
- o de parameterisering van de verdampingseigenschappen van gras en akkerbouw is verbeterd;
- o de nieuwe parameterisering van het topsysteem heeft geleid tot soms forse wijzigingen in lekweerstanden. Deze zijn als realistischer beoordeeld;
- o de maximale bewortelingsdiepte voor akkerbouw en maïs is in de huidige berekeningen onafhankelijk van de waterhuishouding. Daardoor wordt voor sommige (natte) bodems de beworteling te diep gemodelleerd, ondervindt het gewas veel natschade en treedt in situaties met hoge grondwaterstanden voor deze vormen van landgebruik te veel reductie van de gewasverdamping op.

Voor de resultaten:

- o door de verbeterde iteratieprocedure is het probleem van de 'zakkers' opgelost;
- o de gesimuleerde actuele evapotranspiratie is over het algemeen als plausibel beoordeeld. Uit de vergelijking met de waterbalansen van balansgebieden volgt een verbetering voor het Pleistoceen;
- o de gesimuleerde reductie in actuele evapotranspiratie van grasland op droge zandgronden blijft laag in verhouding tot de HELP-tabel;
- o de gesimuleerde kwel of wegzijging ziet er in het vrij afwaterend deel van Nederland plausibel uit. In het Holocene deel is de kwel/wegzijging niet aangepast;
- o de gesimuleerde grondwaterstanden en daarvan afgeleide karakteristieken zijn duidelijk verbeterd ten opzichte van STONE 2.1. Uitzonderingen gelden voor delen van de provincie Drenthe waar de grondwaterstanden structureel te diep worden gesimuleerd en delen van Zuid-Limburg waar de grondwaterstanden te ondiep worden gesimuleerd. Maar de overall conclusie is dat het landelijk beeld er plausibel uitziet. De vergelijking met het areaal uitspoelingsgevoelige gronden laat ook een duidelijke verbetering zien ten opzichte van STONE 2.1. Voor het Holocene deel van Nederland is de beoordeling wisselend (zeeklei beter, andere delen minder).

Er worden nog een aantal verbeterpunten aangedragen en tevens wordt aanbevolen om een verbetering van de hydrologie te combineren met een verbeterde schematisering (1-op-1; elk grid is een rekeneenheid) c.q. met de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch model Instrumentarium (NHI).

Summary

Every few years, new calculations are made with the STONE instruments, as part of the evaluation of the Dutch manure policy. STONE is a set of simulation models that is used to assess the consequences of Dutch manure policy for the emissions of nitrogen and phosphate to groundwater and surface water. One of the inputs for STONE is hydrological data. To create this input, the hydrology of the Netherlands must be described using 6,405 calculation units, which have to be correctly linked to the regional groundwater system. The description must be such that the state variables of the water in the top system constitute a sound basis for simulating the fate of nutrients in the top system.

Previous versions of the STONE instruments had various shortcomings in terms of input data and parameterisation, resulting in incorrect, continuously falling water tables. Recent recommendations to improve the hydrology in STONE have been implemented and are described in the present report. The main improvements are as follows.

- The meteorological data are now based on daily rather than third of a month observations.
- Soil physics parameters are derived from the 1994 'Staring series', in view of the errors present in the 2001 series.
- Land use has been subdivided into grassland, heathland, deciduous forest, spruce forest and pine forest.
- The evaporation characteristics of grasslands and arable fields have been made more realistic through improved parameterisation;
- The interaction between groundwater and surface water has been improved by recalculating the leakage resistance values of the various drainage systems, using adjusted values for the geohydrological parameters.
- A solution has been found for the problem of continuously falling water tables.

A great deal of work was done on the subject of continuously falling water tables, which are regarded as a problem since they are unrealistic and are caused by erroneous boundary conditions. The problem was solved by changing the lower boundary condition into a greatly improved iterative linkage between the model used for the deep groundwater (NAGROM) and the model used for the top system (SWAP). A remote linkage was established in three steps. The success of this iteration can be illustrated by the changes in the lower boundary flux between the various steps (see Figure S1).

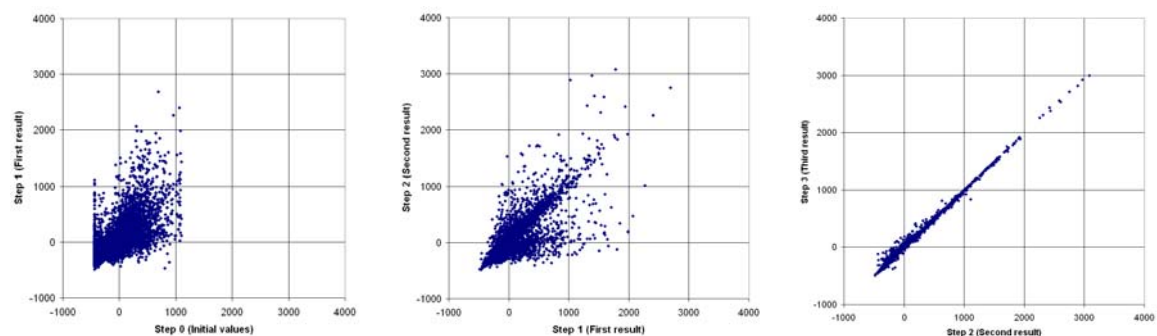


Figure S1. Changes in lower boundary flux between steps 0 and 1 (left-hand panel), between steps 1 and 2 (middle panel) and between steps 2 and 3 (right-hand panel)

The final result of the iteration steps consists of detailed daily water balances and state variables like water tables. This final result was described and compared with the results of STONE 2.1. The hydrological data in STONE 2.2 are identical to those in STONE 2.1. The main changes with respect to STONE 2.1 are as follows.

- The average annual evaporation has been reduced by 34 mm (from 531 to 497 mm), while the average annual drainage has increased by 50 mm (from 276 to 326 mm).
- The upward and downward seepage in the Pleistocene parts of the Netherlands (i.e. the higher grounds) have been improved relative to the calculations for STONE 2.1. At first, upward seepage in a number of polders in the Holocene parts of the country (the low-lying areas) was regarded as too high. Further analysis showed that this was caused by underestimation of the vertical resistance of the top system for hydrotypes having the Westland formation in the subsoil. We therefore decided to use the 'old' seepage values from the STONE 2.1 hydrology in our calculations for the hydrotypes in the Holocene part of the country, which means we did not adjust the seepage.
- The water table values have generally improved, except for parts of the Drents Plateau region, where the model calculates water tables that are too low, and parts of the Southern Limburg region, where calculated water tables are too shallow.
- Regional water balances for Pleistocene areas have improved, while values for the Holocene areas did not change. We conclude that the simulated mean highest and lowest water tables for two fenland areas (Krimpenerwaard and Staphorst) are slightly too shallow, and show no improvement compared to STONE 2.1.

Comparisons of the mean highest and lowest water tables determined by means of water table gauges with the simulated mean highest and lowest water table values show that agreement is generally good. The numbers of plots that are too wet or too dry in the model calculations are roughly equal and show no regional tendencies, with the exception, as mentioned above, of certain parts of the Drents Plateau (calculated as too dry) and Southern Limburg (too wet).

A separate test was performed for the mean highest and lowest water tables in the regions with soils vulnerable to leaching (sandy soils with a mean highest water table >70 cm below the surface in the recently updated groundwater dynamics map). It turned out that the size of the area with mean highest and lowest water tables calculated using the updated hydrology is in better agreement with the updated groundwater dynamics map (see Figure S2).

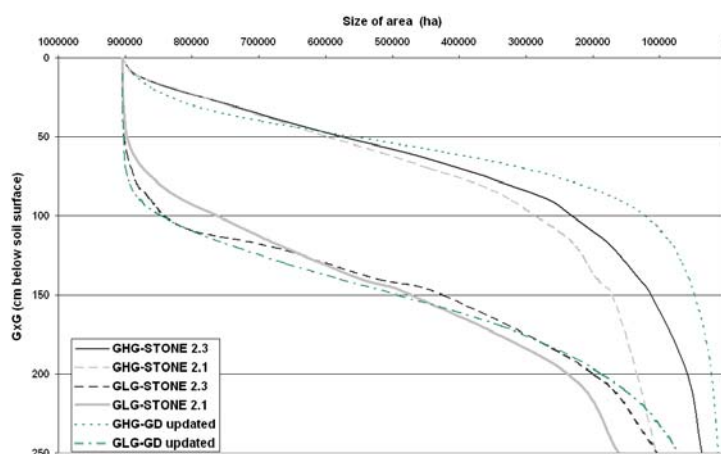


Figure S2. Comparison between the updated groundwater dynamics map and the STONE 2.1 and 2.3 hydrology as regards the cumulative frequency distribution of areas with mean highest and mean lowest water tables (GHG and GLG, respectively) below the value indicated on the y-axis

The study has resulted in a number of conclusions:

As regards the methodology:

- o The iteration between SWAP and NAGROM has been greatly improved.
- o The remote linkage (both in modelling terms and literally: SWAP calculations being carried out at Alterra and NAGROM calculations at RIZA) was successful, also in terms of logistics.
- o Sticking to existing plot divisions may lead to unnatural combinations of soil types and crops.

As regards the parameterisation and boundary conditions:

- o The use of 6 weather stations to obtain the reference value for evapotranspiration by crops does not do justice to the spatial variation in this value across the Netherlands (especially underestimating the coastal effect).
- o Land use in natural areas has been specified in considerably more detail, and is now 'state of the art'.
- o The parameterisation of the evaporation characteristics of grasslands and arable fields has been improved.
- o The new parameterisation of the top system has occasionally led to considerable changes in leakage resistance values, the resulting values being deemed more realistic.
- o In the new calculations, the maximum rooting depth for arable crops is independent of the water balance. As a result, the model overestimates rooting depths for some wet soils, crops are damaged by water and evapotranspiration by crops for these forms of land use is too greatly reduced in situations with high water tables.

• As regards the results:

- o The improved iteration procedure has solved the problem of continuously falling water tables.
- o The simulated current evapotranspiration was generally deemed to be plausible. A comparison with the measured water balances from a number of areas shows improvements for the Pleistocene areas;
- o The simulated reduction in current evapotranspiration of grasslands on sandy soils remains low compared to values in the so-called HELP table (a table indicating potential crop damage resulting from wet or dry conditions in various circumstances).
- o The simulated upward and downward seepage seems plausible for the parts of the Netherlands with natural drainage. The seepage for the Holocene parts of the country has not been changed.
- o The simulated water tables and the characteristics derived from them have clearly improved relative to those in STONE 2.1, with the exception of parts of the province of Drenthe, where the simulation consistently produces water tables that are too low, and parts of the Southern Limburg region, where the simulated water tables are too shallow. The overall conclusion, however, is that the picture for the Netherlands as a whole looks plausible. The comparison with the surface area of soils vulnerable to leaching also shows a clear improvement relative to STONE 2.1. The success rate for the Holocene parts of the Netherlands varies (better for marine clay areas, less so for other areas).

The report offers a number of suggestions for further improvement, and also recommends combining the improved hydrology with improved schematisation (1-on-1, i.e. each grid cell being a unit of calculation) or with the development of the instruments of the national hydrological model (*Nationaal Hydrologisch model Instrumentarium; NHI*).

1 Inleiding

Aanleiding

Voor de Evaluatie Mestbeleid worden om de paar jaar nieuwe berekeningen met het STONE²-instrumentarium uitgevoerd. STONE is een simulatiemodel dat wordt gebruikt om een beeld te krijgen van de gevolgen van het mestbeleid voor de emissie van stikstof en fosfaat naar grondwater en oppervlaktewater. Het is een consensusmodel dat in samenwerking met RIVM en RIZA is ontwikkeld voor nationale beleidsevaluaties.

STONE berekent ruimtelijke en temporele patronen van de nitraatconcentratie in het grondwater, de fosfaatophoping in de bodem en belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfor. Verder berekent STONE posten van de N- en P-balans van de bodem en kan het diverse scenario's in intensiteit van de veestapel en de aanwending van dierlijke mest en kunstmest doorrekenen. Dit STONE-instrumentarium heeft hydrologische gegevens als invoer nodig. Tijdens recente jaren zijn deze hydrologische gegevens bepaald door berekeningen uit te voeren met het SWAP model (Kroes *et al.*, 1999, Kroes *et al.*, 2001, Van Bakel *et al.*, 2007). In Van Bakel *et al.* (2007) is de plausibiliteit van de hydrologie van STONE 2.1 onderzocht en zijn aanbevelingen gedaan voor verbetering van de hydrologie voor het STONE-instrumentarium. De aanbevelingen hebben geresulteerd in nieuwe berekeningen voor de hydrologische gegevens van STONE 2.3. Dit rapport geeft een beschrijving van de totstandkoming van deze nieuwe hydrologie voor het nutriënten emissiemodel STONE versie 2.3, waarvan de rekenresultaten zijn gebruikt voor de Evaluatie Mest Wetgeving 2007 (Willems *et al.*, 2008).

Probleem- en doelstelling

Van Bakel *et al.* (2007) hebben geconcludeerd dat de hydrologische invoer van de plots³ van STONE versie 2.1 verbeterd dient te worden. Met name het groot aantal plots waarbij de grondwaterstand een continue daling vertoont, werd gezien als een belangrijke tekortkoming met nadelige gevolgen voor de betrouwbaarheid van de nutriëntenberekeningen met het STONE-instrumentarium. De aanbevelingen van Van Bakel *et al.* (2007) hebben geresulteerd in een opdracht om de hydrologische invoer voor het STONE-instrumentarium te verbeteren en te zorgen dat deze invoer geschikt is voor STONE versie 2.3. Doel van dit rapport is de beschrijving van de uitgevoerde werkzaamheden, het aangeven van verschillen met de hydrologie voor STONE 2.1 en het uitvoeren van een plausibiliteitsanalyse van de hydrologische rekenresultaten.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de wijzigingen ten opzichte van STONE 2.1 beschreven. Hoofdstuk 3 is gewijd aan de koppeling tussen de hydrologische modellen SWAP en NAGROM. De resultaten voor de hydrologie voor STONE versie 2.3 worden beschreven in hoofdstuk 4, opgesplitst in een vergelijking van de waterbalans van de STONE versies 2.1 en 2.3, en een analyse van de grondwaterstanden (landelijke en regionale schaal). Hoofdstuk 5 gaat in op de plausibiliteit van de nieuwe hydrologische resultaten voor STONE 2.3. Hoofdstuk 6 geeft conclusies en aanbevelingen.

² STONE is een afkorting van Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel

³ plots zijn de rekeneenheden van het STONE instrumentarium

2 Wijzigingen ten opzichte van STONE 2.1

2.1 Invoergegevens en parameters

2.1.1 Algemeen

De volgende aanpassingen van invoergegevens en parameters zijn doorgevoerd:

- meteogegevens: dagwaarden in plaats van neergeschaalde decadedcijfers;
- bodemfysische parameters: de Staringreeks1994 is weer gebruikt, in verband met fouten in de Staringreeks2001;
- landgebruik: natuur opgesplitst in gras, heide, loofbos, sparrenbos en dennenbos;
- gewasparameters: een hernieuwde parameterisering van de verdampingseigenschappen van gras ('zaagtand' bodembedekkingsverloop als gevolg van maaien en begrazing) en aardappelen (realistischer verloop van de bodembedekking) en plots met natte akkerbouw (aardappelen) en natte maïs zijn omgezet in gewone akkerbouw en maïs;
- lekweerstand: de lekweerstand van systemen 1, 2, 3 zijn opnieuw berekend met gebruikmaking van de bijgestelde waarden voor de geohydrologische parameters;
- ontwateringsbasis: van de drainagesystemen 1, 2 en 3 (primaire, secundaire, tertiaire) en buisdrainage (zie Kader 1) is voor sommige plots de diepte aangepast, met als randvoorwaarde dat buisdrainage (na maaiveld drainage) het ondiepste systeem moet worden (zie verder bijlage 4).

Kader 1 Ontwateringsystemen

De drainage en infiltratie is verdeeld over 5 drainagetermen, die elk het watertransport van/naar een ander deel van het ontwateringssysteem vertegenwoordigen. De definitie van de 5 oppervlakte-waterdeelsystemen is gegeven in onderstaande tabel.

Definitie van de 5 ontwateringdeelsystemen in de hydrologie voor STONE 2.3

Systeem	Omschrijving	Toelichting
1	watervoerend > 3 m	dit zijn de primaire waterlopen die het hele jaar watervoerend zijn. Ze hebben een minimale breedte van 3 m op de waterspiegel
2	watervoerend < 3 m	dit zijn de secundaire waterlopen die het hele jaar watervoerend zijn. Ze hebben een maximale breedte van 3 m op de waterspiegel
3	droogvallende waterlopen	dit zijn waterlopen die een deel van het jaar droogvallen. Ze kunnen soms heel breed zijn
4	buisdrainage of maaivelds-drainage	een van beide is altijd aanwezig
5	maaiveldsdrainage of ontbreekt	systeem 5 ontbreekt als er geen buisdrainage aanwezig is, dan is systeem 4 maaiveldsdrainage

Andere in eerdere rapportages gesignaleerde tekortkomingen in de hydrologie zoals de waarschijnlijk te gunstige bodemfysische eigenschappen van zandgronden en het niet in model brengen van de opstuwing in waterlopen, zijn om redenen van tekort aan beschikbare tijd en/of budget en/of gebrek aan gegevens niet aangepakt.

In de volgende paragrafen worden een aantal reparatieacties in detail beschreven.

2.1.2 Meteogegevens

Voor de berekeningen zijn de volgende meteorologische gegevens gebruikt:

- Neerslag. Dagelijkse neerslaggegevens van de 15 KNMI-districten zijn gebruikt (KNMI, 2001). Deze zijn toegekend aan de plots die binnen de districten liggen (Kroon *et al.*, 2001).
- Verdamping. Als basis zijn de gegevens van 6 stations gebruikt waarvan dagelijkse gegevens van op internet beschikbaar zijn. De referentiegewasverdamping volgens Makkink (ET_{ref}) is berekend uit de beschikbare zonneshijnduur conform Van Bakel *et al.* (2007). De aldus berekende ET_{ref} is toegekend aan de plots binnen 6 geschematiseerde gebieden.
- Temperatuur. Analooq aan de verdamping zijn de gegevens van 6 stations gebruikt waarvan dagelijkse gegevens van op internet beschikbaar zijn. De temperaturen zijn toegekend aan de plots binnen de 6 geschematiseerde gebieden.

2.1.3 Bodemfysische eigenschappen

Een discussie rondom de parameterwaarden van de Staringreeks2001 (Wösten *et al.*, 2001) heeft geresulteerd in een advies om over te gaan op de Staringreeks1994 (Wösten, 1994). Dit is ook geconstateerd in de studie Monitoring van verdroging (Van der Gaast en Massop, 2005).

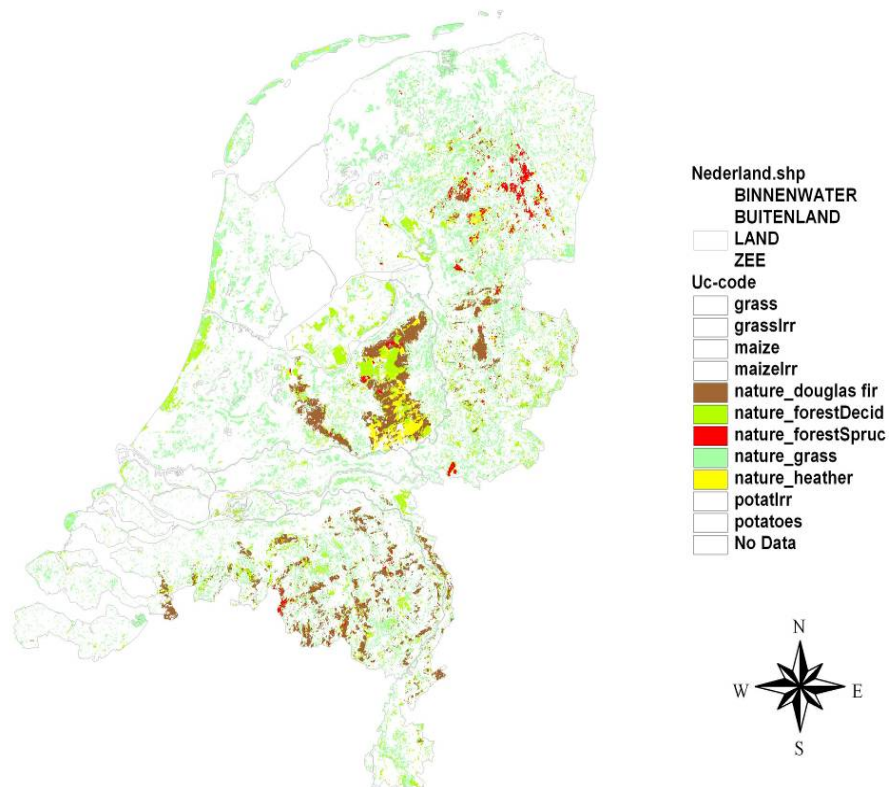
2.1.4 Landgebruik

Schematisering en parameterisering landgebruik natuur

Er is een nieuwe verdeling van het landgebruik natuur doorgevoerd conform Bonten en Brus (2006). Daarbij is het landgebruik natuur verdeeld in 5 vegetatietypen: 1) onbemest grasland, 2) loofbos, 3) sparrenbos, 4) dennenbos en 5) heide. Voor de indeling is gebruik gemaakt van het remote-sensingbestand LGN3⁺ (De Wit *et al.*, 1999) en de vierde bosstatistiek (Clement, 2001). De vierde bosstatistiek is gebruikt voor de onderverdeling van naaldbos in dennenbos en sparrenbos, een onderscheid waarin LGN3⁺ niet voorziet. Er is niet gekozen voor de meest recente versie van het landgebruiksbestand (LGN4), maar voor LGN3⁺ omdat deze laatste versie ook is gehanteerd voor de indeling van STONE-plots (De Wit *et al.*, 1999). Voor de arealen zie tabel 2.1. De resulterende ruimtelijke verdeling van de natuurlijke vegetatietypen binnen Nederland is gegeven in figuur 2.1. Voor de parameterisering en toetsing is gebruik gemaakt van experimentele gegevens (Bonten en Brus, 2006 en Massop *et al.*, 2005).

Tabel 2.1 Arealen onderscheiden typen natuur in STONE 2.3

Landgebruik	Areaal (ha)	Areaal (% van totaal)
Dennenbos (nature_douglas fir)	137 175	16
Loofbos (nature_forestDecid)	143 706	17
Sparrenbos (nature_forestSpruce)	31 794	4
Onbemest grasland (nature_grass)	513 325	60
Heide (nature_heather)	29 438	3
Totaal	855 438	100



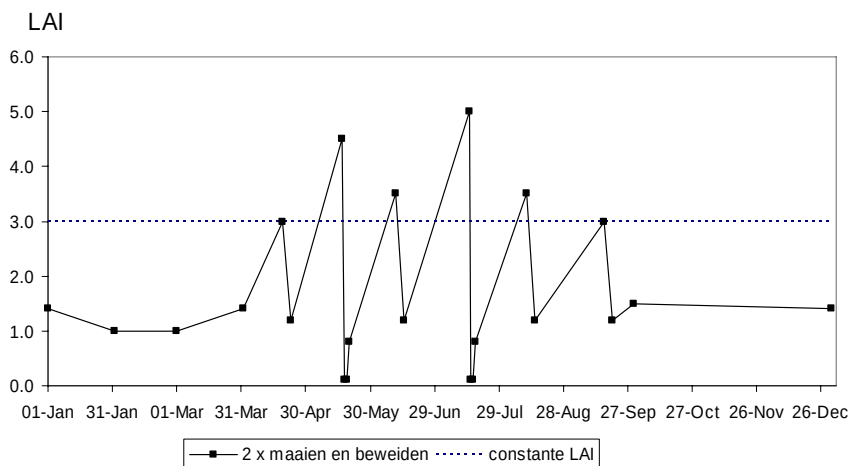
Figuur 2.1 De ruimtelijke verdeling van de onderscheiden typen natuur in STONE 2.3 binnen Nederland

2.1.5 Gewasparameters landbouwgewassen

Bodembedekkingsverloop

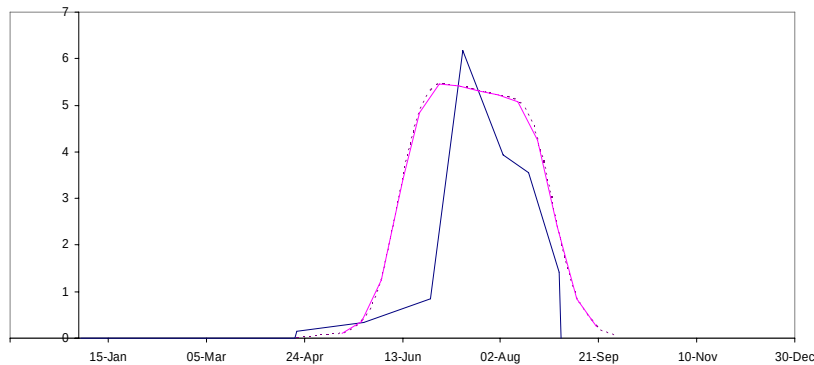
Voor de landbouwgewassen gras en akkerbouw (aardappelen) is de het verloop van de bodembedekking gedurende het jaar (LAI-verloop) aangepast.

Voor grasland werd een constante LAI (= 3,0) gedurende het gehele jaar als niet realistisch beoordeeld en werd een verloop geconstrueerd van 4 maal weiden en 2 maal maaien. Bij maaien is aangenomen dat gedurende 2 dagen na het maaien de LAI nul is, doordat het gemaaid gras de verdamping verhindert (figuur 2.2).



Figuur 2.2 Verloop van de LAI voor grasland voor STONE 2.3 (constant LAI = 3.0 is STONE 2.1)

Voor overig bouwland is het verloop van de LAI aangepast omdat het verloop zoals gebruikt voor STONE 2.1 als niet erg realistisch werd beoordeeld. Hierbij zijn berekeningen met SWAP gekoppeld met WOFOST voor aardappelen, voor een studie naar peilbeheer in Flevoland, gebruikt (Clevering en Van Bakel, 2007; zie figuur 2.3)



Figuur 2.3 LAI overig bouwland (gebaseerd op aardappelen) volgens STONE 2.1 en STONE 2.3

In bijlage 1 worden de parameterwaarden in detail gegeven.

Bewortelingsdiepte en aanpassing bij natte grondwatertrappen (Gt's)

De bewortelingsdieptes zijn in eerste instantie niet aangepast, dat wil zeggen dat de bewortelingsdiepte-ontwikkeling per gewas afhangt van het ontwikkelingsstadium (DVS) maar niet van de gebruikte PAWN-bodemeenheid (Kroes *et al.*, 2001). Voor maïs bijvoorbeeld is de maximale bewortelingsdiepte 100 cm. Door de diepe beworteling kan het voorkomen dat de grondwaterstand in het groeiseizoen hoger komt dan de onderkant van de wortelzone met reductie van de verdamping tot gevolg. Dit kan voor met name maïs en aardappelen op natte Gt's leiden tot een forse reductie van de verdamping die er vervolgens weer toe leidt dat de grondwaterstand hoger wordt waardoor het gewas nog minder gaat verdampen.

Bij een aantal rekeneenheden heeft de schematisering (Kroon *et al.*, 2001) geresulteerd in maïs of akkerbouw op natte Gt's met zodanig natte omstandigheden dat de gewasverdamping sterk wordt gereduceerd. Aangezien de schematisering niet kan worden aangepast is er voor gekozen om de parameterisering aan te passen zodat de gewasverdamping kan doorgaan. Het betreft een 15-tal snijmaïs-rekeneenheden en een 5-tal overig -bouwland-rekeneenheden (bijlage 1). Bij beide landbouwgewassen is het drukhoogtecriterium (bij welke drukhoogte in de wortelzone wordt wateropname door de wortels geremd) aangepast (conform STONE 2.1; zie bijlage 1). Voor snijmaïs was dit onvoldoende en is bovendien de bewortelingsdiepte verlaagd van 1,0 naar 0,5 m. Zie bijlage 1 voor meer details.

2.1.6 Lekweerstand

Voor de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem zijn nieuwe waarden voor de freatische lekweerstand afgeleid. De essentie van de verandering ten opzichte van eerdere versies bestaat uit het gebruik van nieuwe geohydrologische bestanden (kD- en c-waarden) voor het topsysteem en een wijziging in de procedure voor opschaling van weerstanden.

De nieuwe weerstanden zijn afgeleid van nieuwe bestanden met kD- en c-waarden voor het topsysteem (Massop *et al.*, in prep). Deze bestanden zijn afgeleid op basis van een uitgebreid databestand (DINO) met circa 300.000 ondiepe en matig diepe boringen tot circa 30 m onder

maaiveld. Eerder beschikbare schematisering op basis van deze boringen (Van der Linden *et al.*, 2001 en 2002; Van der Linden, 2002) zijn niet gebruikt in STONE, omdat in sommige regio's werd getwijfeld aan de juistheid van de resultaten (Van Bakel *et al.*, 2007). Daarom zijn doorlatendheden herzien, is de begrenzing van het topsysteem opnieuw vastgesteld en is de procedure voor ruimtelijke interpolatie verbeterd ten opzichte van de eerdere methode. Een uitgebreide beschrijving van de methode en resultaten is gerapporteerd in Massop *et al.* (in prep.).

Analoog aan de afleiding van parameterisering in STONE 2.0 (Kroon *et al.*, 2001) zijn met de nieuwe waarden voor doorlaatvermogen en weerstand van het topsysteem 250-m-gridbestanden afgeleid met freatische lekweerstanden voor primaire, secundaire en tertiaire waterlopen. Voor de afleiding is gebruik gemaakt van de formule voor voedingsweerstand (De Lange, 1996). Overige invoerbestanden voor de afleiding, zoals slootafstanden, breedte van waterlopen en intreeweerstanden zijn gelijk aan de parameterisering in STONE 2.0.

Ter vergelijking, in STONE 2.0 en STONE 2.1 waren over het algemeen meer ruimtelijk gemiddelde waarden voor het doorlaatvermogen (kD) en de verticale weerstand (c) als basis gebruikt (Kroon *et al.*, 2001). Voor het Pleistocene deel van Nederland waren gemiddelde eigenschappen per hydrotype afgeleid en voor Holoceen Nederland werden waarden overgenomen uit de NAGROM-schematisering. Een uitzondering in het Pleistocene gebied vormde het Drents Plateau, waar specifieke informatie over keileem en beekleem was gebruikt afkomstig van de provincie Drenthe.

De 250-m-gridbestanden zijn per afwateringssysteem (primair, secundair, tertiair) opgeschaald naar representatieve waarden per STONE-plot. In eerdere STONE-schematiseringen is hiervoor harmonisch gemiddeld over de afzonderlijke gridcellen binnen het STONE-plot (Kroon *et al.*, 2001). Toepassing van harmonische middeling op de nieuwe bestanden met freatische lekweerstanden resulteerde over het algemeen in te lage weerstanden. Een verklaring hiervoor is dat de nieuwe bestanden een veel grotere ruimtelijke variatie in geohydrologische eigenschappen hebben. Lokaal lage waarden van weerstanden leiden tot sterke verlaging van de plot-gemiddelde waarde. In feite betekent dit dat de STONE-plots met deze nieuwe geohydrologische parameterisering niet meer als (min of meer) homogeen kunnen worden beschouwd. De geohydrologische variatie van de plots was in STONE 2.0 relatief gering, omdat de indeling in STONE-plots destijds is bepaald op basis van de toenmalige parameterisering van geohydrologische eigenschappen.

Voor de opschaling van freatische lekweerstanden naar representatieve waarden voor STONE-plots is daarom nu een andere procedure gehanteerd, te weten:

- binnen de STONE-plots worden eerst de gridcellen geselecteerd die kleiner zijn dan 10 000 d;
- over deze gridcellen wordt een mediaanwaarde bepaald. Omdat er geen sprake is van parallelle stroming binnen een plot (grids kunnen nl verspreid liggen) is niet het harmonisch gemiddelde maar de mediaan genomen;
- de mediaanwaarden zijn gecorrigeerd voor het oppervlak van de STONE-plot. D.w.z. als 90 van de 100 cellen binnen een plot een waarde lager dan 10.000 d hebben is de mediane waarde over alle cellen uitgesmeerd, door de berekende mediaan met 100/90 te vermenigvuldigen;
- de lekweerstanden per STONE-plot zijn naar boven begrensd op 50.000 d en de lekweerstand van plots zonder berekende weerstand is op 50.000 d gezet.

De weerstand van buisdrainage is gehandhaafd op 100 d.

De weerstand van de maaiveldgreppels is gehandhaafd op 30 d.

2.1.7 Ontwateringsbasis

De ontwateringsbasis wordt voor de drie onderscheiden open ontwateringssystemen (primaire, secundaire, tertiaire) gedurende de simulatieperiode in elke tijdstap berekend en is gelijk aan de actuele openwaterstand of de hoogte van de bodem van het betreffende systeem. De actuele openwaterstand wordt berekend op basis van het streefpeil en de waterbalans van het oppervlaktewatersysteem en de rekenprocedure wordt hieronder nader toegelicht.

Het streefpeil is de oppervlaktewaterstand die door de waterbeheerder wordt nagestreefd. Dit peil wordt in SWAP als invoergegeven opgelegd aan het primaire systeem en wordt bij afvoer vrijwel gehandhaafd, omdat de afvoercapaciteit ruim is gedimensioneerd. Bij aanwezigheid van wateraanvoer (per plot gegeven) wordt het streefpeil ook in perioden van subinfiltratie (omgekeerde van drainage) gehandhaafd, ongeacht de hoogte van de watervraag. De openwaterstand van het primaire systeem is derhalve bij plots met wateraanvoer altijd gelijk aan het streefpeil. Bij afwezigheid van wateraanvoer zakt de open waterstand beneden het streefpeil indien er subinfiltratieplaats vindt.

De ontwateringsbasis van het secundaire en tertiaire systeem is gelijk aan de waterstand van het primaire systeem mits de slootbodem van het secundaire resp. tertiaire systeem lager is dan deze waterstand. Indien de slootbodem hoger is, is de ontwateringsbasis gelijk aan de slootbodemhoogte van het secundaire resp. tertiaire systeem.

Binnen Nederland zijn de hydrotypen samengevoegd tot 4 typen gebieden waarbinnen per Gt een verschillend streefpeil is gehanteerd, nl:

- de komgronden in het rivierengebied (Hydrotype Betuwe-komgronden);
- Nederland (Westland-H-profiel en Westland-HC-profiel);
- de rest van laag Nederland (de overige Westland-profielen);
- de overige (zand)gronden.
- In tabel 2.2 zijn de betreffende streefpeilen gegeven.

Tabel 2.2 Streefpeilen als functie van gebiedstype en Gt

Gebiedstype	Grondwatertrap						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Komgronden in rivierengebied	50	70	90	110	110	130	175
Laagveen in West-Nederland	40	50	80	90	100	120	155
Rest van laag-Nederland	80	100	130	140	150	170	205
Overige (zand)gronden	60	80	100	120	120	140	185

De bodemdiepte voor het primaire systeem is steeds 50 cm onder het streefpeil gelegd. De bodemdieptes van het secundaire en tertiaire systeem zijn opnieuw vastgesteld, door gebruik gemaakt van beschikbare veldopnamen, aangevuld met schattingen op basis van expert-judgement. De beschikbare metingen zijn beschreven in Massop *et al.* 2006.

Naast het oppervlaktewatersysteem kan er ook nog buisdrainage voorkomen. De draindieptes zijn herzien door gebruik te maken van het bestand dat voor de Landelijke Droogtestudie is gemaakt (Massop, 2002). Voor de diepte van de buisdrainage zijn de volgende waarden gehanteerd:

droogmakerijen:	120 cm -mv
zeekleigebied:	110 cm -mv
gras op zand:	80 cm -mv
bouwland op zand:	100 cm-mv

Bij de aanwezigheid van buisdrainage is ervan uitgegaan dat de drains altijd minimaal 20 cm hoger liggen dan het streefpeil. Tevens is aangenomen dat de bodem van het secundaire en tertiaire minimaal 10 resp. 5 cm onder het drainniveau liggen. Indien dit niet het geval is, is bij aanwezigheid van buisdrainage aangenomen dat de bodem dieper ligt en worden de gebruikte waarden vervangen door de waarden volgend uit deze aanname.

Op basis van de beschreven methodiek zijn voor alle combinaties van hydrotype, Gt en buisdrainage ontwateringsdiepten bepaald en weergegeven in bijlage 4.

De diepte van de maaiveldgreppels is gehandhaafd op 20 cm.

2.2 Tijdstap voor berekening grondwatertrap

De bepaling van de grondwatertrap (Gt) kan op verschillende manieren worden uitgevoerd. In het veld meet men de grondwaterstand op de 14^e en 28^e van elke maand en daaruit wordt de Gt bepaald. Van der Gaast en Massop (2005) hebben recent laten zien dat het aantal gebruikte grondwaterstanden van invloed is op GHG en GLG en daarmee op de Gt. Voor STONE 2.1 is de Gt bepaald op basis van berekende grondwaterstanden met tijdsintervallen van een decade⁴. De decadelengte is een vereiste van het STONE-instrumentarium. De berekeningen die in dit rapport worden beschreven hebben resultaten gegenereerd met een tijdsinterval van 1 dag. Deze daglengte is optimaal om een vergelijking met metingen mogelijk te maken en zijn daarom in dit rapport gehanteerd. Om zicht te geven op de invloed van de tijdstapgrootte zijn aanvullende berekeningen gedaan die in deze paragraaf worden gerapporteerd. Er is met decades als tijdstap gerekend om de rekentijd van de nutriënten berekeningen te beperken.

Voor de berekeningen in dit rapport is de tijdstapgrootte voor uitvoer gezet op 1 dag. Op basis van deze gegevens is per jaar de HG₃ en LG₃ bepaald door van de 14^e en 28^e van de maand de hoogste resp. laagste 3 berekende grondwaterstanden te nemen en die te middelen. De GHG en GLG worden vervolgens berekend als het rekenkundig gemiddelde van resp. de HG₃'s en LG₃'s over de klimaatreeks 1971-2000. Hierbij merken we op dat het formeel juist is om te werken met hydrologische jaren in plaats van kalenderjaren. Deze berekeningen hebben geresulteerd in Gt's op basis van daggegevens (gt_dag in tabel 2.2), welke in de rest van dit rapport zijn gebruikt.

Voor STONE 2.3 wordt de tijdstapgrootte voor uitvoer gezet op 1 decade. Er zijn extra berekeningen uitgevoerd waarbij resultaten zijn gegenereerd voor tijdsintervallen met een lengte van een decade. Op basis van deze gegevens is per jaar de HG₃ en LG₃ bepaald door, van de resultaten van de laatste dag van de 1^e en 3^e decade van de maand, de hoogste resp. laagste 3 berekende grondwaterstanden te nemen. De GHG en GLG worden vervolgens berekend als het rekenkundig gemiddelde van resp. de HG₃'s en LG₃'s over de klimaatreeks 1971-2000. Deze procedure is conform de tot nu toe gebruikelijke methodiek die binnen STONE is gehanteerd.

De resultaten van beide bovengenoemde berekeningen zijn vergeleken. De GHG en GLG verschillen in geringe mate (rekenkundig gemiddelde GHG op dag- en decadebasis is resp. 77,9 en 80,4 cm). De verschillen zijn gering maar door het hanteren van klassengrenzen kan het doorwerken in de arealen per Gt (zie tabellen 2.3 en 2.4).

⁴ Een decade is een tijdseenheid die een kalendermaand in drie delen verdeelt, waarbij de eerste twee delen een lengte van 10 dagen hebben en het derde deel een lengte van 8, 9, 10 of 11 dagen heeft.

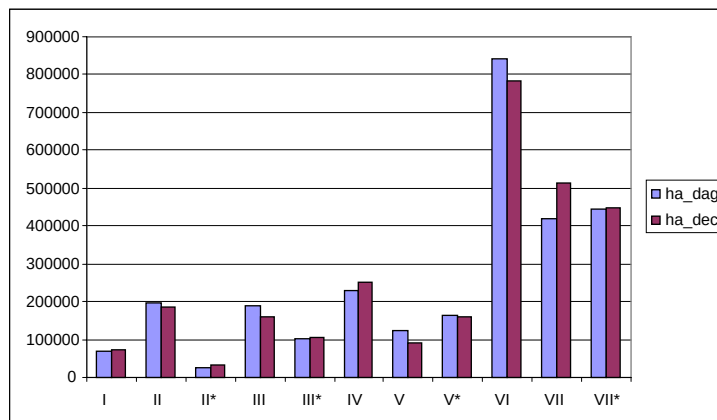
Tabel 2.3 Vergelijking tussen arealen per Gt berekend met dagwaarden en decadewaarden

Sum of AreaHa	gt_dec											
gt_dag	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Total
I	70288	181										70 469
II	3038	186325	7488	138								196 988
II*			24665		381							25 038
III		494		159981	29738		700					190 913
III*					75619	24406		1019	356			101 400
IV						227113			1394	613		229 119
V				775			90419	34144				125 338
V*					231			125700	36881			162 813
VI						625			743750	98113		842 488
VII									631	415531	2850	419 013
VII*											443969	443 969
Total	73325	187000	32144	160894	105969	252144	91119	160863	783013	514256	446819	2 807 544

Tabel 2.4 Vergelijking tussen aantallen plots per Gt berekend met dagwaarden en decadewaarden

Sum of AreaHa	gt_dec											
gt_dag	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Total
I	116	2										118
II	3	381	21	1								406
II*			71		1							72
III		2		414	83		4					503
III*					220	72		1	1			294
IV						520			3	1		524
V				1			241	113				355
V*					1			355	112			468
VI						2			1688	117		1807
VII									2	1021	10	1033
VII*											825	825
Total	119	385	92	416	305	594	245	469	1806	1139	835	6405

De verschuiving in arealen geeft figuur 2.4. Daarbij valt op dat het areaal Gt VI bij rekenen met dagwaarden toeneemt en het areaal Gt VII* afneemt.



Figuur 2.4 Arealen per Gt berekend met dag- resp. decadewaarden

Indien dezelfde vergelijking wordt gemaakt voor landbouw op zand, is het verschil zeer gering (tabel 2.5). Het areaal landbouw op droge zandgronden is bij dag- en decade-uitvoer respectievelijk 323 713 en 330 338 ha; een verschil van 6625 ha, ofwel een toename van het areaal met 2% door naar decaderesultaten te kijken in plaats van naar dagresultaten.

Tabel 2.5 Vergelijking tussen arealen per Gt berekend met dagwaarden en decadewaarden voor landbouw op zand

Sum of AreaHa	gt_decade											
gt_dag	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Grand Total
I	663											663
II		11406	544									11 950
II*			8506									8506
III				41631	13169		156					54 956
III*					30275	4150		1019				35 444
IV						76588			775			77 363
V				775			15919	6819				23 513
V*					231			64625	12394			77 250
VI						250			247063	6625		253 938
VII										181319	956	182 275
VII*											141438	141 438
Grand Total	663	11406	9050	42 406	43 675	80 988	16 075	72 463	260231	187944	142394	867 294

2.3 Conclusies en discussie

Conclusies

Een aantal aanbevelingen uit het rapport Actualisatie voor STONE 2.1 (Van Bakel *et al.* 2007) zijn opgevolgd:

- de opdeling van natuur is nu veel gedetailleerder en *state of the art*;
- dagwaarden van referentiegewasverdamping zijn gebruikt in plaats van neergeschaalde decadewaarden;
- het verloop van de LAI voor gras en akkerbouw zijn aangepast en meer overeenstemmend met de werkelijkheid;
- de lekweerstanden zijn opnieuw berekend met gebruikmaking van de nieuwe parameterisering van het topsysteem. Voor het Pleistocene deel van Nederland zijn de nieuwe waarden gebruikt;
- door voortschrijdend inzicht zijn voor sommige plots de streefpeilen en dieptes van buisdrainage aangepast.

Discussie

De volgende discussiepunten zijn te noemen:

- het gebruik van 6 districten voor de verdamping doet onvoldoende recht aan de relatief grote ruimtelijke variabiliteit in veeljarig gemiddeld verdamping in Nederland. In hoofdstuk 4 wordt hier nader op ingegaan;
- het gebruik van gemiddelde neerslagwaarden van alle stations in 1 district geeft een afvlakkende werking in vooral perioden met lokaal hoge neerslagen. Voor berekening van de oppervlakte-afvoer als gevolg van overschrijden van de infiltratiecapaciteit kan dat leiden tot een onderschatting van optreden van oppervlakte-afvoer. Maar door het gebruik van dagwaarden en gemiddelde bodemfysische doorlatendheden is het modelleren van deze vorm van oppervlakte-afvoer sowieso niet goed mogelijk;
- de maximale bewortelingsdiepte van maïs en aardappelen wordt ook bepaald door de bodemopbouw en door de grondwaterstand. Vooral het niet rekening houden met de bodemopbouw is een ernstige tekortkoming. Indien de grondwaterstand belemmerd wordt kan men afvragen of maïs dan wel aardappelen wel op natte plot behoren te staan;
- de conceptualisering van reductie van de verdamping door een optelling van de reducties per knooppunt in de wortelzone is, zonder dat compensatie kan plaats vinden doordat knooppunten meer kunnen gaan onttrekken als andere knooppunten het in dit opzicht laten afweten, niet het beste denkbare model;

- niet alle plots met gras worden tegelijk beweide of gemaaid. Dit pleit voor het construeren van een gemiddelde LAI-curve. Echter het nadeel hiervan is dat de (gewas)verdamping in hoge mate niet-lineair afhangt van de LAI waardoor de verdampingreductie direct na het maaien of weiden onvoldoende in rekening wordt gebracht;
- de streefpeilen in het oppervlaktewater zijn beperkt bijgesteld. Bij de actualisatie voor STONE 2.1 is overwogen de werkelijke waterstand ook te laten afhangen van het debiet. Om allerlei redenen is daar vanaf gezien. Het is echter aannemelijk dat de openwaterstanden in STONE in perioden met waterafvoer structureel te laag zijn omdat met opstuwings in sloten en kunstwerken geen rekening wordt gehouden.

Of deze discussiepunten ook moeten leiden tot aanbevelingen hangt sterk af van het vervolg op deze actualisatieronde (zie ook hoofdstuk 6). In ieder geval is aan te bevelen:

- dat het KNMI voor 15 districten dagwaarden van de verdampingsparameters vaststelt;
- dat de maximale bewortelingsdieptes afhangt van zowel de bodemopbouw als het gewas (en eventueel grondwaterstandskarakteristiek).

3 Koppeling NAGROM-SWAP

3.1 Iteratie NAGROM –SWAP

3.1.1 Korte historie, vergelijking iteratieprocedure met vorige versies

Voor het model SWAP is de onderrandvoorwaarden van groot belang omdat hiermee voorkomen van kwel en wegzijging wordt bepaald. Voor het STONE instrumentarium wordt deze onderrandvoorwaarden gelegd via een koppeling tussen NAGROM (De Lange, 1996) en SWAP (Kroes en Van Dam, 2003). De koppeling is beschreven voor STONE 2.0 (Kroon *et al.*, 2001). Kortweg wordt in SWAP een grondwateraanvulling berekend, zijnde de netto neerslag minus de actuele verdamping en de oppervlakte-afvoer, die in NAGROM wordt gebruikt als bovenrandvoorwaarde. NAGROM berekent de uitwisseling tussen het watervoerende pakket en het freatische grondwater (kwel/wegzijging), die als onderrandvoorwaarde wordt gehanteerd in SWAP. Door een aantal malen NAGROM en SWAP achter elkaar te draaien, worden de grondwateraanvulling en kwel/wegzijging op elkaar afgestemd. Voor de eerste NAGROM-berekening wordt een zo goed mogelijke schatting van de grondwateraanvulling gehanteerd.

In de eerste koppeling tussen NAGROM en SWAP (STONE 2.0) is de iteratie gestart met de grondwateraanvulling berekend voor het jaar 1985 met MOZART. Vervolgens is NAGROM gedraaid, met SWAP is de grondwateraanvulling over de periode 1977-1985 berekend, en vervolgens nogmaals NAGROM gedraaid als definitieve onderrandvoorwaarde voor de berekening in SWAP. Extreme waarden en zogenaamde 'zakkers' zijn achteraf handmatig gecorrigeerd.

Voor de hydrologie voor STONE 2.1 (Van Bakel *et al.*, 2007) heeft iteratie tussen NAGROM en SWAP plaatsgevonden met nieuwe (freatische) lekweerstand. Echter, in diverse regio's werd getwijfeld aan de juistheid van de nieuwe weerstanden. Daarom is voor de hydrologie van STONE 2.1 teruggefallen op de weerstanden en kwel/wegzijgingsfluxen uit STONE 2.0. Uitzonderingen zijn de gebieden waar volgens de (overige aspecten van de) nieuwe schematisering 'zakkers' werden berekend. Voor deze plots is met behulp van berekende kwelelasticiteit berekend met NAGROM de onderrandvoorwaarde aangepast. Opgemerkt wordt dat in STONE 2.1 een aantal aanpassingen is verricht in SWAP die niet zijn teruggekoppeld op de kwel/wegzijging.

De verschillen met de iteratieprocedure in STONE 2.0 zijn:

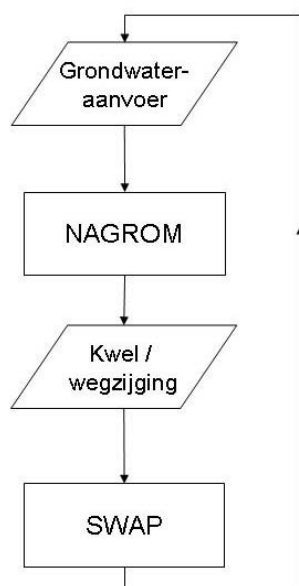
- er is een initiële waarde voor de grondwateraanvulling gehanteerd die vermoedelijk dichter bij de uiteindelijke waarde ligt dan in eerdere STONE-versies. Als initiële waarde is de berekende grondwateraanvulling in STONE 2.1 gehanteerd, terwijl in STONE 2.0 een met MOZART berekende waarde voor 1985 als startwaarde is gebruikt;
- de nieuwe hydrologie voor STONE is tot stand gekomen na drie iteraties. In STONE 2.0 is het regionale grondwater één maal afgesteld op de initiële grondwateraanvulling en één maal op de berekende grondwateraanvulling in SWAP. Voor de nieuwe schematisering is het regionale grondwater één maal afgesteld op de (waarschijnlijk minder afwijkende) initiële grondwateraanvulling en twee maal afgesteld op de berekening in SWAP;
- de met SWAP berekende grondwateraanvulling is gebaseerd op een periode van 30 jaar i.p.v. 8 jaar;

- voor de schematisering van STONE 2.1 is een gewijzigde iteratieprocedure in MONA gehanteerd voor het verdelen van de in NAGROM berekende kwel binnen de NAGROM-elementen. In deze procedure wordt met behulp van de geschematiseerde peilen en weerstanden de berekende kwel per NAGROM-element neergeschaald naar de gridcellen per element, zodat de berekende kwel/wegzijging per NAGROM-element gelijk is aan de som van de kwel/wegzijging in de inliggende gridcellen. In STONE 2.1 is daarbij per gridcel de wegzijging gelijk gesteld aan maximaal de grondwateraanvulling. In STONE 2.0 was het mogelijk dat (afhankelijk van combinatie van peilen en weerstanden) voor gridcellen de berekende wegzijging groter is dan de met SWAP berekende grondwateraanvulling. Mede hierdoor was in STONE 2.0 een grotere kans op 'zakkers'.

3.1.2 De gevolgde iteratieprocedure in de hydrologie voor STONE 2.3

Voor STONE 2.3 is voor de interactie met het regionale grondwater SWAP op afstand gekoppeld aan het model NAGROM. Dat wil zeggen dat NAGROM en SWAP een aantal malen achter elkaar gedraaid zijn, waarbij de grondwateraanvulling door SWAP telkens opnieuw wordt berekend en als bovenrandvoorwaarde in NAGROM wordt ingevoerd en vervolgens de kwel/wegzijging door NAGROM wordt herberekend en als onderrandvoorwaarde voor SWAP wordt gebruikt (figuur 3.1). De iteratie is in drie stappen uitgevoerd en is gestart met de eindtoestand van STONE2.1. Het eindresultaat van Stap 1, 2 en 3 was respectievelijk Run 7, Run 9_merged en Run 12. Omwille van de duidelijkheid in de archivering worden deze Run-coderingen aangehouden in dit rapport.

In technisch-organisatorische zin betekende dit dat door Alterra met behulp van gedistribueerd rekenen in elke run 6405 plots 30 jaar zijn doorgerekend en de berekende veeljarig gemiddelde grondwateraanvullingen per plot zijn verstuurd naar RIZA. Bij RIZA werd vervolgens NAGROM gedraaid en werden de per grid berekende kwelwaarden gemiddeld naar plotwaarden die weer werden verstuurd naar Alterra. Tijdens de iteraties zijn (na de initiële run) de berekende grondwateraanvulling en de berekende kwel/wegzijging geanalyseerd en de verschillen met de waarden in de vorige run bepaald.



Figuur 3.1 Iteratieschema voor koppeling NAGROM en SWAP

Bij de analyse van de resultaten van Stap 3 (Run12) bleek dat de resultaten voor de hydrotypen van de Westland formatie niet plausibel waren. Er is daarom besloten om voor de hydrotypen van de Westland formatie de kwel/wegzijgings gegevens per plot van STONE 2.1 te gebruiken. Dit heeft geresulteerd in Stap 4 welke is geëindigd met de resultaten van Run 13. De resultaten van Stap 4 komen in hoofdstuk 4 aan de orde.

In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk worden de resultaten van de Stappen 1 t/m 3 besproken.

3.2 Resultaten

3.2.1 Grondwateraanvulling

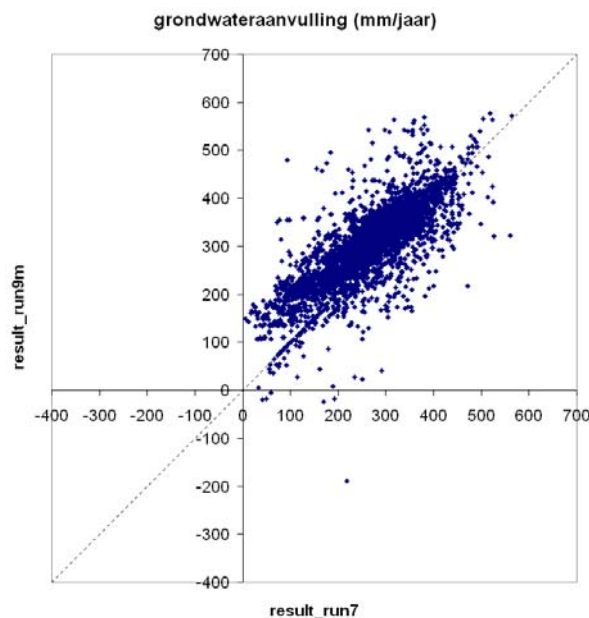
De convergentie is allereerst beoordeeld door te kijken naar de mate waarin de grondwateraanvulling verandert in de verschillende stappen.

Deze grondwateraanvulling wordt berekend als restterm uit de waterbalans van het verzadigd topsysteem:

$$q_s = \sum_{i=1}^n q_{dra,i} - \sum_{i=1}^n q_{inf,i} + q_w - q_k$$

waarbij: q_s is de grondwateraanvulling, $q_{dra,i}$ is drainage van systeem i, $q_{inf,i}$ is infiltratie van systeem i naar de bodem, q_w en q_k zijn wegzijging en kwel; alle termen in mm/jaar.

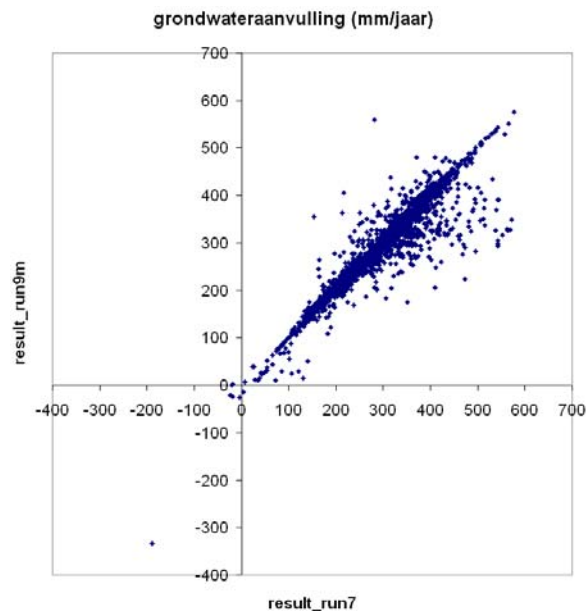
Een vergelijking van de grondwateraanvulling na stap 1 (resultaten run 7) met de resultaten van de initiële run is gegeven in figuur 3.2.



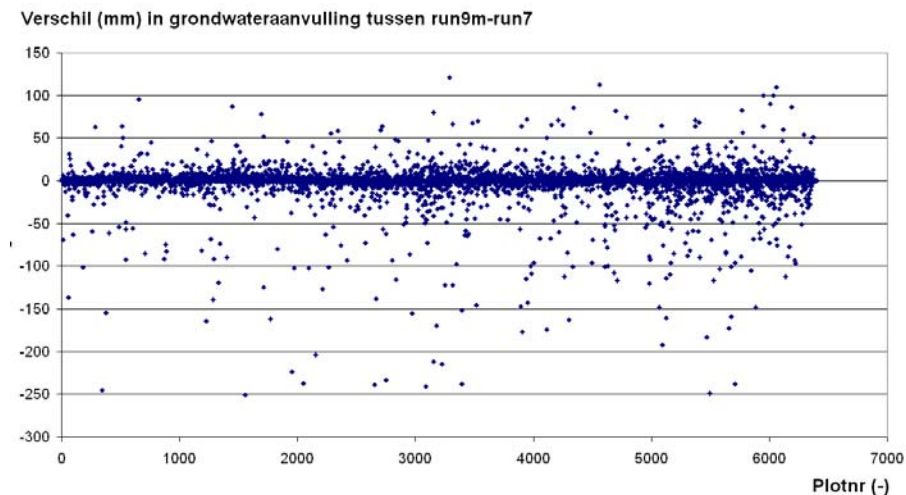
Figuur 3.2 Vergelijking van de grondwateraanvulling (mm/jr) in de initiële situatie (result_20060210) en na run 7

De verschillen in grondwateraanvulling tussen initieel en stap 1 zijn aanzienlijk met een tendens tot meer grondwateraanvulling na stap 1. Een plausible verklaring is dat door de aanpassing in de verdampingsparameters de verdamping over het algemeen wat geringer is, met meer grondwateraanvulling tot gevolg.

De verschillen in grondwateraanvulling tussen stap 1 en stap 2 zijn aanmerkelijk geringer (zie figuur 3.3 en 3.4).

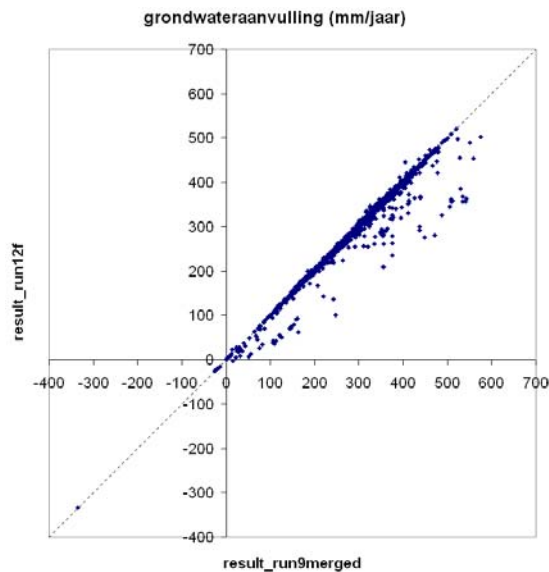


Figuur 3.3 Vergelijking van de grondwateraanvulling (mm/jr) na stap 2 (run 9) en na stap 1 (run 7)

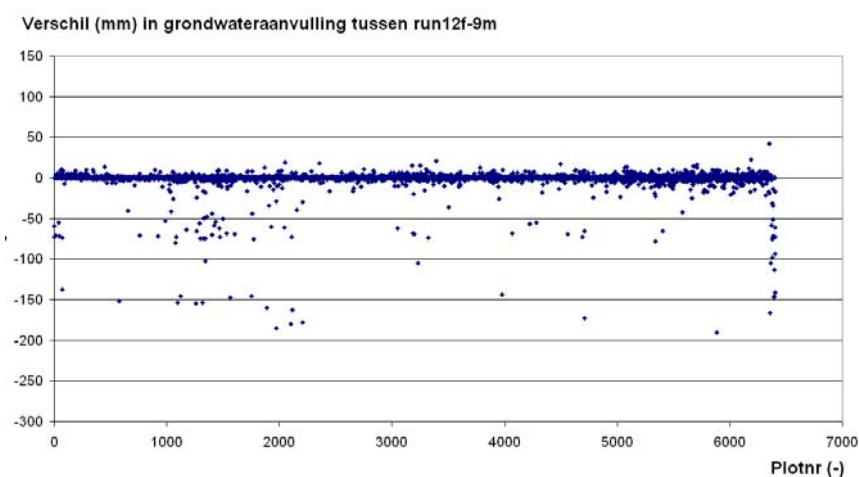


Figuur 3.4 Verschillen in grondwateraanvulling (mm/jr) per plot na stap 1 (run 7) en na stap 2 (run 9)

De verschillen in grondwateraanvulling tussen stap 2 en stap 3 zijn wederom aanzienlijk geringer (zie figuur 3.5 en 3.6).



Figuur 3.5 Vergelijking van de grondwateraanvulling (mm/jr) na stap 3 (run 12) en na stap 2 (run 9merged)

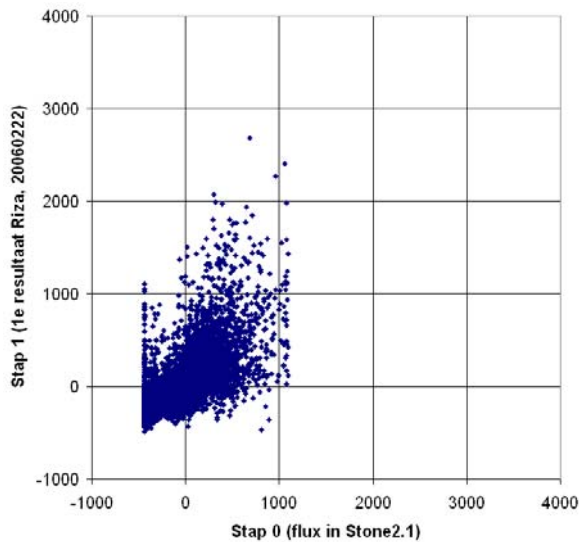


Figuur 3.6 Verschil in grondwateraanvulling (mm/jr) na stap 2 en na stap 3

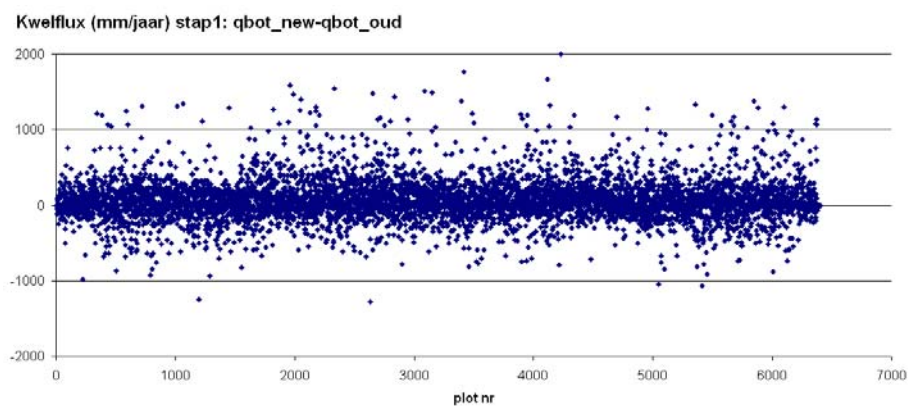
De iteraties laten zien dat de onderrand van SWAP voor het overgrote deel van de plots goed overeenkomt met de bovenrand van NAGROM in de uiteindelijke run. Zie figuren 3.2 t/m 3.4. Dergelijke figuren zijn niet gemaakt voor de iteraties in eerdere STONE-schematiseringen, maar vrijwel zeker kan worden gezegd dat de modellen in de nieuwe schematisering beter zijn geïtereerd dan in de oude schematisering. De oorzaak ligt in de andere wijze van itereren, zoals hierboven beschreven.

3.2.2 Onderrandflux

De onderrandflux zoals die door NAGROM werd geproduceerd is vergeleken met de die uit STONE 2.1. In figuur 3.7 zijn de oude en nieuwe waarden tegen elkaar uitgezet; in figuur 3.8 zijn de verschillen per plot weergegeven.



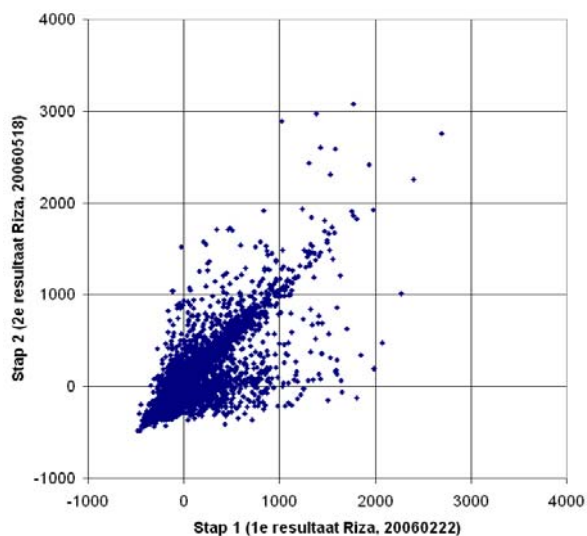
Figuur 3.7 Vergelijking onderrandflux (mm/jr, positief=qwel) tussen Stap 0 (STONE 2.1) en na stap 1 (run7)



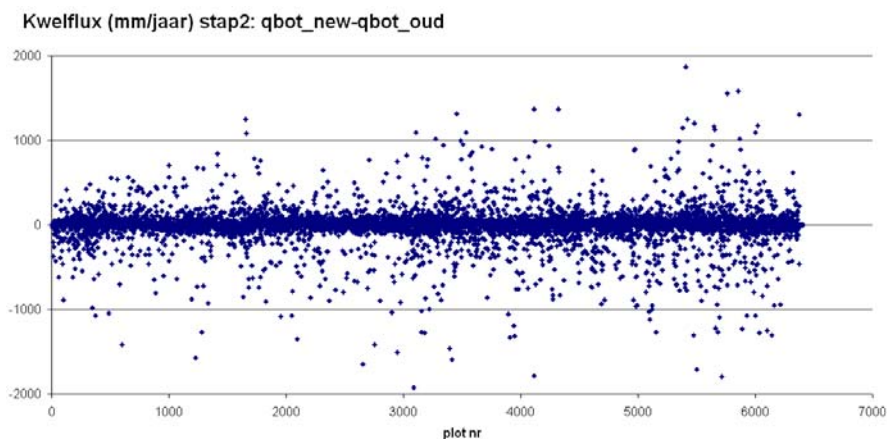
Figuur 3.8 Verschillen in onderrandflux (mm/jr) per plot tussen STONE 2.1 en na stap 1 (run7)

De verschillen tussen beide onderrandfluxen zijn groot; soms meer dan 1000 mm/jr. Dit verschil heeft meerdere oorzaken, waarvan de belangrijkste wel de wijziging in de parameterisering van de geohydrologie van het topsysteem (Massop *et al.*, 2006). Voor een klein deel zijn de verschillen het gevolg van het afkappen van de flux bij STONE 2.1 (zie figuur 3.7).

De verschillen tussen stap 1 en stap 2 zijn te zien in figuren 3.9 en 3.10.

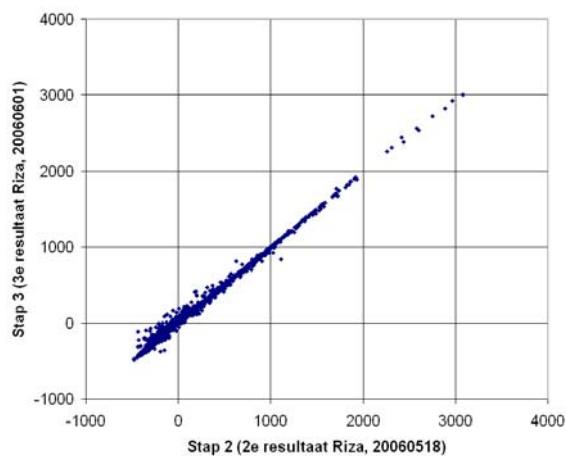


Figuur 3.9 Vergelijking van de onderrandflux (mm/jr, positief=qwel) RIZA/Nagrom na stap 1 en na stap 2

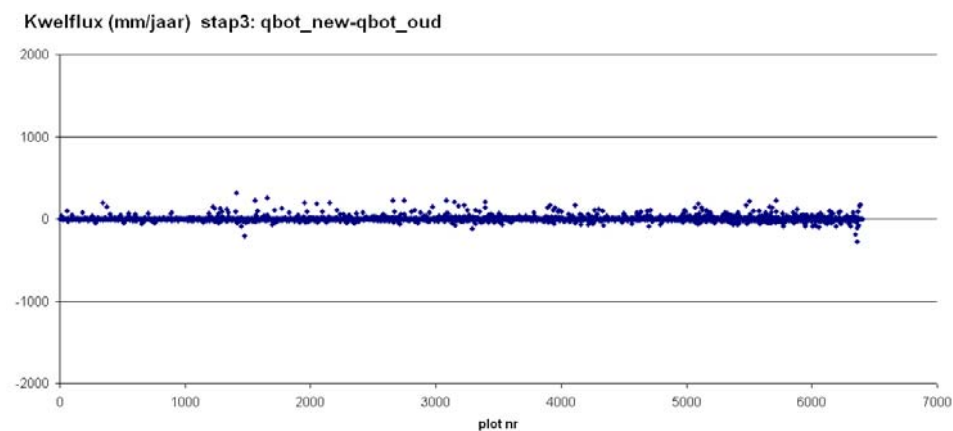


Figuur 3.10 Verschillen in onderrandflux (mm/jr) van RIZA/Nagrom na stap 1 en na stap 2

De veranderingen zijn nog steeds aanzienlijk maar er is een duidelijke verbetering te constateren ten opzichte van de vorige stap. Deze verbetering zet zich door in stap 3 (zie figuur 3.11 en 3.12).



Figuur 3.11 Vergelijking van onderrandflux (mm/jr, positief=kwel) RIZA/Nagrom na stap 2 en na stap 3



Figuur 3.12 Verschillen in onderrandflux (mm/jr) van RIZA/Nagrom na stap 2 en na stap 3

De verschillen zijn na deze stap zodanig gering dat is besloten geen verdere iteraties meer uit te voeren. Daarbij is een afweging gemaakt tussen de extra winst door nog een iteratie uit te voeren en de daarmee gepaard gaande inspanningen.

De onderrandflux na stap 3 is gebruikt bij de initialisatie-run (extra 30 jaar).

3.2.3 Probleemplots

Een andere manier om te kijken of er voldoende evenwicht is tussen het ondiepe grondwater (in SWAP) en het diepe grondwater (in NAGROM) is door te controleren of er nog zogenaamde 'uitzakkers' zijn, dat wil zeggen grondwaterstanden die een structureel dalende trend vertonen. Dit duidt op onvoldoende convergentie tussen de grondwateraanvulling in SWAP en de kwel/wegzijing berekend met NAGROM. Naast deze 'zakkers' is ook gecontroleerd op andere opvallende waarden, zoals een controle op de transpiratie en een controle op numerieke convergentie.

In de eerste run (run7) blijkt een behoorlijk aantal plots nog onderuitzakgedrag te vertonen, dat wil zeggen dat de grondwaterstand beneden 13 m -mv zakt. Ook is een flink aantal 'doorzakkers' geconstateerd, dat wil zeggen dat de grondwaterstand in de simulatieperiode meer dan 5 m zakt. Ook plots met een transpiratie van minder dan 150 mm/jaar werden als probleem aangemerkt. Deze lage transpiratie is het gevolg van akkerbouw of maïs op te natte Gt's. In de praktijk zullen deze gewassen daar niet worden geteeld. Zie tabel 3.1 voor een samenvatting van de aantallen en bijlage 2 voor verdere details. Ten opzichte van STONE 2.1 treedt een aanzienlijke reductie op in aantallen probleemplots (was ca. 1500), maar het aantal is nog steeds aanzienlijk.

Na herhaalde iteraties tussen de modellen SWAP en NAGROM lijkt het aantal probleemplots flink af te nemen. Na de laatste stap bleken nog 3 plots met 'doorzakkers' voor te komen, maar bij nadere analyse bleek dat de daling van de grondwaterstand ca 6 m bedraagt en voor dit type gronden plausibel lijkt. Deze 3 plots (nrs 502, 847, 4279) zijn verder niet aangepast. Verder resteren nog 2 plots waarbij een waterbalansfout optrad, hetgeen mogelijk problemen geeft bij stoftransportsimulaties. Deze plots (nrs 2722 en 3287) zijn niet aangepast omdat bij aanvullende berekeningen (met uitvoer met op decadebasis) dit probleem zich niet meer heeft voorgedaan.

Er resteren voorts nog 86 plots met een lage transpiratie ($50 > T < 150$); plots met zeer lage transpiratie ($T < 50$) komen niet meer voor, omdat hetzij het landgebruik is aangepast hetzij de aangepaste onderrand de transpiratie-stress heeft weggenomen.

Tabel 3.1 Aantallen probleemplots na stap 3 (run 12f), vergeleken met stap 1 (run 7) en stap 2 (run 9m)

Criterium	Aantal plots (-)		
	Run7	Run9m	Run12f
Onderuitzakkers	60	115	0
Doorzakkers/stijgers (delta-gwl>5m)	65	45	3
Transpiratie <50 mm/jr	63	23	0
Transpiratie <150 mm/jr	122	80	86
Waterbalansafwijking	340	272	2
Numeriek - geen convergentie	68	7	0
Extreme bodemtemperatuur	0	0	0
Extreme vochtgehalten	0	0	0
Geen probleem	5687	5863	6314
Totaal	6405	6405	6405
<i>Onvolledige simulaties (afgebroken)</i>	<i>139</i>	<i>47</i>	<i>0</i>

Na de vooroplevering is besloten voor plots met Westlandformatie in de ondergrond de kwel uit Hydrologie voor STONE 2.1 als onderrand te gebruiken. Herberekening van de 2305 betreffende plots leverde 114 plots waarbij de simulatie om verschillende redenen niet tot een goed einde kwam. Na aanpassingen in tijdstapgrootte of onderrandflux zijn alle missers hersteld.

Voor niet-veenplots met maïs of akkerbouw en een GHG ondieper dan 20 cm –mv is verondersteld dat dit niet realistisch is. Het gaat om 219 plots met een totaal areaal van 67962,5 ha. Hierbij is een ontwateringssysteem geïntroduceerd met buisdrainage conform de vaste diepte volgens tabel 3.2.

Tabel 3.2 De diepte (cm -mv) van de ontwateringsmiddelen van gecorrigeerde bouwlandplots

Drainage systeem	Zand	Klei
1	-170	-190
2	-110	-130
3	-105	-125
4 (=buisdrainage)	-100	-120
5	-20	-20

3.3 Conclusies

De koppeling tussen NAGROM en SWAP via een ‘koppeling op afstand’ is in logistiek opzicht succesvol gerealiseerd en resulteerde in een goede convergentie tussen beide modellen. De convergentie is getoetst voor de kwel/wegzijging, de grondwateraanvulling maar ook door te kijken naar het aantal ‘zakkers’.

Een dergelijke toetsing is niet op exact dezelfde wijze toegepast voor eerdere STONE-schematiseringen, maar vrijwel zeker kan gezegd worden dat op alle getoetste punten de nieuwe hydrologische koppeling beter presteert.

4 Resultaten van de hydrologie voor STONE 2.3

4.1 Inleiding

In hoofdstuk 3 is beschreven hoe de koppeling tussen de 6405 plotmodellen en de regionale grondwaterstroming procedureel en organisatorisch-technisch is gerealiseerd via een koppeling op afstand. In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken die zijn bereikt nadat bij de vooroplevering in september 2006 werd geconstateerd dat de resultaten voor hydrotypen met Westlandformatie (ruwweg het Holocene deel van Nederland) niet plausibel waren. Vergelijking met literatuurgegevens en waterbalansmetingen gaf hiertoe aanleiding (Zie verder Massop *et al.* (in prep)). Nadere analyse leerde dat bij deze hydrotypen de weerstand van de Holocene deklaag te lage waarden had. Het gevolg was dat het gesimuleerde patroon van kwel/wegzijging niet in overeenstemming is met de werkelijkheid. Er is daarom besloten voor de hydrotypen met Westlandformatie uit te gaan van de kwel-/wegzijgingswaarden per plot uit de hydrologie voor STONE 2.1, maar voor het overige alle wijzigingen in de hydrologie, zoals beschreven in hoofdstuk 2, te handhaven. Voor de rest van Nederland zijn geen herberekeningen uitgevoerd.

De resultaten die in dit hoofdstuk worden besproken zijn gebaseerd op modeluitvoer met een tijdstapgrootte van 1 dag. Dit is gedaan om consistent te zijn met belangrijke modelinvoer (meteo) die ook op dagbasis is.

4.2 Termen van de waterbalans

4.2.1 Landelijke gemiddelden

In tabel 4.1 is de gemiddelde waterbalans gegeven voor de periode 1971-2000, voor zowel STONE 2.1 als STONE 2.3 (subinfiltratie is infiltratie vanuit waterlopen; omgekeerde van drainage).

Tabel 4.1 Veeljarig gemiddelde waterbalansen van STONE 2.1 en STONE 2.3

Waterbalans termen, gewogen gemiddelde, periode 1971-2000 (mm/jr)		
Balansterm	STONE 2.1	STONE 2.3
Neerslag	793	796
Irrigatie (berekening)	13	6
Subinfiltratie	22	19
Kwel	90	93
Verdamping	-531	-497
Oppervlakte-afvoer	-17	-10
Drainage	-276	-306
Wegzijging	-95	-101
BergingDelta	2	0
grondwateraanvulling	259	295

Voor STONE is de verdeling van de drainage over de ontwateringsmiddelen van belang. Tabel 4.2 geeft de verdeling. Tevens is de verdeling van de subinfiltratie weergegeven. Deze tabel was niet beschikbaar voor STONE 2.1.

Tabel 4.2 Veeljarig gemiddelde subdrainage en infiltratie, opgesplitst over de 5 onderscheiden systemen, berekend voor de Hydrologie voor STONE 2.3

Systeem	Subinfiltratie (mm/jr)	Drainage (mm/jr)
1	11,2	52,9
2	6,1	42,4
3	0,7	47,5
4	1,2	157,7
5	0,0	5,3
Totaal	19,2	305,8

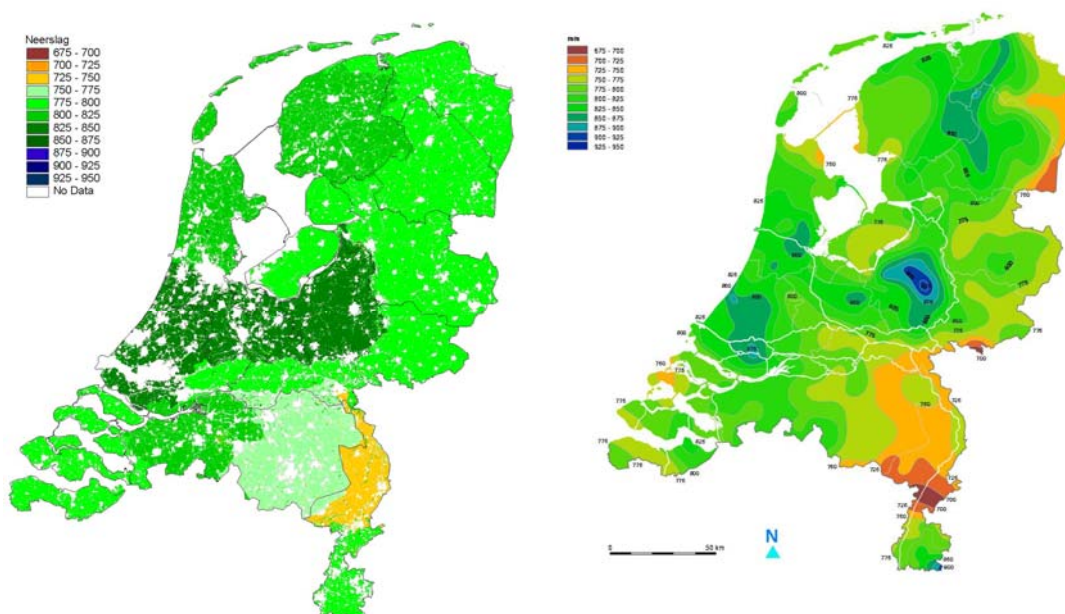
De volgende conclusies zijn bij de in de tabellen weergegeven resultaten te trekken:

- de vermindering van de berekening is niet plausibel (berekening was al aan de lage kant);
- de infiltratie neemt iets af en is te verklaren uit de gemiddeld hogere grondwaterstanden (zie volgende paragraaf);
- de verdamping is gedaald als gevolg van verandering in de verdampingseigenschappen. De verandering is conform de verwachting;
- de oppervlakte-afvoer neemt af. Daar is geen goede verklaring voor te geven;
- de drainage neemt toe als gevolg van de verminderde verdamping;
- de grondwateraanvulling is toegenomen en is te verklaren doordat de verdamping is afgenomen met 34 mm.

Hierna volgen de ruimtelijke beelden en tabellen van de afzonderlijke waterbalanstermen.

4.2.2 Neerslag

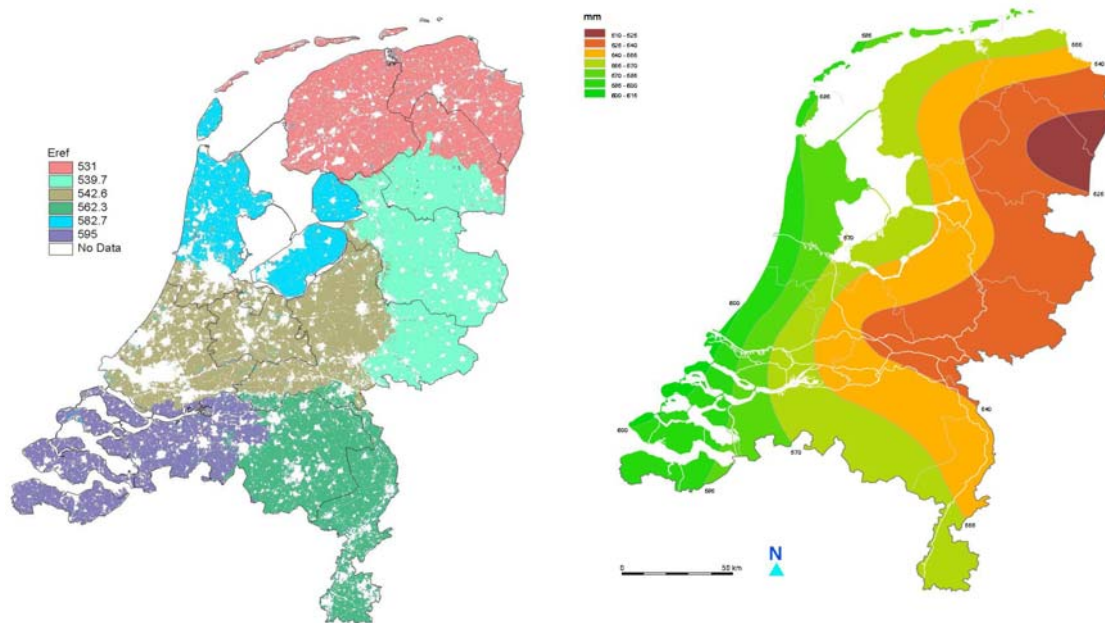
In figuur 4.1 is de veeljarig gemiddelde neerslag gegeven. Door het gebruik van neerslaghoeveelheden van 15 KNMI-districten is de ruimtelijke variabiliteit bij STONE 2.3 (figuur 4.1, links) minder dan bij het gebruik van 300 neerslagstations zoals gepubliceerd door het KNMI in de Klimaatatlas van Nederland (figuur 4.1, rechts).



Figuur 4.1 Neerslag (mm/jr) langjarig gemiddeld (1971-2000) berekeningen (links) en volgens klimaatatlas (rechts, overgenomen uit Heyboer en Nellestijn, 2002)

4.2.3 Referentiegewasverdamping

De referentiegewasverdamping is weergegeven in figuur 4.2 en vergeleken met het beeld uit de Klimaatatlas.



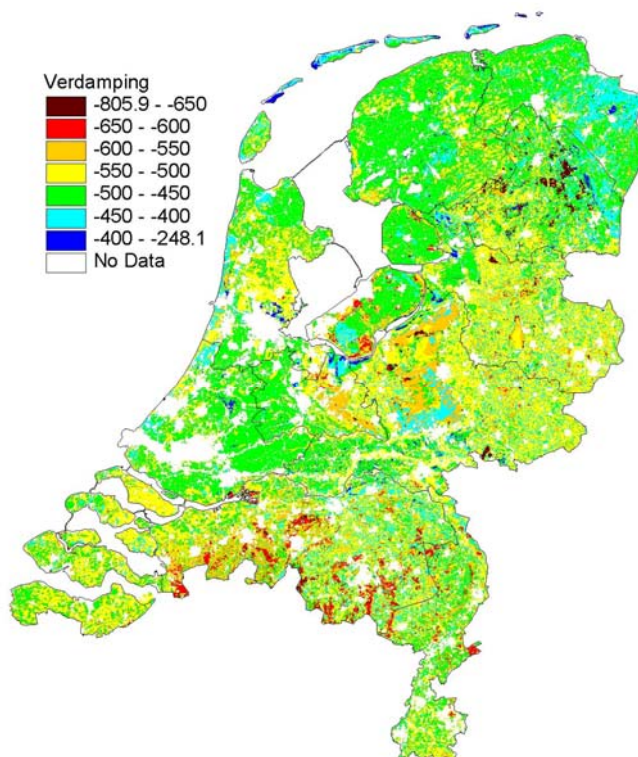
Figuur 4.2 Referentiegewasverdamping ET_{ref} (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000), invoer voor de huidige berekeningen (links) en volgens klimaatatlas (rechts, overgenomen uit Heyboer en Nellestijn, 2002)

In figuur 4.2 zijn duidelijk de 6 meteodistricten te herkennen. Het beeld komt niet overeen met de bekende regionale verschillen zoals gepubliceerd door het KNMI in de Klimaatatlas van Nederland (2002). Het zogenoemde kusteffect is niet te herkennen en de conclusie is dat gebruik van 6 meteodistricten onvoldoende recht doen aan de regionale verschillen in referentiegewasverdamping. Verder is bij de reductie van het aantal plots (Kroon *et al.*, 2001) de indeling in weerregio's bij een aantal kleinere plots niet altijd als onderscheidend criterium gehanteerd. Hierdoor liggen sommige plots niet volledig binnen een meteodistrict.

4.2.4 Actuele evapotranspiratie

De actuele evapotranspiratie is weergegeven in figuur 4.3. Hoge waarden vallen samen met landgebruik 'donker naaldhout'. Opvallend is de lage verdamping van de kleibouwlanden ten zuiden van de Dollard in Oost-Groningen. Het valt samen met bodemfysische eenheid 17, klei met zware tussenlaag of ondergrond. Deze eenheid komt vooral voor rondom de Dollard, op de komgronden in de Betuwe en Friesland ten zuiden van het Van Harinxma-kanaal en in het zuidwesten van Flevoland.

In tabel 4.3 is de actuele evapotranspiratie gegeven voor de combinaties van gesimuleerde grondwatertrap en landgebruik.



Figuur 4.3 Actuele evapotranspiratie, ET_{act} (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000)

Tabel 4.3. Actuele evapotranspiratie (mm/jr) per grondwatertrap, naar oppervlak gewogen gemiddeld, per landgebruiksvorm opgesplitst

Landgebruik	Grondwatertrap											
	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Gem
grass	445	493	510	506	509	512	505	515	511	513	496	505
grasslrr	432	499	520	519	528	529	524	525	531	533	538	530
maize	293	329	402	397	412	422	414	423	438	441	435	424
maizelrr				394	423	430	407		453	461	462	452
maizew	366	424										400
nature_douglas fir								604	619	606	589	597
nature_forestDecid	393	461	530	523	559	557	571	577	587	591	570	568
nature_forestSpruce					763			774	776	772	725	738
nature_grass	416	481	502	499	504	510	508	512	517	510	490	502
nature_heather		399						468	478	458	448	453
potatlrr		374	456	447	493	462	465	465	475	475	476	472
potatoes	276	400	445	434	454	456	450	460	472	470	453	462
potatow	306					470						339
Gemiddeld	417	467	488	483	484	477	493	498	497	506	516	494

Enige conclusies bij deze tabel zijn:

- onzuiverheden in de schematisering zorgen bij enkele combinaties voor niet-plausibele resultaten. Als voorbeelden: beregend gras op Gt I en II, aardappelen en maïs op Gt I, II en II*. Omdat maïs en aardappelen op zulke natte Gt's een sterke reductie van de verdamping laten zien (zie hoofdstuk 3), zijn voor een aantal plots de bewortelingsdieptes en/of de parameters voor de wateropname door wortels aangepast (maizew en potatow);
- de reductie in verdamping bij droge Gt's is aan lage kant, om waarschijnlijk (al eerder genoemde) te gunstige bodemfysische eigenschappen van zandgronden;
- de verdamping van de onderscheiden natuurtypen is plausibel; (zie Bonten *et al.*, 2006).

Voor STONE is de grondwateraanvulling van belang. In tabel 4.4 is deze per hoofdbodemgroep gegeven.

Tabel 4.4 Veeljarig gemiddelde grondwateraanvulling (mm/j), per hoofdbodemgroep per Gt

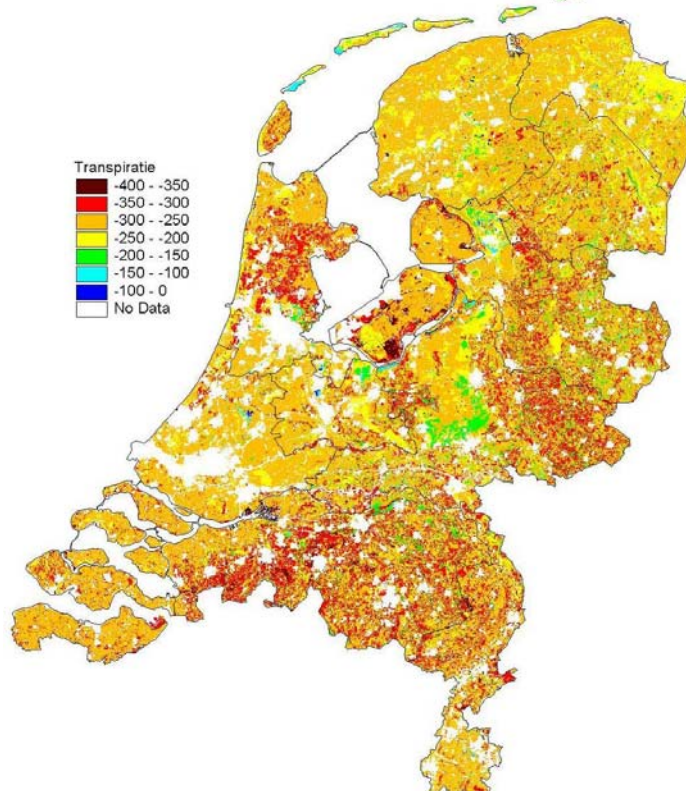
Hoofdbodemgroep	Grondwatertrap											Totaal
	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	
Klei	162	252	262	259	266	256	275	279	275	283	265	271
Loss	62	157		280				263			279	246
Veen	200	250	283	266	240	261	271	263	277	275	276	251
Zand	188	232	268	257	266	268	260	274	275	277	267	270
Totaal	194	246	269	260	264	262	270	275	275	278	268	268

Opvallende zaken zijn:

- de lage waarden bij natte Gt's. De verklaring hiervoor is dat bij deze Gt's meer oppervlakte-afvoer optreedt waardoor de grondwateraanvulling minder is;
- op zandgronden geen toename van de grondwateraanvulling bij droge Gt's. Er treedt weinig reductie op in vergelijking met de HELP-tabel (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Dit punt is in eerdere rapportages al eerder gesignaleerd (Kroes *et al.*, 2003). In de Droogtestudie is hiervoor de bodemfysica en de bewortelingsdiepte gespecificeerd naar bodemtype (zand, veen, klei) aangepast (Witteveen en Bos, 2003). In de huidige studie heeft geen aanpassing plaats gevonden.

4.2.5 Actuele gewasverdamping

In figuur 4.4 is de actuele gewasverdamping gegeven.



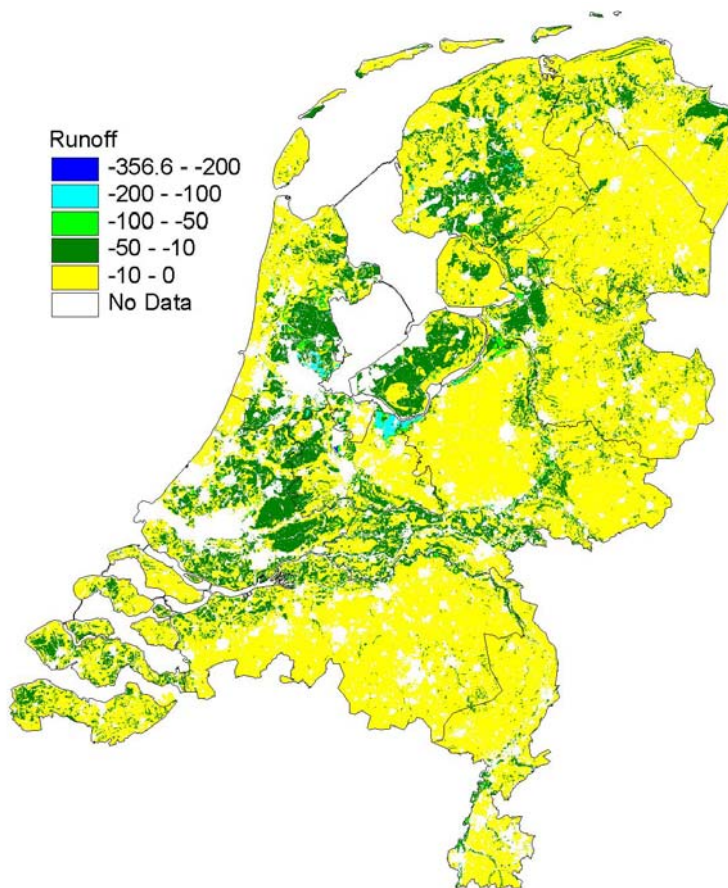
Figuur 4.4 Actuele gewasverdamping (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000)

De volgende punten vallen op:

- de zandgronden laten relatief hoge waarden zien. Dit punt is hierboven al signaleerd;
- de lage waarden in Oost-Groningen. Dit heeft te maken met de slechte capillaire eigenschappen van de daar aanwezige kleigronden.

4.2.6 Oppervlakte-afvoer

De oppervlakte-afvoer is gegeven in figuur 4.5.



Figuur 4.5 Oppervlakte-afvoer (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000)

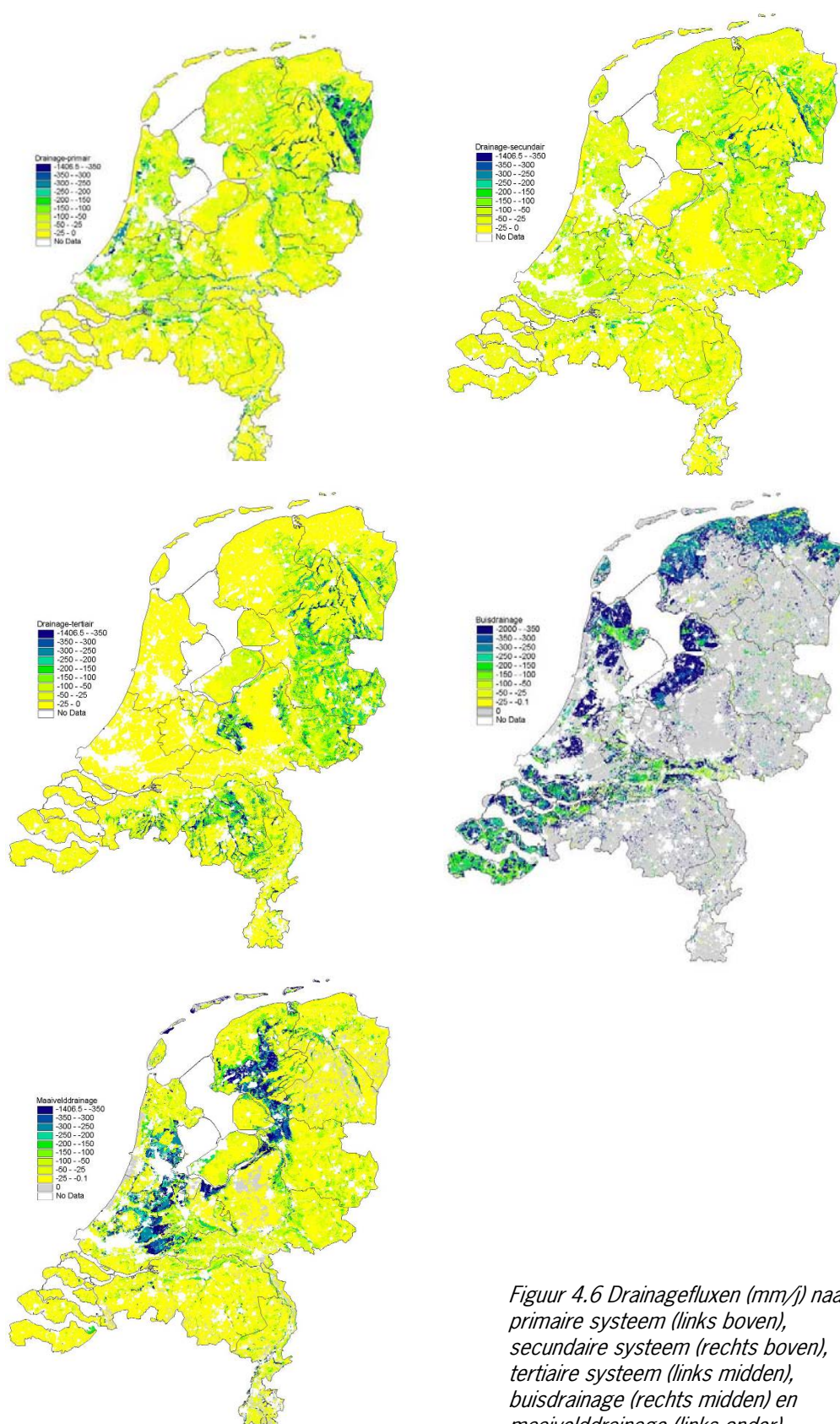
Bij deze figuur valt het volgende op te merken:

- de waarden bij Nijkerk en Waterland zijn opvallend hoog (meer dan 100 mm/jr). De verklaring is dat door de natte Gt's de grondwaterstand frequent tot boven maaiveld kan stijgen;
- er is gerekend met dagwaarden van de neerslag. Daardoor wordt oppervlakte-afvoer als gevolg van overschrijden van de infiltratiecapaciteit niet of niet in voldoende mate gesimuleerd. Opvallend is daarom dat in vooral het Holocene deel van Nederland toch redelijke waarden voor de oppervlakte-afvoer worden berekend.

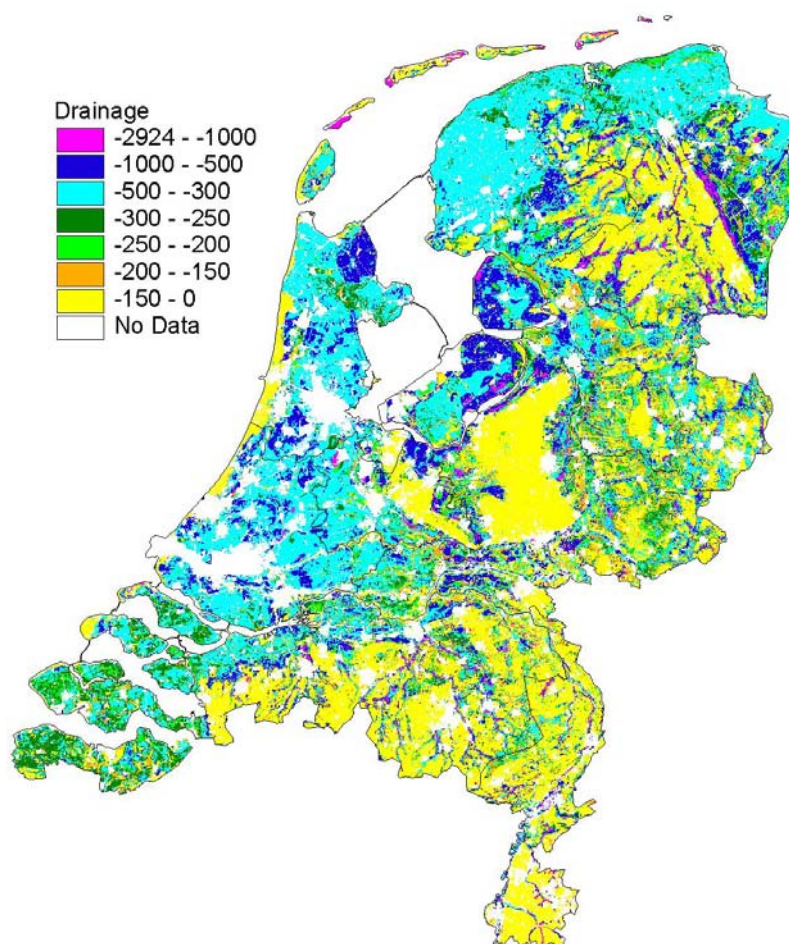
4.2.7 Overige drainagefluxen

In figuur 4.7 is de totale drainage weergegeven.

De afvoeren naar de onderscheiden typen waterlopen (primair, secundair, tertiair, buisdrainage, maaiveld drainage) zijn weergegeven in figuur 4.6.



*Figuur 4.6 Drainagefluxen (mm/j) naar
primaire systeem (links boven),
secundaire systeem (rechts boven),
tertiaire systeem (links midden),
buisdrainage (rechts midden) en
maaiveld drainage (links onder)*



Figuur 4.7 Drainage totaal (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000)

De figuren geven een beeld van de regionale verschillen.

Opvallende zaken zijn:

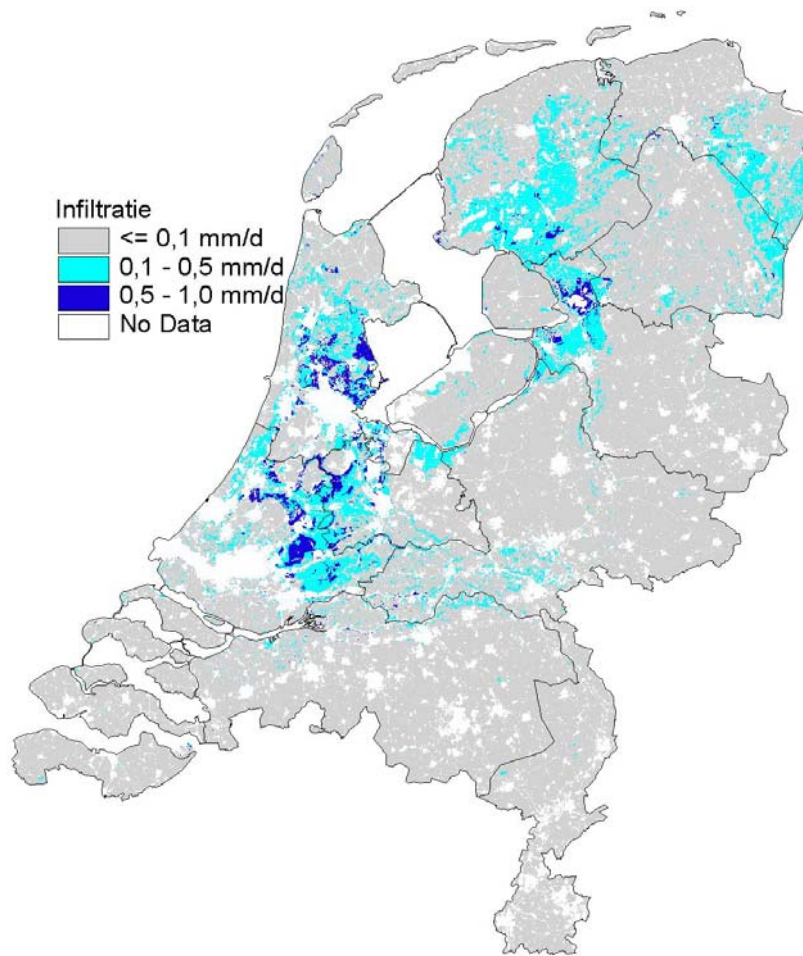
- in de Veenkoloniën en in Drenthe treedt veel afvoer op naar het primaire (en tertiaire) systeem. Voor de Veenkoloniën is dat te verklaren doordat de wijken zijn geclassificeerd als primaire waterlopen. In Drenthe zorgt het hoge doorlaatvermogen voor veel afvoer naar de beken. Verderop in dit rapport zal hierop worden teruggekomen;
- afvoer naar het tertiaire systeem treedt vooral op in het Pleistocene deel van Nederland;
- waar buisdrainage aanwezig is, is de afvoer naar dit ontwateringsmiddel ook dominant;
- maaivelddrainage treedt vooral op bij natte veengronden.

4.2.8 Infiltratie

De infiltratie vanuit het oppervlaktewatersysteem is weergegeven in figuur 4.8.

Opvallend zijn de lage waarden in die delen van het Pleistoceen waar wateraanvoer mogelijk is. In bijvoorbeeld het waterschap Aa en Maas in Oost-Brabant is de gemeten infiltratie in sommige delen meer dan 50 mm/jr (Van Kaathoven, 1984). De verklaring is de reductie van het wateraanvoergebied door de indeling in plots (Kroon *et al.*, 2001).

Voor de rest van Nederland zijn de berekende waarden plausibel.



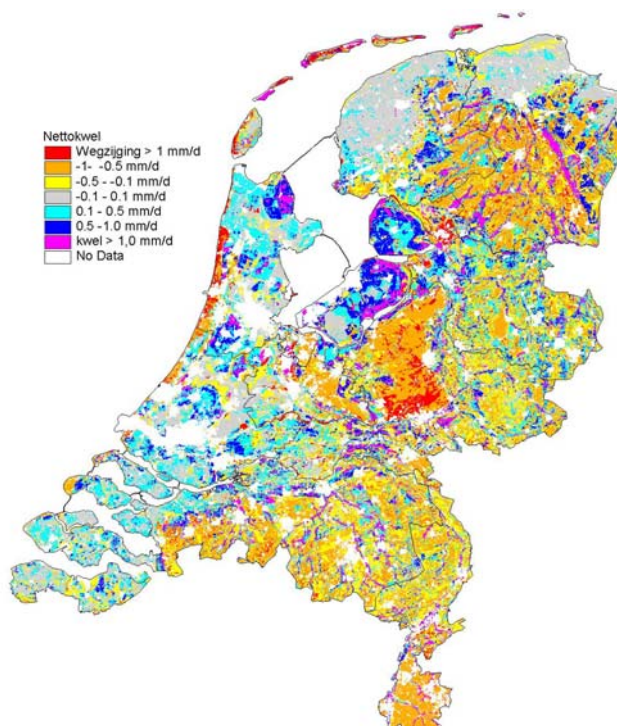
Figuur 4.8 Infiltratie vanuit oppervlaktewater (mm/d), langjarig gemiddeld (1971-2000)

4.2.9 Kwel/wegzijging

De berekende netto kwel (kwel en wegzijging per plot gesommeerd) is weergegeven in figuur 4.9.

De volgende conclusies zijn hierbij te trekken:

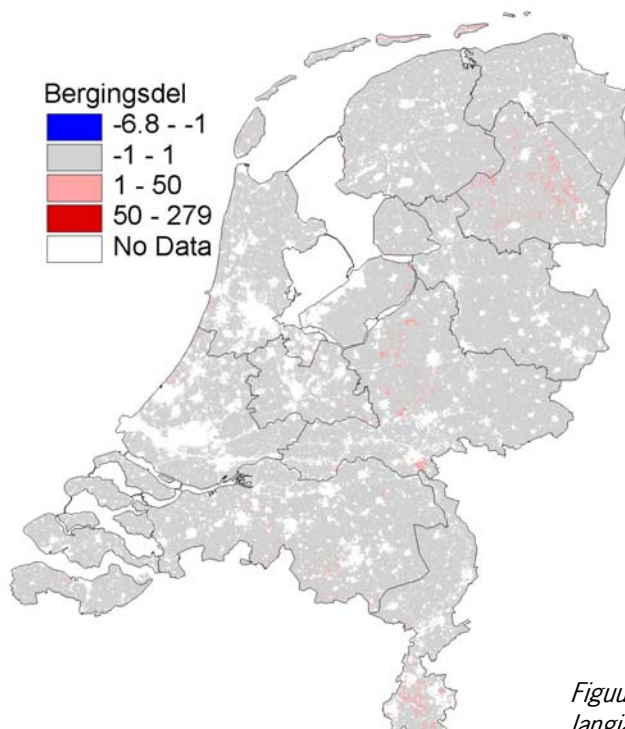
- de kwel in sommige gebieden in het Holocene deel van Nederland lijkt aan de hoge kant. Als voorbeeld: de Haarlemmermeer heeft een kwel van 0,8 mm/d. Dit is duidelijk hoger dan de kwel uit het onderzoek Midden West-Nederland (1976) en van De Gruyter (1957). Daarin wordt een waarde van ongeveer 0,4 mm/d gegeven. De vermoedelijke oorzaak is een te geringe c-waarde voor het topsysteem. In Massop *et al.* (in prep.) zal hier nader op worden ingegaan;
- de Krimpenerwaard wordt een behoorlijke wegzijging berekend; uit waterbalansen volgt een geringe kwel (Werkgroep Zuid-Holland, 1987);
- de ruimtelijke verdeling in het Pleistocene deel van Nederland ziet er redelijk uit: kwel in de beekdalen en wegzijging in de hogere delen van het landschap.



Figuur 4.9 Netto kwel (mm/d), langjarig gemiddeld (1971-2000)

4.2.10 Bergingsverandering

De berekende bergingsverandering (verschil in watervoorraad in SWAP-kolom tussen begin en einde van elk simulatiejaar gemiddeld) is weergegeven in figuur 4.10. De waarden zijn over het algemeen laag. Hoge waarden duiden op het niet goed ingesteld zijn van de beginvoorraad en dergelijke waarden komen vooral voor in Zuid-Limburg, op de Veluwe en de in de hoge delen van Drenthe. Dit laatste is opvallend. In hoofdstuk 5 wordt hier nader op ingegaan.



Figuur 4.10 Bergingsverandering (mm/jr), langjarig gemiddeld (1971-2000)

4.3 Grondwatertrappen

4.3.1 Verschuiving in Gt

In tabel 4.5 is de na stap 3 gesimuleerde Gt's vergeleken met de gesimuleerde Gt's voor STONE 2.1. Daarbij moet de overgang naar modeluitvoer met dagwaarden in ogenschouw worden genomen (zie hoofdstuk 2).

Tabel 4.5 Vergelijking van de gesimuleerde Gt voor STONE 2.1 en STONE 2.3

Gt STONE 2.1	Gt STONE 2.3											
	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VII*	Totaal
I	51	32		6	2	4			4	1	1	101
II	48	197	10	68	14	10	18	16	19	2	2	404
II*	3	17	11	13	7	5		3	2			61
III	6	80	2	169	24	23	45	34	70	11	5	469
III*	2	17	2	65	43	21	10	46	58	4	2	270
IV	1	13	28	28	72	139	2	20	54	2	1	360
V		5		35	3	3	131	39	60	65	7	348
V*		6		23	13	8	68	84	121	37	24	384
VI		13	6	33	69	107	33	145	985	212	78	1681
VII		1	2	12	9	50	2	35	512	458	105	1186
VII*				7	1	13	4	15	140	355	606	1141
Totaal	111	381	61	459	257	383	313	437	2025	1147	831	6405

Opvallend zijn soms aanzienlijke veranderingen waarbij bijvoorbeeld een plot met Gt VII in STONE 2.1 een Gt II wordt in STONE 2.3. Het omgekeerde kan ook voorkomen. De verklaring moet voor een belangrijk deel worden gezocht in de verbeterde iteratie waardoor het probleem met het groot aantal 'zakkers' in STONE 2.1 is opgelost.

In tabel 4.6 zijn de verschuivingen in Gt expliciet gemaakt.

Tabel 4.6 Verschuiving in Gt: STONE 2.3 t.o.v. STONE 2.1

Gt STONE 2.3	Aantal STONE 2.1	GT identiek		GT-natter		Gt-droger
		Aantal	Frac	Aantal	Frac	
I	101	51	0,50	0	0,00	0,50
II	404	197	0,49	48	0,12	0,39
II*	61	11	0,18	20	0,33	0,49
III	469	169	0,36	88	0,19	0,45
III*	270	43	0,16	86	0,32	0,52
IV	360	139	0,39	142	0,39	0,22
V	348	131	0,38	46	0,13	0,49
V*	384	84	0,22	118	0,31	0,47
VI	1681	985	0,59	406	0,24	0,17
VII	1186	458	0,39	623	0,53	0,09
VII*	1141	606	0,53	535	0,47	0,00
Totaal	6405	2874	0,45	2112	0,33	0,22

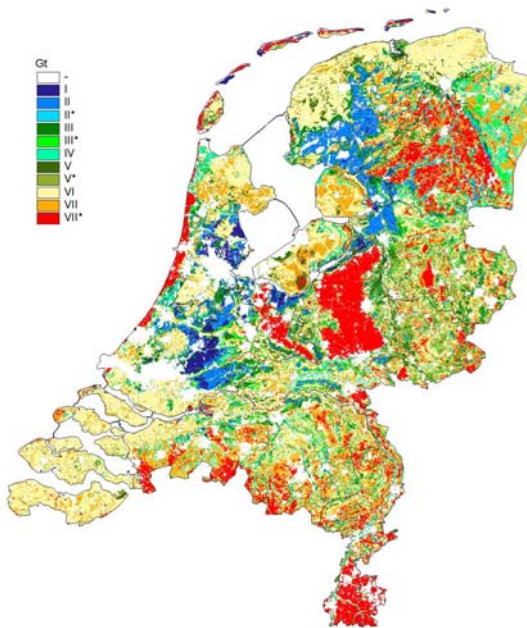
De volgende conclusies zijn te trekken:

- droge Gt's in STONE 2.1 zijn natter geworden;
- er zijn meer Gt's in STONE 2.1 natter dan droger geworden.

4.3.2 Ruimtelijke beelden

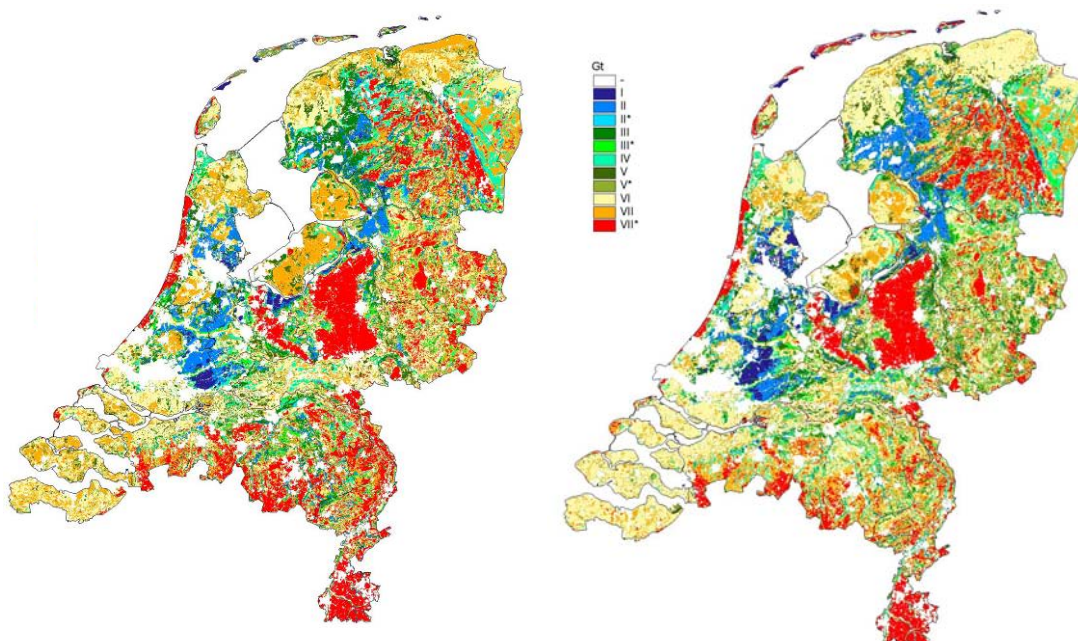
Grondwatertrappen

In figuur 4.11 zijn de gesimuleerde grondwatertrappen weergegeven. De getoonde regionale verschillen zijn duidelijk herkenbaar: Natte Gt's in veenweidegebieden, droge Gt's in kleibouwlandgebieden, een gemengd beeld in beekdallandschappen en zeer droge Gt's op de stuwwallen en de duinen. Verder is wederom opvallend de droge Gt's tussen de beekdalen in Drenthe.



Figuur 4.11 Gt gesimuleerd met de hydrologie voor STONE 2.3

In figuur 4.12 wordt een vergelijking gemaakt met de Gt gesimuleerd met de hydrologie voor STONE 2.1.



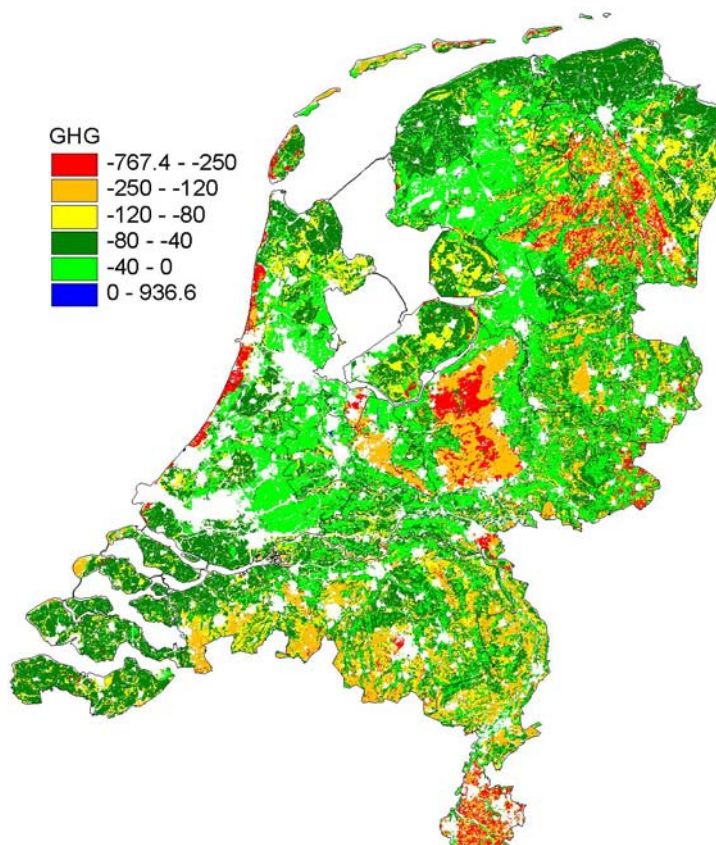
Figuur 4.12 Vergelijking van de Gt STONE 2.1 (links) en Gt STONE 2.3 (rechts)

De volgende conclusie zijn te trekken:

- in de zeekleigebieden zien we veelvuldig een verschuiving van Gt VII naar Gt VI;
- in het Friese veenweidegebied zijn de Gt's III veranderd in Gt II;
- voor de Krimpenerwaard zien we een verschuiving van Gt II naar Gt I. Dat is als te nat beoordeeld;
- voor de Alblasserwaard zien we een verschuiving van Gt I naar Gt II. Dat is als een verbetering beoordeeld;
- in Noord-Brabant, Achterhoek en Overijssel is het aandeel Gt VII* duidelijk verminderd; alleen voor Drenthe is het aandeel Gt VII* toegenomen;
- overwegend zien we een vernatting ten opzichte van STONE 2.1 met uitzondering van de Provincie Drenthe.

GHG en GLG

De gesimuleerde GHG en GLG voor STONE 2.3, berekend voor de periode 1971-2000, is weergegeven in figuur 4.13 resp. 4.14. De beelden ondersteunen de conclusies getrokken bij het landelijk beeld van de grondwatertrappen. En ze versterken de indruk dat in Drenthe buiten de beekdalen wel erg diepe grondwaterstanden worden gesimuleerd.



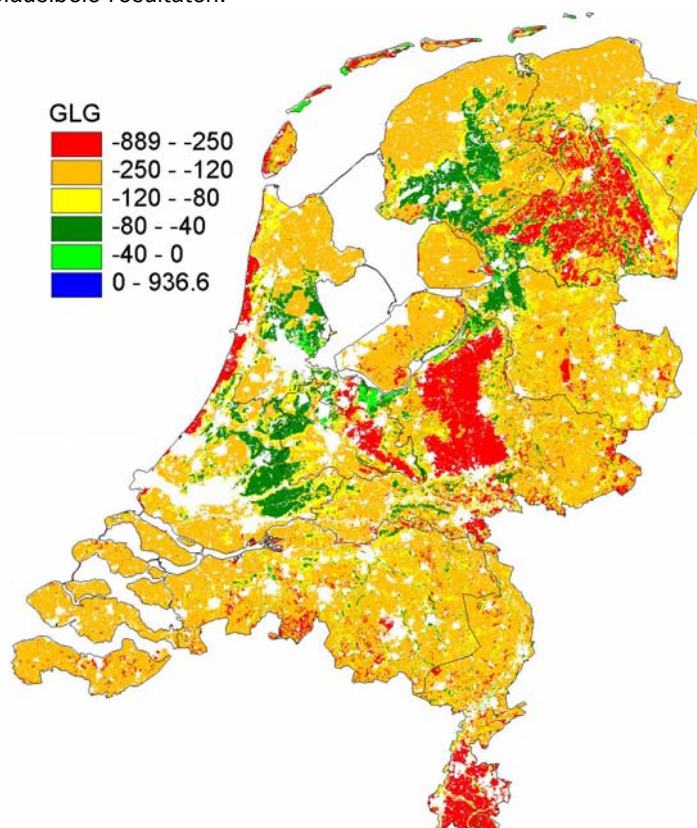
Figuur 4.13 GHG (cm -mv) gesimuleerd met de hydrologie voor STONE 2.3

Op de stuwwallen en in Z-Limburg komen in bepaalde gebieden relatief ondiepe GHG's voor in de klasse 120-250 cm -mv. Dit is mede te wijten aan de plotbenadering, waarbij tijdens het schematiseringsproces slechts 7 Gt's zijn onderscheiden en waarbij de diepste Gt (Gt VII) een GHG heeft die dieper is dan 120 cm -mv. Deze zijn echter geïnitieerd met relatief ondiepe grondwaterstanden (tabel 4.7), die voor diepe Gt's (VII*) met diepere grondwaterstanden geïnitieerd zouden moeten worden.

Tabel 4.7 Initiële grondwaterstanden per Gt-groep

Gt-groep	Grondwaterstand_initieel	aantal plots
1	-12.5	1787
2	-20	1380
3	-60	1680
4	-80	444
5	-110	1114

De gesimuleerde GLG is weergegeven in figuur 4.14. De stuwwallen en de duinen komen duidelijk naar voren als gebieden met een diepe GLG maar ook grote delen van Drenthe hebben een GLG dieper dan 250 cm. Delen van Waterland (boven Amsterdam) en een gebiedje boven Nijkerk hebben een GLG ondieper dan 40 cm maar de rest van het veenweidegebied heeft een GLG tussen 40 en 80 cm. Met uitzondering van Drenthe zijn dit plausibele resultaten.



Figuur 4.14 GLG (cm -mv), gesimuleerd met de hydrologie voor STONE 2.3

4.4 Conclusies

De resultaten van de hydrologie voor STONE 2.3 laten duidelijke verschillen zien ten opzichte van de hydrologie voor STONE 2.1. In het Pleistocene deel van Nederland zijn vooral de droge Gt's duidelijk natter gesimuleerd, hetgeen als een verbetering wordt beschouwd. Voor individuele plots zijn de verschillen soms zeer groot, getuige de verschuivingen in Gt's. Verder zijn opvallend de gesimuleerde diepe grondwaterstanden buiten de beekdalen in de provincie Drenthe.

In het volgende hoofdstuk zullen bovenstaande punten nader worden onderzocht.

5 Plausibiliteit hydrologie voor STONE 2.3

5.1 Inleiding

In het verleden is de hydrologie voor STONE 2.1 beoordeeld op plausibiliteit (Van Bakel *et al.*, 2007). Dit is gedaan door een analyse uit te voeren van:

- de ruimtelijke weergave van de waterbalanstermen en grondwaterstandskarakteristieken volgens de nieuwe STONE-hydrologie;
- de arealen per Gt volgens de schematisering en volgens de nieuwe STONE-hydrologie;
- de verschillen tussen klimaatrepresentatieve Gt in peilbuizen en de nieuwe STONE-hydrologie;
- het areaal uitspoelingsgevoelige gronden;
- een vergelijking met gemeten waterbalansen.

De ruimtelijke weergave van de waterbalanstermen en de grondwaterstanden zijn reeds besproken in hoofdstuk 4 waarbij de vergelijking met STONE 2.1 is gemaakt. In termen van plausibiliteit zijn hier weinig conclusies aan te verbinden. In dit hoofdstuk wordt de hydrologie voor STONE 2.3 op de manier zoals hierboven beschreven beoordeeld op plausibiliteit. In voorkomende gevallen zal ook een vergelijking met de hydrologie voor STONE 2.1 worden gemaakt.

5.2 Waterbalansen

5.2.1 Vergelijking berekende verdamping met regionale waterbalansen

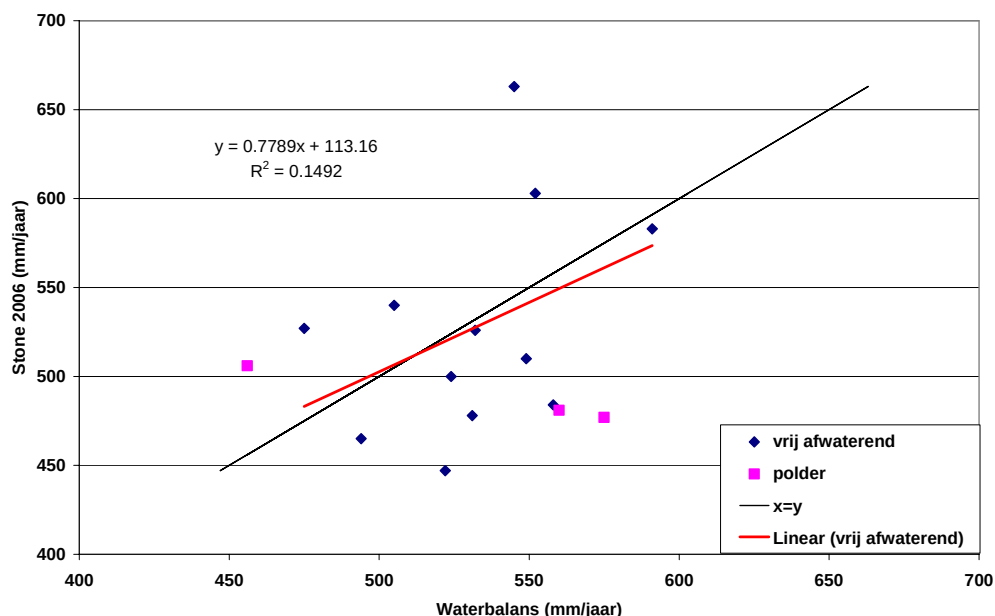
De berekende verdampingswaarden zijn vergeleken met de, voor open water en stedelijk gebied gecorrigeerde, waarden uit waterbalansen zoals beschreven in Massop *et al.*, 2005. De uitgebreide tabellen met vergelijkingen tussen de berekende waarden en de, uit de in waterbalansen, afgeleide waarden zijn te vinden in bijlage 3.

Tabel 5.1 Vergelijking van berekende waarden van verdamping in de hydrologie voor STONE 2.3 en gemiddelde waarden afgeleid van waterbalansen

Balansgebied	Areaal (ha)	Periode	E _{Stone} (mm)	E _{Balans} (mm)	E _{Balans} /E _{Stone}	Vershil (mm)	Cat
Krimpenerwaard	13 679	1991-2002	477	575	1,21	-98	1
Schermerboezem	71 000	1977-1997	506	456	0,90	50	2
Rijnland	100 000	1991-2002	481	560	1,16	-79	2
Hupsel (excl wegzijging 286 mm)	(669 ha)	1984-1993	475	527	1,11	-52	1
Dommel, Reusel stuw Hondsborg	16 000	1980-1999	549	510	0,94	39	2
Dommel, Kleine Aa/Dommeltje							
Smalwater	23 739	1977-1997	524	500	0,95	24	2
Drenthse Aa	22 374	1993-2001	552	603	1,09	-51	2
Beerze	24 674	1986-1998	532	526	0,99	6	2
Dommel, Kleine Dommel/Rul	20 514	1980-1999	531	478	0,90	53	3
Groenlosche Slinge	18 800	1997-2002	494	465	0,94	29	3
Chaamse Beek	4989	1996-2000	591	583	0,99	8	4
Aa of Weerij	14 820	1996-2000	558	484	0,87	74	4
Schuitenbeek	7406	1988-1994	545	663	1,22	-118	4
Hierdense beek	4815	1994-1998	522	447	0,86	75	4
Regge en Dinkel	13 420	1996-2000	505	540	1,09	-35	3

In tabel 5.1 is een samenvatting van de resultaten gegeven. De waarden van de Hunze zijn niet opgenomen omdat ze te onbetrouwbaar worden geacht.

In figuur 5.1 zijn de berekende en 'gemeten' verdamping van de balansgebieden tegen elkaar uitgezet.



Figuur 5.1 Vergelijking van verdamping afgeleid uit de waterbalans en uit STONE 2.3

Om tegemoet te komen aan onzuiverheden door verschillen in ruimtelijke en temporele schematiseringen worden de berekende en afgeleide verdamping gemiddeld over het Holocene en Pleistocene gebied (tabel 5.2).

Tabel 5.2 Samenvatting van berekende waarden van verdamping van de hydrologie voor STONE 2.3 en gemiddelde waarden afgeleid van waterbalansen, waarbij de waarden uit tabel 5.1 rekenkundig zijn gemiddeld over het Holocene en Pleistocene gebied

Balansgebied	E_{Stone} (mm)	E_{Balans} (mm)
Totaal	523 (475 - 591)	528 (447 - 663)
Holocene	488 (477 - 506)	530 (456 - 575)
Pleistocene ¹	530 (475 - 591)	528 (447 - 663)

¹) Excl. Regge en Dinkel

Gemiddeld over alle waterbalansgebieden is de berekende verdamping 5 mm lager dan de verdamping afgeleid uit waterbalansen. Voor het Holocene wordt gemiddeld een lagere verdamping berekend (-42 mm) en voor het Pleistoceen een vergelijkbare verdamping, nl. 2 mm.

Een betrouwbaarder beeld van de afwijkingen wordt verkregen wanneer ook de categorie wordt beschouwd die gebaseerd is op de betrouwbaarheid van de balans (tabel 5.3). Per categorie is de gemiddelde afwijking weergegeven van de verschillen tussen de verdamping afgeleid uit de waterbalans en de berekende verdamping volgens STONE 2.3 categorie 1 en 2 zijn samengenomen, omdat categorie 1 slechts één gebied telt in het Holocene en één in het Pleistoceen.

Tabel 5.3 Gemiddelde afwijking per categorie tussen de verdamping uit STONE 2.3 en de verdamping uit de waterbalans, gecorrigeerd voor open-waterverdamping en stedelijk gebied

Categorie	Aantal gebieden	Indicatie totale oppervlakte (* 100ha)	Gemiddelde afwijking verdamping (mm)
Holoceen, 1+2	3	1847	-42
Pleistoceen, 1+2	5	87	-7
Pleistoceen, 3	2	39	41
Pleistoceen, 4	4	32	10 (1 incl Regge)

Voor de categorie 1 en 2 in het Holoceen zijn de berekende gemiddelde verschillen in verdamping toegenomen, terwijl voor het Pleistoceen de verschillen klein zijn en acceptabel. Voor het Pleistoceen kan worden opgemerkt dat de totale oppervlakte van de balansgebieden beperkt is en dat eigenlijk een groter gebied moet worden beschouwd voor een goede beoordeling. Bovendien zijn deelgebieden van de Dommel meerdere malen vertegenwoordigd en werken dus vaker door in de uitkomsten.

De vergelijking van verdamping afgeleid uit waterbalansen tendeert naar een acceptabele overeenstemming in het Pleistocene gebied en enigszins te grote afwijkingen in Holocene gebieden.

Een belangrijke vraag is: hoe vergelijkbaar zijn de verdampingscijfers van beide methoden en hoe betrouwbaar zijn de verdampingscijfers afgeleid uit literatuurgegevens en waterbalansberekeningen van de geselecteerde gebieden.

Vergelijking van de STONE-verdamping met waarden uit het literatuuronderzoek heeft als nadeel dat plotwaarden (die dus niet aan één locatie zijn te relateren) worden vergeleken met veelal puntwaarnemingen zoals lysimeters en verdampingsfluxmetingen. Dit veroorzaakt veel ruis maar leidt niet tot structurele afwijkingen. Voor de vergelijking met de regionale balansen geldt dit bezwaar minder (vooral bij grote gebieden). Een probleem hierbij is wel dat de balans van een stroomgebied de resultante is van de verdamping van diverse vormen van landgebruik. In Massop *et al.* (2005) is uitgebreid weergegeven hoe is gecorrigeerd voor de oppervlakten open water en stedelijk gebied. Maar ondanks deze correctie moet bij de vergelijking nog steeds rekening worden gehouden met de volgende (grote) onzekerheden die maken dat de uit de regionale waterbalansen afgeleide verdamping minder betrouwbaar is:

- voor het opstellen van de waterbalansen is voor de neerslag meer gebiedsspecifieke informatie gebruikt dan voor de STONE-berekeningen. Op lokale schaal kunnen daardoor afwijkingen ontstaan in de orde van tientallen mm's op jaarbasis. Deze afwijkingen zijn toevallig van aard;
- de waterbalansen zijn gebaseerd op afvoermetingen. Deze zijn lang niet altijd betrouwbaar. Er zijn geen aanwijzingen dat de fouten in de afvoermetingen leiden tot een systematische over- of onderschatting van de werkelijke afvoeren;
- in vele gebieden is de grootte van de kwel/wegzijging onzeker, want deze is afgeleid uit NAGROM/MOZART of als restpost van eerder opgestelde waterbalansen. Voor die gebieden waar waterbalansen zijn opgesteld met kwel/wegzijgingswaarden uit NAGROM/MOZART geldt dat er nieuwe waarden voor kwel/wegzijging zijn berekend. Deze zijn niet gebruikt in de waterbalansen om opnieuw verdamping uit waterbalansen af te leiden. De nieuwe waarden voor kwel/wegzijging zijn wel gebruikt bij de nieuwe berekeningen t.b.v. STONE 2.3.

De volgende conclusies zijn te trekken voor de berekende verdamping:

- de resultaten voor het Pleistoceen zijn goed;
- de resultaten voor het Holoceen zijn geen verbetering.

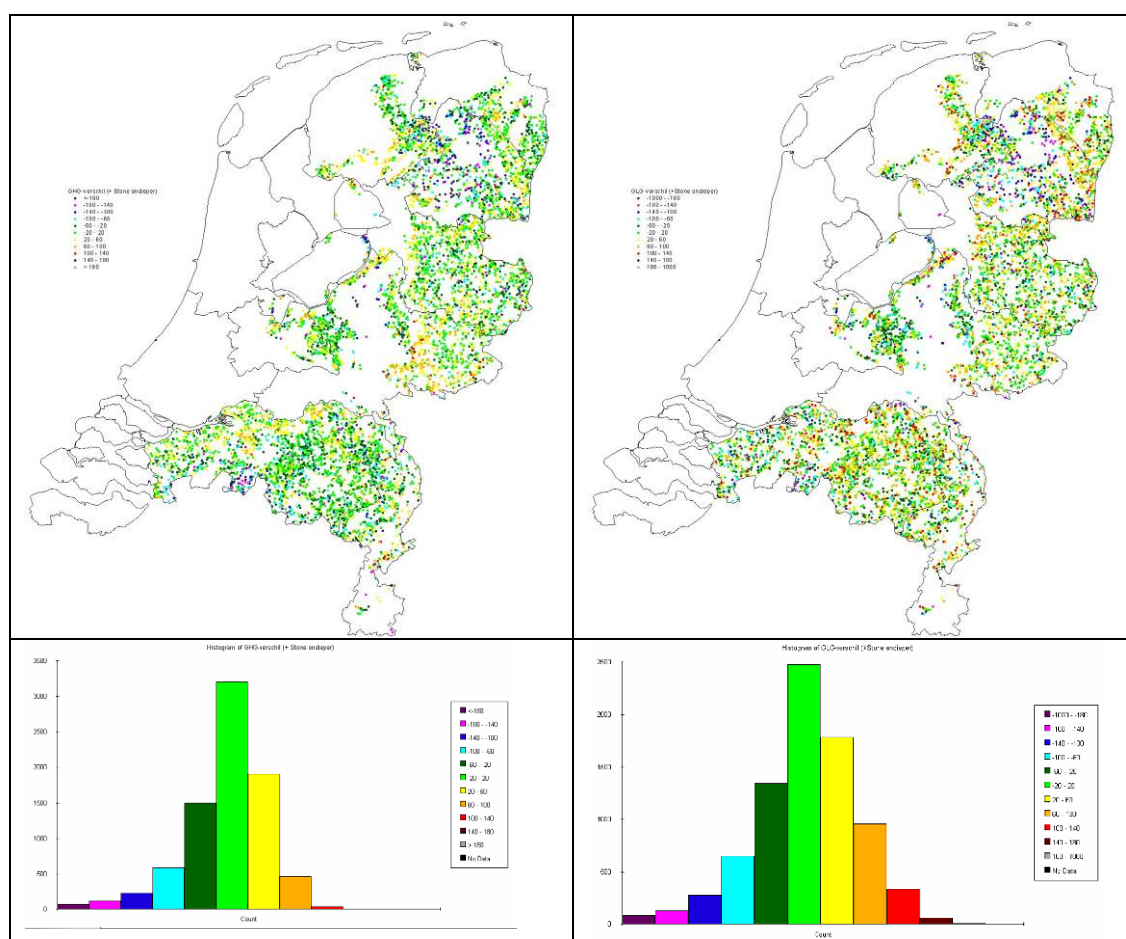
Op basis van bovengenoemde overwegingen betreffende de nauwkeurigheid van de 'metingen' en de nauwkeurigheid van de berekeningen, in samenhang met de verschillende ruimtelijke schalen, zijn deze conclusies niet erg hard.

De 'gemeten' waterbalans is te verbeteren door variabele kwel (per jaar) te gebruiken maar dat zal niet leiden tot structureel andere conclusies.

5.3 Grondwaterstanden

5.3.1 Verschillen tussen de klimaatrepresentatieve Gt in peilbuizen en STONE 2.3

In figuur 5.2 en tabel 5.4 zijn de GHG- en GLG-waarden afgeleid uit waarnemingen in de peilbuizen vergeleken met de GHG en GLG van de STONE-plot ter plaatse van de peilbuizen.



Figuur 5.2 Vergelijking GHG (links) en de GLG (rechts) bepaald voor de gerichte opnamen bij de Gd-actualisatie met de berekende GHG en GLG voor STONE 2.3

Tabel 5.4 Vergelijking GHG en GLG van de gerichte opnamen met STONE 2.3

	Gerichte opnamen		
	Aantal	gemiddeld	St. Dev
GHG_tijdreeks	8293	59,0	32,6
GLG_tijdreeks	8293	154,1	41,7
GHG_STONE 2.3	7877	72,8	75,9
GLG_STONE 2.3	7877	159,9	85,4
Verschil_GHG	7877	-6,0	89,4
Verschil_GLG	7877	-14,0	77,7

Vooraf in Drenthe en in het zuidelijk deel van het Beerze-Reuselgebied worden lagere GHG's berekend. In geval van landgebruik natuur met naaldbos kan dit verklaard worden door een hogere verdamping. Voor de overige gebieden ontbreekt vooralsnog de verklaring. Gebieden waarvoor de GHG natter is berekend dan volgens gerichte opnamen zijn te vinden vooral in de Liemers (Oost-Gelderland).

Wat betreft de GLG valt wederom Drenthe op met lage berekende GLG's vergeleken met de opnames. Verder zien we verspreid over het zandgebied plekken waarvoor de GLG ondieper is geworden in vergelijking met de gerichte opname.

Gemiddeld is de GHG en de GLG, volgens de hydrologie voor STONE 2.3, 6 resp. 14 cm droger vergeleken met de gerichte opnamen (tabel 5.4).

De volgende conclusies zijn te trekken:

- de berekende Gt's zijn iets droger dan de Gt's uit gerichte opnamen;
- Drenthe is duidelijk te droog, verder zijn er geen duidelijk systematische verschillen in de ruimtelijke verdeling van de verschillen (gemeten-berekend) waarneembaar;
- de verschillen tussen berekende en gemeten Gt's laten een normale verdeling zien hetgeen kan worden gezien als een aanwijzing dat de rekenresultaten plausibel zijn.

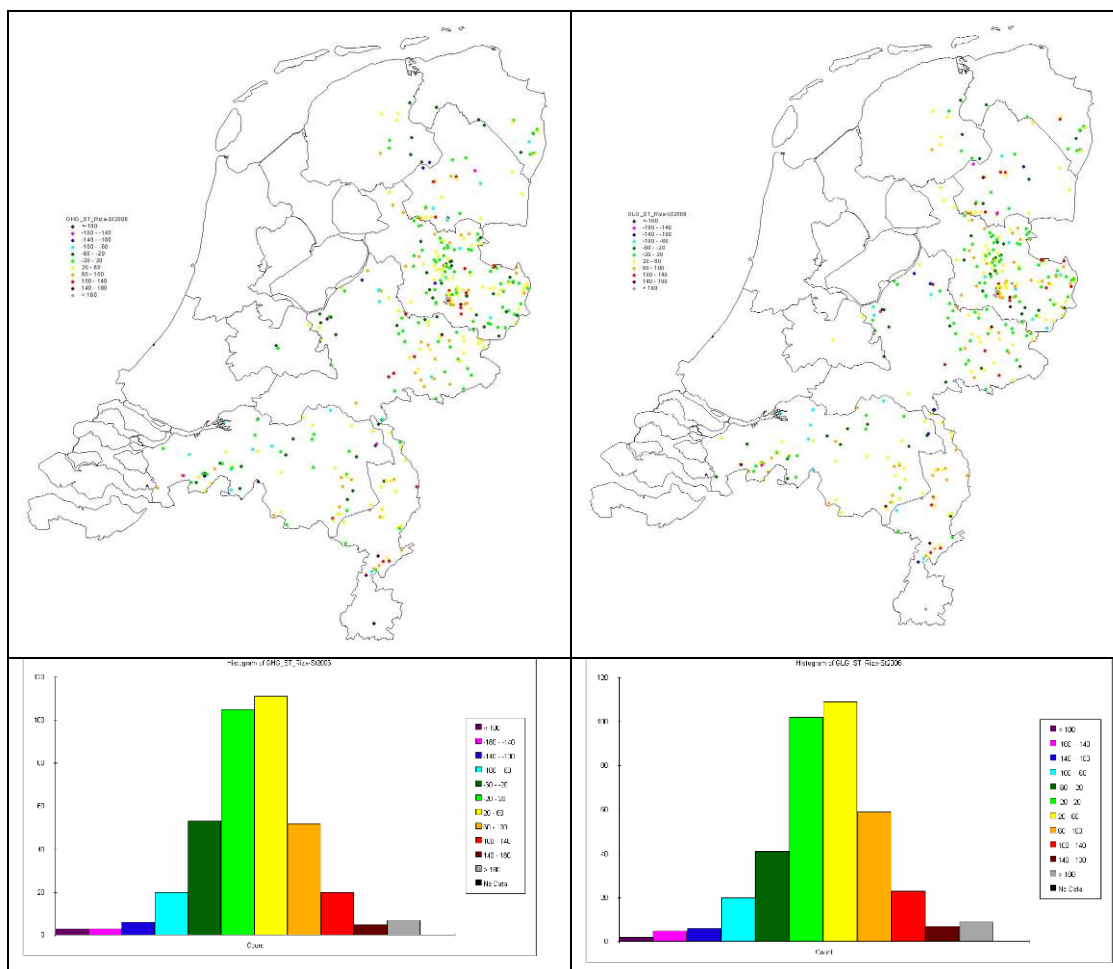
5.3.2 Vergelijking met stambuizen

In figuur 5.3 en tabel 5.5 zijn de GHG- en GLG-waarden afgeleid uit waarnemingen in de peilbuizen vergeleken met de GHG en GLG van de STONE-plot ter plaatse van de peilbuizen.

Tabel 5.5 Vergelijking GHG en GLG van de stambuizen met STONE 2.3

	Stambuizen		
	Aantal	gemiddeld	St. Dev
GHG_tijdreeks	424	99,6	91,0
GLG_tijdreeks	424	190,2	95,5
GHG_STONE 2.3	393	81,2	80,1
GLG_STONE 2.3	393	169,7	90,8
Verschil_GHG	393	15,9	105,1
Verschil_GLG	393	17,9	116,0

Gemiddeld is de GHG en de GLG, volgens de hydrologie voor STONE 2.3, 16 resp. 18 cm droger vergelen met GHG en GLG uit de stambuizen.



Figuur 5.3 Vergelijking GHG (links) en de GLG (rechts) bepaald voor stambuizen bij de Gd-actualisatie met de berekende GHG en GLG voor STONE 2.3

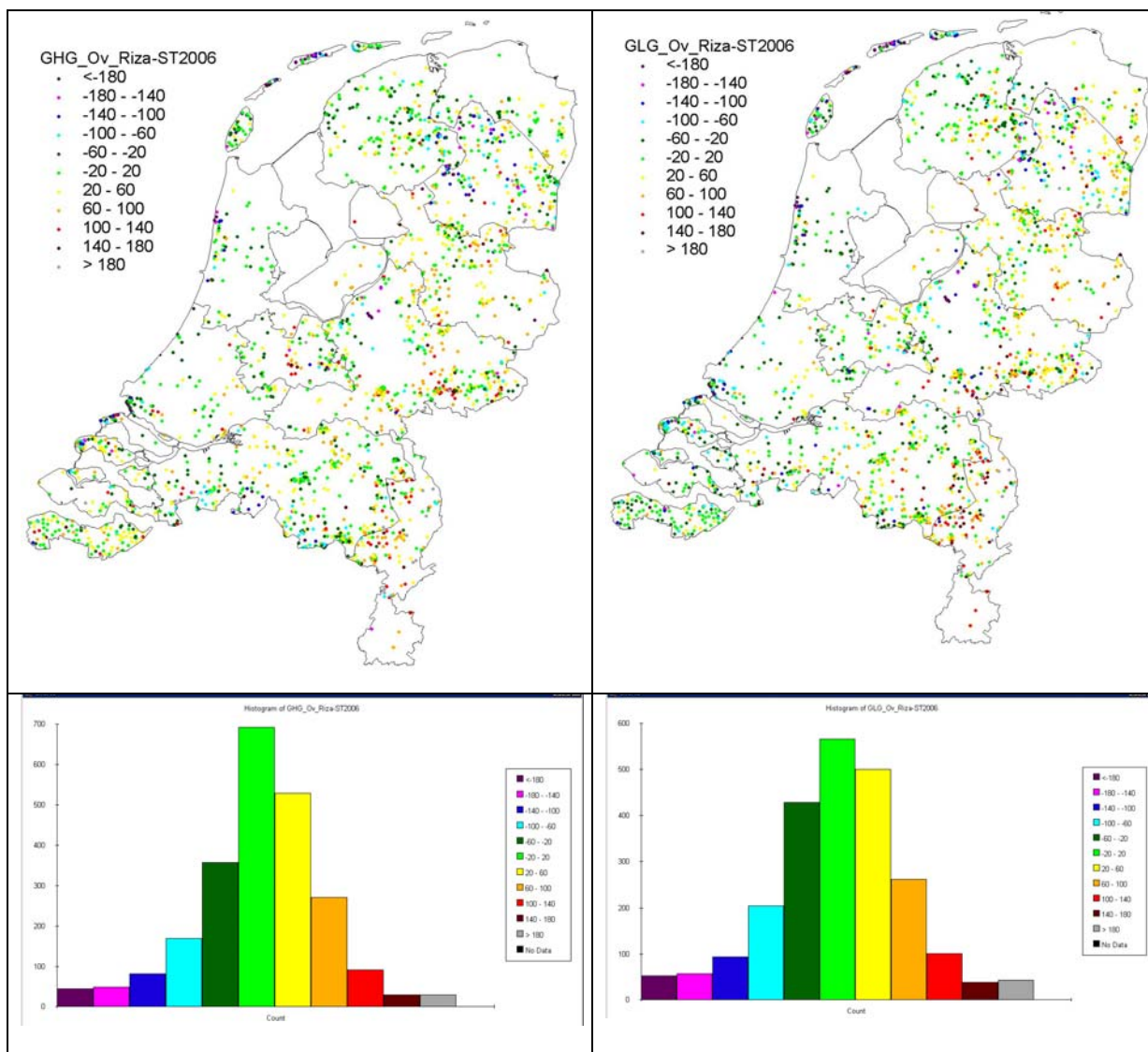
5.3.3 Overige buizen

In figuur 5.4 en tabel 5.6 zijn de GHG- en GLG-waarden afgeleid uit waarnemingen in de peilbuizen vergeleken met de GHG en GLG van de STONE-plot ter plaatse van de peilbuizen.

Tabel 5.6 Vergelijking GHG en GLG van de stambuizen met STONE 2.3

	Overige buizen		
	Aantal	gemiddeld	St. Dev
GHG_tijdreeks	2695	81,3	62,1
GLG_tijdreeks	2695	165,2	74,5
GHG_STONE 2.3	2428	89,4	97,5
GLG_STONE 2.3	2428	176,5	102,7
Vershil_GHG	2428	-8,8	106,7
Vershil_GLG	2428	-11,6	112,9

Gemiddeld is volgens de hydrologie voor STONE 2.3 de GHG 9 cm en de GLG 12 cm droger vergeleken met de stambuizen.

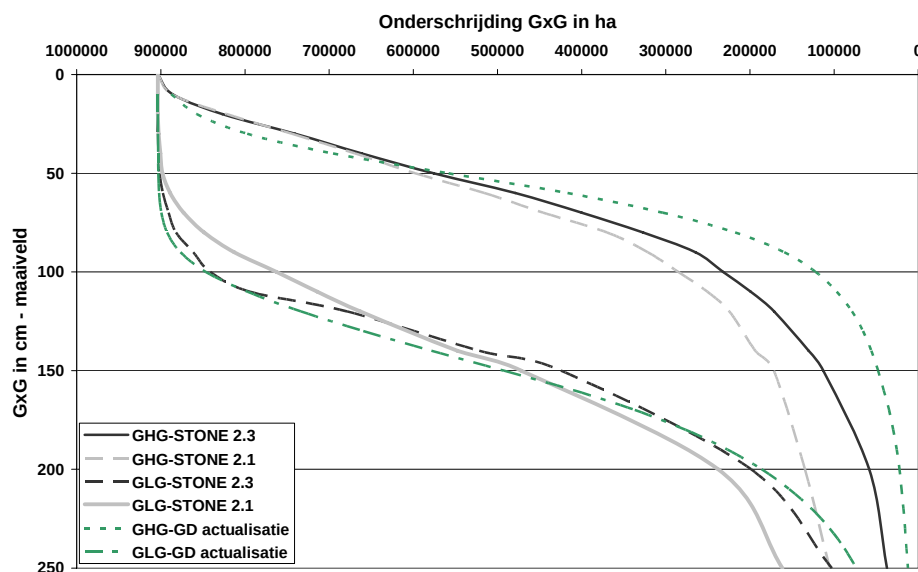


Figuur 5.4 Vergelijking van de GHG (links) en de GLG (rechts) bepaald voor overige buizen bij de Gd-actualisatie en de berekende GHG en GLG met de Hydrologie voor STONE 2.3

5.3.4 Areaal uitspoelingsgevoelige landbouwgronden

Op dezelfde wijze als bij STONE 2.1 (Van Bakel *et al.*, 2007) is het areaal uitspoelingsgevoelige landbouwgronden, gedefinieerd als het areaal zandgronden met een GHG >70 cm -mv, vergeleken met het areaal gebaseerd op de Gd-actualisatie (Finke *et al.*, 2004). Het resultaat is weer te geven als zogenoemde cumulatiecurven; zie figuur 5.5.

Het landbouwareaal waarvoor de Gt is geactualiseerd heeft uitsluitend betrekking op de zandgronden en beslaat 941 804 ha. Het areaal zandgrond waarvoor voor STONE 2.3 (en STONE 2.1) is doorgerekend bedraagt 903 574 ha. Het areaal van de STONE-berekeningen is 4,1% kleiner, omdat een deel van het gebied is toegekend aan Stedelijk gebied en open water en er door schaalverschillen (25 m vs 250 m grids) en overlapgrids zijn weggevalen.



Figuur 5.5 Landbouwarealen met een onderschijding van de GHG en GLG volgens resp. de Gd-actualisatie, STONE 2.1 en STONE 2.3

Om de kaarten vergelijkbaar te maken zijn de arealen uit de STONE-kaart omgerekend met een factor (verhouding tussen areaal Gd-actualisatie en areaal STONE).

De, met deze factor, gecorrigeerde arealen leveren een totaal van 317 087 ha uitspoelingsgevoelige gronden (GHG > 70 cm) op (tabel 5.7).

De nieuwe berekeningen voor Stone 2.3 leiden ertoe dat het areaal uitspoelingsgevoelige gronden is afgenomen met ca. 48 000 ha t.o.v. STONE 2.1 (tabel 5.7). Dit is goed verklaarbaar omdat deze gronden natter zijn geworden door de diverse aanpassingen/verbeteringen (m.n. verdamping en onderrand). Het areaal voor STONE 2.3 is nog ca. 100 000 ha groter dan volgens de Gd-actualisatie. Bij STONE 2.1 was dit nog ca. 150 000 ha.

Tabel 5.7 Landbouwarealen met een GHG dieper dan 70 cm -mv voor 3 verschillende kaartbronnen

	Areaalfraction (%)	Areaal (ha)
Gd-kaart	33,6	317 087
STONE 2.1	49,4	464 746
STONE 2.3	44,3	416 838

De volgende conclusies zijn te trekken

- zowel procentueel als absoluut zijn de verschillen tussen de Gd-methode enerzijds en de STONE 2.1- en STONE 2.3-resultaten anderzijds aanzienlijk;
- de hydrologie voor STONE 2.3 geeft een verbetering ten opzichte van STONE 2.1 en komt nu beter in de buurt van de arealen volgens de Gd-kaart. In Van Bakel *et al.* (2007) is beredeneerd dat de Gd-actualisatie het areaal uitspoelingsgevoelige gronden onderschat met 7 %. Als hiermee rekening wordt gehouden is de overeenkomst tussen de arealen volgens de Gd-kaart en de arealen volgens STONE 2.3 goed te noemen.

5.3.5 Analyse grondwaterstanden in veengebieden

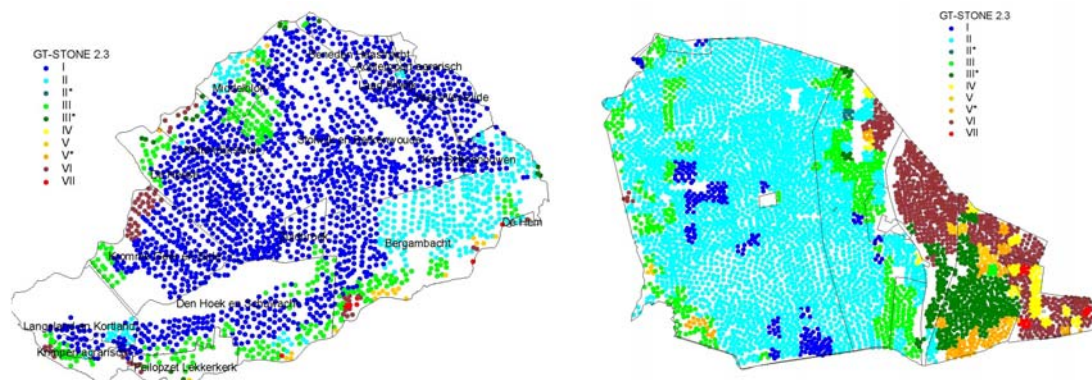
In Van Bakel *et al.* (2007) is de berekende grondwaterstand met STONE 2.1 vergeleken met detailkarteringen van de GxG. Deze analyse is uitgevoerd voor twee veengebieden, nl. Krimpenerwaard en Staphorst/Rouveen. In bijlage 5 zijn de resultaten van de nieuwe berekeningen voor STONE 2.3 toegevoegd zodat er ook een vergelijking met STONE 2.1 mogelijk is.

Samengevat zien de verschillen er als volgt uit (tabel 5.8).

Tabel 5.8 Mediaanwaarden van de verschillen (cm) voor puntlocaties met berekende GHG en GLG volgens STONE 2.1 en STONE 2.3

		Krimpenerwaard	Staphorst
GHG	STONE 2.1	1	10
	STONE 2.3	4	13
GLG	STONE 2.1	13	-2
	STONE 2.3	21	6

De verschillen in GHG en GLG voor de beide veengebieden tussen de opnamepunten en de STONE-berekeningen geven aan dat er overwegend sprake is van te nat berekende GxG. Voor de Krimpenerwaard betekent dit dat de Gt van II verschuift naar I. Voor Staphorst/Rouveen blijft Gt II gehandhaafd (figuur 5.6).



Figuur 5.6 Gt volgens STONE 2.3 voor Krimpenerwaard (links) en Staphorst/Rouveen (rechts).

De algemene tendens dat de berekende grondwaterstanden bij STONE 2.3 natter zijn dan bij STONE 2.1 vinden we ook terug bij de beide geanalyseerde laagveengebieden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de Alblasserwaard deze verandering tegengesteld is. Daar is een verdroging opgetreden waardoor hier meer Gt II wordt berekend. In de veengebieden wordt overwegend een Gt II berekend, met uitzondering van de Krimpenerwaard.

5.4 Conclusies

De beoordeling van de plausibiliteit van de hydrologie voor STONE 2.3 levert een genuanceerd beeld op:

- vergelijking van de gesimuleerde verdamping met 'gemeten' verdamping in geselecteerde gebieden levert voor het Pleistocene deel van Nederland een goede overeenstemming maar voor het Holocene deel van Nederland is de overeenkomst minder goed;
- de vergelijking tussen gesimuleerde GHG en GLG met die van gerichte opnamen, stambuizen en overige buizen laat een forse spreiding zien maar er is een duidelijke verbetering ten opzichte van STONE 2.1. Gemiddeld is de gesimuleerde grondwaterstand zo'n 10 cm dieper;
- Het areaal uitspoelingsgevoelige gronden volgens de hydrologie voor STONE 2.3 is hoger (ca 100 000 ha) dan volgens de Gd-actualisatiekaart, maar de overeenkomst is duidelijk verbeterd (ca 48 000 ha) ten opzichte van STONE 2.1;
- de gesimuleerde GHG en GLG voor de 2 geselecteerde veengebieden zijn gemiddeld natter dan de waarden van puntwaarnemingen. Ook treedt een verslechtering op ten opzichte van STONE 2.1.

6 Conclusies, aanbevelingen en discussie

6.1 Conclusies

De conclusies zijn op te splitsen in conclusies voor de methode, de parameterisering en de resultaten.

Voor de methode:

- de iteratie tussen SWAP en NAGROM (koppeling op afstand) is gehandhaafd maar is sterk verbeterd door het doorvoeren van meer iteratieslagen. Dit leidt tot een sterk verbeterde afstemming tussen de hydrologie van de plots en het regionale verzadigde grondwatersysteem, waardoor ook het probleem van de continue dalende grondwaterstanden (zakkers) vrijwel is opgelost;
- door het vasthouden aan de ruimtelijke schematisering is het mogelijk dat akkerbouw of maïs terecht komt op zeer natte Gt's. Dat levert, in een beperkt aantal gevallen, onrealistisch lage gesimuleerde gewasverdamping op.

Voor de parameterisering en randvoorwaarden:

- nieuwe inzichten resulteerden in wijzigingen van de geohydrologische parameterwaarden. Dit heeft geresulteerd in (soms) forse wijziging van de lekweerstand (relatie grondwater-oppevlaktewater) van de plots;
- het gebruik van een beperkt aantal (6) stations voor de verdamping doet onvoldoende recht aan de ruimtelijke variabiliteit (m.n. het kusteffect);
- het landgebruik natuur is verder opgesplitst en doet veel beter recht aan de verschillen in verdampingsgedrag;
- de parameterisering van de verdampingseigenschappen van gras en akkerbouw is verbeterd;
- de maximale bewortelingsdiepte voor akkerbouw en snijmaïs is onafhankelijk van de bodemeigenschappen en de hydrologie. Daardoor wordt voor sommige bodems de beworteling te diep gemodelleerd en treedt in situaties met hoge grondwaterstanden voor deze vormen van landgebruik te veel reductie van de gewasverdamping op.

Voor de resultaten:

- door de verbeterde iteratieprocedure is het probleem van de 'zakkers' opgelost;
- de gesimuleerde actuele evapotranspiratie is over het algemeen als plausibel beoordeeld. Uit de vergelijking met de waterbalansen van balansgebieden volgt een verbetering voor het Pleistoceen vergeleken met de hydrologie voor STONE 2.1. Voor het Holocene deel van Nederland zijn er geen verbeteringen;
- de gesimuleerde evapotranspiratie van grasland op droge zandgronden blijft hoog in verhouding tot de HELP-tabel;
- de gesimuleerde kwel of wegzijging ziet er voor het vrij afwaterend deel van Nederland plausibel uit;
- de gesimuleerde grondwaterstanden en daarvan afgeleide karakteristieken zijn duidelijk verbeterd ten opzichte van STONE 2.1, met uitzondering van grote delen van de provincie Drenthe waar de grondwaterstanden structureel te diep worden gesimuleerd. Maar de *overall* conclusie is dat het landelijk beeld er plausibel uitziet. De vergelijking met het areaal uitspoelingsgevoelige gronden laat ook een duidelijke verbetering zien ten opzichte van STONE 2.1. Voor het Holocene deel van Nederland zijn geen conclusies te trekken omdat daarvoor de kwel uit STONE 2.1 is gebruikt.

6.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- gebruik voor berekeningen met het STONE-instrumentarium de nieuwe hydrologie voor STONE 2.3 in plaats van de hydrologie voor STONE 2.1;
- de positie van de onderrand dient flexibel en afhankelijk van de opbouw en dikte van het topsysteem te zijn.
- stel een goede set meteodata voor de 15 KNMI-districten vast, waarbij ook de vraag aan de orde moet komen of er gerekend moet worden met districtsgemiddelde neerslagwaarden of waarden van 1 of meer gekozen neerslagstation(s);
- verbeter de berekeningen van de oppervlakte-afvoer door te rekenen met neergeschaalde dagwaarden van de neerslag en door de afstemming tussen hydrologie - gewasgroei - nutriëntenbeheer (dikte wortelzone, ontwikkeling gewasbedekking, droge-stofproductie, oogst) te verbeteren;
- analyseer de oorzaken van de minder goede simulatie-resultaten in enkele gebieden (m.n. Drenthe: te diepe grondwaterstanden);
- verbeter de bodemfysische schematisering en bewortelbare diepte door deze te baseren op bodemkundige gegevens van de Bodemkaart 1 : 50 000;
- verbeter de opstuwing van water in waterlopen in met name het hellend deel van Nederland waardoor peilen en bijbehorende afvoeren realistischer worden berekend.

Met uitzondering van de eerste twee aanbevelingen zijn de daaraan verbonden acties ook nuttig voor het Nationaal Hydrologisch model Instrumentarium (zie ook discussie).

6.3 Discussie

De opgave van het berekenen van de hydrologie voor STONE was en is: een zo realistisch mogelijke waterhuishouding berekenen die als hydrologische basis kan dienen voor het STONE instrumentarium. Hiervoor dient de hydrologie van Nederland te worden beschreven met 6405 plots welke zijn voorzien van een adequate koppeling met het regionale grondwatersysteem. Dit dient zodanig beschreven te worden dat de toestandsvariabelen van water in het topsysteem een goede basis vormen voor de simulatie van de lotgevallen van nutriënten in het topsysteem. Het eindoordeel luidt dat, gegeven de inherente beperkingen van de plotbenadering, deze opgave tot een bevredigend einde is gebracht. Vooral de verbeterde iteratieprocedure tussen SWAP en NAGROM in de laatste stap van de verbetercyclus heeft een belangrijke tekortkoming weggewerkt.

De vraag kan daarom gesteld worden of we aan het eind zitten van de levenscyclus van de **1-op-n** plotbenadering (1 plot is representatief voor n grids die niet aaneengesloten liggen), met 6405 plots. Op enkele verbeterpunten ten aanzien van de parameterisering na zijn de 'natuurlijke' grenzen van de plotbenadering bereikt. Deze grenzen zijn inherent aan de methode en bestaan a) uit het feit dat de plotindeling voor een deel is gebaseerd op hydrologische variabelen. Dus als door ingrepen in de waterhuishouding de variabelen structureel veranderen klopt de basis niet meer, en b) dat door de verspreide ligging van 1 plot er ruis optreedt in parameterisering en effecten. Er wordt daarom aanbevolen geen volgende ronde Actualisatie Hydrologie voor STONE met de huidige plotindeling meer in te gaan maar de aanbevelingen voor verbetering van de hydrologie te combineren met een verbeterde plotbenadering c.q. met de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. De in de vorige paragraaf gedane aanbevelingen moeten worden ingebracht in het nieuw te ontwikkelen Nationaal Hydrologisch model Instrumentarium (NHI).

Gegeven de constatering dat het einde van de levenscyclus van de huidige plotbenadering is bereikt is de vraag: hoe nu verder? Daarop zijn verschillende antwoorden mogelijk waarbij in alle gevallen het uitgangspunt moet zijn dat ook ingrepen in de hydrologie moeten kunnen worden gesimuleerd.

De 2 hoofdrichtingen zijn:

- verfijnen van de plotindeling tot een **1-op-1 plotbenadering** (elke grid is een plot). De koppeling op afstand wordt daarbij gehandhaafd. De verwachting is dat door deze actie de grote bezwaren van de huidige plotbenadering (verlies aan informatie, plotindeling gebaseerd op hydrologische variabelen, geen mogelijkheid om maatregelen door te rekenen) voor een belangrijk deel worden opgelost.
- **gekoppeld rekenen**. Maar ook hierbij is de vraag aan de orde: hoe fijn moet het topsysteem in model worden gebracht en hoe sluiten de lotgevallenberekeningen hierop aan. In het kader van de ontwikkeling van het Nationaal Hydrologisch model Instrumentarium zal dit onderwerp veel aandacht krijgen.

Literatuur

- Bakel, P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop & D.J. Walvoort, 2007. *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1; Beschrijving reparatie-acties, analyseresultaten en beoordeling plausibiliteit.* Werkdocument 81. Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen, december 2007
- Bonten, L.T.C. & D.J. Brus, 2006. *Belasting van het oppervlaktewater in het landelijk gebied door uitspoeling van zware metalen; Modelberekeningen t.b.v. emissieregistratie 2006 en invloed van redoxcondities*, Alterra-rapport 1340.
- Buishand T.A. en C.A. Velds, 1980. *Neerslag en verdamping. Klimaat van Nederland 1*. KNMI, De Bilt.
- Clevering O.A. en P.J.T. van Bakel, 2006. *Helpt het verhogen van het zomerpeil om droogteschade te verminderen in Flevoland?* PPO-rapport 500299.
- Finke, P.A., D.J. Brus, M.F.P. Bierkens, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries. 2004. Mapping groundwater dynamics using multiple sources of exhaustive high resolution data. *Geoderma* 123, p 23 - 39.
- Gaast J.W.J. en H.Th.L. Massop, 2005. Het grondwaterregime als basis voor de grondwatertrap. *H2O*, nr 22., blz 42-44.
- Gaast J.W.J. van der., H.Th. L. Massop en G.B.M. Heuvelink, 2005. *Monitoring verdroging. Methodische aspecten van meetnetoptimalisatie*. Wageningen, Alterra-rapport 1102.
- Gruyter P. de, 1957. *Rijnlands boezem*. Deel 1.
- Heijboer D. en J. Nellestijn, 2002. *Klimaatatlas van Nederland. De Normaalperiode 1971-2000*. KNMI.
- Kaathoven, P. van, 1984. Watervoorziening en infiltratie in het noordelijk deel van het waterschap de Aa. *Waterschapsbelangen* 69(1984) 16 pag. 428-433.
- Kroes, J.G. en J.C. van Dam, 2003. *Soil water - groundwater interaction. Reference manual SWAP version 3.0.3*. Alterra-rapport 773.
- Kroes, J.G., P. Groenendijk & J. Huygen: *Hydrologie voor STONE: berekeningen met Swap 2.0*. Wageningen, SC, 1999. Techn. Doc. 57, 49 blz.
- 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 & 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.
- Lange, W.J. de., 1996. *Groundwater modeling of large domains with analytic elements*, thesis, Delft University of Technology, Delft.
- Linden W. van der, en H.J.T. Weerts , A.H.M. Kremers en C.B.M te Stroet, 2001. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem. Vooronderzoek met aanpak*. NITG 01-195-A. Delft.
- Linden W. van der, A.H.M. Kremers en H.J.T. Weerts, 2002. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem*. Eindrapport. NITG 02-112-B. Delft.
- Linden W. van der, 2002. *Landsdekkende karakterisatie topsysteem 1: 250.000. Eindrapport*. NITG 02-176-B. Delft.

- Massop, H.Th.L. T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors & J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor STONE. Schematisatie en parameterisering*. Alterra rapport 038, ISSN 1566-919. Reeks milieuplanbureau 9.
- Massop, H.Th.L., 2002. *Landelijke karakterisering buisdrainage*. Werkdocument. Alterra, Wageningen.
- Massop, H.Th.L., P.J.T. van Bakel, T. Kroon, J.G. Kroes, A. Tiktak & 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, 108 pp, Wageningen.
- Massop H.Th.L., I. Peereboom, W. de Lange, R. Pastoors, P.J.T. van Bakel, J. Hoogewoud en T. Kroon, in prep. *Relatie grondwater-oppervlaktewater; landsdekkende parametrisatie van het topsysteem*. Wageningen, Alterra rapport in prep.
- Massop H.Th.L. en J.W.J. van der Gaast, 2006. *Intreeweerstand, nader beschouwd. Procesmatig onderzoek naar de relatie tussen de drainageweerstand en de intreeweerstand*. Wageningen, Alterra-rapport 1350.
- Massop H.Th.L., J.W.J. van der Gaast en E. Hermans, 2006. *Kenmerken van het ontwateringstelsel in Nederland*. Wageningen, Alterra-rapport 1397.
- Peereboom, I., 2003. *Verbetering van kD- en c-waarden van het topsysteem*. Interne notitie RIZA.
- Werkgroep Midden West-Nederland, 1976. *Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland*. Regionale studie 9. ICW, Wageningen.
- Werkgroep HELP-tabel, 1987. *De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie*. Mededeling 176. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Werkgroep Zuid-Holland, 1987. *Wateraanvoerbehoefte Zuidhollandse Eilanden en Waarden. Peilbeheersing en bestrijding van de verzilting*. ICW-nota 1801.
- Willems, W.J., A.H.W. Beusen, L.V. Renaud, H.H. Luesink, J.G. Conijn, G.J. v.d. Born, J.G. Kroes, P. Groenendijk, O.F. Schoumans en H. v.d. Weerd, 2008. *Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapport Evaluatie Meststoffenwet 2007*. Milieu en Natuur Planbureau, Rapport nr 5000124002/2007
- Wit P.A.J.W. de, 1991. *Het effect van toegenomen gewasopbrengsten in de landbouw op de grondwaterstanden. De analyse van de periode 1955-1987 met consumptie-aardappelen*. Interne mededeling 159. Wageningen.
- Wit, A.J.W. de, Th.G.C. van der Heijden en H.A.M. Thunnissen, 1999. *Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruiksbestand*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, Rapport 663.
- Witteveen en Bos, 2003. *Calibratie PAWN-instrumentarium*, onderdeel MOZART.
- Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 1994. Technisch document 18, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- Wösten J.H.M., G.J. Veerman W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterrentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden van Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra rapport 153.

Bijlage 1 Gewasparameters in STONE 2.1 en STONE 2.3

De 4 landgebruiksvormen van STONE 2.1 zijn ten behoeve van de hydrologische berekeningen voor STONE 2.3 opgesplitst in 13 landgebruiksvormen (tabel B.1.1). De bijbehorende codering staat in tabel B.1.2.

Tabel B.1.1 Verdeling van het aantal plots over landgebruik bij STONE 2.1 en STONE 2.3

Aantal PlotNrs	LanduseName (Stone 2.1)				
LanduseName (STONE 2.3) run12f_20060726	bouwland	gras	mais	natuur	Totaal
Grass		1646			1646
grasslrr		475			475
maize			852		852
maizelrr			87		87
maizew			17		17
nature_forestDecid				464	464
nature_forestPine				166	166
nature_forestSpruce				81	81
nature_grass				1009	1009
nature_heather				38	38
potatlrr	284				284
potatoes	1281				1281
potatow	5				5
Totaal	1570	2121	956	1758	6405

Tabel B.1.2 Codering van de gehanteerde landgebruiksvormen bij STONE 2.3

Volgnr	BestandsNaam	VegetatielD	GewasOmschrijving
1	1	grass	gras_onberegend maaien_beweiden
2	16	grasslrr	gras_beregend maaien_beweiden
3	2	maize	snijmais_beregend
4	17	maizelrr	Snijmais_onberegend
5	22	maizew	Snijmais_onberegend_extreemnat
6	5	nature_forestDecid	natuur loofbos
7	6	nature_forestPine	natuur dennenbos
8	38	nature_forestSpruce	natuur sparrenbos
9	42	nature_grass	natuur gras
10	40	nature_heather	natuur heide
11	18	potatlrr	aardappelen_beregend
12	4	potatoes	aardappelen_onberegend
13	44	potatow	aardappelen_extreemnat

De verschuiving in arealen geeft tabel B.1.3

Tabel B.1.3 Verdeling van het oppervlakte (ha) aan plots bij STONE 2.1 en STONE 2.3

Oppervlakte (ha)	LanduseName (Stone 2.1)				
LanduseName (STONE 2.3) run12f_20060726	Ov.bouwland	gras	mais	natuur	Totaal
grass		806662,50			806662,50
grasslrr		177675,00			177675,00
maize			196806,25		196806,25
maizelrr			21975,00		21975,00
maizew			2637,50		2637,50
nature_douglas fir				137175,00	137175,00
nature_forestDecid				143706,25	143706,25
nature_forestSpruce				31793,75	31793,75
nature_grass				513325,00	513325,00
nature_heather				29437,50	29437,50
potatlrr	111431,25				111431,25
potatoes	633512,50				633512,50
potatow	1406,25				1406,25
Totaal	746350,00	984337,50	221418,75	855437,50	2807543,75

Tabel B.1.4 en B.1.5 geven de parameterisering voor grasland resp. bouwland

Tabel B.1.4 LAI (Leaf Area Index) als functie van DVS (DeVelopment Stage) van Gras bij STONE 2.3

datum	dagnr	DVS	LAI
01-Jan	1	0,01	1,4
01-Feb	32	0,17	1,0
01-Mar	61	0,33	1,0
01-Apr	92	0,50	1,4
19-Apr	110	0,60	3,0
23-Apr	114	0,62	1,2
17-May	138	0,75	4,5
18-May	139	0,76	0,1
19-May	140	0,77	0,1
20-May	141	0,77	0,8
11-Jun	163	0,89	3,5
15-Jun	167	0,91	1,2
15-Jul	197	1,08	5,0
16-Jul	198	1,08	0,1
17-Jul	199	1,09	0,1
18-Jul	200	1,09	0,8
11-Aug	224	1,22	3,5
15-Aug	228	1,25	1,2
16-Sep	260	1,42	3,0
20-Sep	264	1,44	1,2
30-Sep	274	1,50	1,5
31-Dec	366	2,00	1,4

Tabel B.1.5 LAI van Akkerbouw (Aardappelen)

datum	DVS	LAI
20-Apr		0,00
13-May	0,20	0,10
23-May	0,40	0,36
02-Jun	0,53	1,26
13-Jun	0,66	3,40
22-Jun	0,77	4,85
02-Jul	0,90	5,45
12-Jul	1,02	5,41
22-Jul	1,14	5,32
01-Aug	1,26	5,22
11-Aug	1,39	5,09
21-Aug	1,51	4,26
31-Aug	1,63	2,42
10-Sep	1,75	0,85
20-Sep	1,88	0,26
30-Sep	2,00	0,00

In tabellen B.1.6 en B.1.7 worden de parameters voor de bewortelingsdiepte van snijmaïs en akkerbouw gegeven. Tevens is voor extreem natte plots de aangepaste bewortelingsdiepte van maïs gegeven.

Tabel B.1.6 Bewortelingsdiepte (RD=Rooting Depth in cm) van snijmaïs als functie van ontwikkelingsstadium (DVS); voor beregende en onberegende plots en voor extreem natte plots

	beregend en onberegend	extreem nat	
DVS	RD (cm)	DVS	RD (cm)
0,0	5,0	0,0	5,0
0,3	20,0	1,0	20,0
0,5	50,0	2,0	50,0
0,7	80,0		
1,0	90,0		
2,0	100,0		

Tabel B.1.7 Bewortelingsdiepte (RD in cm) van akkerbouw als functie van ontwikkelingsstadium (DVS)

DVS	RD (cm)
0,0	10,0
0,5	22,0
1,0	30,0
1,2	50,0
2,0	50,0

In tabel B.1.7 worden de parameterwaarde gegeven die de (reductie in) wateropname als functie van de drukhoogte in de wortelzonecompartimenten bepalen.

Tabel B.1.7 Parameters die de wateropname limiteren, per landgebruiksvorm voor STONE 2.3 (waarden in tabel in cm)

Water limitation params	grasland beregend onberegend	en	snijmais beregend en onberegend	snijmais extreem nat	akkerbouw beregend en onberegend	akkerbouw extreem nat	loofbos en dennebos	sparrenbos	natuurlijk gras en heide
HLIM1	0		-15	0	-10	0	-1	-1	0
HLIM2U	-1		-30	-10	-25	-25	-2	-2	-1
HLIM2L	-1		-30	-10	-25	-25	-2	-2	-1
HLIM3H	-200		-325	-325	-320	-320	-600	-600	-200
HLIM3L	-800		-600	-600	-600	-600	-600	-600	-800
HLIM4	-8000		-8000	-8000	-16 000	-16 000	-6000	-6000	-8000
RSC	70		70	70	70	70	100	140	70
ADCRH	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
ADCRL	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Bijlage 2 Foutenanalyse en acties om missers, zakkers en te nat gesimuleerde plots te repareren

Een plot wordt als probleemploot aangemerkt als hij zakgedrag vertoont (zie voor definitie: Van Bakel *et al.* 2007), als de actuele evapotranspiratie te laag is of de simulatie niet tot goed einde komt. In tabel B.2.1 wordt de situatie na run 7 weergegeven; in tabel B.2.2 na run 9 en in tabel B.2.3 na run 13.

Tabel B.2.1 Foutenbronnen run7

GWL period2	GWL period3	zeerlageET	lageET	incomplete	dwb2	dwb3	total
							5687
						3dwb	19
					2dwb		316
					2dwb	3dwb	5
			bouwland 50<ET<150				23
			mais 50<ET<150				95
			mais 50<ET<150			3dwb	1
			mais 50<ET<150		2dwb		3
		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150				14
		mais ET<50	mais 50<ET<150				24
		mais ET<50	mais 50<ET<150			3dwb	2
				no_3ok	2dwb		1
		mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok			1
				no_3ok			58
				no_3ok		3dwb	2
				no_3ok	2dwb		7
		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			14
		mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok			7
		mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok	2dwb		1
	stijger3						1
	stijger3			no_3ok			2
	stijger3	mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok	2dwb		1
	zakker3			no_3ok			1
	zakker3			no_3ok	2dwb		1
	zakker3	bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			1
gwlt2>13				no_3ok			6
gwlt2>13	gwli3>13						17
gwlt2>13	gwli3>13					3dwb	2
gwlt2>13	gwli3>13				2dwb		6
gwlt2>13	zakker3				2dwb		1
gwlt2>13	zakker3gwli3>13						4
gwlt2>13	zakker3gwli3>13			no_3ok			3
gwlt2>13	zakker3gwli3>13	bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			7
gwlt2>13	zakker3gwli3>13	bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok	2dwb		1
stijger2	gwli3>13				2dwb		1
stijger2	stijger3						2
zakker2							24
zakker2				no_3ok			18
zakker2				no_3ok	2dwb		1
zakker2		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			5
zakker2		mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok			1
zakker2	gwlt3>13						10
zakker2	gwlt3>13					3dwb	1
zakker2	gwlt3>13				2dwb		1
zakker2	stijger3						6
zakker2	stijger3				2dwb		1
totaal							6405

Tabel B.2.2. Foutenbronnen run9m

GWL period2	GWL period3	zeerlageET	lageET	incomplete	dwb2	dwb3	total
							5863
						3dwb	18
					2dwb		247
					2dwb	3dwb	7
			bouwland 50<ET<150				6
			mais 50<ET<150				70
			mais 50<ET<150			3dwb	3
			mais 50<ET<150		2dwb	3dwb	1
		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150				5
		Mais ET<50	mais 50<ET<150				16
		Mais ET<50	mais 50<ET<150			3dwb	1
		Mais ET<50	mais 50<ET<150		2dwb	3dwb	1
				no_3ok			5
		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			1
		Mais ET<50	mais 50<ET<150	no_3ok			1
	gwlt3>13						5
	stijger3						1
gwli2>13	gwli3>13						3
gwli2>13	gwli3>13			no_3ok			5
gwli2>13	gwli3>13			no_3ok	2dwb		2
gwli2>13	gwli3>13			no_3ok	2dwb	3dwb	1
gwli2>13	gwlt3>13			no_3ok			1
gwli2>13	gwlt3>13			no_3ok	2dwb		3
gwli2>13	stijger3			no_3ok			1
gwlt2>13							3
gwlt2>13				no_3ok			10
gwlt2>13				no_3ok	2dwb		1
gwlt2>13				no_3ok			6
gwlt2>13				no_3ok	2dwb		2
gwlt2>13	gwli3>13						23
gwlt2>13	gwli3>13					3dwb	1
gwlt2>13	gwli3>13				2dwb		5
gwlt2>13	stijger3						3
gwlt2>13	zakker3						2
gwlt2>13	zakker3gwli3>13						33
gwlt2>13	zakker3gwli3>13				2dwb		2
stijger2	stijger3						1
zakker2							8
zakker2					2dwb		4
zakker2							3
zakker2				no_3ok			6
zakker2		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150				1
zakker2		bouwland ET<50	bouwland 50<ET<150	no_3ok			2
zakker2	gwlt3>13						2
zakker2	gwlt3>13					3dwb	1
zakker2	stijger3						14
zakker2	stijger3				2dwb		4
zakker2	zakker3						1
totaal							6405

Tabel B.2.3 Foutenbronnen run12f

GWL period2	GWL period3	zeerlageET	lageET	incomplete	dwb2	dwb3	total
							6314
					2dwb		1
					2dwb	3dwb	1
			bouwland 50<ET<150				11
			mais 50<ET<150				75
zakker2							3
Totaal							6405

Dit resultaat is bereikt door:

- bij onderuitzakkers' stapsgewijs de onderrandflux aan te passen (verlaging onderrandflux, ofwel parameter SINAVE is verlaagd met telkens 0,2 mm). Dit is bij 165 plots doorgevoerd (tabel B.2.4);
- bij plots met zeer lage transpiratie (<50 mm/jr) door natschade, zijn de gewasparameters zodanig aangepast dat het gewas onder natte omstandigheden toch verdampt (aanpassing conform STONE 2.1). Dit is bij 22 plots doorgevoerd (zie tabel B.2.5);
- bij numerieke problemen het numerieke oplossingsschema zodanig aan te passen dat met kleinere tijdstappen gerekend wordt. Hiervoor zijn de parameters Msteps, Dtmin, Dtmax aangepast.

Tabel B.2.4 Plotnr's waarvan de onderrand is aangepast

plotnr	Oorspronkelijke oude onderrandflux	Aangepaste Nieuwe onderrandflux
2	-0,1	-0,12
3	-0,0931	-0,1131
10	-0,1	-0,12
38	-0,0931	-0,1131
44	-0,1	-0,12
69	-0,08	-0,12
74	-0,0766	-0,0966
450	-0,0349	-0,0549
467	0,0441	0,0641
548	0,0118	0,0318
572	-0,0591	-0,0791
577	0,0036	0,0236
598	-0,0738	-0,0938
605	-0,0421	-0,0621
653	0,0174	0,0374
756	-0,0093	-0,0293
757	-0,0597	-0,0797
758	-0,0715	-0,0915
972	-0,0707	-0,0907
983	-0,0803	-0,1003
984	-0,0596	-0,0796
989	-0,081	-0,101
1015	-0,0609	-0,0809
1021	-0,0742	-0,0942
1027	-0,0615	-0,0815
1036	-0,0522	-0,0722
1042	-0,0697	-0,0897
1057	-0,081	-0,101
1058	-0,0728	-0,0928
1074	-0,0908	-0,1108
1083	-0,0202	-0,0402
1100	-0,0583	-0,0783
1121	-0,08	-0,12
1175	-0,0067	-0,0267
1232	-0,0652	-0,0852
1234	-0,0738	-0,0938
1261	-0,0803	-0,1003
1265	-0,0392	-0,0592
1289	-0,1079	-0,1279
1299	-0,0139	-0,0339
1319	-0,0543	-0,0743
1322	-0,0926	-0,1126
1323	-0,0191	-0,0391
1326	-0,0814	-0,1014
1330	-0,0007	-0,0207
1331	-0,073	-0,093
1340	-0,0813	-0,1013
1344	-0,0168	-0,0368
1352	-0,0669	-0,0869
1353	-0,0596	-0,0796
1358	-0,002	-0,022
1390	-0,0553	-0,0753
1398	-0,0673	-0,0873

1404	-0,0133	-0,0333
1406	-0,0662	-0,0862
1407	-0,0368	-0,0568
1417	-0,0799	-0,0999
1418	-0,073	-0,093
1433	-0,0885	-0,1085
1443	-0,068	-0,088
1446	0,3339	0,6678
1447	-0,0739	-0,0939
1466	-0,0751	-0,0951
1469	-0,0525	-0,0725
1470	-0,0668	-0,0868
1473	-0,0218	-0,0418
1474	-0,0771	-0,0971
1478	-0,0694	-0,0894
1480	-0,0624	-0,0824
1483	-0,0732	-0,0932
1484	-0,0853	-0,1053
1495	-0,065	-0,085
1496	-0,0002	-0,0202
1502	-0,0366	-0,0566
1517	-0,0675	-0,0875
1523	-0,0513	-0,0713
1524	-0,0566	-0,0766
1528	-0,0741	-0,0941
1530	-0,009	-0,029
1536	-0,056	-0,076
1537	-0,0881	-0,1081
1563	-0,0276	-0,0676
1565	-0,062	-0,082
1566	-0,0553	-0,0753
1572	-0,0357	-0,0557
1578	-0,0012	-0,0212
1591	-0,0536	-0,0736
1593	-0,0506	-0,0706
1602	-0,0685	-0,0885
1605	-0,0103	-0,0303
1615	-0,0665	-0,0865
1617	-0,0636	-0,0836
1618	-0,0694	-0,0894
1624	-0,067	-0,087
1662	-0,0743	-0,0943
1702	-0,0558	-0,0758
1715	-0,0694	-0,0894
1739	-0,05	-0,07
1760	-0,0848	-0,1048
1772	-0,0878	-0,1078
1780	-0,071	-0,091
1783	-0,0524	-0,0724
1784	-0,0741	-0,0941
1843	-0,0707	-0,0907
1859	-0,0563	-0,0763
1898	-0,0693	-0,0893
1899	-0,062	-0,082
1909	0,1999	0,3997
1928	-0,0502	-0,0902
1948	-0,0657	-0,0857
1970	-0,0291	-0,0491
1996	-0,0679	-0,0879
2011	-0,0715	-0,0915
2023	-0,0571	-0,0771
2205	-0,0201	-0,0401
2317	0	-0,0514
2360	-0,0843	-0,1043
2831	-0,0413	0,0221
3048	-0,0938	-0,1138
3188	-0,0789	-0,0989
3201	-0,0785	-0,0985
3234	-0,0374	-0,0574
3324	-0,0197	-0,0397

3526	-0,0591	-0,0791
3901	-0,0514	-0,0714
3952	-0,0784	-0,0984
4067	-0,0232	-0,0432
4150	-0,0638	-0,0838
4217	-0,0711	-0,0911
4225	0,372	0,744
4227	-0,0704	-0,0904
4237	-0,0635	-0,0835
4243	-0,0467	-0,0667
4247	-0,0495	-0,0695
4279	-0,0643	-0,0843
4559	-0,0243	-0,0443
4688	-0,0714	-0,0914
4713	-0,0666	-0,0866
4775	-0,0613	-0,0813
4790	-0,075	-0,095
4806	-0,0715	-0,0915
4904	-0,0616	-0,0816
4928	-0,075	-0,095
4941	-0,0715	-0,0915
5341	-0,0364	-0,0564
5404	0,3864	0,7727
5855	0,4003	0,8006
6023	0,3472	0,6943
6370	0,4107	0,8214
6378	-0,0769	-0,0969
6379	-0,0772	-0,0972
6380	-0,0629	-0,1029
6381	-0,0772	-0,0972
6383	-0,0772	-0,0972
6384	-0,0772	-0,0972
6385	-0,0829	-0,1029
6386	-0,0829	-0,1029
6390	-0,0572	-0,0972
6396	-0,0572	-0,0972
6399	-0,0629	-0,1029
6400	-0,0629	-0,1029
6401	-0,0572	-0,0972
6402	-0,0772	-0,0972
6404	-0,0772	-0,0972
6405	-0,0829	-0,1029

Tabel B.2.5 Plotnrs waarvan het landgebruik is aangepast, zodat gewasverdamping mogelijk blijft

plotnr	oud	nieuw
918	potatoes	potatow
2045	potatoes	potatow
2106	potatoes	potatow
4246	potatoes	potatow
6362	potatoes	potatow
5882	maizelrr	maizew
577	maize	maizew
1098	maize	maizew
1259	maize	maizew
1315	maize	maizew
1753	maize	maizew
1888	maize	maizew
1970	maize	maizew
1973	maize	maizew
2105	maize	maizew
2118	maize	maizew

2204	maize	maizew
2205	maize	maizew
3952	maize	maizew
3974	maize	maizew
4708	maize	maizew
6360	maize	maizew

Bijlage 3 Vergelijking verdamping STONE 2.1 en STONE 2.3

Krimpenerwaard

	Stone		Waterbalans uit metingen			
jaar	E_STONE2.1	E_STONE2.3	E _{watbal}	E _{L+N}	E _{ref}	E _{L+N} /E _{Stone}
1991	509,3	472,6	513,6	559,9	537,6	1,18
1992	550,3	496,2	570,3	609,4	579,2	1,23
1993	497,1	462,0	520,3	534,8	516,5	1,16
1994	518,7	483,3	547,6	562,1	539,5	1,16
1995	566,7	524,6	625,0	622,5	590,2	1,19
1996	496,5	445,9	495,0	542	522,6	1,22
1997	541	500,2	543,0	587,9	561,1	1,18
1998	472,2	426,0	524,5	505,8	492,2	1,19
1999	567,3	518,5	547,4	613,3	582,5	1,18
2000	525,1	489,8	533,9	563,3	540,5	1,15
2001	533,9	490,6	512,5	599,9	571,2	1,22
2002	450,3	413,8	486,0	602,7	573,6	1,46
Gemiddeld	519,0	477,0	534,9	575,3	550,6	1,21

De jaren 2001 en 2002 zijn geschat op basis gemiddelde verhouding voorgaande jaren.

Rijnland

	Stone		Waterbalans uit metingen			
jaar	E_Stone2.1	E_Stone2.3	E _{watbal}	E _{L+N}	E _{ref}	E _{L+N} /E _{Stone}
1991	476,9	469,8	464,5	512,3	570,6	1,09
1992	533,5	506,6	553,0	621,3	604,3	1,23
1993	480,3	459,2	529,0	591,7	573,7	1,29
1994	503,7	488,0	481,9	533,8	584,8	1,09
1995	534,8	517,6	500,8	557	634,7	1,08
1996	448,7	433,3	467,6	516,1	563,9	1,19
1997	516,6	504,6	478,2	529,1	604,6	1,05
1998	471,8	445,2	538,0	602,9	541,9	1,35
1999	546,6	525,3	532,1	595,6	616,3	1,13
2000	524,1	498,3	461,8	509	568,7	1,02
2001	509,4	490,3	501,9	558,3	604,4	1,14
2002	448,5	431,7	526,0	588,1	590,4	1,36
Gemiddeld	499,6	480,8	502,9	559,6	588,2	1,16

Schermerboezem

jaar	E_{Stone}	Estone_2006	E_{wathal}	E_{L+N}	E_{ref}	E_{L+N}/E_{Stone}
1977	515,5	482,8	327,6	349,4	530,4	0,68
1978	521	476,9	421,2	456,8	531	0,88
1979	494,6	486,4	323,2	344,3	515,8	0,7
1980	525,7	492,6	358,3	384,6	537,4	0,73
1981	531,8	503,4	383,6	413,7	535	0,78
1982	552,7	528,3	439,4	477,6	601,5	0,86
1983	521,7	502,3	409,4	443,2	565,3	0,85
1984	517,1	483,2	398,6	430,9	522,6	0,83
1985	494,1	466,5	394,1	425,6	526	0,86
1986	554,7	525,6	508,7	557,1	589,3	1
1987	512,3	483,4	432,9	470,2	527,9	0,92
1988	533,3	490,5	473,2	516,4	528,3	0,97
1989	591,7	544,8	506,4	554,5	620,5	0,94
1990	579,4	535,6	513,3	562,4	605	0,97
1991	522,5	507,8	434,7	472,2	554,1	0,9
1992	581	534,0	498,7	545,6	600,1	0,94
1993	543,1	507,5	406,1	439,4	545,7	0,81
1994	549,4	516,8	350,4	375,5	559,6	0,68
1995	578,8	546,2	405,3	438,5	611,6	0,76
1996	501,2	474,3	398	430,1	540,3	0,86
1997	567,8	540,4	454,2	494,6	581,8	0,87
Gemiddeld	537,6	506,2	420,8	456,3	558,5	0,90

Regge

jaar	E_{Stone}	Estone_2006	E_{wathal}	E_{L+N}	E_{ref}	E_{L+N}/E_{Stone}
1996	495,7	464,7	425	455,1		0,98
1997	575,6	538,0	564	606,4		1,13
1998	514,2	463,6	487	522,6		1,13
1999	595,5	546,2	549	590,1		1,08
2000	560,0	511,4	531	570,5		1,12
Gemiddeld	548,2	504,8	511,2	548,9		1,09

Oude IJssel

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{watbal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1971	542,8	514,4	373,9		568,5	
1972	504,2	466,3	495,9		504,3	
1973	563,1	522,1	460,9		574,9	
1974	570,7	510,7	531,9		544,5	
1975	575,2	532,4	417,9		581,4	
1976	538,3	513,1	367,8		620,2	
1977	524,9	484,7	512,9		504,4	
1978	508,2	453,9	374,5		503,3	
1979	489,4	467,5	406,3		491,9	
1980	501,6	461,1	521,9		507,8	
1981	503,4	466,8	387,6		518,3	
1982	577,6	529,6	476,6		587,8	
1983	555,0	515,2	503,6		550,5	
1984	510,1	467,6	466,1		494,8	
1985	492,0	460,8	602,4		512	
1986	546,2	506,0	512,1		560,6	
1987	469,0	448,4	597,8		495,2	
1988	509,7	454,9	457,4		521,7	
Gemiddeld	526,8	487,5	470,4		535,7	

Groenlosche Slinge

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{watbal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1997	568,3	526,8	442,6	458	561,1	0,87
1998	496,2	457,3	407,4	421,3	492,2	0,92
1999	590,8	541,6	501,8	519,9	582,5	0,96
2000	548,1	503,5	451,3	467,1	540,5	0,93
2001	543	500,1	470,2	486,9	571,2	0,97
2002	470,6	433,4	419,2	433,6	573,6	1,00
Gemiddeld	536,1	493,8	448,7	464,5	634,9	0,94

De Dommel S02

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{L+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1980	519,4	461,7	489,4	513,8	508,8	1,11
1981	545,9	511,1	495,6	520,4	501,4	1,02
1982	594,9	564,3	422,8	442,3	595,3	0,78
1983	593,7	555,3	465,5	488,1	550,5	0,88
1984	555,9	510,3	470,4	493,4	497,5	0,97
1985	533,9	511,5	413,6	432,4	509	0,85
1986	585,9	554,3	484,1	508,2	565,1	0,92
1987	528,8	488,1	405	423,2	499,2	0,87
1988	578,1	512,9	477,7	501,2	505,9	0,98
1989	597,3	564,0	412,4	431,1	602,8	0,76
1990	579,1	538,2	482,5	506,4	583,4	0,94
1991	525,2	495,4	407,1	425,5	537,6	0,86
1992	601,8	541,8	522,2	549	579,2	1,01
1993	565,6	526,2	509,1	535	516,5	1,02
1994	604,4	563,3	399,9	417,8	539,5	0,74
1995	600,8	562,6	382,1	398,6	590,2	0,71
1996	516	475,8	486,8	511,1	522,6	1,07
1997	600,4	566,1			561,1	
1998	561,7	509,1	543,6	572	492,2	1,12
1999	640,7	598,1	399,5	417,3	582,5	0,70
Gemiddeld	569,9	530,5	456,3	478,2	541	0,90

De Dommel S01

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{L+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1980	513,7	472,2	435,9	458,2	508,8	0,97
1981	539,4	520,1	535,6	565	501,4	1,09
1982	595	574,7	447,1	470,3	595,3	0,82
1983	590,8	565,7	419,7	441	550,5	0,78
1984	547,3	519,6	488	514,1	497,5	0,99
1985	528,5	521,7	435,4	457,8	509	0,88
1986	583,4	564,8	497,1	523,8	565,1	0,93
1987	519,6	497,7	424,5	446	499,2	0,90
1988	567,1	523,1	469	493,7	505,9	0,94
1989	598,7	573,8	431,1	453,2	602,8	0,79
1990	579,2	549,6	510	537,6	583,4	0,98
1991	527,6	508,6	486,3	512,2	537,6	1,01
1992	596,5	552,7	561,2	592,5	579,2	1,07
1993	563,1	537,5	557,2	588,2	516,5	1,09
1994	600,4	574,2	535	564,4	539,5	0,98
1995	600,1	574,3	386,2	405,1	590,2	0,71
1996	516,1	484,8	478,9	504,3	522,6	1,04
1997	599,6	574,5	469,9	494,7	561,1	0,86
1998	552,9	519,9	579,6	612,2	492,2	1,18
1999	637,3	608,9	526,9	555,7	582,5	0,91
Gemiddeld	567,8	540,9	483,7	509,5	542	0,94

De Dommel P07+P09

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{stone 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{L+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1977	551,7	511,1	558,7	581,6	513,4	1,14
1978	522,8	467,6	436,7	453,5	507	0,97
1979	518,4	491,7	481,7	500,8	493,3	1,02
1980	518,1	465,2	455,2	473	508,8	1,02
1981	544,1	511,0	542,2	564,3	501,4	1,10
1982	598,9	564,2	470,4	488,9	595,3	0,87
1983	593,1	553,5	482,1	501,2	550,5	0,91
1984	550,6	508,3	524,4	545,6	497,5	1,07
1985	533,8	514,7	465,9	484,2	509	0,94
1986	585,9	554,1	501,6	521,7	565,1	0,94
1987	524,3	489,0	469,1	487,6	499,2	1,00
1988	571,9	513,3	496,9	516,8	505,9	1,01
1989	599,8	564,3	402	417,1	602,8	0,74
1990	582,8	540,9	496,1	515,9	583,4	0,95
1991	532,4	501,4	454	471,7	537,6	0,94
1992	601,1	544,0	539,7	561,6	579,2	1,03
1993	568,9	529,1	534,7	556,4	516,5	1,05
1994	602,2	560,3	464,7	482,9	539,5	0,86
1995	600,6	562,8	409,3	424,8	590,2	0,75
1996	517,8	479,0	452	469,6	522,6	0,98
1997	603,8	569,5	461,3	479,4	561,1	0,84
Gemiddeld	563	523,6	480,9	499,9	537,1	0,95

Drenthse Aa

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{stone 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{L+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{L+N}}/E_{\text{Stone}}$
1993	531,4	525,6	597,3	618,9	498	1,18
1994	572,3	577,5	731,5	759,1	539,2	1,31
1995	588,9	591,3	475,7	491,9	576,5	0,83
1996	480,1	477,2	408,4	421,6	508,1	0,88
1997	575	570,9	476,3	492,6	557,9	0,86
1998	533,4	544,1	756,2	784,8	488,6	1,44
1999	595,9	594,2	534,2	553	581,2	0,93
2000	559,3	560,6	581	601,9	519	1,07
2001	528,7	529,3	680,6	705,9	552	1,33
Gemiddeld	551,7	552,3	582,4	603,3	535,6	1,09

Aa of Weerij

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1990	617,5	572,8	410,0	424,9	595,6	0,74
1991	552,9	519,3	442,8	459,2	560,0	0,88
1992	607,0	561,8	536,2	557	571,0	0,99
1993	584,2	546,7	510,9	530,5	536,3	0,97
1994	614,7	579,2	458,9	476,1	577,2	0,82
1995	628,7	597,1	409,1	423,9	604,3	0,71
1996	538,8	501,2	433,3	449,3	538,8	0,90
1997	609,0	573,2	499,0	518	596,6	0,90
1998	581,3	532,1	515,2	535	517,5	1,01
1999	642,8	594,5	444,8	461,3	607,7	0,78
Gemiddeld	597,7	557,8	466,0	483,5	570,5	0,87

Beerze

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1986	586,8	554,3	524,8	545,6	564,3	0,98
1987	525,6	489,3	495,2	514,5	502,9	1,05
1988	573,2	513,6	526	546,8	519,8	1,06
1989	600,4	564,6	416,1	431,4	629,8	0,76
1990	583,5	541,2	511,1	531,2	595,6	0,98
1991	533,2	501,5	468	485,9	560	0,97
1992	602,2	544,2	561,5	584,1	571	1,07
1993	569,8	529,4	560,9	583,5	536,3	1,10
1994	603,2	560,8	493,2	512,4	577,2	0,91
1995	601,3	563,1	428,6	444,5	604,3	0,79
1996	518,7	479,2	463	480,7	538,8	1,00
1997	605	569,6	470,2	488,2	596,6	0,86
1998	559,1	508,9	666,6	694,5	517,5	1,36
Gemiddeld	574	532,3	506,6	526,4	562,6	0,99

Hunze

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1990	524,9	496,2	816,7	841,7	541,9	1,70
1991	483,8	478,1	668	687,7	538,2	1,44
1992	542,5	514,3	825,8	851,1	577,4	1,65
1993	483,3	453,6	958,4	988,5	498	2,18
1994	530,5	520,2	806,1	830,7	539,2	1,60
Gemiddeld	513	492,5	815	839,9	538,9	1,71

Schuitenbeek

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1988	589	524,9	583,8	616,2	505,9	1,17
1989	619,4	559,4	590,3	623,1	602,8	1,11
1990	621,9	566,8	654,9	691,6	583,4	1,22
1991	555,2	508,2	540,2	570	537,6	1,12
1992	633	572,4	711,9	752	579,2	1,31
1993	582,8	528,0	642,9	678,9	516,5	1,29
1994	603,1	552,0	671,2	708,9	539,5	1,28
Gemiddeld	600,6	544,5	627,9	663	552,1	1,22

Chaamse Beek

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1990	659,3	607,5	569,7	591	595,6	0,97
1991	602	552,3	562,4	583,4	560	1,06
1992	666,4	598,6	576,5	598,1	571	1,00
1993	632,7	580,2	561	582	536,3	1,00
1994	665,2	606,5	574,3	595,8	577,2	0,98
1995	666,3	629,4	470,9	488,2	604,3	0,78
1996	567,6	528,7	494,2	512,5	538,8	0,97
1997	659,4	606,1	546,3	566,7	596,6	0,94
1998	652,5	572,7	667,1	692,4	517,5	1,21
1999	702,2	626,4	597,7	620,2	607,7	0,99
Gemiddeld	647,3	590,8	562	583	570,5	0,99

Hierdense Beek

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1990	608,1	546,3	439,5	456	583,4	0,83
1991	538,8	486,8	371,4	385,2	537,6	0,79
1992	622,6	549,8	513,7	533,1	579,2	0,97
1993	575,4	510,4	506,9	526,1	516,5	1,03
1994	591,9	530,5	381	395,1	539,5	0,74
1995	599,4	550,8	267,7	277,2	590,2	0,50
1996	492,4	460,0	378	392	522,6	0,85
1997	605,6	551,9	457,2	474,4	561,1	0,86
1998	590,9	512,9	564,8	586,3	492,2	1,14
Gemiddeld	580,6	522,2	431,1	447,3	546,9	0,86

Hupsel

jaar	E_{Stone}	$E_{\text{Stone, 2006}}$	E_{wathal}	$E_{\text{I+N}}$	E_{ref}	$E_{\text{I+N}}/E_{\text{Stone}}$
1984	494	458,8	483	493,6	500	1,08
1985	492,9	455,6	509	520,2	504	1,14
1986	501,3	496,4	542,3	554,2	547	1,12
1987	467,5	443,6	490,3	501,1	485	1,13
1988	491,3	443,0	498	508,9	494	1,15
1989	514,4	511,9	487,3	498	581	0,97
1990	522,4	495,4	590,3	603,3	572	1,22
1991	477,9	469,4	468	478,3	542	1,02
1992	535,1	509,6	516,7	528	582	1,04
1993	507,2	468,4	567,3	579,8	529	1,24
Gemiddeld	500,4	475,2	515,2	526,6	533,6	1,11

Bijlage 4 Draindieptes, bodemdieptes en streefpeilen per hydrotype

Tabel B.4.1 Draindiepte en bodemdieptes (cm) van het tertiaire systeem

Tertiaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Betuwe-komgronden	Geen	40	60	60	60	60	65	75
	30	40						
	40		60					
	50		60					
	70			75				
	80				85	85	85	85
	90				95	95		
	100						105	105
	110						115	115
	120							125
Betuwe-stroomruggronden	Geen	40	60	60	65	60	65	80
	40	45	60					
	60		65					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Dekzand profiel	Geen	50	70	70	75	80	80	85
	40	50	70					
	60		70					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Duinstrook	Geen	50	55	70	80	70	85	85
	40	50	55					
	60		65					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Eem en/of keileemprofiel	Geen	50	60	65	75	75	75	85
	40	50	60					
	60		65					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125

Tertiaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Keileem profiel	Geen	50	70	90	90	90	90	95
	40	50	70					
	60		70					
	80			90	90	90	90	95
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Keileem-Peeloo profiel	Geen	50	75	90	90	90	90	95
	40	50	75					
	60		75					
	80			90	90	90	90	95
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Loss profiel	Geen	50	50	70	85	85	85	85
	40	50	50					
	60		65					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Nuenengroep profiel	Geen	50	60	70	75	75	80	85
	40	50	60					
	60		65					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Oost-Nederland profiel	Geen	50	75	75	75	75	75	75
	40	50	75					
	60		75					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Open profiel	Geen	50	60	80	80	80	80	95
	40	50	60					
	60		65					
	80			85	85	85	85	95
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Peeloo profiel	Geen	50	80	100	110	110	110	115
	40	50	80					
	60		80					
	80			100	110	110	110	115
	100				110	110	110	115
							115	115
	110							

Tertiaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
	120						125	125
Singraven-beekdalen	Geen	50	65	80	85	85	85	90
	40	50	65					
	60		65					
	80			85	85	85	85	90
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Stuwwallen	Geen	50	70	70	75	80	80	85
	40	50	70					
	60		70					
	80			85	85	85	85	85
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Tegelen/Kedichem profiel	Geen	50	70	80	85	85	85	90
	40	50	70					
	60		70					
	80			85	85	85	85	90
	100				105	105	105	105
	110						115	115
	120						125	125
Westland-C-profiel	Geen	40	60	75	100	100	100	100
	40		60					
	60	65						
	80		85	85	100	100	100	100
	100			105	105	105	105	105
	110			115	115	115	115	115
	120				125	125	125	125
Westland-DC-profiel	Geen	40	60	75	100	100	100	100
	40		60					
	60	65						
	80		85	85	100	100	100	100
	100			105	105	105	105	105
	110			115	115	115	115	115
	120				125	125	125	125
Westland-DHC-profiel	Geen	40	50	70	70	105	125	120
	40		50					
	60	65						
	80		85	85	85	105	125	120
	100			105	105	105	125	120
	110			115	115	115	125	120
	120				125	125	125	125

Tertiaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Westland-DH-profiel	Geen	40	60	75	85	105	110	110
	40		60					
	60	65						
	80		85	85	85	105	110	110
	100			105	105	105	110	110
	110			115	115	115	115	115
	120				125	125	125	125
Westland-D-profiel	Geen	40	55	65	85	100	100	100
	40		55					
	60	65						
	80		85	85	85	100	100	100
	100			105	105	105	105	105
	110			115	115	115	115	115
	120				125	125	125	125
Westland-HC-profiel	Geen	35	40	55	55	70	80	90
	20	35						
	30		40					
	60			65				
	70				75			
	80					85	85	90
	100						105	105
	110							115
	120							125
Westland-H-profiel	Geen	35	40	55	55	70	80	90
	20	35						
	30		40					
	60			65				
	70				75			
	80					85	85	90
	100						105	105
	110							115
	120							125

Tabel B.4.2 Draindieptes en bodemdieptes (cm) van het secundaire systeem

Secundaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Betuwe-komgronden	Geen	50	70	70	75	90	100	110
	30	50						
	40		70					
	50		70					
	70			80				
	80				90	90	100	110
	90				100	100		
	100						110	110
	110						120	120
	120							130
Betuwe-stroomruggronden	Geen	50	70	75	75	95	110	110
	40	50	70					
	60		70					
	80			90	90	95	110	110
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Dekzand profiel	Geen	50	80	95	100	105	105	110
	40	50	80					
	60		80					
	80			95	100	105	105	110
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Duinstrook	Geen	50	65	70	80	85	110	120
	40	50	65					
	60		70					
	80			90	90	90	110	120
	100				110	110	110	120
	110						120	120
	120						130	130
Eem en/of keileemprofiel	Geen	50	70	85	85	90	85	120
	40	50	70					
	60		70					
	80			90	90	90	90	120
	100				110	110	110	120
	110						120	120
	120						130	130
Keileem profiel	Geen	60	80	90	105	105	105	120
	40	60	80					
	60		80					
	80			90	105	105	105	120
	100				110	110	110	120
	110						120	120
	120						130	130

Secundaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Keileem-Peeloo profiel	Geen	50	80	95	110	95	105	125
	40	50	80					
	60		80					
	80			95	110	95	105	125
	100				110	110	110	125
	110						120	125
	120						130	130
Loss profiel	Geen	50	60	90	95	90	110	120
	40	50	60					
	60		70					
	80			90	95	90	110	120
	100				110	110	110	120
	110						120	120
	120						130	130
Nuenengroep profiel	Geen	50	80	95	95	95	105	110
	40	50	80					
	60		80					
	80			95	95	95	105	110
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Oost-Nederland profiel	Geen	50	75	100	110	110	120	130
	40	50	75					
	60		75					
	80			100	110	110	120	130
	100				110	110	120	130
	110						120	130
	120						130	130
Open profiel	Geen	50	70	90	95	90	90	100
	40	50	70					
	60		70					
	80			90	95	90	90	100
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Peeloo profiel	Geen	60	80	100	120	120	130	140
	40	60	80					
	60		80					
	80			100	120	120	130	140
	100				120	120	130	140
	110						130	140
	120						130	140
Singraven-beekdalen	Geen	50	75	90	95	100	100	105
	40	50	75					
	60		75					
	80			90	95	100	100	105
	100				110	110	110	110
	110						120	120

Secundaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
	120						130	130
Stuwwallen	Geen	50	80	95	105	105	105	110
	40	50	80					
	60		80					
	80			95	105	105	105	110
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Tegelen/Kedichem profiel	Geen	50	75	90	110	110	110	110
	40	50	75					
	60		75					
	80			90	110	110	110	110
	100				110	110	110	110
	110						120	120
	120						130	130
Westland-C-profiel	Geen	40	65	100	110	110	110	110
	40		65					
	60	70						
	80		90	100	110	110	110	110
	100			110	110	110	110	110
	110			120	120	120	120	120
	120				130	130	130	130
Westland-DC-profiel	Geen	40	65	100	110	110	110	110
	40		65					
	60	70						
	80		90	100	110	110	110	110
	100			110	110	110	110	110
	110			120	120	120	120	120
	120				130	130	130	130
Westland-DHC-profiel	Geen	50	60	80	80	130	135	135
	40		60					
	60	70						
	80		90	90	90	130	135	135
	100			110	110	130	135	135
	110			120	120	130	135	135
	120				130	130	135	135
Westland-DH-profiel	Geen	50	70	85	95	120	120	120
	40		70					
	60	70						
	80		90	90	95	120	120	120
	100			110	110	120	120	120
	110			120	120	120	120	120
	120				130	130	130	130

Secundaire systeem		Grondwatertrap						
HYDROTYPE	Draindiepte	I	II	III	IV	V	VI	VII
Westland-D-profiel	Geen	50	65	75	95	110	115	125
	40		65					
	60	70						
	80		90	90	95	110	115	125
	100			110	110	110	115	125
	110			120	120	120	120	125
	120				130	130	130	130
Westland-HC-profiel	Geen	40	45	60	60	75	85	95
	20	40						
	30		45					
	60			70				
	70				80			
	80					90	90	95
	100						110	110
	110							120
120							130	
Westland-H-profiel	Geen	40	45	60	60	75	85	95
	20	40						
	30		45					
	60			70				
	70				80			
	80					90	90	95
	100						110	110
	110							120
	120							130

Tabel B.4.3 Streefpeilen (cm –mv) van het primaire systeem

Hydrotype	Grondwatertrap						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Betuwe-komgronden	50	70	90	110	110	130	175
Overige Betuwe-stroomrugggronden	60	80	100	120	120	140	185
Dekzand profiel	60	80	100	120	120	140	185
Duinstrook	60	80	100	120	120	140	185
Eem en/of keileemprofiel	60	80	100	120	120	140	185
Keileem profiel	60	80	100	120	120	140	185
Keileem-Peeloo profiel	60	80	100	120	120	140	185
Loss profiel	60	80	100	120	120	140	185
Nuenengroep profiel	60	80	100	120	120	140	185
Oost-Nederland profiel	60	80	100	120	120	140	185
Open profiel	60	80	100	120	120	140	185
Peeloo profiel	60	80	100	120	120	140	185
Singraven-beekdalen	60	80	100	120	120	140	185
Stuwwallen	60	80	100	120	120	140	185
Tegelen/Kedichem profiel	60	80	100	120	120	140	185
Westland-C-profiel	80	100	130	140	150	170	205
Westland-DC-profiel	80	100	130	140	150	170	205
Westland-DHC-profiel	80	100	130	140	150	170	205
Westland-DH-profiel	80	100	130	140	150	170	205
Westland-D-profiel	80	100	130	140	150	170	205
Westland-HC-profiel	40	50	80	90	100	120	155
Westland-H-profiel	40	50	80	90	100	120	155

Tabel B.4.4 Bodemdiepte (cm) van het primaire systeem

	Grondwatertrap						
HYDROTYPE	I	II	III	IV	V	VI	VII
Betuwe-komgronden	100	120	140	160	160	180	225
	100						
		120					
		120					
			140				
				160	160	180	225
				160	160		
						180	225
Betuwe-stroomruggronden						180	225
						180	225
						180	225
						180	225
						180	225
						180	225
						180	225
						180	225
Dekzand profiel	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235
Duinstrook	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235
Eem en/of keileemprofiel	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235
Keileem profiel	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235

	Grondwatertrap						
HYDROTYPE	I	II	III	IV	V	VI	VII
Keileem-Peeloo profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Loss profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Nuenengroep profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Oost-Nederland profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Open profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Peeloo profiel	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235
Singraven-beekdalen	110 110 130	130 130 130	150 150	170 170	170 170	190 190 190 190	235 235 235 235

	Grondwatertrap						
HYDROTYPE	I	II	III	IV	V	VI	VII
						190	235
Stuwwallen	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235
Tegelen/Kedichem profiel	110	130	150	170	170	190	235
	110	130					
		130					
			150	170	170	190	235
				170	170	190	235
						190	235
						190	235
Westland-C-profiel	130	150	180	190	200	220	255
		150					
	130						
		150	180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
				190	200	220	255
Westland-DC-profiel	130	150	180	190	200	220	255
		150					
	130						
		150	180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
				190	200	220	255
Westland-DHC-profiel	130	150	180	190	200	220	255
		150					
	130						
		150	180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
				190	200	220	255
Westland-DH-profiel	130	150	180	190	200	220	255
		150					
	130						
		150	180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
				190	200	220	255

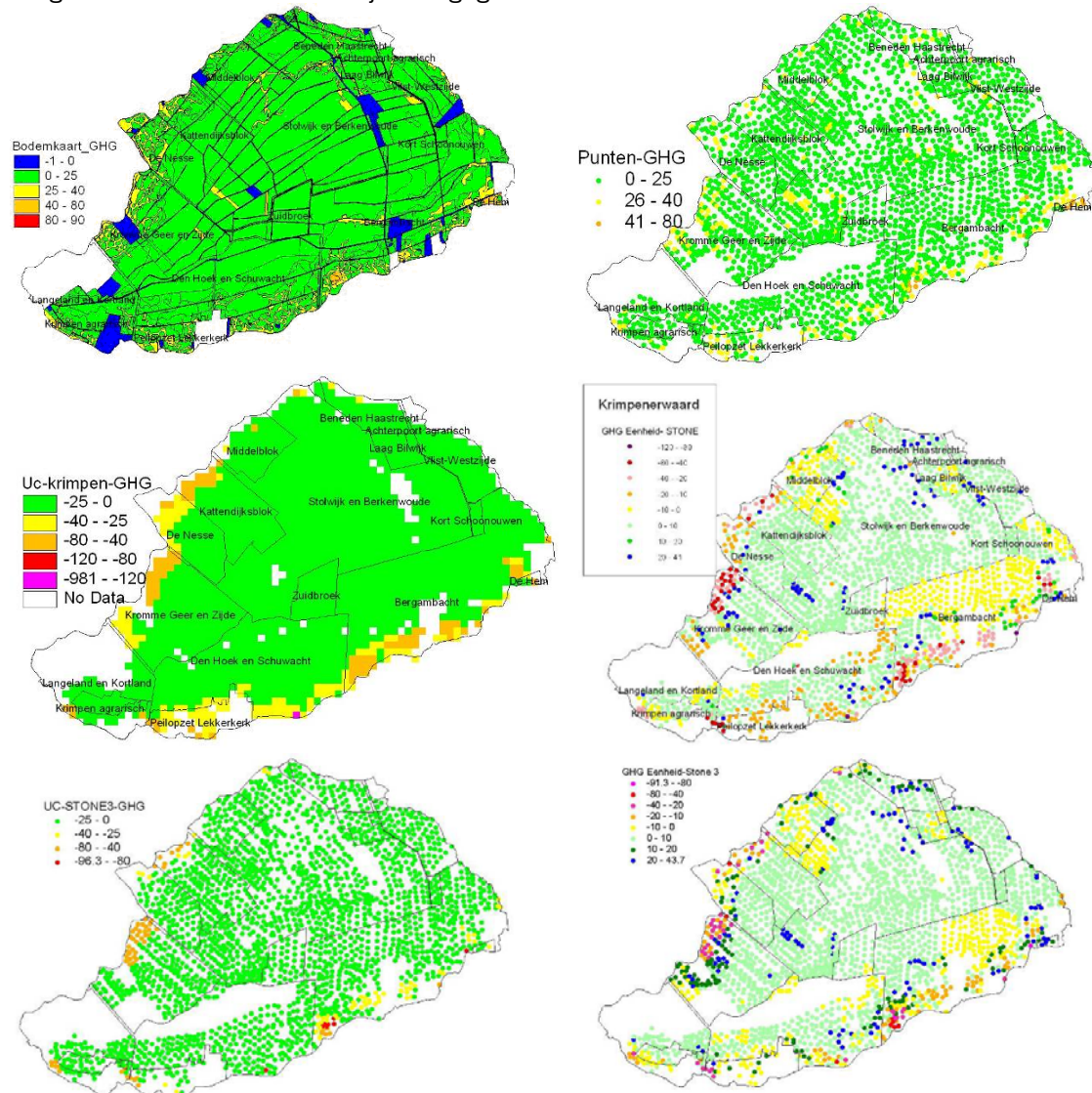
	Grondwatertrap						
HYDROTYPE	I	II	III	IV	V	VI	VII
Westland-D-profiel	130	150	180	190	200	220	255
		150					
	130						
		150	180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
			180	190	200	220	255
Westland-HC-profiel				190	200	220	255
	90	100	130	140	150	170	205
	90						
		100					
			130				
				140			
Westland-H-profiel					150	170	205
						170	205
							205
							205
	90	100	130	140	150	170	205
	90						
Westland-H-profiel		100					
			130				
				140			
					150	170	205
						170	205
							205
Westland-H-profiel							205

Bijlage 5 Analyse grondwaterstanden in veengebieden

In Van Bakel *et al.* (2007) is de berekende grondwaterstand met STONE 2.1 vergeleken met detailkarteringen van de GxG. Deze analyse is uitgevoerd voor twee gebieden, nl. Krimpenerwaard en Staphorst/Rouveen. In deze bijlage zijn de resultaten van de nieuwe berekeningen voor STONE 2.3 toegevoegd zodat er ook een vergelijking met STONE 2.1 mogelijk is.

Krimpenerwaard – GHG

In figuur B.5.1 is de GHG ruimtelijk weergegeven.

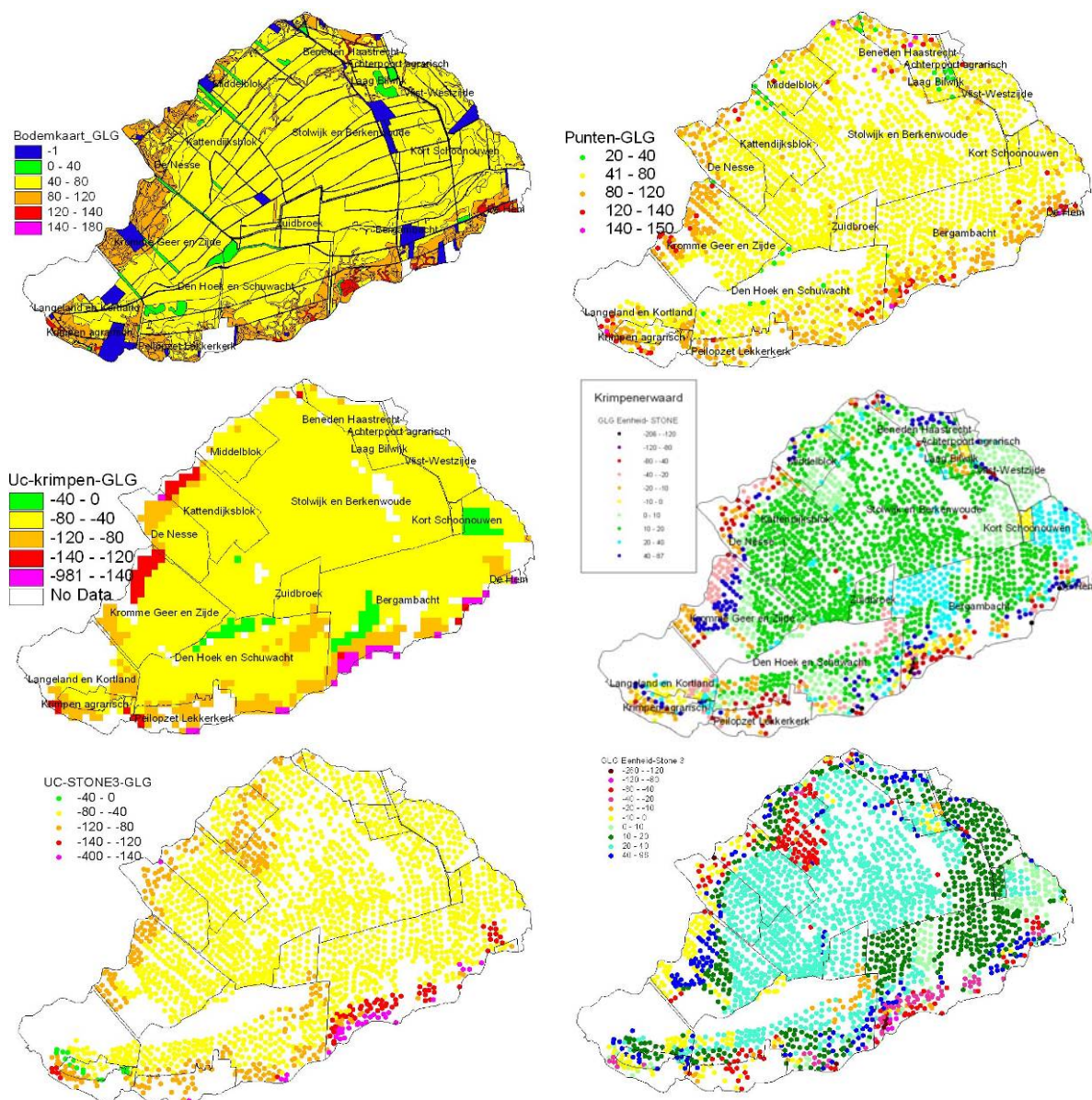


Figuur B.5.1 GHG volgens Bodemkaart (Bod5182) (linksboven), volgens opnamepunten (rechts boven), STONE 2.1 (links midden), verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.1 (rechts midden), STONE 2.2-berekeningen (links onder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.3 (rechts onder)

De GHG-klassen voor STONE 2.3 lijkt enigszins beter op de bodemkaart dan de GHG voor STONE 2.1, vooral wat betreft de randen van de Krimpenerwaard. De GHG volgens STONE 2.3 is overwegend natter dan de detailkartering.

Krimpenerwaard - GLG

In figuur B.5.2 is de GLG ruimtelijk weergegeven.



Figuur B.5.2 GLG volgens Bodemkaart (Bod5182) (linksboven), volgens opnamepunten (rechts boven), STONE 2.1 (links midden), verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.3 (rechts midden), STONE 2.3 (links onder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.3 (rechts onder)

In figuur B.5.2 valt de goede overeenkomst op tussen STONE 2.1 en STONE 2.3 en de recente bodemkaart en opnamepunten volgens de gehanteerde klassenindeling. De verschillen

op puntniveau zijn overwegend tussen 10-20 cm voor STONE 2.1 en 20-40 cm voor STONE 2.3 en zijn verder het grootst op de rand van het gebied.

Aan de opnamepunten en de GHG en GLG uit de nieuwe bodemkaart zijn de berekende STONE-waarden gekoppeld. In tabel B.5.1 zijn de statistieken weergegeven. De verschillen in GHG zijn m.b.t. het gemiddelde op basis van STONE 2.1 gering en voor STONE 2.3 3 cm natter. Voor de mediaanwaarde zijn deze 3,5 en 6,5 cm natter. Voor de GLG zijn de verschillen groter tussen bodemkaart en STONE. Het gemiddelde voor STONE 2.1 is 9 cm natter en voor STONE 2.3 13 cm natter. Op basis van de mediaan zijn de waarden respectievelijk 13 en 19 cm natter.

Tabel B.5.1 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE

	GHG	GHG	GHG	GHG	GLG	GLG	GLG	GLG
	punt	eenheid	STONE 2.1	STONE 2.3	punt	eenheid	STONE 2.1	STONE 2.3
Mean	14,7	12,7	13,6	9,7	71,1	71,1	62,4	57,9
Standard Error	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6
Median	12,5	10	9	6	65	65	52	46
Mode	10	10	9	6	60	65	52	44
Standard Deviation	7,6	7,0	12,0	10,0	17,5	16,1	25,7	27,9
Sample Variance	57,9	48,6	143,6	99,3	305,0	260,1	660,4	780,8
Kurtosis	3,8	9,0	17,2	24,6	3,7	4,1	11,1	11,6
Skewness	1,5	2,7	3,5	4,3	1,7	1,2	2,8	2,8
Range	60	61	128	92	130	141	244	316
Minimum	0	-1	7	4	20	-1	39	40
Maximum	60	60	135	96	150	140	283	356
Sum	36.929	31805	32.477	23.185	178.540	178.480	148.736	138.177
Count	2512	2512	2385	2385	2512	2512	2385	2385
Confidence Level(95,0%)	0,30	0,27	0,48	0,40	0,68	0,63	1,03	1,12

Tabel B.5.2 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE

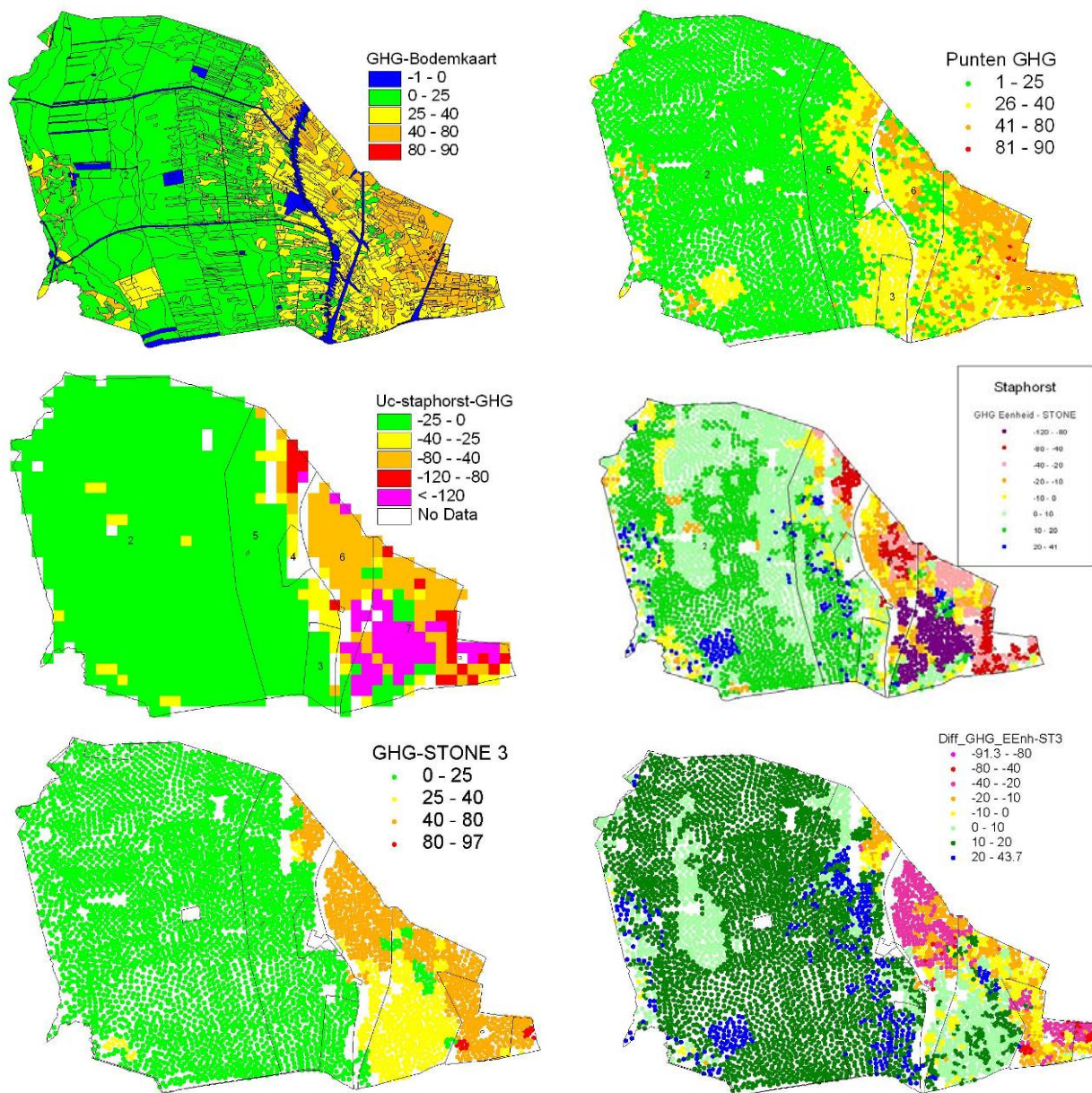
	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GLG	DIFF_GLG	DIFF_GLG
	punt-STONE 2.1	Eenh-STONE 2.1	Eenheid-STONE 2.3	punt-STONE 2.1	Eenh-STONE 2.1	Eenheid-STONE 2.3
Mean	0,9	-1,2	2,7	8,0	8,1	12,5
Standard Error	0,3	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5
Median	1	1	4	12	13	21
Mode	1	1	4	8	13	21
Standard Deviation	12,3	11,2	9,5	23,4	22,6	25,3
Sample Variance	150,5	125,4	90,5	546,6	510,7	637,7
Kurtosis	12,0	16,9	15,2	12,9	12,4	11,0
Skewness	-2,2	-2,5	-2,0	-1,9	-2,1	-2,1
Range	161	166	135	316	293	351
Minimum	-120	-125	-91	-218	-206	-256
Maximum	41	41	44	98	87	95
Sum	2177	-2805	6487	19182	19.336	29.895
Count	2385	2385	2385	2385	2385	2385
Confidence Level(95,0%)	0,49	0,45	0,38	0,94	0,91	1,01

Vervolgens is gekeken naar de verschillen. Omdat niet voor elk punt een STONE-waarde beschikbaar is, kunnen de verschillen in tabel B.5.2 afwijken van de verschillen die kunnen worden bepaald uit tabel B.5.1.

Voor de Krimpenerwaard is de GHG op basis van STONE 2.3 iets natter (3 cm) is dan op basis van de STONE 2.1; voor de GLG is dit verschil groter (8 cm).

Staphorst/Rouveen - GHG

In figuur B.5.3 is de GHG ruimtelijk weergegeven.

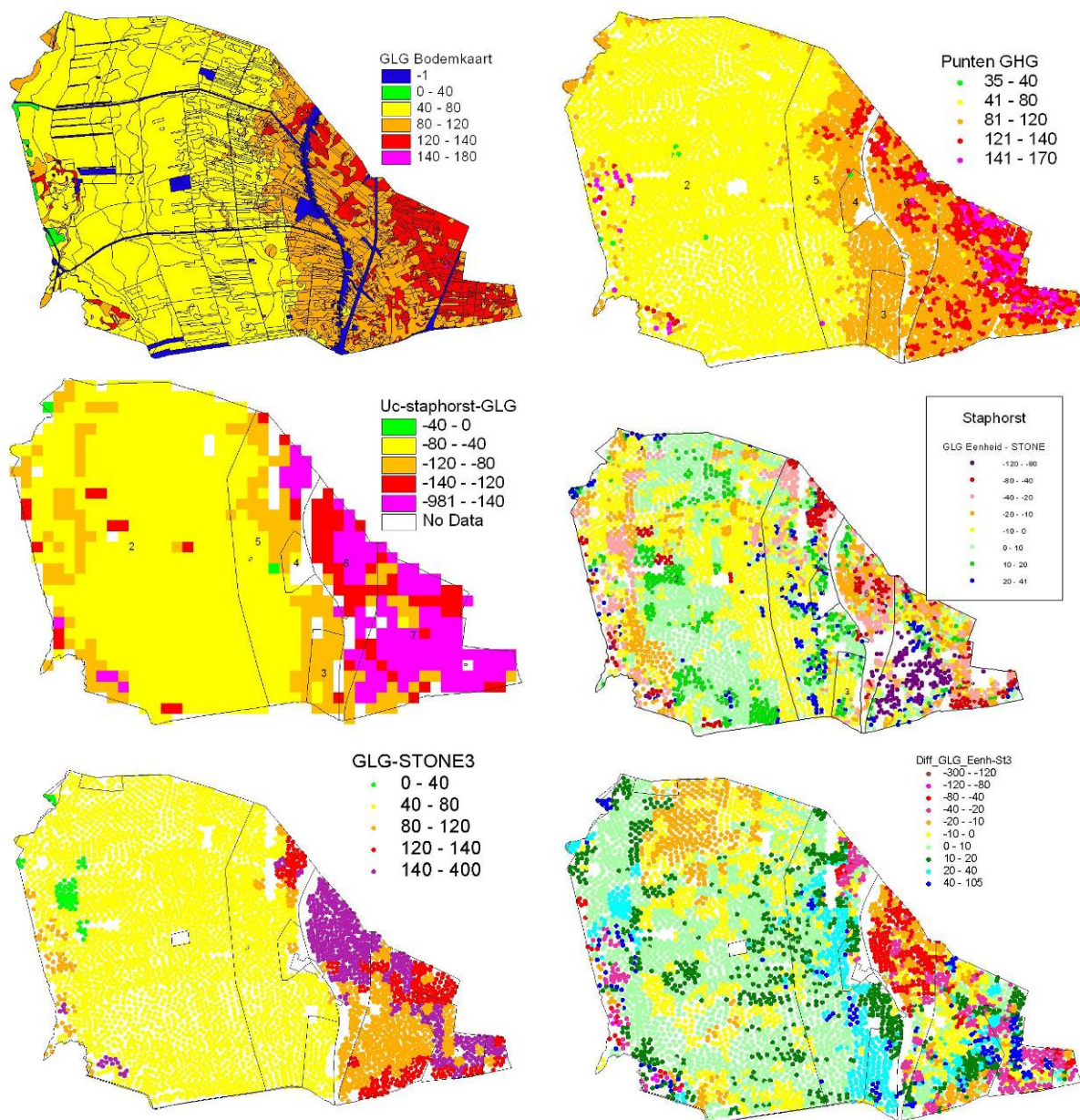


Figuur B.5.3 GHG volgens Bodemkaart (Bod5171) (links boven), volgens opnamepunten (rechts boven), STONE 2.1 (links midden), verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.1 (rechts midden), STONE 2.3 (links onder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.3 (rechts onder)

De GHG-classes voor STONE 2.3 sluit beter aan op de bodemkaart dan de GHG voor STONE 2.1, zeker in het oostelijke deel van het gebied. De GHG volgens STONE 2.3 is natter dan de bodemkaart.

Staphorst/Rouveen - GLG

In figuur B.5.4 is de GLG ruimtelijk weergegeven.



Figuur B.5.4 GLG volgens Bodemkaart (Bod5171) (links boven), volgens opnamepunten (rechtsboven), STONE 2.1 (links midden), verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.1 (rechts midden), STONE 2.3 (links onder) en de verschillen tussen bodemkaart en STONE 2.3 (rechts onder)

De GLG-classes voor STONE 2.3 sluit evenals de GHG beter aan op de bodemkaart dan de GLG voor STONE 2.1, zeker in het oostelijke deel van het gebied. De GLG volgens STONE 2.3 verschilt in het veengebied (oostelijk deel) weinig van de bodemkaart.

Tabel B.5.3 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE

	GHG	GHG	GHG	GHG	GLG	GLG	GLG	GLG
	punt	eenheid	STONE 2.1	STONE 2.3	punt	eenheid	STONE 2.1	STONE 2.3
Mean	25,0	26,5	33,2	17,8	82,5	80,6	96,5	77,0
Standard Error	0,1	0,1	0,7	0,3	0,4	0,4	0,9	0,5
Median	20	20	10	7	70	65	70	60
Mode	20	20	8	7	60	60	62	60
Standard Deviation	10,6	9,7	53,3	20,0	27,7	26,6	63,5	33,3
Sample Variance	112,0	93,7	2842,9	401,7	769,0	708,9	4030,4	1110,5
Kurtosis	1,7	0,1	74,6	1,6	-0,4	-0,1	32,5	0,2
Skewness	1,3	0,9	6,7	1,7	0,9	1,1	4,1	1,2
Range	89	91	713	92	135	181	722	152
Minimum	1	-1	3	2	35	-1	36	26
Maximum	90	90	716	94	170	180	758	178
Sum	140.889	149.329	177.165	95.066	464.720	453.889	515.764	411.557
Count	5633	5633	5342	5342	5633	5633	5342	5342
Confidence Level(95,0%)	90	90	716	94	170	180	758	178

Volgens tabel B.5.4 bedragen de verschillen tussen GHG voor STONE 2.1 en de bodemkaart gemiddeld ca. 8 cm voor het gemiddelde waarbij STONE droger is terwijl voor de mediaan STONE 2.1 10 cm natter is. Deze waarden lijken beïnvloed door uitschieters naar de droge kant. Voor STONE 2.3 is de GHG ca 9 cm natter en de mediaan 13 cm natter. Voor de GLG is het gemiddelde 3,5 cm natter en de mediaan is 5 cm natter.

Tabel B.5.4 GxG op puntniveau voor puntschattingen, vlak bodemkaart en STONE

	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GHG	DIFF_GLG	DIFF_GLG	DIFF_GLG
	punt-STONE 2.1	Eenh-STONE 2.1	Eenheid-STONE 2.3	punt-STONE 2.1	Eenh-STONE 2.1	Eenheid-STONE 2.3
Mean	-8,3	-6,8	8,6	-14,6	-16,5	3,0
Standard Error	0,7	0,7	0,2	0,7	0,7	0,3
Median	7	10	13	-2	-2	6
Mode	12	12	13	-1	-2	10
Standard Deviation	48,7	48,5	14,1	49,2	50,3	20,1
Sample Variance	2375,6	2356,7	198,3	2416,8	2530,1	405,6
Kurtosis	97,4	99,4	2,8	69,3	62,6	3,1
Skewness	-7,9	-8,0	-1,7	-6,4	-6,0	-0,4
Range	753	718	101	757	737	205
Minimum	-691	-681	-59	-658	-658	-101
Maximum	62	37	42	99	79	104
Sum	-44.131	-36.385	45.714	-78.204	-87.939	16.268
Count	5342	5342	5342	5342	5342	5342
Largest(1)	62	37	42	99	79	104
Smallest(1)	-691	-681	-59	-658	-658	-101
Confidence Level(95,0%)	1,31	1,30	0,38	1,32	1,35	0,54

Voor Rouveen/Staphorst vinden we dat de GHG op basis van STONE 2.1 droger (7 cm) is, terwijl de mediaan 10 cm natter uitvalt. Voor STONE 2.3 zijn beide waarden natter resp. 8 en 13 cm.

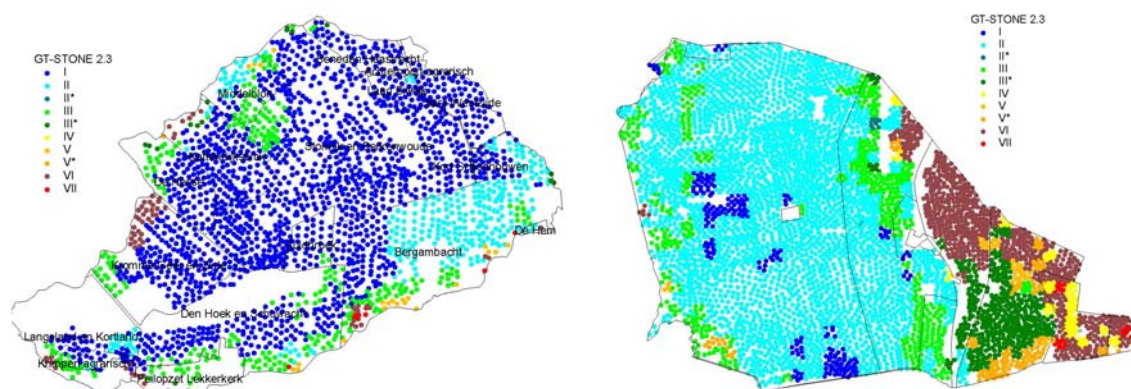
Voor de GLG is het gemiddelde volgens STONE 2.1 16,5 cm droger en de mediaan 2 cm droger; volgens STONE 2.3 zijn deze waarden resp. 3 cm natter en 6 cm natter.

Samengevat op basis van de mediaan van de punten zien de verschillen er als volgt uit (tabel B.5.5).

Tabel B.5.5 Mediaanwaarde van de verschillen voor puntlocaties met berekende GHG en GLG volgens STONE 2.1 en STONE 2.3

Mediaan		Krimpenewaard	Staphorst
GHG	STONE 2.1	1	10
	STONE 2.3	4	13
GLG	STONE 2.1	13	-2
	STONE 2.3	21	6

De verschillen in GHG en GLG voor de beide veengebieden tussen de opnamepunten en de STONE-berekeningen geven aan dat er overwegend sprake is te nat berekende GxG. Voor de Krimpenewaard betekent dit dat de Gt van II verschuift naar I. Voor Staphorst/Rouveen blijft Gt II gehandhaafd (figuur B.5.5).



Figuur B.5.5 Gt volgens STONE 2.3 voor Krimpenewaard (links) en Staphorst/Rouveen rechts.

De algemene tendens, dat de berekende grondwaterstanden bij STONE 2.3 natter uitpakken dan bij STONE 2.1, vinden we ook terug bij de beide geanalyseerde laagveengebieden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat voor de Alblasserwaard deze verandering tegengesteld is. Daar is een verdroging opgetreden waardoor hier meer Gt II wordt berekend. In de veengebieden wordt overwegend een Gt II berekend, met uitzondering van de Krimpenewaard.

WOt-onderzoek

Verschenen documenten in de reeks Rapporten van de Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

WOt-rapporten zijn verkrijgbaar bij het secretariaat van Unit Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu te Wageningen. T 0317 – 48 54 71; F 0317 – 41 90 00; E info.wnm@wur.nl
WOt-rapporten zijn ook te downloaden via de WOt-website www.wotnatuurenmilieu.wur.nl

- 1 Wamelink, G.W.W., J.G.M. van der Gref-van Rossum & R. Jochem (2005). Gevoeligheid van LARCH op vegetatieverandering gesimuleerd door SUMO
- 2 Broek, J.A. van den (2005). Sturing van stikstof- en fosforverliezen in de Nederlandse landbouw: een nieuw mestbeleid voor 2030
- 3 Schrijver, R.A.M., R.A. Groeneveld, T.J. de Koeijer & P.B.M. Berentsen (2005). Potenties bij melkveebedrijven voor deelname aan de Subsidieregeling Agrarisch Natuurbeheer
- 4 Henkens, R.J.H.G., S. de Vries, R. Jochem, R. Pouwels & M.J.S.M. Reijnen, (2005). Effect van recreatie op broedvogels op landelijk niveau; Ontwikkeling van het recreatiemodel FORVISITS 2.0 en koppeling met LARCH 4.1
- 5 Ehlert, P.A.I. (2005). Toepassing van de basisvrachtbenadering op fosfaat van compost; Advies
- 6 Veeneklaas, F.R., J.L.M. Donders & I.E. Salverda (2006). Verrommeling in Nederland
- 7 Kistenkas, F.H. & W. Kuindersma (2005). Soorten en gebieden; Het groene milieurecht in 2005
- 8 Wamelink, G.W.W. & J.J. de Jong (2005). Kansen voor natuur in het veenweidegebied; Een modeltoepassing van SMART2-SUMO2, MOVE3 en BIODIV
- 9 Runhaar, J., J. Clement, P.C. Jansen, S.M. Hennekens, E.J. Weeda, W. Wamelink, E.P.A.G. Schouwenberg (2005). Hotspots floristische biodiversiteit
- 10 Cate, B. ten, H. Houweling, J. Tersteeg & I. Verstegen (Samenstelling) (2005). Krijgt het landschap de ruimte? – Over ontwikkelen en identiteit
- 11 Selnes, T.A., F.G. Boonstra & M.J. Bogaardt (2005). Congruentie van natuurbeleid tussen bestuurslagen
- 12 Leneman, H., J. Vader, E. J. Bos en M.A.H.J. van Bavel (2006). Groene initiatieven in de aanbidding. Kansen en knelpunten van publieke en private financiering
- 13 Kros, J., P. Groenendijk, J.P. Mol-Dijkstra, H.P. Oosterom, G.W.W. Wamelink (2005). Vergelijking van SMART2SUMO en STONE in relatie tot de modellering van de effecten van landgebruikverandering op de nutriëntenbeschikbaarheid
- 14 Brouwer, F.M., H. Leneman & R.G. Groeneveld (2007). The international policy dimension of sustainability in Dutch agriculture
- 15 Vreke, J., R.I. van Dam & F.H. Kistenkas (2005). Provinciaal instrumentarium voor groenrealisatie
- 16 Dobben, H.F. van, G.W.W. Wamelink & R.M.A. Wegman (2005). Schatting van de beschikbaarheid van nutriënten uit de productie en soortensamenstelling van de vegetatie. Een verkennende studie
- 17 Groeneveld, R.A. & D.A.E. Dirks (2006). Bedrijfseconomische effecten van agrarisch natuurbeheer op melkveebedrijven; Perceptie van deelnemers aan de Subsidieregeling Agrarisch Natuurbeheer
- 18 Hubeek, F.B., F.A. Geerling-Eiff, S.M.A. van der Kroon, J. Vader & A.E.J. Wals (2006). Van adoptiekip tot duurzame stadswijk; Natuur- en milieueducatie in de praktijk
- 19 Kuindersma, W., F.G. Boonstra, S. de Boer, A.L. Gerritsen, M. Pleijte & T.A. Selnes (2006). Evalueren in interactie. De mogelijkheden van lerende evaluaties voor het Milieu- en Natuurplanbureau
- 20 Koeijer, T.J. de, K.H.M. van Bommel, M.L.P. van Esbroek, R.A. Groeneveld, A. van Hinsberg, M.J.S.M. Reijnen & M.N. van Wijk (2006). Methodiekontwikkeling kosteneffectiviteit van het natuurbeleid. De realisatie van het natuurdoel 'Natte Heide'
- 21 Bommel, S. van, N.A. Aarts & E. Turnhout (2006). Over betrokkenheid van burgers en hun perspectieven op natuur
- 22 Vries, S. de & Boer, T.A. de, (2006). Toegankelijkheid agrarisch gebied voor recreatie: bepaling en belang. Veldinventarisatie en onderzoek onder in- en omwonenden in acht gebieden
- 23 Pouwels, R., H. Sierdsema & W.K.R.E. van Wingerden (2006). Aanpassing LARCH; maatwerk in soortmodellen
- 24 Buijs, A.E., F. Langers & S. de Vries (2006). Een andere kijk op groen; beleving van natuur en landschap in Nederland door allochtonen en jongeren
- 25 Neven, M.G.G., E. Turnhout, M.J. Bogaardt, F.H. Kistenkas & M.W. van der Zouwen (2006). Richtingen voor Richtlijnen; implementatie Europese Milieuriichtlijnen, en interacties tussen Nederland en de Europese Commissie
- 26 Hoogland, T. & J. Runhaar (2006). Neerschaling van de freatische grondwaterstand uit modelresultaten en de Gt-kaart
- 27 Voskuilen, M.J. & T.J. de Koeijer (2006). Profiel deelnemers agrarisch natuurbeheer
- 28 Langeveld, J.W.A. & P. Henstra (2006). Waar een wil is, is een weg; succesvolle initiatieven in de transitie naar duurzame landbouw
- 29 Kolk, J.W.H. van der, H. Korevaar, W.J.H. Meulenkamp, M. Boekhoff, A.A. van der Maas, R.J.W. Oude Loohuis & P.J. Rijk (2007). Verkenningen duurzame landbouw. Doorwerking van wereldbeelden in vier Nederlandse regio's
- 30 Vreke, J., M. Pleijte, R.C. van Apeldoorn, A. Corporaal, R.I. van Dam & M. van Wijk (2006). Meerwaarde door gebiedsgerichte samenwerking in natuurbeheer?
- 31 Groeneveld, R.A., R.A.M. Schrijver & D.P. Rudrum (2006). Natuurbeheer op veebedrijven: uitbreiding van het bedrijfsmodel FIONA voor de Subsidieregeling Natuurbeheer
- 32 Nieuwenhuizen, W., M. Pleijte, R.P. Kranendonk & W.J. de Regt (2007). Ruimte voor bouwen in het buitengebied; de uitvoering van de Wet op de Ruimtelijke Ordening in de praktijk
- 33 Boonstra, F.G., W.W. Buunk & M. Pleijte (2006). Governance of nature. De invloed van institutionele veranderingen in natuurbeleid op de betekenisverlening aan natuur in het Drents-Friese Wold en de Cotswolds
- 34 Koomen, A.J.M., G.J. Maas & T.J. Wejschede (2007). Veranderingen in lijnvormige cultuurhistorische landschapselementen; Resultaten van een steekproef over de periode 1900-2003

- 35 *Vader, J. & H. Leneman (redactie) (2006).* Draggers landelijk gebied; Achtergronddocument bij Natuurbalans 2006
- 36 *Bont, C.J.A.M. de, C. van Bruchem, J.F.M. Helming, H. Leneman & R.A.M. Schrijver (2007).* Schaalvergroting en verbreding in de Nederlandse landbouw in relatie tot natuur en landschap
- 37 *Gerritsen, A.L., A.J.M. Koomen & J. Kruit (2007).* Landschap ontwikkelen met kwaliteit; een methode voor het evalueren van de rijksbijdrage aan een beleidsstrategie
- 38 *Luijt, J. (2007).* Strategisch gedrag grondeigenaren; Van belang voor de realisatie van natuurdoelen.
- 39 *Smits, M.J.W. & F.A.N. van Alebeek, (2007).* Biodiversiteit en kleine landschapselementen in de biologische landbouw; Een literatuurstudie.
- 40 *Goossen, C.M. & J. Vreke. (2007).* De recreatieve en economische betekenis van het Zuiderpark in Den Haag en het Nationaal Park De Hoge Veluwe
- 41 *Cotteleer, G., Luijt, J., Kuhlman, J.W. & C. Gardebroek, (2007).* Oorzaken van verschillen in grondprijzen. Een hedonische prijsanalyse van de agrarische grondmarkt
- 42 *Ens B.J., N.M.J.A. Dankers, M.F. Leopold, H.J. Lindeboom, C.J. Smit, S. van Breukelen & J.W. van der Schans (2007).* International comparison of fisheries management with respect to nature conservation
- 43 *Janssen, J.A.M. & A.H.P. Stumpel (red.) (2007).* Internationaal belang van de nationale natuur; Ecosystemen, Vaatplanten, Mossen, Zoogdieren, Reptielen, Amfibieën en Vissen
- 44 *Borgstein, M.H., H. Leneman, L. Bos-Gorter, E.A. Brasser, A.M.E. Groot & M.F. van de Kerkhof (2007).* Dialogen over verduurzaming van de Nederlandse landbouw. Ambities en aanbevelingen vanuit de sector
- 45 *Groot, A.M.E., M.H. Borgstein, H. Leneman, M.F. van de Kerkhof, L. Bos-Gorter & E.A. Brasser (2007).* Dialogen over verduurzaming van de Nederlandse landbouw. Gestructureerde sectordialogen als onderdeel van een monitoringsmethodiek
- 46 *Rijn, J.F.A.T. van & W.A. Rienks (2007).* Blijven boeren in de achtertuin van de stedeling; Essays over de duurzaamheid van het platteland onder stedelijke druk: Zuidoost-Engeland versus de provincie Parma
- 47 *Bakker, H.C.M. de, C.S.A. van Koppen & J. Vader (2007).* Het groene hart van burgers; Het maatschappelijk draagvlak voor natuur en natuurbeleid
- 48 *Reinhard, A.J., N.B.P. Polman, R. Michels & H. Smit (2007).* Baten van de Kaderrichtlijn Water in het Friese Merengebied; Een interactieve MKBA vingeroefening
- 49 *Ozinga, W.A., M. Bakkenes & J.H.J. Schaminée (2007).* Sensitivity of Dutch vascular plants to climate change and habitat fragmentation; A preliminary assessment based on plant traits in relation to past trends and future projections
- 50 *Woltjer, G.B. (met bijdragen van R.A. Jongeneel & H.L.F. de Groot) (2007).* Betekenis van macro-economische ontwikkelingen voor natuur en landschap. Een eerste oriëntatie van het veld
- 51 *Corporaal, A., A.H.F. Stortelder, J.H.J. Schaminée en H.P.J. Huiskes (2007).* Klimaatverandering, een nieuwe crisis voor onze landschappen ?
- 52 *Oerlemans, N., J.A. Guldmond & A. Visser (2007).* Meerwaarde agrarische natuurverenigingen voor de ecologische effectiviteit van Programma Beheer; Ecologische effectiviteit regelingen natuurbeheer: Achtergrondrapport 3
- 53 *Leneman, H., J.J. van Dijk, W.P. Daamen & J. Geelen (2007).* Marktonderzoek onder grondeigenaren over natuuraanleg: methoden, resultaten en implicaties voor beleid. Achtergronddocument bij 'Evaluatie omslag natuurbeleid'
- 54 *Velthof, G.L. & B. Fraters (2007).* Nitraatuitspoeling in duinzand en lössgronden.
- 55 *Broek, J.A. van den, G. van Hofwegen, W. Beekman & M. Woittiez (2007).* Options for increasing nutrient use efficiency in Dutch dairy and arable farming towards 2030; an exploration of cost-effective measures at farm and regional levels
- 56 *Melman, Th.C.P., C. Grashof-Bokdam, H.P.J. Huiskes, W. Bijkerk, J.E. Plantinga, Th. Jager, R. Haveman & A. Corporaal (2007).* Veldonderzoek effectiviteit natuurgericht beheer van graslanden. Ecologische effectiviteit regelingen natuurbeheer: Achtergrondrapport 2
- 57 *Bakel, P.J.T. van, H.Th.L. Massop, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, & T. Kroon (2008).* Actualisatie hydrologie voor STONE 2.3. Aanpassing randvoorwaarden en parameters, koppeling tussen NAGROM en SWAP, en plausibiliteitsstoets
- 58 *Brus, D.J. & G.B.M. Heuvelink (2007).* Towards a Soil Information System with quantified accuracy. Three approaches for stochastic simulation of soil maps
- 59 *Verburg, R.W. H. Leneman, B. de Knecht & J. Vader (2007).* Beleid voor particulier natuurbeheer bij provincies. Achtergronddocument bij 'Evaluatie omslag natuurbeleid'
- 60 *Groenestein, C.M., C. van Bruggen, P. Hoeksma, A.W. Jongbloed & G.L. Velthof (2008).* Nadere beschouwing van stalbalansen en gasvormige stikstofverliezen uit de intensieve veehouderij
- 61 *Dirkx, G.H.P., F.J.P. van den Bosch & A.L. Gerritsen (2007).* De weerbarstige werkelijkheid van ruimtelijke ordening. Casuïstiek Natuurbalans 2007
- 62 *Kamphorst, D.A. & T. Selnes (2007).* Investeringsbudget Landelijk Gebied in natuurbeleid. Achtergrond-document bij Natuurbalans 2007
- 63 *Aarts, H.F.M., G.J. Hilhorst, L. Sebek, M.C.J. Smits, J. Oenema (2007).* De ammoniakemissie van de Nederlandse melkveehouderij bij een management gelijk aan dat van de deelnemers aan 'Koeien & Kansen'
- 64 *Vries, S. de, T.A. de Boer, C.M. Goossen & N.Y. van der Wulp (2008).* De beleving van grote wateren; de invloed van een aantal 'man-made' elementen onderzocht
- 65 *Overbeek, M.M.M., B.N. Somers & J. Vader (2008).* Landschap en burgerparticipatie.
- 66 *Hoogeveen, M.W., H.H. Luesink, J.N. Bosma (2008).* Synthese monitoring mestmarkt 2006.
- 67 *Slangen, L.H.G., N. B.P. Polman & R. A. Jongeneel (2008).* Natuur en landschap van rijk naar provincie; delegatie door Investeringsbudget Landelijk Gebied (ILG).
- 68 *Klijn, J.A., m.m.v. M.A. Slingerland & R. Rabbinge (2008).* Onder de groene zoden: verdwijnt de landbouw uit Nederland en Europa? Feiten, cijfers, argumenten, verwachtingen, zoekrichtingen voor oplossingen.
- 69 *Kamphorst, D.A., M. Pleijte, F.H. Kistenkas & P.H. Kersten (2008).* Nieuwe Wet ruimtelijke ordening: nieuwe bestuurscultuur? Voorgenomen provinciale inzet van de nieuwe Wet ruimtelijke ordening (Wro) voor het landelijk gebied.
- 71 *Bakker, H.C.M., J.C. Dagevos & G. Spaargaren (2008).* Duurzaam consumeren; Maatschappelijke context en mogelijkheden voor beleid

Wot

Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu

