



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

Redesign STONE

**De nieuwe schematisatie voor STONE:
de ruimtelijke indeling en de toekenning van
hydrologische en bodemchemische parameters**

**RIZA rapport 2001.017
ISBN 9036953715**

**Auteurs: Timo Kroon
Peter Finke
Ivar Peereboom
Arthur Beusen**

Lelystad, maart 2001



A L T E R R A



Overzicht Projectgroepen 5

Samenvatting 7

Voorwoord 11

1 Verbetering van de oude STONE-schematisatie 13

1.1 Argumenten voor verbetering van de schematisatie 13

1.2 Afbakening van het project 14

2 Opbouw van de nieuwe ruimtelijke indeling 15

2.1 Basiselementen voor de ruimtelijke indeling 15

2.1.1 Hydrologische hoofdingeling 15

2.1.2 Indeling in landgebruik 21

2.1.3 Indeling in bodemtype 21

2.1.4 Indeling in chemische eigenschappen van de bodem 22

2.1.5 Indeling naar overige kenmerken 23

2.2 Reductie van het aantal unieke eenheden 25

2.3 Kenmerken van de nieuwe indeling 26

2.4 Discussie en aanbevelingen 31

3 Parametrisatie van de hydrologie 33

3.1 Parametrisatie van de hydrologische invoer 33

3.1.1 Bodem 33

3.1.2 Gewas 33

3.1.3 Drainageweerstanden 35

3.1.4 Ontwateringsdiepten 43

3.1.5 Onderrandvoorwaarde 45

3.1.6 Wateraanvoer 46

3.1.7 Berekening 47

3.1.8 Meteorologie 48

3.2 Hydrologische berekening 49

3.3 Resultaten 50

3.4 Conversie van hydrologische resultaten naar STONE-compartimenten 57

3.5 Discussie en aanbevelingen 58

3.6 Conclusies hydrologie: ruimtelijke indeling en parametrisatie 60

4 Parametrisatie van de bodemchemie 63

4.1 Benodigde gegevens voor soil.dat 64

4.2 Gegevens uit het BIS 64

4.3 Profielen toekennen aan bodemchemische eenheden 65

4.4 Laaggegevens toekennen aan GONAT-lagen 65

4.5 Bulkdichtheid 67

4.6 C/N-ratio 67

4.7 Discussie, conclusies en aanbevelingen 68

5 Parametrisatie van de chemie van de ondergrond 69

- 5.1 Methodologie 69
- 5.2 Resultaten en discussie 71
- 5.3 Vertaalslag naar invoer voor GONAT 73
- 5.4 Conclusies en aanbevelingen 75

6 Parametrisatie van de overige invoer van GONAT/ANIMO 77

- 6.1 Aanpassing van de verticale indeling in compartimenten 77
- 6.2 Aanpassing van de Bo_file 77
- 6.3 Aanpassing van de Cr_files 78
- 6.4 Aanpassing van de Dm_files 78
- 6.5 Aanpassing van de file general.dat 81
- 6.6 Aanpassing van de km_files 81
- 6.7 Aanpassing van de file plot.dat 81
- 6.8 Initialisatie van GONAT 82
- 6.9 Discussie en aanbevelingen 82

7 Aanpassing in de programmatuur en data in STONE 83

- 7.1 Aanpassingen ten behoeve van de rekensnelheid 83
- 7.2 Aanpassingen van de harde data in STONE 83
 - 7.2.1 PAWN-kaart 83
 - 7.2.2 Conversietabellen PAWN-LEI-plots 84
 - 7.2.3 Droge gronden 84
 - 7.2.4 Fractietabel bouwland 85
 - 7.2.5 Analyse arealen bemest grasland 86
- 7.3 Aanpassingen in de organisatorische programmatuur 86
- 7.4 Aanpassingen in de gebruikersschil 87
- 7.5 Discussie en aanbevelingen 88

Literatuur 89

Bijlagen

- 2.1 Overzicht van de criteria voor het reduceren van het aantal plots 94
- 3.1 Streefpeilen voor de wintersituatie 95
- 3.2 Ontwateringsbases van het primaire, secundaire en tertiaire drainage-systeem 96
- 3.3 Vertikale schematisering modelbodemprofiel 98
- 5.1 Parametrisatie van de diepe chemie voor de sub hydrotypen in laag-Nederland 99
- 5.2 Parametrisatie van de diepe chemie voor de sub hydrotypen in het rivierengebied en hoog-Nederland 100

Overzicht Projectgroepen

Ruimtelijke indeling

Timo Kroon (RIZA)
Ivar Peereboom (RIZA)
Peter Finke (Alterra)

Hydrologie (consensusgroep hydrologie)

Timo Kroon (RIZA)
Jaap Huygen (Alterra)
Joop Kroes (Alterra)
Jan van Bakel (Alterra)
Harry Massop (Alterra)
Wim de Lange (RIZA)
Rien Pastoors (RIVM)
Anton van der Giessen (RIVM)

Bodemschematisatie

Folkert de Vries (Alterra)
Peter Finke (Alterra)
Ivar Peereboom (RIZA)

Chemische ondergrond

Jasper Griffioen (NITG-TNO)
Ivar Peereboom (RIZA)
Timo Kroon (RIZA)
Hans van Grinsven (RIVM)

Parametrisatie GONAT

Ivar Peereboom (RIZA)
Jan Roelsma (Alterra)

Aanpassen programmatuur en data in STONE

Arthur Beusen (RIVM)
Bart Overbeek (RIVM)

Projectorganisatie

Peter Finke (Alterra, projectvoorstel en trekker bodemschematisatie)
Timo Kroon (RIZA, alg. projectleiding en trekker hydrologie)
Ivar Peereboom (RIZA, trekker aanpassing GONAT)
Arthur Beusen (RIVM, trekker aanpassing STONE)

Samenvatting

Algemeen

Er is een nieuwe ruimtelijke indeling gemaakt voor het door DLO, RIVM en RIZA gezamenlijk ontwikkelde integrale vermessingsmodel STONE, op basis van hydrologische en bodemchemische eigenschappen. De indeling bestaat uit een set van 6405 ruimtelijke eenheden (plots) voor het landelijk gebied, één plot voor het bebouwde gebied en één voor water. Dit betekent meer ruimtelijke differentiatie en zuiverheid in weergave van diverse hydrologische en bodemchemische factoren dan de 3624 eenheden in de WSV-studie (Boers *et al.*, 1997). Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250 x 250 meter die dezelfde unieke combinatie van eigenschappen hebben. De gridcellen hoeven niet aan elkaar te grenzen en kunnen verspreid liggen binnen een regio.

Ruimtelijke indeling

Voor het vervaardigen van de ruimtelijke schematisatie is Nederland in drie stappen ingedeeld. In de eerste stap is een indeling gemaakt die is gebaseerd op de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond, diepte van de grondwaterstand, eigenschappen van de ontwateringsmiddelen en de kwel/wegzijgingsflux. Deze indeling volgt op hoofdlijnen de indeling voor de "Unieke Combinaties" (UC-hydrologie, Massop *et al.*, 2000) en is op basis van de conclusies uit deze studie verbeterd. In een tweede stap is deze hoofdindeling gedifferentieerd naar bodemtype, landgebruik en meteodistricten. In een derde stap zijn de eenheden verder verfijnd naar bodemchemische factoren. Deze bodemchemische indeling is gebaseerd op de resultaten van een studie naar efficiëntie van dataschematisatie voor een aantal bodemchemische processen (de Groot *et al.*, 1988), te weten stikstofopname door het gewas, opslag van fosfaat in het profiel en uitspoeling van stikstof en fosfor. Om het totale aantal combinaties te beperken is een procedure toegepast waarbij unieke combinaties die een zeer klein areaal beslaan worden gevoegd bij combinaties met verwante eigenschappen. De toegepaste GIS-procedure beperkt het informatieverlies bij de ruimtelijke schematisatie, waardoor de indeling voor de diverse kenmerken een hoge zuiverheid heeft en bovendien reproduceerbaar is.

Hydrologie

Voor de plots van het landelijk gebied zijn met behulp van hydrologische modellen de balanst termen berekend die als invoer dienen voor STONE. Hiervoor is binnen GIS als volgt een nieuwe set van hydrologische parameters gemaakt.

Er worden vijf drainagesystemen onderscheiden. Het primaire, secundaire en tertiaire systeem zijn afgeleid uit de breedteklassen van waterlopen in het Top10-vector bestand. Hiervoor zijn met het MONA-instrumentarium drainageweerstand berekend, gebaseerd op de formule van De Lange. Voor deze berekening zijn schattingen gemaakt voor de intreeweerstand, het doorlaatvermogen en de verticale weerstand van het topsysteem en zijn slootdichtheden afgeleid uit het Top10-vector bestand. Aan de drie drainagesystemen zijn ontwateringsbases en streefpeilen toegekend op basis van veldonderzoek en expert-judgement door Alterra. Het vierde drainagesysteem wordt gevormd door buisdrainage, waarvoor een bestand

is gemaakt op basis van vuistregels. Het vijfde systeem bestaat uit een drainagemiddel nabij het maaiveld.

Met het instrumentarium MONA-NAGROM zijn kwel- en wegzijgingsfluxen berekend, die dienen als onderrand voor de hydrologische berekening met SWAP in het topsysteem. Voor het pleistocene gebied is een in de tijd variabele onderrand berekend, op basis van de relatie met de berekende verandering van de grondwateraanvulling. Voor het holocene gebied is deze temporele variatie achterwege gelaten in verband met onzekerheid over de evidentie.

Voor de berekening zijn 21 bodemtypen en 4 vormen van landgebruik toegepast, die direct uit de ruimtelijke indeling volgen. Tot slot zijn er kaartbeelden vervaardigd, voor gebieden waar berekening en wateraanvoer mogelijk is. Met name de aanpak van berekening is nog zeker voor verbetering vatbaar.

Met behulp van het model SWAP zijn vervolgens niet-stationaire berekeningen voor de periode 1971 tot 2000 uitgevoerd, om de waterbalans termen voor STONE te genereren. Daarnaast is een extra berekening uitgevoerd voor de periode 1978 tot 1986, om de GHG, GLG en de waterbalans te controleren. Daaruit komen de volgende resultaten.

De gesimuleerde grondwatertrap komt in 42 procent van het areaal overeen met de gekarteerde grondwatertrap. Voor het overige areaal wordt de grondwatertrap eerder droger gesimuleerd (37 procent) dan natter (21 procent) en blijven de afwijkingen van de gesimuleerde GHG en GLG grotendeels beperkt tot 25 cm. Omdat de grondwatertrappenkaart in een groot deel van Nederland niet meer actueel is en vaak een te natte situatie weergeeft, is deze vergelijking van beperkte waarde. De grondwaterstanden zijn daarom ook vergeleken met een actuele landelijke steekproef uitgevoerd in het pleistocene gebied. De gesimuleerde grondwaterstanden kwamen goed overeen met de waarnemingen in de steekproef. Bij extrapolatie van de resultaten van de landelijke steekproef naar het pleistocene gebied neemt het areaal waar de grondwatertrap op juiste wijze wordt gesimuleerd sterk toe.

De gesimuleerde termen van de waterbalans worden als plausibel beoordeeld. Dit geldt met name voor kwel/wegzijging en de verdeling van de drainage over de verschillende drainagesystemen. De beoordeling is gebaseerd op basis van huidige inzichten en wordt ondersteund door ervaring. Wel is het gewenst om de termen van de waterbalans nader te verifiëren, door ze aan de hand van metingen te analyseren voor enkele stroomgebieden. Met name de evapotranspiratie is daarbij indirect een belangrijk aandachtspunt.

Met de nieuwe hydrologische schematisatie kunnen uitspraken bij beleids-ondersteuning worden gedaan voor regionale gebieden met een gemiddelde omvang van naar schatting 2500 ha. Afhankelijk van de mate van regionale geohydrologische homogeniteit kunnen met de hydrologie uitspraken worden gedaan voor kleinere gebieden (tot minimaal 1000 ha), of moeten uitspraken worden gedaan over grotere gebieden.

De belangrijkste hydrologische verbeterpunten, binnen het huidige model-concept, betreffen de ruimtelijke differentiatie van geohydrologische karakteristieken van het topsysteem, de wijze van verdiscontering van berekening, en het bepalen van de onderrandflux door verdere iteratie tussen gebruikte hydrologische modellen. Daarnaast is het verder operationaliseren van echt gekoppelde hydrologische modellen van belang om ook scenario's met ingrijpende veranderingen van het hydrologische systeem (bijvoorbeeld als gevolg van landgebruiksverandering) adequaat te kunnen analyseren.

Chemie van de bodem en de ondergrond

De toekenning van de chemische parameters aan de nieuwe schematisatie wijkt op twee hoofdpunten af van de WSV-schematisatie: de chemie van de bodem is sterk verfijnd en de chemie van de ondergrond is onderscheiden van de bodemchemie.

In de nieuwe schematisatie is de chemie van de bodem verfijnd van 21 naar 456 bodemchemische eenheden, door differentiatie van 21 bodemeenheden naar landgebruiksvormen en indelingen in fosfaatbindend vermogen, kationen-uitwisselingscapaciteit en mineralisatiecapaciteit. Vervolgens zijn per bodemchemische eenheid de bodemchemische invoerparameters bepaald met data uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) en soms uit aanvullende bronnen. Voor de C/N ratio was geen informatie beschikbaar en is de waarde uit de WSV-schematisatie gehanteerd.

De bodemchemie in de nieuwe schematisatie is aanzienlijk verbeterd door de sterke verfijning van de bodemchemische eigenschappen en de toegenomen zuiverheid van de bodemtypen in de ruimtelijke schematisatie.

In de nieuwe schematisatie zijn voor de chemie van de ondergrond eerst 30 regionale geohydrologische eenheden onderscheiden, gebaseerd op de indeling in hydrotypen en de regionale variatie van chemie daarbinnen. Vervolgens zijn deze eenheden voor drie diepteintervallen geparametriseerd door NITG-TNO, op basis van beschikbare geochemische analyses en deskundigenoordeel.

De schematisatie van de diepe chemie heeft nog een sterk regionaal karakter. In de praktijk zijn de geohydrologische eenheden namelijk niet homogeen van samenstelling, maar zullen deze vooral lokaal sterk variëren. Dit geldt met name voor de onderscheiden eenheden Duinstrook, Dekzand profiel en de Nuenengroep. De chemie van de ondergrond is wel realistischer geschematiseerd dan in de WSV-schematisatie. In de oude schematisatie werden per bodemtype de chemische gegevens uit de onderste bodemlaag toegekend aan de ondergrond. De kwaliteit van de diepe chemie in de WSV-schematisatie was daardoor slecht.

Een gevolg van het onderscheid in de chemie van bodem en ondergrond is dat de chemie in de STONE-schematisatie anders moet worden toegekend: de chemie is nu niet meer gekoppeld aan de indeling in bodemhorizonten, maar aan de verticale laagindeling.

De chemische schematisatie kan op een aantal punten verbeterd worden en voor een aantal aspecten wordt dit sterk aanbevolen.

Voor toekomstige verbeteringen wordt aanbevolen de chemie van de ondergrond verder te verfijnen. Dit kan bij handhaving van de nieuwe ruimtelijke plot-indeling worden gerealiseerd door een groter aantal chemische combinaties toe te hanteren. Dit vereist wel extra rekentijd.

De parametrisatie van de C/N ratio (van bodem en ondergrond) en de pH van de ondergrond zullen in de toekomst moeten worden verbeterd; hiervoor waren binnen het project geen gegevens voorhanden. Eerstgenoemde is overgenomen uit de oude schematisatie, laatstgenoemde is toegekend op basis van de (nieuwe) eigenschappen van de onderste bodemlaag. De schematisatie van de kwelwaterkwaliteit is wegens een gebrek aan financiële middelen overgenomen uit de oude schematisatie. Het wordt sterk aanbevolen deze parameter te verbeteren voor de nieuwe indeling.

Verder is de toekenning van het aluminium- en ijzergehalte van de ondergrond gebaseerd op een pragmatische vertaling van totale gehalten naar met ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten. Aanbevolen wordt deze parameters in de toekomst specifiek en nauwkeuriger per onderscheiden chemische eenheid te bepalen.

Overige aanpassingen

De verticale laagindeling in STONE is verfijnd, voor de indeling vanaf één meter diepte. Dit is gedaan omdat de GLG in de WSV-schematisatie te grof werd gediscrèteiseerd, met name tussen twee en drie meter diepte. De berekening van de nitraatconcentraties op deze diepte werd hierdoor duidelijk negatief beïnvloed. Verder is de totale profiellengte verlengd met zes meter tot een totaal van dertien meter, om de grondwaterstanden dieper te kunnen laten uitzakken. Het effect hiervan op de nutriëntenuitspoeling is vooralsnog niet gekwantificeerd.

De parameters die nodig zijn voor de berekening van de historische mestgift (initialisatie van GONAT) zijn noodzakelijkerwijs omgezet van de WSV-schematisatie naar de nieuwe schematisatie, omdat de brongegevens niet beschikbaar waren. Voorbeelden hiervan zijn de correctiefactor voor stikstof bij natte en droge depositie en de applicatie van dierlijke mest en kunstmest. Bij laatstgenoemden is er voor gekozen om het applicatieniveau, dat wil zeggen de hoeveelheid mest per bodemtype, landgebruiksvorm en per oppervlakte-eenheid, gelijk te houden. Omdat met name de indelingen in bodemtypen en landgebruiksvorm zijn veranderd ten opzichte van de WSV-schematisatie, is de totale toegediende applicatie ook aangepast. In de toekomst zullen de gevolgen van deze pragmatische vertaling van mestgegevens nader moeten worden gekwantificeerd.

De parameters voor de initialisatie kunnen in de toekomst worden verbeterd wanneer de brongegevens worden achterhaald.

Tot slot is een aantal veranderingen doorgevoerd in de programmatuur van STONE en in de "harde data" die in STONE verweven zijn. Het betreft een verhoging van de rekensnelheid, waardoor de toename van het aantal rekenplots mogelijk werd, en de noodzakelijke aanpassing van onder meer de conversietabellen en fractietabellen aan de nieuwe schematisatie. Tevens is de invoer van de gebruikersschil aangepast aan de nieuwe schematisatie.

Voorwoord

Het model STONE is gezamenlijk ontwikkeld door de instituten RIVM, RIZA en Alterra om beleidsvragen van de Ministeries van VROM, V&W en LNV ten aanzien van het mest beleid te kunnen beantwoorden. STONE is geschikt om op landelijke schaal de uitspoeling van nitraat naar het grondwater en de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater te berekenen voor verschillende bemestingsalternatieven. Tevens kan een schatting worden gemaakt van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem. STONE is samengesteld op basis van het bemestingsmodel CLEAN van het RIVM, het depositiemodel OPS van het RIVM, het uitspoelingsmodel ANIMO van Alterra en de ruimtelijke schematisatie van het RIZA.

De ruimtelijke schematisatie voor STONE is gemaakt ten behoeve van de berekeningen voor de WaterSysteemVerkenningen (Boers *et al.*, 1997). Bij het opstellen van deze schematisatie, in dit rapport verder WSV-schematisatie genoemd, werd al op een aantal tekortkomingen van de ruimtelijke indeling gewezen. De WSV-schematisatie was vooral gericht op het correct schematiseren van diepte van het grondwater in drie categorieën: nat, matig nat en droog. Er was veel energie gestopt in het clusteren van circa 120.000 basiseenheden van 500 bij 500 meter tot een set van circa 3600 unieke plots, om de rekentijden van de modellen te beheersen. Bij deze ruimtelijke indeling waren de bodemfysische eigenschappen als onafhankelijke gegevenslaag opgenomen, maar de bodemchemische parameters werden pas achteraf toegekend per bodemfysische eenheid. De bodemchemie van de ondergrond was door gebrek aan tijd en financiën in het geheel niet beschouwd.

De afgelopen jaren is het modelinstrumentarium van STONE op diverse onderdelen verbeterd. Doordat STONE georiënteerd was op de oude WSV-schematisatie, kwamen de resultaten van deze verbeteringen dikwijls niet tot hun recht. Bovendien zijn diverse invoerbestanden die ten grondslag liggen aan de oude schematisatie in de loop der jaren verfijnd of geactualiseerd. De Stuurgroep STONE heeft daarom in het voorjaar van 2000 besloten tot het maken van een nieuwe ruimtelijke schematisatie, die tegemoet moet komen aan bovengenoemde beperkingen. De totstandkoming wordt in dit rapport beschreven.

1 Verbetering van de oude STONE-schematisatie

1.1 Argumenten voor verbetering van de schematisatie

Algemeen

Veel invoerbestanden die ten grondslag liggen aan de WSV-schematisatie zijn in de loop der jaren verfijnd en geactualiseerd. Deze bestanden zijn niet alleen verwerkt in de invoer van STONE, maar bepalen ook volledig de ruimtelijke indeling in rekeneenheden. Om gebruik te kunnen maken van de nieuwe bestanden zal dus niet alleen de invoer voor de rekeneenheden ("plots"), maar ook de ruimtelijke indeling zelf moeten worden aangepast. De bodemfysische eigenschappen bijvoorbeeld, waren in de oude schematisatie gebaseerd op de bodemkaart 1:250.000, terwijl deze inmiddels beschikbaar zijn voor de schaal 1:50.000. Het landgebruikbestand uit de oude schematisatie (LGN2) is inmiddels geactualiseerd (LGN3), bovendien is hierin de ligging van natuurgebieden verbeterd. Ook voor de indirecte invoer van STONE is een aantal bestanden sterk verbeterd, bijvoorbeeld het voorkomen van watergangen (Top10-vector) en de maaiveldshoogte (AHN), die ten grondslag liggen aan de hydrologische invoer.

De chemische eigenschappen in STONE, zoals het gehalte ijzer, aluminium, en de fractie lutum en organische stof zijn slechts zeer summier geschematiseerd in de WSV-schematisatie. Door gebrek aan tijd en geld waren deze kenmerken gekoppeld aan de bodemfysische eigenschappen. Aangezien deze parameters sterk bepalend zijn voor de berekening van uitspoeling, zal het onderscheid in deze parameters naar voren moeten komen in de nieuwe STONE-schematisatie.

Door een verbetering van de organisatiestructuur van STONE en de toegenomen computercapaciteit is het bovendien mogelijk om meer eenheden te gebruiken en dus meer verfijnde berekeningen te doen.

Hydrologie

In de WSV-schematisatie was de hydrologie vooral gericht op een indeling in nat, matig nat en droog. Toch werden de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden (GHG en GLG) grotendeels niet goed gesimuleerd, door de combinatie van een beperkte kwaliteit van invoerbestanden en het ontbreken van calibratie. In 1999 is een eerste aanzet gedaan tot verbetering van de hydrologie door een nieuwe ruimtelijke indeling te maken (Massop *et al.*, 2000), gebaseerd op classificaties van 7 grondwatertrappen, 22 geohydrologische regio's en 10 landschapsregio's. Voor de circa 700 rekeneenheden ("Unieke Combinaties" of UC's) werden drainageweerstand gecalibreerd met behulp van de grondwatertrappenkaart. Op deze manier werden de grondwaterstanden beter gemodelleerd dan in de WSV-schematisatie. De toepassing van deze UC-hydrologie in STONE kent echter ook een aantal nadelen (Massop *et al.*, 2000):

- De UC-hydrologie kent een eigen ruimtelijke indeling, terwijl voor STONE werd vastgehouden aan de WSV-schematisatie. De UC-hydrologie werd in STONE toegepast, door per WSV-eenheid de eigenschappen van de meest voorkomende UC toe te kennen. Door vermenging van deze 2 sterk geschematiseerde indelingen werd slechts in 40 procent van het oppervlak de hydrologie zuiver benut, waardoor de verbeteringen van de hydrologie nauwelijks tot uiting kwamen.

-
- In de UC-hydrologie werd de kwelflux niet als onderscheidende factor meegenomen, deze werd verondersteld te correleren met de grondwatertrap. De kwelflux werd uitgemiddeld, waardoor veel ruimtelijk detail verloren ging. Dientengevolge konden voor STONE met de UC-hydrologie slechts uitspraken worden gedaan voor grote hydrologische systemen (250 - 500 km²).
 - De karakteristieken van de UC-hydrologie werden voornamelijk bepaald door het calibreren van drainageweerstand. Bij de calibratie werd een aantal beperkende aannamen gedaan, zoals het ontbreken van terugkoppeling met de regionale hydrologie, het vastzetten van de verhouding van drainageweerstand op basis van de verhouding van slootafstanden en het onvoldoende karakteriseren van bodemtype, landgebruik en meteorologische gebieden.

Bodemchemie en chemie van de ondergrond

De bodemchemische eigenschappen, zoals het gehalte aluminium, ijzer, lutum en organische stof en de pH, waren in de oude STONE-schematisatie toegekend aan 21 bodemfysische eenheden, gebaseerd op de bodemkaart 1:250.000. Ten eerste is dit een sterk geschematiseerde indeling. Het tweede nadeel is dat de bodemchemische eigenschappen voor het hele profiel, tot een diepte van 7 meter, werden toegekend op basis van de eigenschappen van de bodem (de bovenste 1,20 meter). Dit was een noodgreep vanwege een gebrek aan tijd en financiën. Ten derde waren er aanmerkelijk minder bodemchemische gegevens beschikbaar dan nu.

1.2 Afbakening van het project

- Dit project voorziet in een nieuwe ruimtelijke indeling voor STONE.
- Voor deze ruimtelijke indeling zijn binnen dit project de invoerfiles van STONE en data en programmatuur binnen STONE aangepast, op basis van actuele gegevens van grondgebruik, bodem, bodemchemie, chemie van de ondergrond en hydrologische schematisatie.
- In dit project wordt de opbouw van de nieuwe schematisatie van STONE beschreven en de aanpassingen in de invoer en programmatuur. De uitvoer van STONE op basis van de nieuwe schematisatie is niet opgenomen in dit project, maar zal een plaats krijgen in het vervolgproject "plausibiliteit van STONE".
- Het aanpassen van een nieuwe versie van CLEAN, op gemeenteniveau, is niet voorzien in dit project.
- De aanpassing van de gewasopname in GONAT/ANIMO is niet opgenomen in dit project.

2 Opbouw van de nieuwe ruimtelijke indeling

De nieuwe ruimtelijke indeling voor STONE is in hoofdlijnen gebaseerd op classificatie van hydrologische kenmerken, landgebruik, bodemsoort en bodemchemische kenmerken van de boven- en ondergrond. Om de doorlooptijd te beperken zijn parallelle trajecten ingezet voor het vervaardigen van de hydrologie, de ondiepe bodemchemie en voor de diepe bodemchemie. In elk traject zijn in GIS grid-lagen vervaardigd bestaande uit cellen van 250 x 250 meter. Voor de hydrologie zijn circa 900 basiseenheden onderscheiden, voor de bodem 456 bodemchemische eenheden en voor de diepe ondergrond 30 chemische eenheden. De ruimtelijke indeling voor STONE is ontstaan door deze afzonderlijke indelingen te combineren. Om de rekentijd van STONE te beperken tot circa 1 dag, zijn deze combinaties vervolgens via een GIS-procedure gereduceerd tot 6407 eenheden (6405 landelijke "plots" + 1 plot voor water + 1 plot voor stedelijk gebied). Door het noodzakelijk samenvoegen van de unieke eenheden, heeft een STONE-plot veelal een verspreide ligging, maar deze spreiding beperkt zich tot geografische regio's.

In paragraaf 2.1 zal worden ingegaan op het creëren van de ruimtelijke indeling voor de hydrologie, de ondiepe bodem, en de diepe ondergrond. De reductie van het aantal rekeneenheden wordt besproken in paragraaf 2.2. In paragraaf 2.3 zijn enkele ruimtelijke kenmerken van de nieuwe schematisatie weergegeven.

Hoewel de hydrologie wordt gekarakteriseerd door een hoofdingeling in circa 900 basiseenheden, moet worden gerealiseerd dat de hydrologische parametrisatie niet is gebaseerd op deze 900 eenheden, maar op de 6407 STONE-plots. Dit is gedaan omdat de verdere differentiatie naar met name het bodemtype en landgebruik een belangrijk onderdeel vormt van de hydrologische schematisatie. Deze parametrisatie van de STONE-plots komt aan de orde in hoofdstuk 3 t/m 6.

2.1 Basiselementen voor de ruimtelijke indeling

2.1.1 Hydrologische hoofdingeling

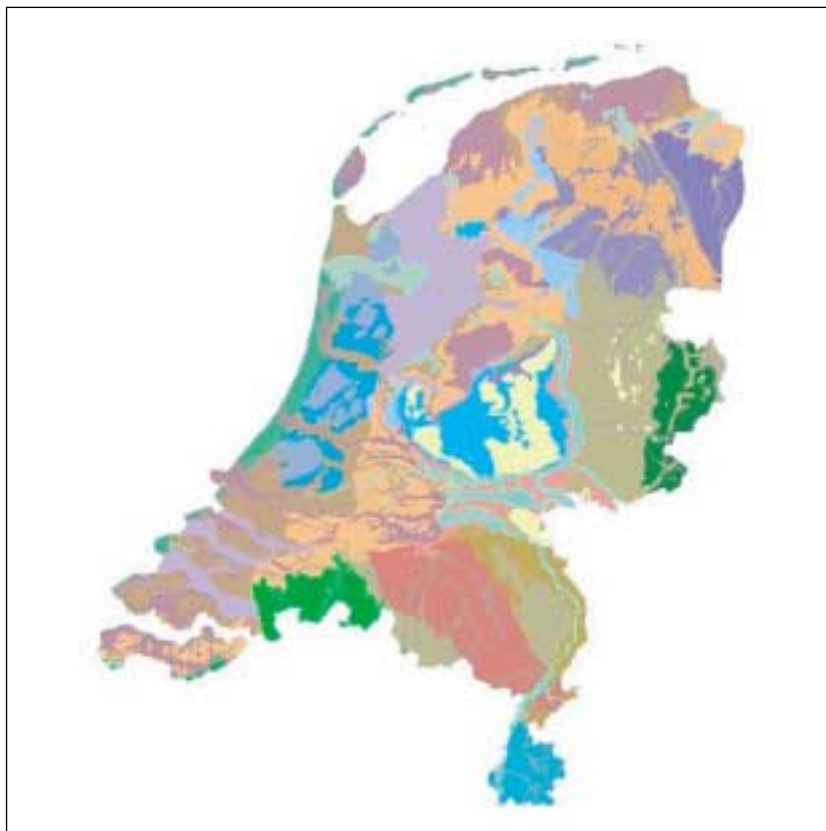
Het aandachtspunt voor de hydrologie voor STONE wordt gevormd door een goede beschrijving van de drainagefluxen en het niveau van de grondwaterstanden. Deze worden bepaald door de geohydrologische eigenschappen van de ondergrond, de eigenschappen van de drainagemiddelen en de netto flux naar het topsysteem, bestaande uit nuttige neerslag en kwel of wegzijging. Analoot aan de UC-hydrologie (Massop *et al.*, 2000) wordt Nederland daarom ruimtelijk ingedeeld op basis van deze factoren.

Hydrotypen

Voor de schematisatie van de geohydrologische eigenschappen is de indeling in hydrotypen gebruikt (figuur 2.1). De indeling is gebaseerd op de geologische kaart van Nederland (1:600.000) en de indeling in slecht doorlatende lagen in de ondergrond uit de studie "Kwetsbaarheid van het grondwater" (Boumans *et al.*, 1987). Een uitgebreide beschrijving van deze indeling in hydrotypen is te vinden in (Massop *et al.*, 2000). De hydrotypenkaart is voor de ruimtelijke indeling omgezet naar een grid met een celgrootte van 250 meter.

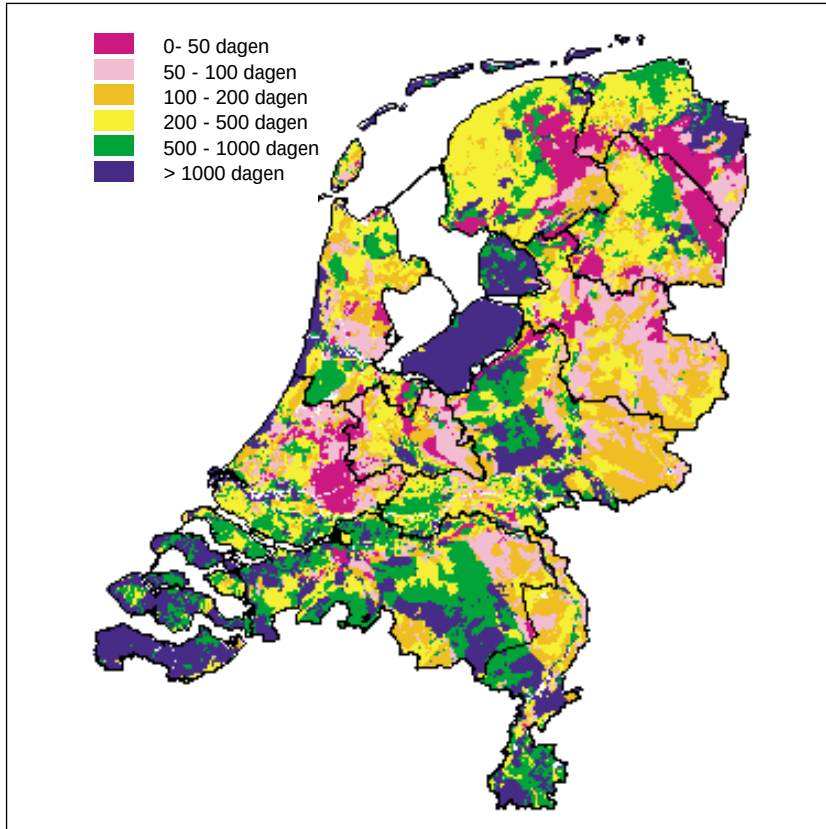
Figuur 2.1

Indeling in hydrotypen (bron: Massop
et al., 2000)



Figuur 2.2

Ruimtelijke indeling op basis van de
representatieve drainageweerstand



Drainage-groepen

Voor de schematisatie van de drainage-eigenschappen is Nederland ingedeeld in 6 groepen van drainageweerstanden (zie tabel 2.1). Deze groepen van weerstanden bestaan uit classificaties van berekende representatieve drainageweerstanden.

Tabel 2.1

Classificatie van de representatieve drainageweerstand

Klasse	Weerstand (d)
1	0 - 50
2	50 - 100
3	100 - 200
4	200 - 500
5	500 - 1000
6	> 1000

Voor de berekening in STONE worden 5 drainagesystemen onderscheiden: het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem, buisdrainage en maaiveldsdrainage. De indeling van de eerste drie drainagesystemen berust op de klassenindeling van waterlopen die wordt gehanteerd in het Top10-vector bestand (zie tabel 2.2). De toekenning van buisdrainage en maaiveldsdrainage is gebaseerd op expert-judgement (zie hoofdstuk 3).

Tabel 2.2

Classificatie van de drainagesystemen op basis van het Top10-vector bestand

Top10-vector	Drainagesysteem
Greppels en droogvallende waterlopen	Tertiair
Waterlopen smaller dan 3 meter	Secundair
Waterlopen 3 - 6 meter	Primair
Waterlopen breder dan 6 meter	Primair

Omdat een classificatie op basis van een combinatie van alle drainagesystemen tot teveel unieke combinaties voor de ruimtelijke indeling in STONE zou leiden, is besloten om te classificeren op basis van een representatieve weerstand van het primaire en secundaire drainagesysteem. Deze wordt berekend als het harmonische gemiddelde van de weerstanden van deze systemen. De tertiaire drainageweerstand is niet betrokken bij de ruimtelijke indeling, omdat deze door zijn veelal geringe waarde teveel zou overheersen in de representatieve weerstand. Het bleek dat dan door de grote dichtheid van het tertiaire drainagesysteem gebieden teveel op elkaar gingen lijken. De buisdrainage is niet betrokken bij de ruimtelijke indeling, omdat het bestand hiervoor nog niet gereed was toen de ruimtelijke indeling werd vervaardigd.

De weerstanden van het primaire en secundaire drainagesysteem (en tevens het tertiaire systeem) zijn berekend met het MONA-instrumentarium van het RIZA (Kroon en Werkman, 2001) en gebaseerd op de formule van de Lange (1996). De formule beschrijft een analytische oplossing voor de drainageweerstand voor het systeem van twee evenwijdige sloten (zie hoofdstuk 3). De formule biedt tevens de mogelijkheid binnen dit systeem nog ruimtelijk onderscheid te maken in de waarde van de drainageweerstand. Deze specificatie is wel toegepast bij de parametrisatie (zie paragraaf 3.1), maar niet bij de ruimtelijke indeling. De reden hiervoor is dat voor de ruimtelijke indeling slechts een classificatie op hoofdkarakteristieken van het drainagesysteem nodig is. De berekening van de drainageweerstanden met MONA wordt uitgebreider behandeld bij de parametrisatie (zie paragraaf 3.1).

Voor de ruimtelijke indeling in STONE is de representatieve weerstand van het primaire en secundaire systeem per gridcel van 250 meter berekend en geassocieerd in 6 groepen. De ligging van deze 6 drainagegroepen is weergegeven in figuur 2.2.

Grondwatertrappen

Voor het onderscheiden van de grondwaterstanden is de grondwatertrappenkaart van de bodemkaart 1:50.000 gebruikt. De kaart draagt tevens bij aan een verdere verfijning van de ruimtelijke indeling in drainage-eigenschappen, omdat de grondwatertrappen (Gt's) onderling dikwijls in drainagedichtheid en ontwateringsdiepte verschillen. De grondwatertrap wordt hier gebruikt voor het vervaardigen van ruimtelijke eenheden (plots); de grondwaterstanden waarmee daadwerkelijk wordt gerekend in STONE wordt uiteindelijk bepaald door de simulaties met SWAP, en kan afwijken van de gehanteerde grondwatertrap (zie paragraaf 3.3). Daarnaast heeft de grondwatertrap ook een zogenaamde "kapstok-functie" voor de parametrisatie. Aan deze grondwatertrap worden namelijk waarden van de drooglegging opgehangen (zie paragraaf 3.1.4).

De Gt-codes uit de bodemkaart zijn vertaald naar 7 Gt-groepen (zie tabel 2.3), gebaseerd op de oude indeling in 7 grondwatertrappen. In enkele procenten van de totale oppervlakte van Nederland komen Gt-associaties voor. Voor deze associaties is de droogste Gt toegekend, omdat de Gt-kaart in de praktijk eerder een te natte situatie dan een te droge situatie weergeeft. De polygonen van de Gt-kaart zijn vervolgens omgezet naar een grid van 250 x 250 meter (zie figuur 2.3). Bij deze omzetting is de waarde van het middelpunt van het grid toegekend aan de totale gridcel. Op deze manier blijven de weinig voorkomende Gt's vertegenwoordigd in de schematisatie. Bij de andere methode, toekenning van de meest voorkomende waarde binnen de gridcel, zou de kaart in circa 5 procent van het gebied afwijken van de huidige schematisatie, ten koste van de weinig voorkomende Gt's.

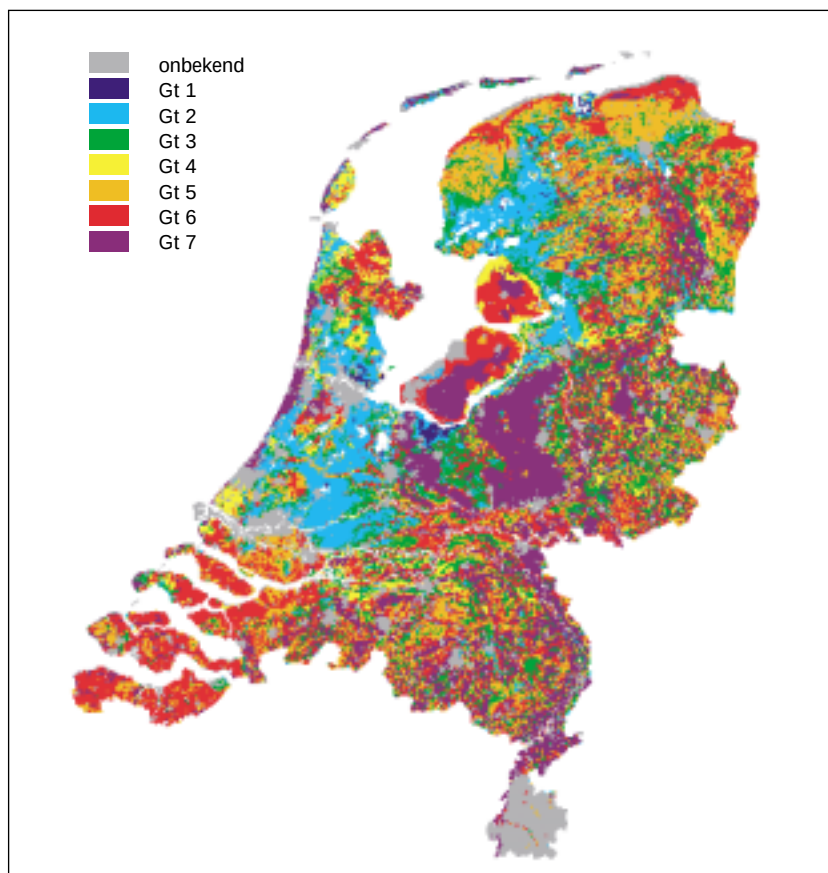
Tabel 2.3

Vertaling Gt-code naar Gt-groep

Code Gt-kaart	Gt-groep	Code Gt-kaart	Gt-groep
I	1	I/VI	6
I/II	2	II/VI	6
II	2	III*/VI	6
II	2	III/VI	6
II*	2	IV/VI	6
II/III	3	sVI	6
III	3	V*/VI	6
IIIb	3	V/VI	6
II/III*	3	VI	6
III*	3	II/VII	7
III*	3	III/VII	7
III/III*	3	IV/VII	7
I/IV	4	sVII	7
II*/IV	4	V/VII	7
II/IV	4	VI/VII	7
III*/IV	4	VII	7
III/IV	4	II/VII*	7
IV	4	III*/VII*	7
II/V	5	III/VII*	7
III/V	5	IV/VII*	7
sV	5	VI/VII*	7
V	5	VII*	7
Vb	5	VII/VII*	7
III*/V*	5	VIII	7
V*	5	WA	-
V/V*	5	GG	0

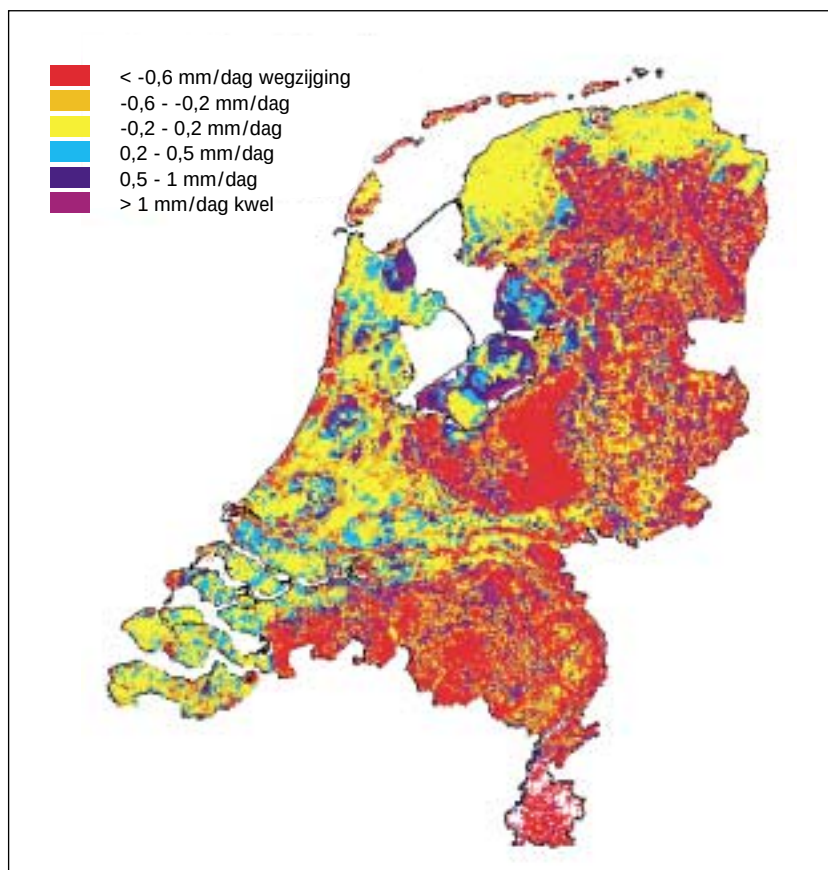
Figuur 2.3

Indeling in grondwatertrapgroepen, toegepast in de ruimtelijke indeling voor STONE



Figuur 2.4

Indeling in kwelklassen, gebruikt voor de ruimtelijke indeling. (De kwelkaart die is gebruikt voor de berekeningen in STONE is weergegeven in figuur 3.8)



Kwel-/wegzijgingsflux

Voor de berekening van de uit- en afspoeling van nutriënten is het belangrijk de verschillende categorieën niveau's van de grondwaterstanden in aparte eenheden te onderscheiden. Omdat de grootte van de verticale flux naar het topsysteem een sterk bepalende factor is voor dit niveau, is het van belang de verticale flux onderdeel te maken van de ruimtelijke indeling.

De verticale flux, die is gebruikt voor de ruimtelijke indeling, is berekend met MONA (Kroon en Werkman, 2001), op basis van de modellen NAGROM en MOZART. De flux, van het eerste watervoerend pakket naar het hydrologische topsysteem, wordt berekend door iteratieve koppeling van de grondwateraanvulling uit MOZART en de flux van/naar het topsysteem in NAGROM. Normaliter worden de 2 modellen (en dus genoemde termen) in 2 a 3 iteraties op elkaar afgestemd, dat wil zeggen dat de modellen beurtelings worden gedraaid, elk model 2 a 3 keer. Voor deze ruimtelijke indeling is wegens tijdgebrek slechts één iteratie gebruikt. Voor de berekeningen in STONE echter is wel een flux gebruikt waarbij de modellen in meerdere iteraties op elkaar zijn afgestemd. Voor een uitgebreide beschrijving en beoordeling van de kwelflux die is gebruikt in de berekeningen wordt verwezen naar paragraaf 3.1.5. Hoewel bij 2 of 3 iteraties van beide modellen de waarde van de kwel exacter wordt berekend, voldoet een eerste iteratie voor de ruimtelijke indeling, omdat het relatieve onderscheid in verticale flux dan al voldoende naar voren komt.

De kwelkaart is gemaakt op een celbasis van 250 x 250 meter, die aansluit bij de STONE-eenheden. Hoewel in het algemeen mag worden aangenomen dat grondwatertrappen en kwel gecorreleerd zijn, is het vanwege schaalproblemen toch van belang de kwelkaart en de grondwatertrappenkaart apart op te nemen in de ruimtelijke indeling. Uit de UC-hydrologie (Massop *et al.*, 2000) is geconcludeerd dat de gemodelleerde kwelflux (berekend per gridcel) en de Gt-kaart (polygonen) voor grote delen van Nederland onvoldoende gecorreleerd zijn, onder meer door de verschillende schalen van informatie. Het gebruik van zowel de Gt-kaart als de kwel-kaart zal daarom bijdragen aan verdere hydrologische differentiatie. De kwelflux is ook gecorreleerd met de drainageweerstanden, omdat deze verwerkt zijn in de berekening ervan. De differentiatie naar kwel is toch nodig, omdat hierin de regionale stromingspatronen zijn verwerkt. De kwelflux wordt gegroepeerd tot 6, voor STONE belangrijke, kwelklassen (zie tabel 2.4).

Tabel 2.4

Classificatie van de kwel-/wegzijgingsflux

Klasse	Kwelflux (mm/dag)
1	< -0.6 wegzijging
2	-0.6 - -0.2
3	-0.2 - 0.2 omslag
4	0.2 - 0.5
5	0.5 - 1
6	> 1 kwel

NAGROM is bijna dekkend voor Nederland, uitzonderingen zijn de waddeneilanden en Zuid-Limburg. Voor laatstgenoemde gebieden is geen kwelflux berekend. Om toch een landsdekkend beeld te krijgen is een waarde geëxtrapoleerd op basis van de overige hydrologische kenmerken. Er is ten eerste gekeken of een zelfde combinatie van hydrotype, Gt en drainageklasse in een ander gebied een waarde voor de kwelklasse oplevert. Omdat in grote delen van Limburg geen waarde voor de grondwatertrap bekend is, is voor

deze gebieden de combinatie van hydrotype en drainageklasse gebruikt, of in sommige gevallen alleen de drainageklasse. Figuur 2.4 geeft de indeling van de kwelklassen weer, die is gebruikt voor de ruimtelijke indeling.

Samenvattend bestaat de hoofdindeling voor de hydrologie uit de volgende elementen:

- 22 hydrotypen
- 7 grondwatertrapgroepen
- 6 drainagegroepen en
- 6 klassen van kwel/wegzijging

In de volgende paragrafen worden nog elementen besproken die zorgen voor verdere hydrologische differentiatie van de STONE-plots. Het betreft onder andere een differentiatie naar landgebruik, bodemtypen en meteo-districten. Er vindt niet alleen differentiatie plaats, er worden ook eenheden samengevoegd, wanneer dit weinig voorkomende eenheden betreft. Deze reductie van het totaal aantal combinaties wordt besproken in paragraaf 2.2.

2.1.2 Indeling in landgebruik

Voor het landgebruik is het LGN-3+ bestand toegepast (de Wit *et al.*, 1999). Dit bestand is niet alleen geactualiseerd ten opzichte van het landgebruik in de oude schematisatie (LGN2). Er is ook veel aandacht besteed aan het beter aangeven van arealen natuur, waardoor duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen bijvoorbeeld gras, gras in bebouwd gebied en open begroeid natuurgebied. Het oorspronkelijke 25 meter grid is opgeschaald naar een grid van 250 meter, door in elk middelpunt de onderliggende waarde over te nemen. Op deze manier worden de weinig voorkomende landgebruiksvormen, bijvoorbeeld natuur, het beste vertegenwoordigd in de schematisatie. De landgebruiksvormen zijn net zoals in de WSV-schematisatie opgeschaald naar 6 klassen (zie tabel 2.5). De landgebruiksklasse bebouwing wordt samengevoegd tot één STONE-plot, omdat deze grotendeels buiten het aandachtsgebied van de uit- en afspoeling wordt gehouden. Hetzelfde geldt voor de klasse water, deze wordt samen met het hydrotype water in één STONE-plot omgezet.

Tabel 2.5

Vertaling codes LGN3+ naar het landgebruik in STONE

LGN3+	Code	Landgebruik STONE
1, 23, 24	1	gras
2	2	mais
3 - 10	3	overige landbouw
11 - 15, 20, 21, 30 - 46	4	natuur
16, 17	5	water
18, 19, 22, 25, 26	6	bebouwing

Het grasareaal is na het maken van de ruimtelijke indeling en parametrisatie aangepast, om de arealen bemest grasland beter te laten overeenkomen met gegevens, zoals die bekend waren bij het LEI. Om deze reden is een deel van het grasareaal bij de berekeningen in STONE behandeld als natuur. Deze omzetting van grasland naar onbemest grasland wordt behandeld in paragraaf 7.2.5.

2.1.3 Indeling in bodemtype

Voor het onderscheid in bodemtypen is gebruik gemaakt van een vertaling van de bodemkaart 1:50.000 naar 21 bodemfysische eenheden/PAWN-eenheden (Klijn, 1997). Deze vertaling is gebaseerd op de vertaling van de bodemkaart 1:250.000 in bodemfysische eenheden (Wösten *et al.*, 1988), die in de WSV-schematisatie is toegepast.

De vlakken met bodemfysische eenheden zijn omgezet naar een grid-bestand van 250 meter, door de waarde van het middelpunt van de gridcel toe te kennen aan de hele gridcel. De indeling in bodemfysische eenheden is weergegeven in tabel 2.6. Hierin is tevens een grove indeling in klei, zand en veen weergegeven. Deze indeling speelt een rol bij de eventuele reductie van het totale aantal unieke combinaties (zie paragraaf 2.2).

De bodemfysische eenheden water (22) en bebouwd gebied (23) zijn consistent gemaakt met het landgebruik en worden gevoegd in de STONE-plots voor respectievelijk water en bebouwing.

Tabel 2.6
Toegepaste bodemeenheden in STONE en vertaling naar hoofdindeling zand, klei en veen. Voor gedetailleerde profielbeschrijvingen zie Wösten *et al.* (1988)

Bodemfysische eenheid	Beschrijving	indeling in zand (z), veen (v) en klei (k)
01	veengronden met een veraarde bovengrond (koopveengronden)	v
02	veengronden met een veraarde bovengrond en zand in de ondergrond (koopveengronden en madeveengronden)	v
03	veengronden met een kleidek (waardveengronden en weideveengronden)	v
04	veengronden met een kleidek en zand in de ondergrond (meerveengronden)	v
05	veengronden met een zanddek en zand in de ondergrond (meerveengronden)	v
06	veengronden en moerige gronden op ongerijpte klei	v
07	stuifzandgronden	z
08	podzolgronden in leemarm, fijn zand	z
09	podzolgronden in zwak lemig, fijn zand	z
10	podzolgronden in zwak lemig, fijn zand op grof zand	z
11	podzolgronden sterk lemig, fijn zand op keileem of leem	z
12	enkeerdgronden in zwak lemig, fijn zand	z
13	beekeerdgronden in sterk lemig, fijn zand	z
14	podzolgronden in grof zand	z
15	homogene zavelgronden	z
16	homogene, lichte kleigronden	k
17	kleigronden met een zware tussenlaag of ondergrond	k
18	kleigronden op veen (drechtaaggronden)	k
19	klei op zandgronden	k
20	klei op grof zand	k
21	leemgronden	k
22	water	-
23	verhard	-

2.1.4 Indeling in chemische eigenschappen van de bodem

Bij de WSV-schematisatie werden de bodemchemische eigenschappen toegekend aan de bodemfysische eenheden. Dit wil zeggen dat er ruimtelijk 21 eenheden waren, met in het verticale vlak differentiatie naar bodemhorizonten, waaraan chemische kenmerken werden gehangen. Voor de nieuwe bodemchemische schematisatie zijn de 21 bodemfysische eenheden verfijnd naar 456 bodemchemische eenheden, die in het verticale vlak tevens zijn gedifferentieerd naar horizonten.

Voor de indeling in bodemchemische eenheden is gebruik gemaakt van een studie naar de efficiëntie van verschillende operationele manieren van bodem-schematisatie (de Groot *et al.*, 1998). In deze studie is voor 4 modelparameters, te weten stikstofopname door het gewas, opslag van fosfaat in het profiel en uitspoeling van stikstof en fosfor, middels statistische analyse onderzoek gedaan naar informatieverlies bij verschillende methoden van data-aggregatie van bodemkenmerken. De meest efficiënte methode uit deze studie is, gegeven de randvoorwaarden van de ruimtelijke indeling tot dusver, toegepast. Hierdoor zijn de bodemtypen verder gedifferentieerd naar 3 kenmerken, te weten: het fosfaatbindend vermogen, de mineralisatiecapaciteit en het kationenadsorptiecapaciteit. Deze gedifferentieerde bodem-

eenheden zijn vervolgens gecombineerd met het landgebruik en uiteindelijk gereduceerd tot 456 eenheden (zie hoofdstuk 4), om het totale aantal unieke eenheden te beperken (zie paragraaf 2.2).

Voor de ruimtelijke indeling van bodemchemische eenheden zijn het fosfaatbindend vermogen, de mineralisatiecapaciteit en de kationencapaciteit van de bodems direct of indirect gehaald uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS). In de oorspronkelijke methode (de Groot *et al.*, 1998) werd ook naar de ontwateringstoestand en de pH gedifferentieerd. Deze parameters zijn voor de ruimtelijke indeling buiten beschouwing gelaten, om het aantal unieke combinaties te beperken. Bovendien is de differentiatie naar ontwateringstoestand voor STONE al voldoende verwerkt in de hydrologische indeling. Elk van de genoemde parameters wordt ingedeeld in 3 klassen.

Het *fosfaatbindend vermogen* (FBV) wordt berekend volgens het protocol voor bepaling van de fosfaatverzadiging (Breeuwsma *et al.*, 1986). Daarvoor zijn benodigd het Fe- en Al-oxalaatgehalte, de GHG en de dichtheid. Het fosfaatbindend vermogen wordt vervolgens berekend met:

$$FBV = 0,5 * (Fe_{ox} + Al_{ox}) * \text{laagdikte} * \text{dichtheid} * 7,1$$

Voor de laagdikte wordt de GHG of maximaal 1 meter ingevuld.

De indeling in fosfaatbindend vermogen is geclassificeerd in:

- * < 10 ton/ha/P₂O₅
- * 10 - 20 ton/ha/P₂O₅
- * > 20 ton/ha/P₂O₅

Deze classificatie is als voorbeeld opgenomen in figuur 2.5.

De *mineralisatiecapaciteit* wordt grotendeels bepaald door de organische stofvoorraad (Ruitenbergh *et al.*, 1991). Op basis van de grondsoort, veensoort en het organische stofgehalte van de bovengrond, wordt de mineralisatiecapaciteit ingedeeld in:

- * veen
- * moerig
- * mineraal

De *kationenadsorptiecapaciteit* (CEC) wordt berekend volgens Breeuwsma (1986) op basis van dichtheid, organische stofgehalte en lutumgehalte:

$$CEC = 0,1 * \text{laagdikte} * \text{dichtheid} * (p * \text{organische stofgehalte} + 0,006 * \text{lutumgehalte})$$

met $p = 0,025$ voor B-horizonten en $0,015$ voor andere horizonten.

De indeling in CEC is geclassificeerd in:

- * < 0,5 mol/kg
- * 0,5 - 1 mol/kg
- * > 1 mol/kg

2.1.5 Indeling naar overige kenmerken

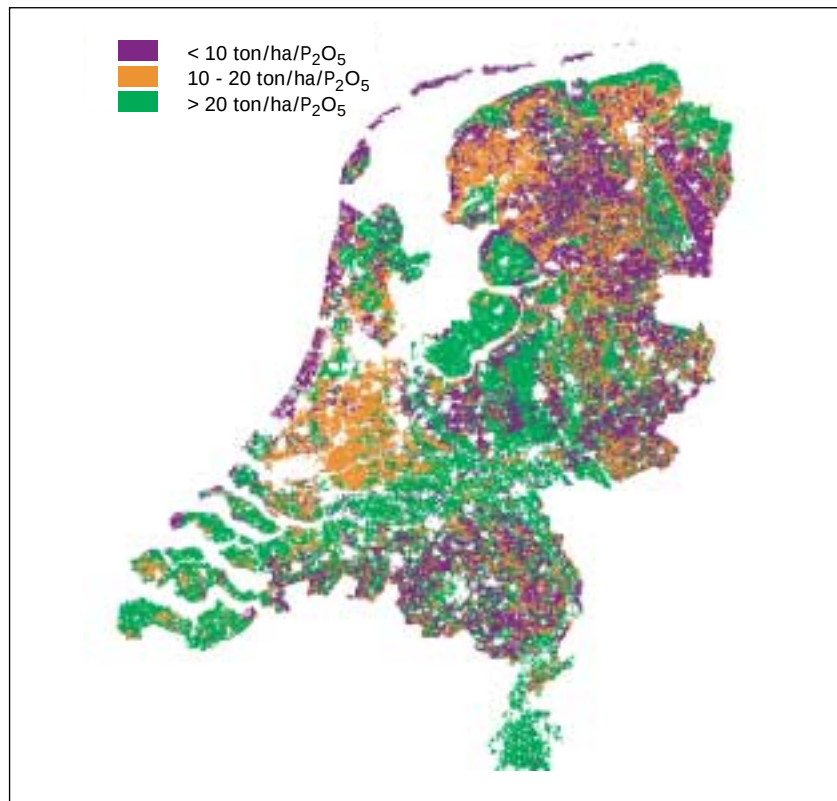
Een andere factor die een rol heeft gespeeld in de ruimtelijke indeling is de indeling in weerregio's. De indeling is weergegeven in figuur 2.6. De kaart is tot stand gekomen door een directe toekenning van weerregio's aan PAWN-districten, zoals beschreven in Kroes *et al.* (1999).

De chemische eigenschappen van de ondergrond vormen geen extra onderscheidende factor voor de ruimtelijke indeling, maar worden zoveel

mogelijk toegekend op basis van de bestaande ruimtelijke indeling. Hier-
voor is de indeling in hydrotypen als eerste benadering gebruikt (zie
hoofdstuk 5).

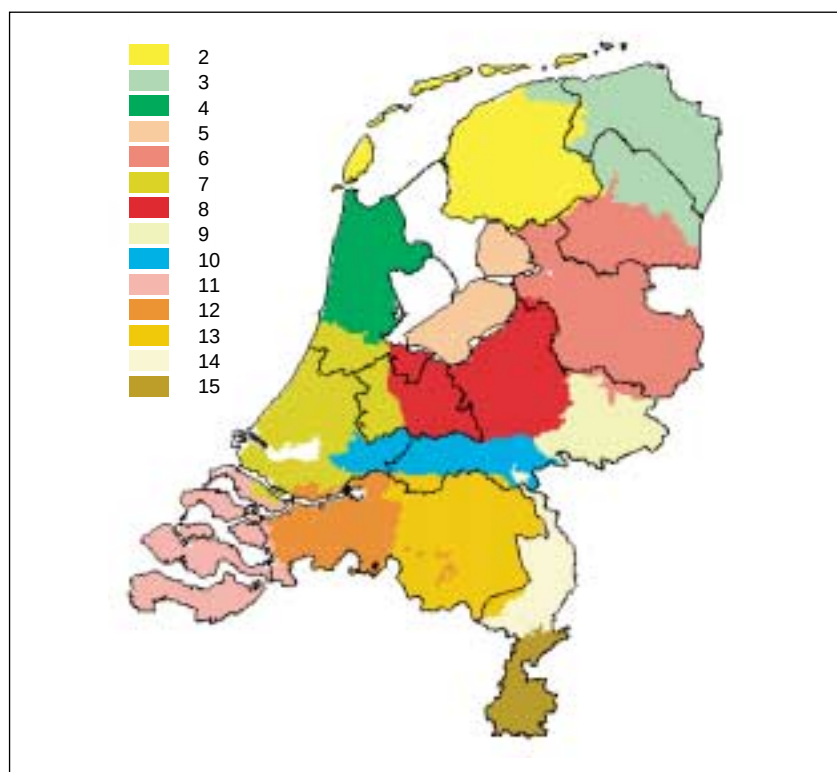
Figuur 2.5

Classificatie van het fosfaatbindend
vermogen



Figuur 2.6

Indeling in weerregio's op basis van
PAWN-districten



2.2 Reductie van het aantal unieke eenheden

De randvoorwaarde voor de STONE-schematisatie is dat het doorrekenen van één scenario met deze schematisatie binnen 24 uur moet kunnen worden gerealiseerd. Het gevolg hiervan is dat de schematisatie moet worden beperkt tot een maximum aantal plots, bestaande uit gridcellen met dezelfde combinatie van eigenschappen. Op basis van de huidige computercapaciteit, enkele door te voeren technische verbeteringen en de rekentijd per plot, is bepaald dat dit maximum aantal rond de 6000 eenheden moet bedragen. Wegens de korte doorlooptijd van het project is besloten drie parallelle deeltrajecten te bewandelen. Uit pragmatische overwegingen is daarom besloten de opbouw van de ruimtelijke schematisatie in deze circa 6000 eenheden ook in 3 stappen te doorlopen, waarbij aan het einde van elke stap een maximaal aantal plots is gedefinieerd. De stappen bestonden uit:

- 1) het maken van een hydrologische hoofddeling, van circa 900 eenheden, op basis van
 - hydrotype
 - grondwatertrap
 - kwelklasse
 - drainageklasse
- 2) het verfijnen van de hydrologische hoofddeling, van circa 4000 eenheden op basis van
 - indeling in zand, veen klei
 - bodemtype
 - landgebruik
 - meteorologische regio
- 3) het verfijnen van de plots tot 6400 eenheden op basis van de bodem-chemische kenmerken
 - fosfaatbindend vermogen
 - mineralisatiecapaciteit
 - kationenuitwisselingscapaciteit

In elke stap zijn eerst de bovengenoemde factoren gecombineerd tot unieke eenheden. Vervolgens is, door geautomatiseerde bevraging binnen GIS, een beperkt aantal unieke eenheden samengevoegd, als er sprake was van een combinatie met een klein oppervlakte en voldoende verwantschap met de eenheid waarmee werd samengevoegd. De criteria voor het eventuele samenvoegen van de eenheden worden hieronder besproken aan de hand van de eerste stap.

Binnen elke stap is steeds, na combinatie van de afzonderlijke factoren, het totale aantal unieke eenheden bepaald en vergeleken met het aantal toegestane eenheden. Zolang het totale aantal unieke eenheden te groot is, kunnen er eenheden worden samengevoegd. Voor dit samenvoegen wordt een prioritering van de factoren gehanteerd, waarbij van de bovengenoemde factoren de eerstgenoemde een hogere prioriteit heeft dan laatstgenoemde. Bij de hogere prioriteit mag minder worden aangepast dan de lagere prioriteit.

Voor stap 1 heeft de drainageweerstand de kleinste prioriteit en zal dus als eerste worden aangepast. Dit wordt in de toegepaste GIS-procedure het "pasgrid" genoemd. Binnen GIS wordt voor dit pasgrid gekeken of er per combinatie van de overige factoren ("pasfactoren": hydrotype, Gt en kwelklasse) voor elke klasse binnen het pasgrid een relatief oppervlaktecriterium wordt gehaald, bijvoorbeeld van 5 procent. Bijvoorbeeld, binnen de combinatie van (hydrotype = betuwekomgrond, kwelklasse = 3, grondwatertrap

= $V(*)$) geldt de volgende procentuele verdeling van het oppervlak over de drainageklassen:

Drainageklasse	Voorbeeld oppervlaktepercentage
.....	
1	20
2	4
3	12
4	24
5	25
6	15

Als de klasse met het geringste oppervlaktepercentage niet voldoet aan het oppervlaktecriterium ($> 5\%$), dan wordt alleen deze klasse toegevoegd aan een andere klasse. In het voorbeeld is dit drainageklasse 2. De klasse kan alleen worden samengevoegd met een bovenliggende of onderliggende drainageklasse (klasse 1 of 3) en mag nooit worden samengevoegd met een klasse met meer dan 1 klasse verschil. De klasse wordt toegekend aan de naburige klasse die de geringste oppervlakte vertegenwoordigt, in dit voorbeeld wordt klasse 2 samengevoegd bij klasse 3.

Deze procedure wordt toegepast voor elke mogelijke combinatie van hydrotype, Gt en kwelklasse, waardoor het aantal unieke eenheden sterk reduceert. Hierna wordt het nieuw aantal unieke combinaties opnieuw bepaald, en kan de procedure iteratief worden doorlopen tot het oppervlaktecriterium is bereikt. Als hierna het totaal aantal eenheden niet voldoende is gereduceerd is er de mogelijkheid om een ander grid aan te passen (pasgrid = kwelklasse, per combinatie van hydrotype, Gt en drainageweerstand), of het oppervlaktecriterium te vergroten. Als hierna het totale aantal combinaties nog steeds te groot is kan (iteratief) een 2e ronde worden gedraaid, door bijvoorbeeld weer de drainageklasse aan te passen.

Dezelfde procedure is ook toegepast voor stap 3. Voor stap 2 is een iets andere procedure toegepast, omdat deze kenmerken niet ordinaal zijn. De kleinste klasse is in dit geval bij de kleinste naburige klasse in de ruimte gevoegd. Voor het verfijnen van de resultaten uit stap 1 naar de ruimtelijke kenmerken uit stap 2 en stap 3 is ook een absoluut oppervlaktecriterium toegepast. Dat wil zeggen dat een bepaalde combinatie alleen verder is gedifferentieerd naar deze kenmerken als de betreffende combinatie een minimale oppervlakte heeft. Voor elk kenmerk is een afzonderlijk absoluut criterium gehanteerd, maar over het algemeen kan worden gezegd dat er niet verder wordt verfijnd als de oppervlakte van een combinatie kleiner is dan 62,5 ha (10 gridcellen van 250 x 250).

In bijlage 2.1 is voor de reproduceerbaarheid van de schematisatie een overzicht gegeven van de criteria die zijn gebruikt. Aangegeven zijn het pasgrid, de pasfactoren, het relatieve oppervlaktecriterium en het eventuele absolute oppervlaktecriterium.

2.3 Kenmerken van de nieuwe indeling

Na de reductie van het aantal unieke combinaties, zoals beschreven in paragraaf 2.2, is een nieuwe ruimtelijke schematisatie van STONE ontstaan met de volgende kenmerken:

- 6407 plots, waarvan 1 plot bebouwd en 1 plot water
- 6405 unieke hydrologische eenheden
- 456 bodemchemische eenheden

- 30 chemische eenheden voor de ondergrond
- 21 bodemtypen + water (1 plot) + bebouwing (1plot)
- 4 vormen van landgebruik + water (1 plot) + bebouwing (1 plot)

Figuur 2.7

Voorbeeld van de ruimtelijke spreiding van één plot, in de kop van Overijssel

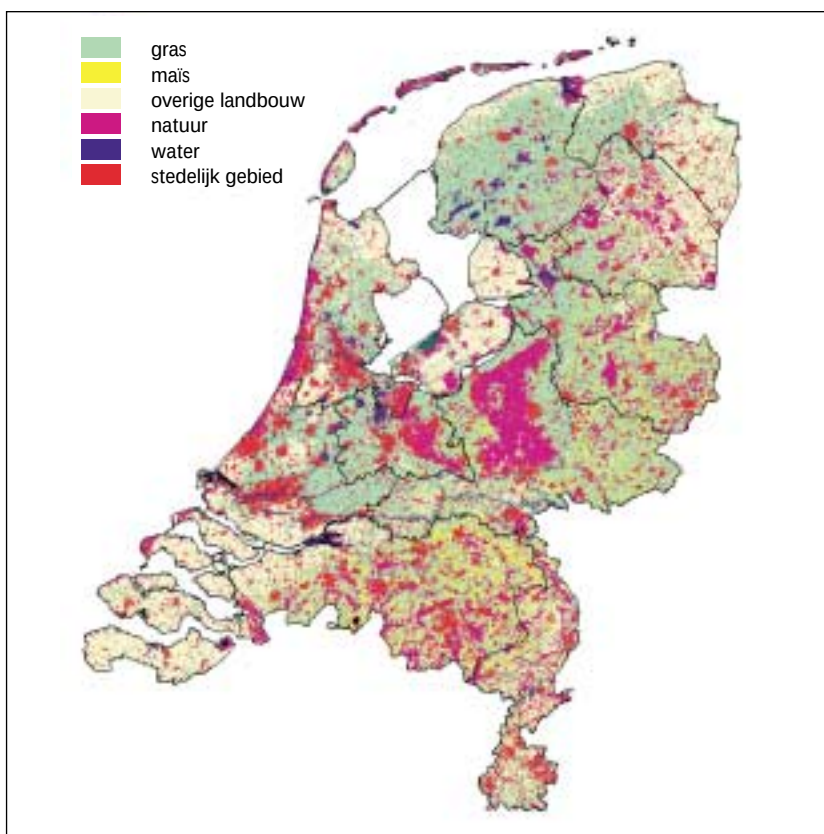


Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250 x 250 meter die dezelfde unieke combinatie van eigenschappen hebben, voor de onderscheiden factoren van de ruimtelijke indeling (zie paragraaf 2.1). De gridcellen hoeven niet aan elkaar te grenzen en kunnen verspreid liggen binnen een regio. Een voorbeeld van zo'n plot is weergegeven in figuur 2.7

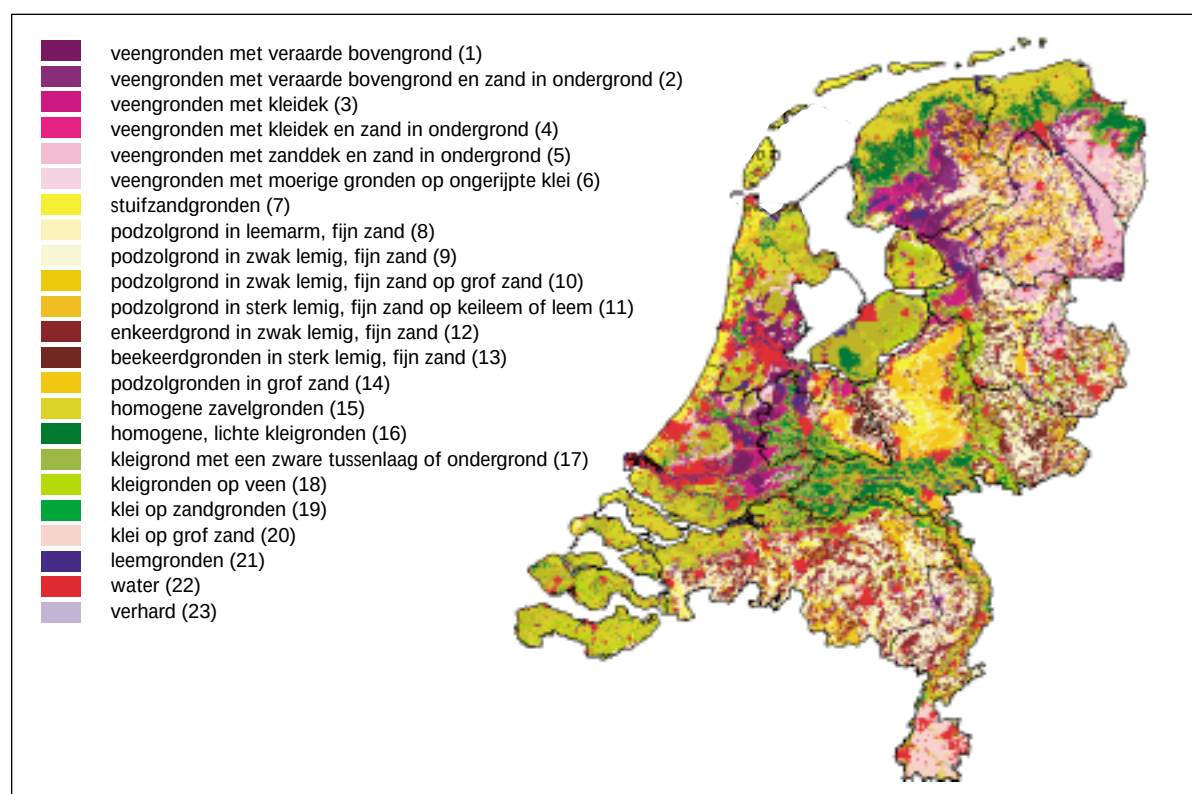
De reductie van het aantal combinaties, beschreven in paragraaf 2.2, heeft onvermijdelijk tot gevolg dat een aantal factoren van de ruimtelijke indeling niet voor 100 procent zuiver in de nieuwe indeling blijft gehandhaafd. Dit zal worden verduidelijkt aan de hand van het landgebruik en de bodemfysische eenheid. In figuur 2.8 en 2.9 zijn de indelingen voor het landgebruik en het bodemtype weergegeven, zoals geschematiseerd in de nieuwe indeling.

De ruimtelijke indeling kan op 2 manieren worden beoordeeld. Ten eerste kunnen de arealen van de originele klassen van het landgebruik en bodemtype worden vergeleken met de arealen binnen de STONE-schematisatie. Het resultaat van deze vergelijking is weergegeven in figuur 2.10 en 2.11. Bij het landgebruik is het originele LGN3(+) bestand gebruikt (25 meter grid) en voor de bodem het vergridde basisbestand (250 meter grid). Voor het landgebruik benaderen de arealen elkaar nagenoeg, voor de bodemfysische indeling wordt het areaal van de meest dominante kenmerken in geringe mate overschat. Voor beide indelingen geldt dat de oorspronkelijke arealen beter worden benaderd dan in de WSV-schematisatie (Boers *et al.*, 1997). Dit is te verklaren door de combinatie van het toegenomen aantal plots (circa 6400 nu versus 3600 toen), het toepassen van meer verfijnde

Figuur 2.8
Landgebruik in STONE

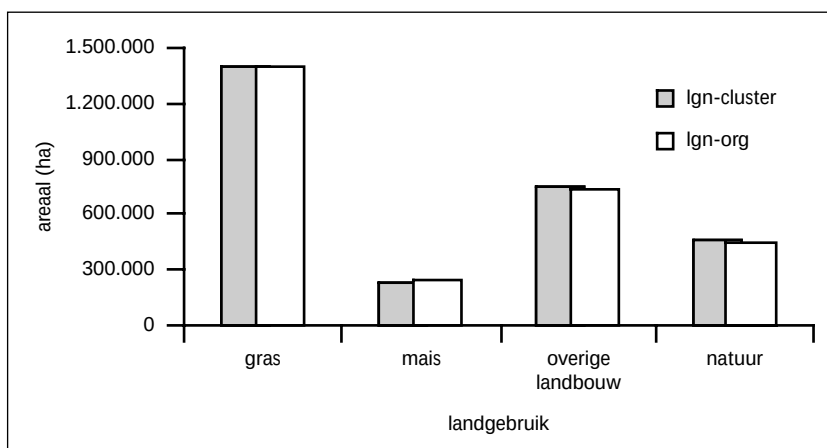


Figuur 2.9
Indeling in bodemfysische eenheden
in STONE



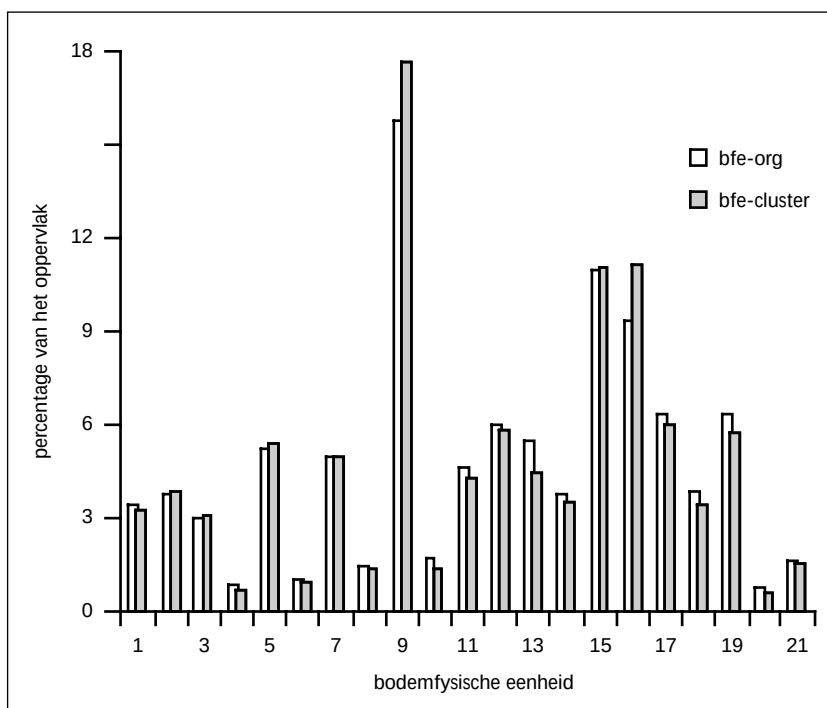
Figuur 2.10

Verdeling van het landgebruik: origineel bestand (LGN3, 25 meter grid) en landgebruik in STONE (lgn-cluster)



Figuur 2.11

Verdeling van de arealen van de bodemfysische eenheden (1:50.000), origineel grid en grid in STONE (geclusterd). De nummering van de bodemeenheden is weergegeven in tabel 2.6



gridcellen (250 meter nu versus 500 meter toen), maar met name ook door de andere methode van indelen. Uit de vergelijking van de totale arealen van de indelingen volgt dat de categorieën van het landgebruik en bodemtypen goed worden benaderd, maar dat houdt nog niet noodzakelijk in dat de ruimtelijke ligging juist is weergegeven. De tweede methode om de ruimtelijke indeling te beoordelen houdt hier wel rekening mee: het vergelijken van de ruimtelijke ligging van de invoerbestanden en basisbestanden. Door het noodzakelijk samenvoegen van eenheden en het vervolgens toekennen van de dominante eigenschap van de STONE-plot, is het mogelijk dat in een deel van het areaal van de plot een kenmerk wordt toegekend die in werkelijkheid daar niet van toepassing is. Voor het landgebruik geldt dat in totaal in 93 procent van het areaal het juiste type landgebruik is toegekend, voor de 21 bodemtypen is dit in 75 procent van het areaal. Ter vergelijking: in de WSV-schematisatie was dit bijvoorbeeld voor het bodemtype in circa 50 procent van het areaal. In tabel 2.7 is voor een aantal factoren van de ruimtelijke indeling weergegeven wat de zuiverheid is ten opzichte

van het basisbestand. In de tabel is tevens de zuiverheid gegeven voor de pH, die geen onderdeel vormt van de ruimtelijke indeling, maar wel een belangrijke factor is voor de berekende uitspoeling. Voor deze vergelijking zijn voor de basisbestanden de 250 meter grid gridbestanden gebruikt. Voor bijna alle factoren van de ruimtelijke indeling geldt dat rond de 90 procent zuiverheid is behaald met de schematisatie.

Tabel 2.7

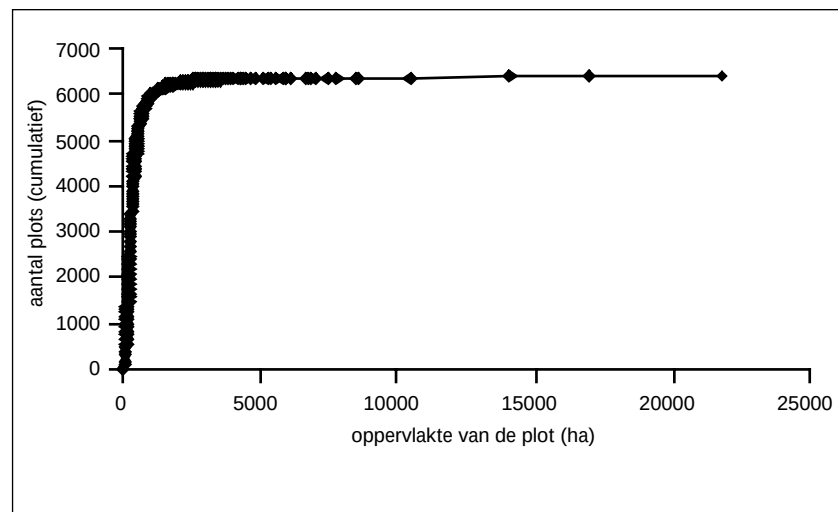
Percentages van de arealen waar de toegekende eigenschappen in STONE overeenkomen (zuiverheid) met de originele eigenschappen in een gridbestand van 250, voor diverse factoren van de ruimtelijke indeling

Ruimtelijke eigenschap	Aantal klassen	Percentage zuiver areaal
hydrotype	22	100
drainageklasse	6	89
kwelklasse	6	89
grondwatertrap	7	97
landgebruik	4	92
bodemfysische eenheid	21	75
indeling klei-zand-veen	3	98
meteo-district	15	97
fosfaat bindend vermogen	3	90
mineralisatiecapaciteit	3	96
kationenuitwisselingscap (pH-KCl)	3 (3)	86 (85)

De 6407 STONE-plots variëren in grootte van 25 ha tot 21.762 ha. De mediaanwaarde is 287,5 ha. In figuur 2.12 is het areaal van de plots uitgezet tegen het cumulatieve aantal plots. Uit de steile lijn in de figuur en uit de mediaanwaarde blijkt dat kleine plots sterk zijn vertegenwoordigd, met name de plots met een oppervlakte minder dan 200 ha. De voornaamste reden voor het accent op deze kleine plots, is dat er binnen elke regio een aantal "zeldzame eigenschappen" wordt gehandhaafd in de schematisatie, bijvoorbeeld de weinig voorkomende bodemtypen (BFE 4,6 en 20) en grondwatertrappen I en IV. Door de toegepaste methode van reductie van het aantal unieke combinaties (zie paragraaf 2.2) kunnen er alleen maar zeer grote plots aanwezig zijn, als zij voor elke ruimtelijke eigenschap nagenoeg uniform zijn. Uit de figuur is af te leiden dat er enkele van die grote plots zijn. In figuur 2.13 is de grootte van de plots ruimtelijke weergegeven. Uit de figuur blijkt dat de grotere plots te vinden zijn in bijvoorbeeld de Veluwe, Zuid-Limburg en enkele poldergebieden.

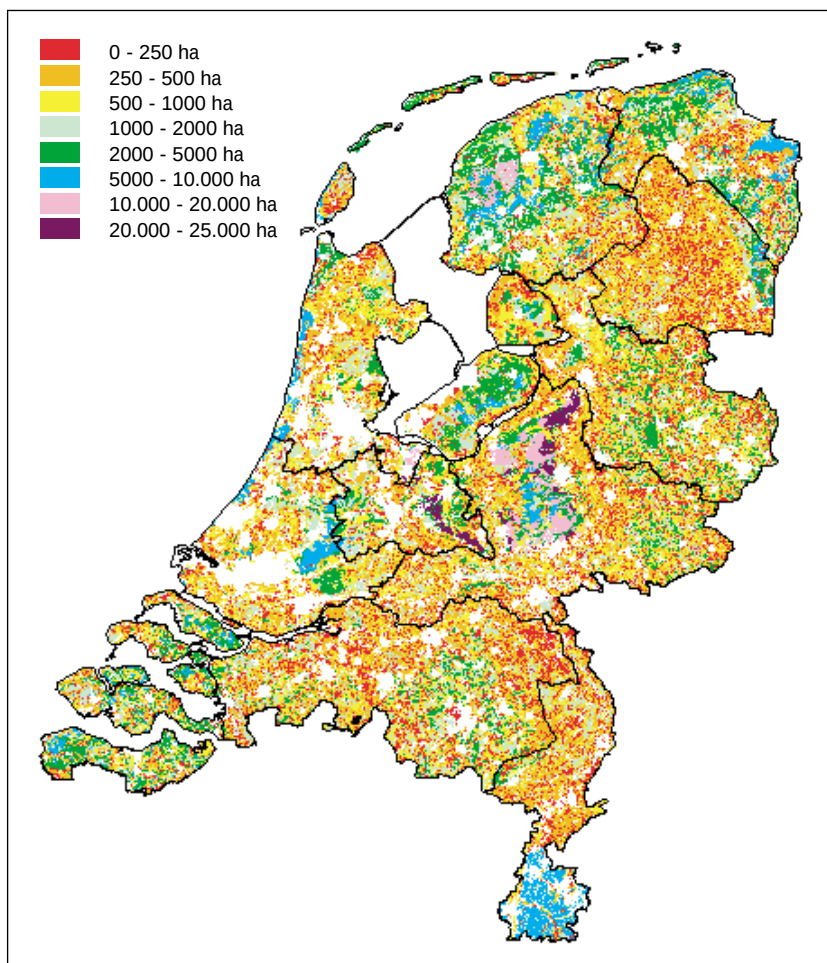
Figuur 2.12

De verdeling van het aantal STONE-plots over de oppervlakte van de plots



Figuur 2.13

De ruimtelijke verdeling van de oppervlakte van de landelijke plots



2.4 Discussie en aanbevelingen

- De nieuwe ruimtelijke indeling voor STONE heeft een hoge zuiverheid voor de onderscheiden factoren en is in dit opzicht sterk verbeterd t.o.v. de WSV-schematisatie.
- De factoren die zijn gebruikt voor de opbouw van de ruimtelijke indeling mogen niet worden verward met de invoerparameters voor STONE (zie volgende hoofdstukken). Met name voor de hydrologische en bodem-chemische indeling geldt dat de in dit hoofdstuk onderscheiden kenmerken alleen zijn toegepast in de ruimtelijke schematisatie; de werkelijke invoerparameters voor de STONE-plots wijken hiervan af. Uitzonderingen hierop zijn de in paragraaf 2.3 genoemde indelingen in bodemfysische eenheden en het landgebruik.
- Ten aanzien van de hydrologie was het niet mogelijk meer aspecten in de ruimtelijke schematisatie op te nemen, waardoor voor die aspecten bij de schematisatie per definitie informatie verloren gaat. De meest kritische factoren betreffen buisdrainage, beregening en de mogelijkheid van wateraanvoer. Door de verdere verfijning van de hydrologische hoofdindeling naar bodem, landgebruik en chemische kenmerken wordt dit informatieverlies wel voor een groot deel beperkt (zie verder hierover hoofdstuk 3).
- De kwel-/wegzijgingskaart die is gebruikt voor de ruimtelijke indeling kan in principe nauwkeuriger worden berekend door de gebruikte modellen langer te laten itereren (meerdere orden iteratie). Voor de ruimtelijke

indeling voldoet de gebruikte kaart echter goed, omdat het ruimtelijk onderscheid in gebieden met verschillende verticale fluxen voldoende naar voren komt en overeen stemt met anderszins verkregen inzichten.

- De indeling in bodemchemische kenmerken is efficiënt toegespitst op de in STONE belangrijke processen, te weten: stikstofopname door het gewas, opslag van fosfaat in het profiel en uitspoeling van stikstof en fosfor. De zuiverheid voor de belangrijkste parameters die deze processen bepalen is bovendien hoog (85 a 90 procent). De meerwaarde van verdergaande verfijning zou waarschijnlijk gering zijn, doordat voor de parametrisatie (zie hoofdstuk 4) de beschikbaarheid van data dan een beperkende factor zou zijn.
- Indien het in de toekomst wenselijk is om met een groter aantal plots te rekenen, wordt aanbevolen de huidige indeling in plots te gebruiken voor verdere verfijning. Dit kan op basis van de gehanteerde kenmerken, zoals de bodemfysische eenheid. Belangrijker is een verfijning op basis van een aantal overige kenmerken, zoals de primaire drainageweerstand afzonderlijk, de aanwezigheid van buisdrainage en de mogelijkheid van wateraanvoer (zie hoofdstuk 3). Bij de indeling in hydrotypen zou de ligging van de beekdalen (Singraven) nauwkeuriger kunnen worden bepaald met behulp van de bodemkaart. Afhankelijk van de wijze van mestapplicatie in STONE kan in de toekomst ook verder verfijnd worden op basis van een meer zuivere indeling in PAWN-districten, LEI-districten of gemeenten. De bij het RIZA ontwikkelde GIS-programmatuur die is gebruikt bij het maken van de ruimtelijke indeling zal hiervoor worden beschreven in een technisch werkdocument (Peereboom en Kroon, RIZA-werkdocument in prep.).

3 Parametrisatie van de hydrologie

De hydrologische parametrisatie is voortgebouwd op de resultaten en de aanbevelingen in (Massop *et al.*, 2000) en (Kroes *et al.*, 2000) en tot stand gekomen door het consensushydrologie-overleg.

De hydrologische parametrisatie van de 6405 plots vindt plaats met hydrologische modellen. Hiervoor is eerst binnen GIS een landelijke schematisatie gemaakt van hydrologische parameters, zoals de ontwateringsdiepten en peilen. Met de gekoppelde hydrologisch modellen MOZART-MONA-NAGROM zijn drainageweerstand en onderrandfluxen vervaardigd. Het creëren van deze invoer wordt besproken in paragraaf 3.1. Vervolgens zijn met het model SWAP voor een lange weerreeks de hydrologische balans-termen gegenereerd voor het model GONAT-ANIMO (paragraaf 3.2); de resultaten uit deze berekening worden besproken in paragraaf 3.3. De hydrologische uitvoer kan niet direct in STONE worden ingevoerd; eerst moet een conversie plaats vinden (paragraaf 3.4). Paragraaf 3.5 eindigt met discussie en aanbevelingen. In de paragrafen 3.5 en 3.6 (conclusies) is ook de beoordeling van de hydrologie door de consensusgroep hydrologie gegeven.

3.1 Parametrisatie van de hydrologische invoer

3.1.1 Bodem

Aan elk STONE-plot is een bodemtype toegekend. Dit bodemtype is verkregen uit de vertaling van de bodemkaart 1:50.000 naar 21 bodemfysische eenheden en het indelen van STONE-plots op basis van onder meer het bodemtype (zie paragraaf 2.1.3, 2.2, 2.3 en figuur 2.6). Voor de 21 eenheden zijn voor de hydrologische berekeningen de bodemfysische eigenschappen ($k(h)$ en $q(h)$ relaties) ontleend aan Wösten *e.a.*, (1994). De laagindeling die gehanteerd is, wordt besproken in paragraaf 3.4.

3.1.2 Gewas

Voor het landgebruik zijn 4 soorten gewas onderscheiden, te weten gras, maïs, overige landbouw en natuur (zie paragraaf 2.1.2). Voor de initialisatie van GONAT zijn 2 extra gewastypen onderscheiden, te weten snijmaïs met wintergewas en snijmaïs. Het toegekende gewastype is afkomstig van de vertaling van het LGN3 naar gewastypen voor STONE en het indelen van STONE-plots op basis van onder meer het gewastype (zie paragraaf 2.1.2, 2.2, 2.3 en figuur 2.7).

De gewasverdamping wordt in eerste instantie bepaald door de gewasfactoren die in SWAP worden gehanteerd. Vervolgens worden deze bijgesteld op basis van de berekende drukhoogte (actuele verdamping) en mogelijke reductie van de verdamping onder zeer droge of natte omstandigheden. De toegepaste berekening van de verdamping in SWAP wordt hieronder uitgebreid beschreven.

Voor de berekening van de potentiële verdamping van het gewas is de verdamping van een vrij wateroppervlak (E_o^{MOW} , zie de meteorologische invoer in paragraaf 3.1.8) eerst omgezet naar een verdamping van het referentiegewas gras (ET_{ref}). Dit is gedaan door alle verdampingscijfers te

vermenigvuldigen met een gewasfactor van 0.8 (CHO-TNO, 1988). Met deze verdampingscijfers (ET_{ref}) zijn nieuwe meteo-files voor SWAP gegeneerd.

Vervolgens zijn in SWAP gewas/ruwheidsfactoren (k_c als cropfactoren) gehanteerd om de verdamping van het referentiegewas (ET_{ref}) om te zetten naar een gewas-specifieke potentiële verdamping (ET_{p0}):

$$ET_{p0} = k_c * ET_{ref}$$

In tabel 3.1 staan de gehanteerde gewas/ruwheidsfactoren vermeld

Tabel 3.1	Gewas	Groeiperiode	DVS	K_c
Gewas/ruwheidsfactoren voor omzetting van ET_{ref} naar ET_{p0} , weergegeven per groeiperiode/development stage (bron: van Dam <i>et al.</i> , 1997)				
	Snijmaïs	20/5 - 17/10	0,0	1,0
			2,0	1,2
			1,0	1,2
	Overige bouwland	10/5 - 1/10	0,0	1,0
			2,0	1,0
	Grasland	1/1 - 31/12	0,0	1,0
			2,0	1,0 ¹
	Wintertarwe	1/1-15/5 en 1/11- 31/12	0,0	1,0
			2,0	1,0

Vervolgens is ET_{p0} verdeeld over bodem (E_{pot}) en gewas (T_{pot}) met de waarden van de Leaf Area Index (LAI) uit tabel 3.2.

Tabel 3.2	Gewas	DVS	LAI
LAI voor verdeling van ET_{p0} over T_{pot} en E_{pot} , gebaseerd op berekeningen met Wofost			
	Snijmaïs	0,0	0,05
		0,3	0,14
		0,5	4,1
		1,0	5,0
		1,4	5,8
		2,0	5,2
	Overige bouwland	0,00	0,14
		0,5	0,34
		1,0	0,84
		1,24	6,17
		1,54	3,94
		1,73	3,56
		1,96	1,41
	Grasland	0,0	3,0
		2,0	3,0

Voor de omzetting van potentiële naar actuele bodemverdamping is de empirische methode van Black (1969, Van Dam *et al.*, 1997) gekozen. Vervolgens is in SWAP het minimum van de actuele bodemverdamping en de maximale Darcy flux gehanteerd. Parameter-waarden zijn overgenomen uit de user's guide SWAP (Kroes *et al.*, 1999) en niet gevarieerd per bodemtype.

Voor de omzetting van potentiële naar actuele gewasverdamping zijn stress-functies per gewas gehanteerd volgens Van Dam *et al.* (1997). Uitzondering hierop is gras, waarvoor de natschade is gereduceerd. De stress-functies zijn gegeven in tabel 3.3.

Noot

1 Voor grasland is een gewashoogte van 12 cm gebruikt, hetgeen resulteert in een k_c van 1,0

Voor de hydrologische berekeningen zijn dezelfde bewortelingsdiepten toegepast als de hydrologische berekeningen in (Kroes *et al.*, 1999).

Tabel 3.3

Kritieke drukhoogtes (cm) gehanteerd bij het berekenen van de actuele gewasverdamming

Gewas	h1	h2	h3h	h3l	h4
grasland	0	-1	-200	-800	-8000
snijmaïs	-15	-30	-325	-600	-8000
overig bouwland (aardappelen)	-10	-25	-320	-600	-16.000
wintergewas (wintertarwe)	0	-1	-500	-900	-16.000

3.1.3 Drainageweerstanden

Voor de berekeningen in SWAP zijn 5 drainagesystemen onderscheiden (zie tabel 3.4). Voor elk drainagesysteem moeten weerstanden en ontwateringsbases worden onderscheiden, de laatste wordt behandeld in paragraaf 3.1.4. De weerstanden van de primaire, secundaire en tertiaire ontwatering zijn berekend met MONA en zullen eerst worden behandeld. Vervolgens zullen de buisdrainage en maaiveldsdrainage afzonderlijk worden toegelicht.

Tabel 3.4

Indeling van drainagesystemen voor de SWAP-berekeningen

Drainagesysteem	Toepassing
Primair	Waterlopen 3 - 6 meter en waterlopen breder dan 6 meter volgens de Top10-vector
Secundair	Waterlopen smaller dan 3 meter, volgens Top10-vector
Tertiair	Greppels en droogvallende waterlopen, volgens Top10-vector
buisdrainage	criteria op basis van diverse kenmerken: hydrotype, grondwatertrap, bodemtype, landgebruik en slootdichtheden
maaiveldsdrainage	ieder plot

Weerstanden primair, secundaire en tertiaire ontwatering

De weerstanden voor het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem zijn berekend met behulp van de formule voor de voedingsweerstand van De Lange (1996), in vereenvoudigde vorm²:

$$c^* = (c_1' + c_0) \times (L/2\lambda) \times \text{ctnh}(L/2\lambda) + c_0 \times (L/P_w)$$

en

$$c_{\text{dran}} = c^* - c_1'$$

met:

c^*	= voedingsweerstand tussen watervoerend pakket en afwateringssysteem (d)
c_{dran}	= drainageweerstand van het freatische grondwater naar het afwateringssysteem (d)
c_0	= intreeweerstand sloot (d)
L	= slootafstand (m)
P_w	= natte omtrek sloot (m)
$c_1' = c_1 + D/k_v$	= totale verticale weerstand doorstroomde laag (d)
c_1	= verticale weerstand binnen de deklaag (d)
D	= gemiddelde dikte verzadigde deel van de deklaag (m)
k_v	= verticale verzadigde doorlatendheid (m/d)
$\lambda = \sqrt{(k_h D c_1')}$	= spreidingslengte (m)
k_h	= horizontale verzadigde doorlatendheid (m/d)
ctnh	= cotangenshyperbolicus (-)

Noot

- ² Voor de uitgebreide formules wordt verwezen naar proefschrift De Lange (1996) en artikelen in stromingen (De Lange, 1997)

Voor het toepassen van de formule zijn voor elk te onderscheiden systeem de volgende gegevens nodig

1. slootdichtheid
2. verticale weerstanden binnen het topsysteem
3. doorlaatvermogens van het topsysteem
4. intreeweerstanden
5. de afmetingen van het drainagesysteem (effectieve breedte)

Voor de slootdichtheden zijn, binnen ARC/INFO, voor elke klasse van waterlopen van het Top10-vector bestand de lengten van de waterlopen geaccumuleerd per gridcel van 250 meter, dit zijn zogenaamde slootdichtheden. Met behulp van de vertaling in tabel 3.4 zijn bestanden met slootdichtheden voor het primaire, secundaire en tertiaire gegenereerd. De slootdichtheidsgegevens zijn vervolgens binnen MONA (Kroon en Werkman, 2001) verwerkt tot slootafstanden en afstanden tot de sloten. Met bovengenoemde formule van De Lange is de voedingsweerstand en drainageweerstand berekend voor een systeem tussen 2 evenwijdige sloten. Binnen dit systeem kan de weerstand ook worden gespecificeerd, met een analytisch afgeleide factor (De Lange, 1997). Deze zogenaamde "E-factor" zorgt ervoor dat dicht bij de sloten een lagere weerstand wordt berekend dan midden tussen de sloten. Voor deze E-factor wordt uit het slootdichtheidbestand met MONA een afstand van de cel tot de sloot afgeleid.

Verticale weerstand topsysteem

Voor het bepalen van de voedingsweerstand (C^*) en de hieruit afgeleide drainageweerstand (C_{dran}), moet de verticale weerstand van het topsysteem (C_1') worden bepaald. De dikte van dit topsysteem varieert sterk binnen Nederland, maar grofweg kan worden gesteld dat dit het systeem is waarbinnen nog radiale stroming richting de ontwateringsmiddelen optreedt. Voor het voorstellingsvermogen kan een diepte van enkele meters (circa 5) onder het diepste ontwateringssysteem (het primair) worden gehanteerd, hoewel deze diepte sterk plaatsafhankelijk is. Voor de verticale weerstand is de weerstand van de eventueel aanwezige slecht doorlatende laag onder het topsysteem van belang, maar ook van de eventueel aanwezige stagnerende laagjes hierbinnen.

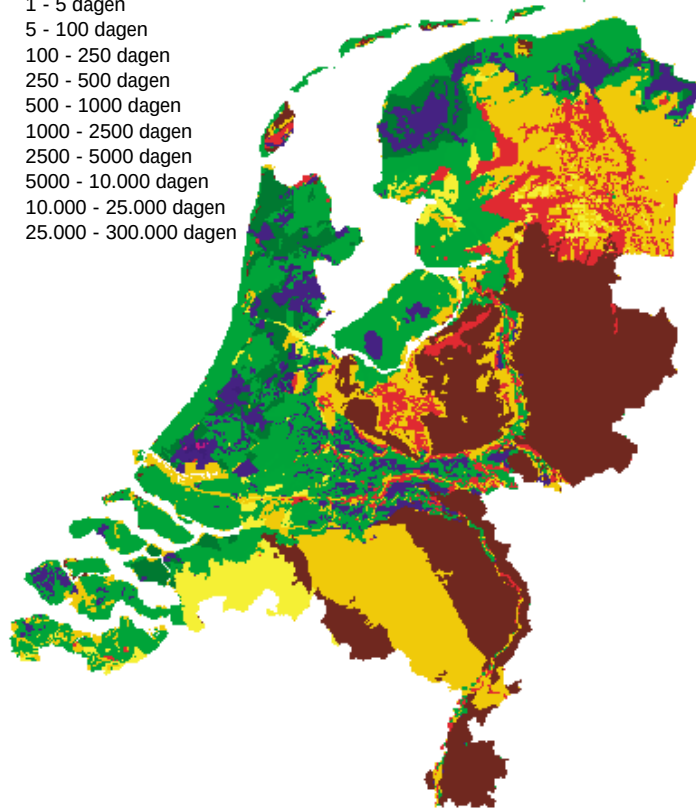
In eerste instantie is een representatieve verticale weerstand per hydrotype bepaald, op basis van geologische gegevens die aanwezig waren bij Alterra, RIVM en RIZA. Uit deze bestanden zijn de puntwaarnemingen en vlakgegevens door een combinatie van statistische analyse binnen GIS en expert-judgement toegekend per hydrotype. Genoemde benadering is een eerste inschatting en een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, waarvoor in de toekomst verbetering gewenst is.

Voor het Holoceen was het grotendeels niet mogelijk om met deze benadering een representatieve weerstand vast te stellen per hydrotype, omdat de ruimtelijke variatie binnen het hydrotype dikwijls te groot was. Daarom zijn voor het holocene gebied waarden uit de NAGROM-schematisatie gebruikt. Ook in Drenthe bleek de variatie in verticale weerstand per hydrotype te groot. Voor dit gebied is gebruik gemaakt van het keileem / beekleem bestand van de provincie. Dit bestand hanteert 4 dikten: 0,5, 1, 2 en (>) 4 meter. Per meter dikte is 100 dagen verticale weerstand toegekend. Voor die gridcellen waar volgens dit bestand geen leem aanwezig is, is de representatieve waarde van het hydrotype toegepast.

Ook voor de beekdalen van de formatie van Singraven bleek de verticale weerstand moeilijk in te schatten, vanwege de grote ruimtelijke variatie. Bijkomend nadeel voor dit hydrotype, is de sterk verspreide ligging. Voor het hydrotype Singraven is daarom de waarde uit de omgeving toegekend, vermeerderd met 10 dagen, om aanwezige leemlaagjes of andere moeilijk doorlatende laagjes te karakteriseren.

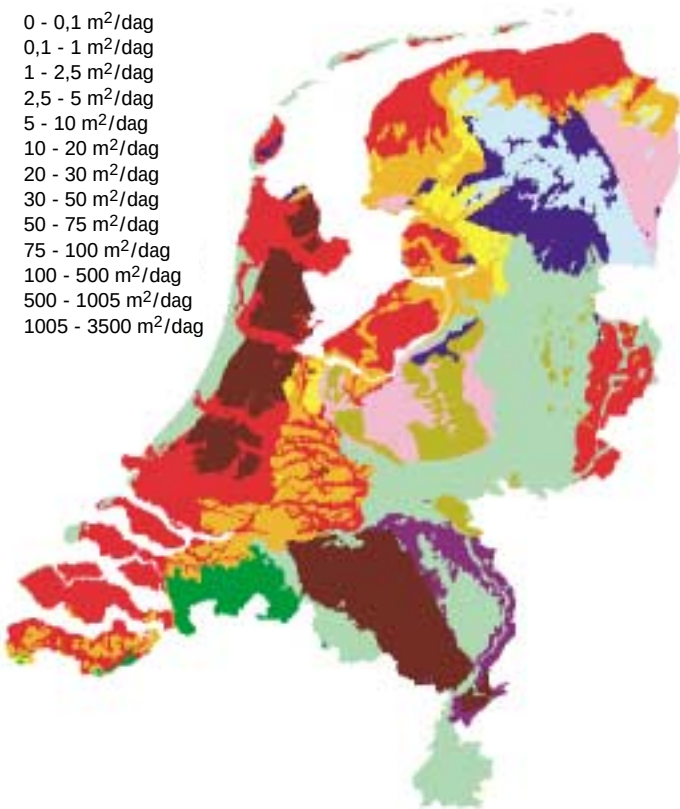
Figuur 3.1

Schatting verticale weerstand topsys-
teem



Figuur 3.2

Schatting kD topsysteem



De resultaten zijn weergegeven in figuur 3.1 en tabel 3.5. Benadrukt wordt dat dergelijke waarden nooit uniform toepasbaar zijn, maar behoren bij een modelschematisatie van het topsysteem, zoals die is toegepast in MONA en NAGROM.

Tabel 3.5

Schatting verticale weerstand van het topsysteem

Hydrotype	Nr	Weerstand (dagen)
.....	...	
Betuwe-komgronden	1	NAGROM
Betuwe-stroomruggronden	2	NAGROM
Dekzand profiel	3	0
Duinstrook	4	2400
Eem en/of keileemprofiel	5	NAGROM
Keileem profiel	6	80
Keileem-Peeloo profiel	7	150
Löss profiel	8	0
Nuenengroep profiel	9	180
Oost-Nederland profiel	10	0
Open profiel	11	0
Peeloo profiel	12	150
Singraven-beekdalen	13	omgevingswaarde + 10
Stuwwallen	14	0
Tegelen/Kedichem profiel	15	450
Westland-C-profiel	16	NAGROM
Westland-D-profiel	17	NAGROM
Westland-DC-profiel	18	NAGROM
Westland-DH-profiel	19	NAGROM
Westland-DHC-profiel	20	NAGROM
Westland-H-profiel	21	NAGROM
Westland-HC-profiel	22	NAGROM

Voor open profielen is in feite geen noemenswaardige verticale weerstand aanwezig. Voor dergelijke systemen wordt de verticale weerstand voor-namelijk bepaald door de anisotropie en berekend als het quotiënt van de dikte van het topsysteem en de verticale doorlatendheid. Voor de anisotropie is onderstaande tabel gehanteerd.

Tabel 3.6

Schematisatie van de anisotropie per bodemfysische eenheid

Bodemfysische eenheid (zie tabel 2.6)	Anisotropie kv/kh (-)
.....	
1, 4, 13	0,2
2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15	0,5
9, 16-22	0,1
11, 14, 23	1

Doorlaatvermogen kD

Het doorlaatvermogen is op identieke wijze als de verticale weerstand bepaald uit analyse van bij RIVM en Alterra aanwezige databestanden en op basis van expert-judgement. Ook voor dit bestand geldt dat het een eerste inschatting is en dat verbetering dringend gewenst is. De waarden zijn weergegeven in figuur 3.2 en tabel 3.7.

Tabel 3.7

Schatting doorlaatvermogen van het topsysteem

Hydrotype	Nr	kD (m ² /d)
.....	...	
Betuwe-komgronden	1	12
Betuwe-stroomruggronden	2	15
Dekzand profiel	3	20
Duinstrook	4	12
Eem en/of keileemprofiel	5	200
Keileem profiel	6	55
Keileem-Peeloo profiel	7	50
Löss profiel	8	15
Nuenengroep profiel	9	10
Oost-Nederland profiel	10	5
Open profiel	11	1000

Hydrotype	Nr	KD (m ² /d)
Peeloo profiel	12	250
Singraven-beekdalen	13	1
Stuwwallen	14	3500
Tegelen/Kedichem profiel	15	30
Westland-C-profiel	16	6
Westland-D-profiel	17	3
Westland-DC-profiel	18	5
Westland-DH-profiel	19	2
Westland-DHC-profiel	20	5
Westland-H-profiel	21	1
Westland-HC-profiel	22	6

Intreeweerstanden

Voor de intreeweerstanden zijn waarden toegekend per bodemtype. Globaal is voor de zand- en veengebieden een waarde van 1 dag toegekend, voor de leemgebieden 2 dagen en voor de kleigebieden 5 dagen. Voor beken in hellend gebied, het hydrotype Singraven, is een waarde van 0,5 toegekend. De specificatie van intreeweerstand per bodemfysische eenheid is gegeven in tabel 3.8.

Tabel 3.8

Intreeweerstand per bodemfysische eenheid of hydrotype

Bodemfysische eenheid (zie tabel 2.6) of hydrotype	Intreeweerstand (dagen)
1-5, 7-14, 18-20, 22, 23	1
15, 16, 21	2
6, 17	5
Singraven	0,5

Breedte waterlopen

In de formule van De Lange moet een breedte van de waterloop worden toegekend, die de natte omtrek vertegenwoordigt. De breedte van de waterlopen hangt direct samen met de breedte-klasse van het Top10-vector bestand (zie tabel 3.4). Per drainagesysteem is een gemiddelde waarde geschat voor de effectieve natte omtrek. Tabel 3.9 geeft de toegekende breedte weer per drainagesysteem.

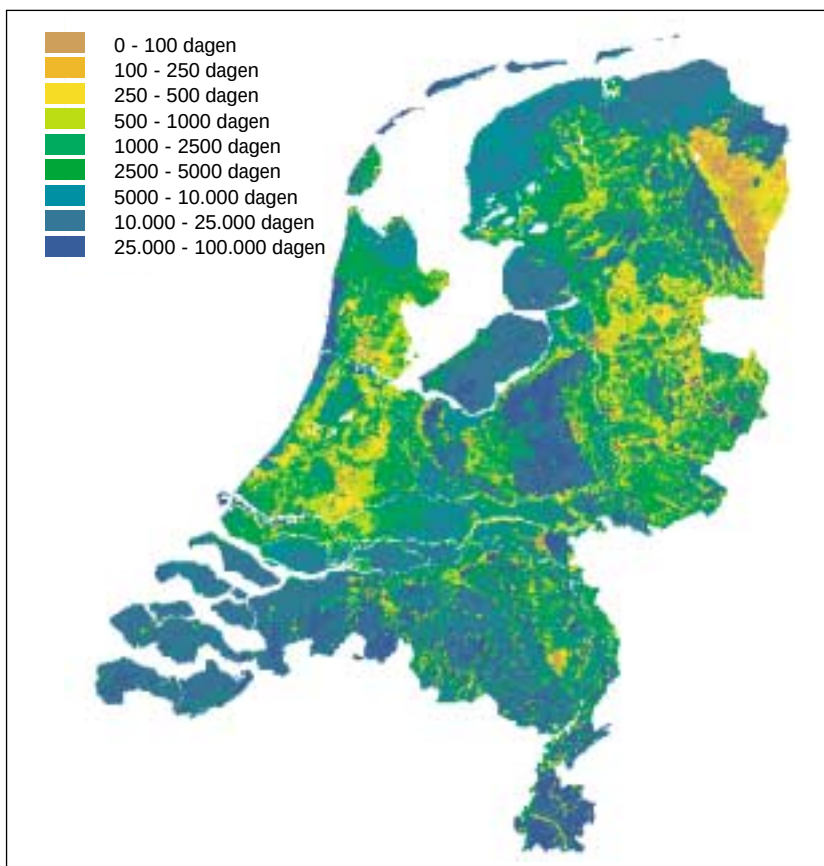
Tabel 3.9

Breedte waterloop toegekend per ontwateringssysteem

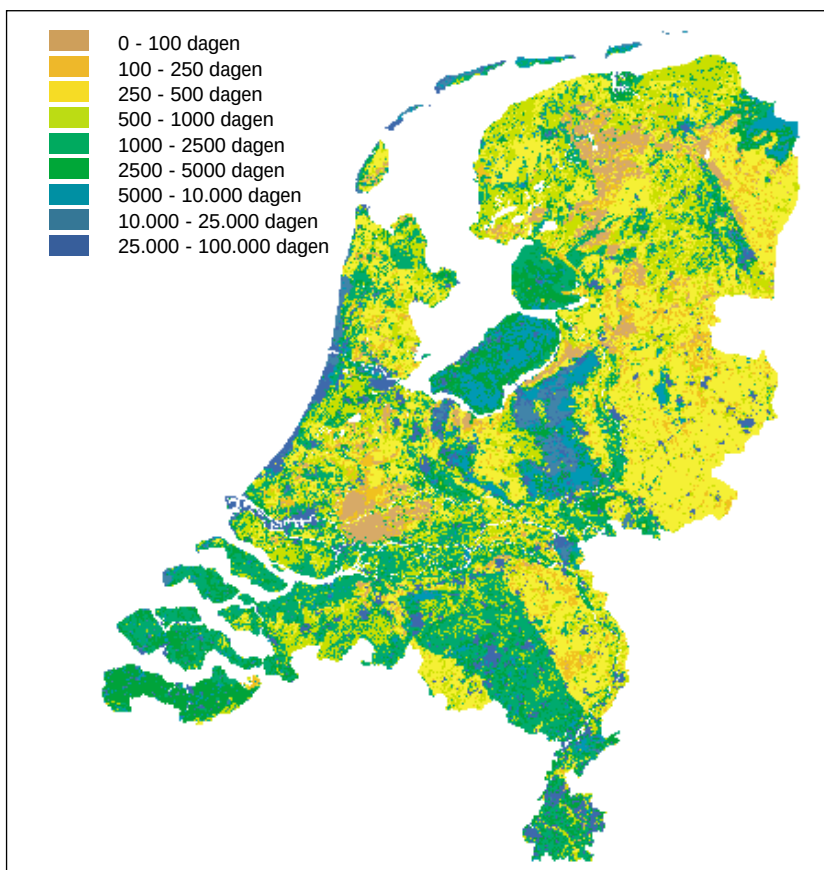
Drainagesysteem	Breedte waterloop (m)
primair	5
secundair	2
tertiair	1

Door de hierboven besproken invoerparameters in te vullen in de bovengenoemde formule van De Lange, is voor elke 250 meter gridcel in Nederland een voedingsweerstand berekend. Vervolgens is de drainageweerstand berekend als het verschil tussen de voedingsweerstand en de totale verticale weerstand van het topsysteem. Als laatste stap is voor elke STONE-plot de representatieve drainageweerstand bepaald per afwateringssysteem, door per plot de voorkomende drainageweerstanden harmonisch te middelen. Door deze manier van middelen wordt de drainageflux van een STONE-plot gelijk gesteld aan de som van de fluxen van de binnenliggende cellen en blijft de waterbalans per plot gehandhaafd. Het resultaat van deze harmonische middeling is voor de 3 drainagesystemen weergegeven in de figuren 3.3, 3.4 en 3.5.

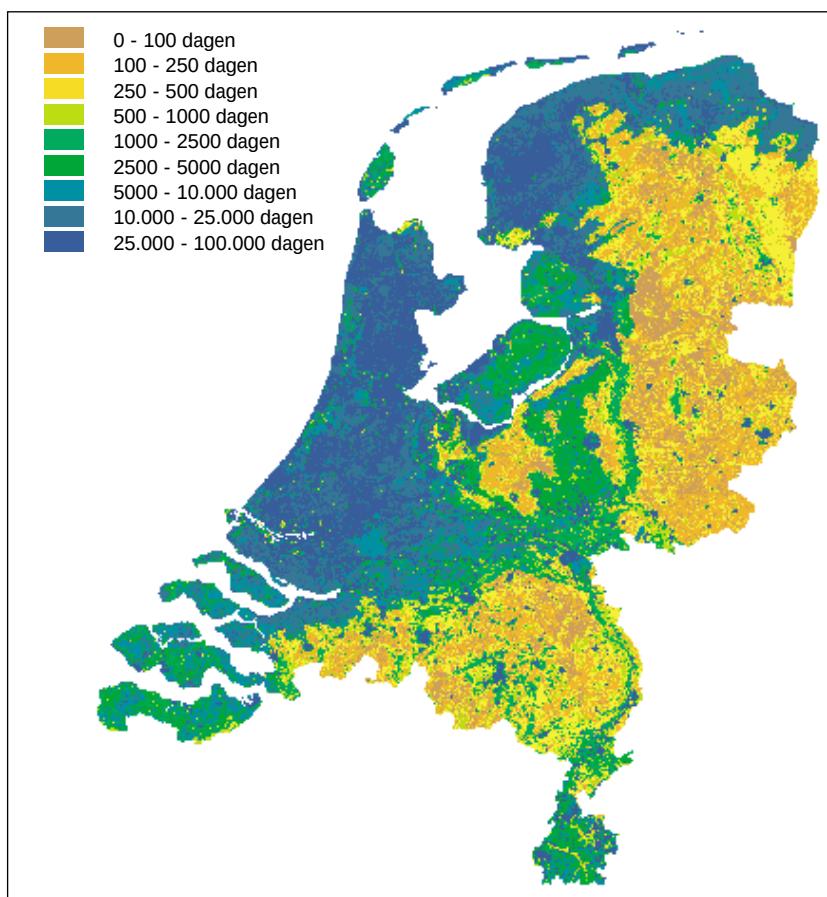
Figuur 3.3
Toegepaste primaire drainageweerstand



Figuur 3.4
Toegepaste secundaire drainage-
weerstand



Figuur 3.5
Toegepaste tertiaire drainageweerstand



Opvallend is dat het tertiaire drainagesysteem nauwelijks vertegenwoordigd is in het holocene deel van Nederland. Dit komt omdat de indeling in drainagesystemen gebaseerd is op de breedte van de waterlopen en niet direct op een onderscheid in snel en langzaam transport. Het snelle transport wordt met name in dit deel van Nederland veelal vertegenwoordigd door drainagebuizen.

Buisdrainage

In de UC-hydrologie (Massop *et al.*, 2000) was buisdrainage toegekend aan het zeekleigebied, komgronden en de droogmakerijen. Tevens werd verbetering aanbevolen en een aantal vuistregels genoemd, die hier toe zouden leiden. Deze vuistregels voor combinaties van landgebruik en grondwatertrap (Gt) dienen als basis voor de schematisatie van buisdrainage en zijn verfijnd of verbeterd op basis van expert-judgement, met behulp van de bestanden voor hydrotypen, bodemtype, en slootdichtheden. De volgende criteria zijn gehanteerd:

algemeen:

- plots met de landgebruiksvorm natuur zijn niet gedraineerd
- de veenprofielen met bodemfysische eenheden 1, 2 en 3 zijn niet gedraineerd. Ook de hydrotypen met HC- en H-profielen zijn niet gedraineerd vanwege oppervlakkige veenlagen
- er is geen buisdrainage mogelijk bij ondiepe ontwatering (diepte secundaire ontwatering < 65 cm)
- voor het landgebruik gras en maïs zijn dezelfde criteria toegepast, omdat veel wisselbouw wordt toegepast

voor het pleistocene gebied zijn gedraineerd:

- gras/maïs met Gt I, II, II*, III
- gras/maïs met Gt V als de totale slootdichtheid per 250 meter-cel groter is dan 400 meter
- gebieden met het volgende landgebruik: bollen, boomgaarden, boomkwekerijen en glastuinbouw
- bouwland (overige landbouw) met Gt I, II, II*, III, III*, V en V*

voor het holocene gebied zijn gedraineerd:

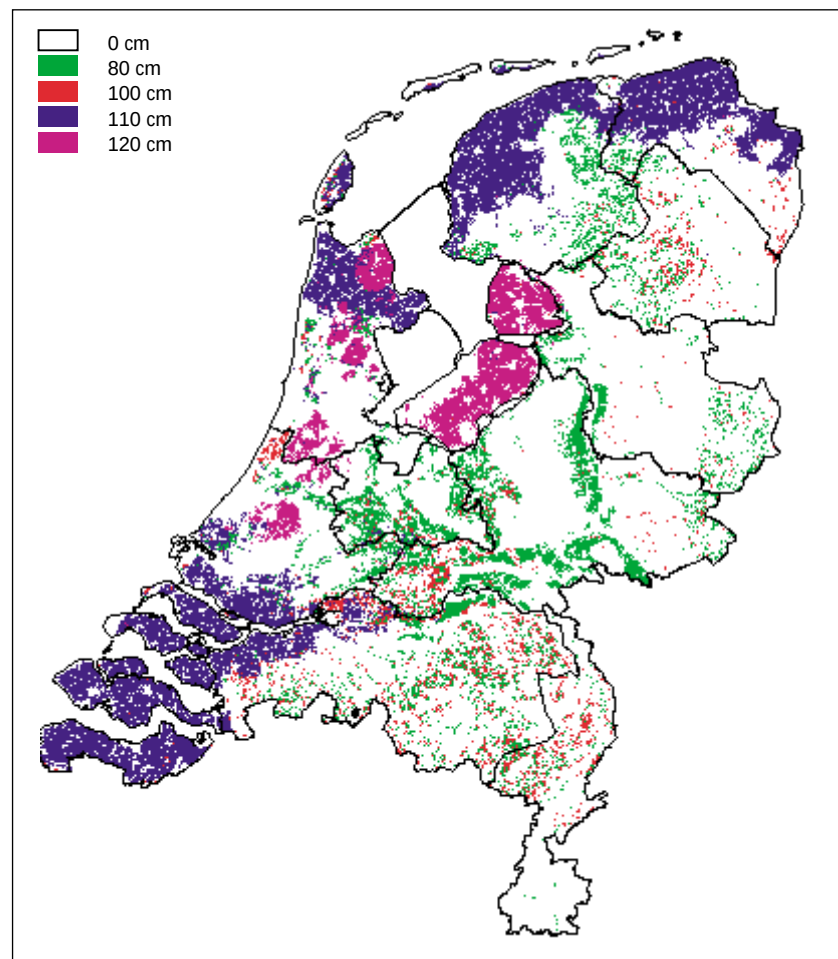
- bouwland (overige landbouw) binnen de DHC- en DH-profielen
- de landschapsregio zeeleigebied (zie Massop *et al.*, 2000)
- de landschapsregio droogmakerijen (zie Massop *et al.*, 2000)
- komgronden (hydrotipe betuwe-komgrond)

Bovenstaande criteria zijn eerst toegepast voor elke 250 meter gridcel in Nederland. Alleen als voor een STONE-plot in meer dan de helft van het oppervlak buisdrainage aanwezig is, is buisdrainage toegekend aan de plot.

De weerstand van de buisdrainage is (uniform) geschat op 100 dagen. In figuur 3.6 is de buisdrainage voor de STONE-plots weergegeven, in de figuur is tevens de diepte (cm - mv) van de buisdrainage weergegeven (paragraaf 3.1.4).

Figuur 3.6

Ligging buisdrainage en diepte toegepast in STONE



Maaiveldsdrainage

Bij hoge grondwaterstanden gaat het maaiveld als drainagemiddel fungeren. Daarom wordt voor de berekeningen met SWAP een 5^e drainage-middel onderscheiden: de maaiveldsdrainage. Het maaiveld is niet vlak en lagere plekken zullen het eerst draineren. Bij een grondwaterstand van 20 cm onder maaiveld draagt al een redelijk deel van het maaiveld bij aan deze vorm van drainage. De weerstand bij deze diepte is relatief laag en naar schatting 30 dagen. Voor de situatie dat de grondwaterstand gelijk is aan het gemiddeld maaiveld is aangenomen dat de weerstand terugloopt tot minimaal 10 dagen. In formulevorm is dit:

$$\gamma_{\text{drain}} = \max[(30 - (h_{\text{drain}} - h_{\text{grondwater}})); 10]$$

waarin:

γ_{drain} = maaiveldsdrainageweerstand (d) van het hoogste drainage systeem

h_{drain} = ontwateringsbasis (cm t.o.v. gemiddeld maaiveld) van de maaiveldsdrainage

$h_{\text{grondwater}}$ = grondwaterstand (cm t.o.v. gemiddeld maaiveld).

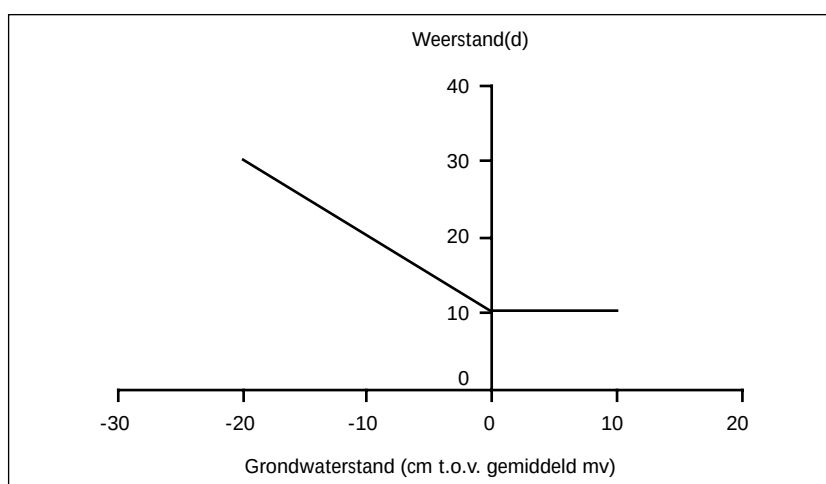
Bovenstaande formule is grafisch weergegeven in figuur 3.7.

Voor de ontwateringsbasis h_{drain} is een diepte van 20 cm onder maaiveld gekozen.

Er is (vooralsnog) geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd en de gekozen parameterisatie moet als voorlopig worden beschouwd.

Figuur 3.7

Grafische weergave van de drainage-weerstand van het maaiveldsdrainage-systeem



3.1.4 Ontwateringsdiepten

Streefpeilen

Het streefpeil is het stuwpeil/polderpeil waarop de stuwen zijn ingesteld. Er is onderscheid gemaakt tussen een zomer- en een winterpeil, op basis van voortschrijdend inzicht tijdens het modelleren. Dit onderscheid bleek namelijk nodig om een goede dynamiek van de grondwaterstand te simuleren in met name holocene Nederland. Het werkelijke peil wordt bepaald door de stuwkarakteristiek (relatie tussen open waterstand en afvoer). Of het streefpeil kan worden gehandhaafd in droge perioden is afhankelijk van de kwel en wateraanvoersituatie. Voor het holocene gebied is aangenomen dat het streefpeil door wateraanvoer kan worden gehandhaafd. In delen

van het pleistocene gebied is aangenomen dat een beperkte wateraanvoer mogelijk is (zie wateraanvoer in paragraaf 3.1.6).

In tabel 3.10 is het streefpeil voor de wintersituatie weergegeven voor kleibouwlanden, veenweidegebied en komgronden. Voor de overige gebieden is het streefpeil toegekend op basis van de combinatie van het hydrotype en de Gt. In bijlage 3.1 zijn deze streefpeilen weergegeven voor de wintersituatie.

Tabel 3.10

Streefpeilen voor de wintersituatie voor kleibouwland, veenweide en komgrond

Gt	Streefpeil (cm - mv)		
	Kleibouwland	Veenweide	Komgrond
I	60	30	40
II	80	40	60
III	110	70	90
IV	120	80	100
V	130	90	110
VI	150	110	130
VII	185	145	165

Voor de streefpeilen in de zomersituatie is veelal een 30 cm hoger peil gehanteerd dan voor de wintersituatie. Voor komklei, kleibouwland en veengebieden is een afwijkend verschil in zomer- en winterpeil gehanteerd (zie tabel 3.11).

Tabel 3.11

Verschillen in streefpeilen tussen de zomer- en wintersituatie

Type gebied	Verschil zomerpeil - winterpeil (cm)
kleibouwland	0
veenweide	20
veenkoloniën	50
komklei	20
overig	30

Ontwateringsbasis primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem

Waterlopen draineren zodra de grondwaterstand hoger is dan het droogleggingsniveau. Als voldoende water aanwezig is wordt het droogleggingsniveau bepaald door het streefpeil, als dit niet het geval is, is het droogleggingsniveau gelijk aan de ontwateringsbasis van de waterlopen. Het is mogelijk dat de ontwateringsbasis van waterlopen boven het streefpeil ligt, in dit geval draineren de (vaak kleine) waterlopen alleen in de situatie waarbij de grondwaterstand boven de ontwateringsbasis stijgt. In bijlage 3.2 is de ontwateringsbasis van het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem weergegeven, per combinatie van hydrotype en gt-groep. De waarden zijn verkregen op basis van veldonderzoek en expert-judgement. De procedure staat beschreven in (Massop *et al.*, 2000). De in bijlage 3.2 vernieuwde tabel is verkregen op basis van het veldonderzoek uit (Massop *et al.*, 2000), aanvullend veldonderzoek, bijvoorbeeld in het holocene deel van Nederland, en voortschrijdende inzichten.

Diepte van de drainagebuizen

Aan de buisdrainage is een diepte van 80 tot 120 cm onder maaiveld toegekend (zie tabel 3.12). De diepten zijn tevens weergegeven in figuur 3.6.

Tabel 3.12

Toegekende diepte van de drainagebuizen

Kenmerken plots	Diepte (cm-maaiveld)
droogmakerijen	120
zeekleigebied	110
gras	80
bouwland	100

Diepte van de maaiveldsdrainage

De maaiveldsdrainage is voor elk plot aanwezig op een diepte van 20 cm onder het maaiveld tot aan het maaiveld, waarbij de drainageweerstand afneemt richting het maaiveldoppervlak.

3.1.5 Onderrandvoorwaarde

Met behulp van de modelinstrumentarium NAGROM-MONA zijn kwelfluxen berekend van het eerste watervoerend pakket naar het hydrologisch topsysteem. Er is vanwege pragmatische redenen gekozen voor (alleen) dit instrumentarium, omdat hierin met relatief geringe inspanning een nieuwe schematisatie kon worden doorgevoerd. De berekende resultaten zijn vervolgens door de consensusgroep hydrologie beoordeeld.

De diepte van het kwelvlak wordt bepaald door de dikte van het topsysteem. Deze varieert sterk binnen Nederland, maar grofweg kan worden gesteld dat dit het systeem is waarbinnen nog radiale stroming richting de ontwateringsmiddelen optreedt. Voor het voorstellingsvermogen kan een diepte van enkele meters (circa 5) onder het diepste ontwateringssysteem (het primair) worden gehanteerd, hoewel deze diepte sterk plaatsafhankelijk is. Voor verdere specificatie van de dikte van het topsysteem wordt verwezen naar de indeling in hydrotypen (Massop *et al.*, 2000), die uitgebreider worden behandeld in (Massop *et al.*, 1997).

Bij de berekening zijn de grondwateraanvulling vanuit de onverzadigde zone (in MOZART) en de stijghoogten (uit NAGROM) iteratief op elkaar afgesteld. Per 250 meter cel in Nederland is de volgende formule toegepast:

$$s = (\varphi - p) / c^* - (c_{\text{dran}} / c^*) N \quad (\text{de Lange 1996})$$

met:

c^* = voedingsweerstand (d)

s = kwel- of infiltratieflux (m/d) (positief = kwel, negatief = infiltratie)

φ = stijghoogte in het eerste regionale watervoerende pakket (meter t.o.v. NAP)

p = ontwateringspeil of drainagebasis (meter t.o.v. NAP)

c_{dran} = drainageweerstand (d) (voedingsweerstand min verticale weerstand)

N = neerslagoverschot (m/d)

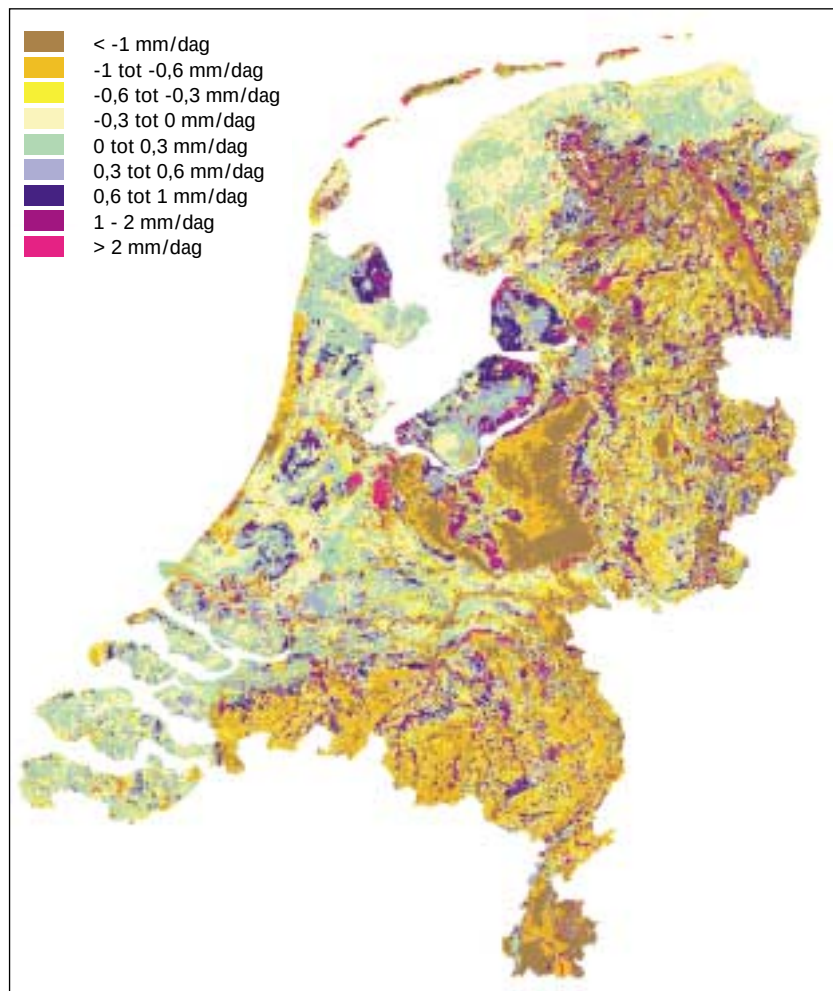
Hierbij is de term $(p + c_{\text{dran}} * N)$ gelijk aan het gemodificeerd peil (P^*) van het topsysteem (zie voor een uitgebreide beschrijving De Lange 1996). De stijghoogte wordt voor elk middelpunt van de cel uit het door NAGROM berekende stijghoogteveld bevraagd. De waarden voor de voedingsweerstand en gemodificeerde peilen worden per gridcel berekend met MONA (Kroon en Werkman, 2001), op basis van de weerstanden en de ontwateringsdiepten besproken in paragrafen 3.1.3 en 3.1.4. De berekende kwelfluxen hebben een bereik van ongeveer -2,5 tot 10 mm/dag. Om de onderrand (kwel/wegzijgingsflux) per STONE-plot te bepalen, zijn de berekende fluxen vervolgens oppervlakte gewogen gemiddeld per STONE-plot. De berekende flux bleek in een aantal gebieden te hoog om de goede grondwaterstanden te modelleren met SWAP, met name onderaan de hellingen in het pleistocene gebied. Door de grondwateraanvulling uit SWAP via MONA eenmalig terug te koppelen ("beperkte terugkoppeling") met het model voor de ondergrond, NAGROM, is een nieuwe kwelflux berekend en dit probleem grotendeels verholpen. De kwel en wegzijging is hierbij aangepast op de nieuwe waarde van het neerslagoverschot. Zo is in gebieden (met geringe slootdichtheid) de wegzijging bijvoorbeeld begrensd op basis

van het maximale neerslagoverschot; in de praktijk komt dit neer op 1,2 mm/dag. Bovendien zijn de kwelfluxen in de beekdalen in geringe mate (circa 0,1 tot 9 procent) gecorrigeerd, omdat een deel van deze flux direct naar de beken gaat en daarmee niet direct ten goede komt aan de (landelijke) plots. De berekening van deze correctie is beschreven in het functionele detailontwerp van MOZART (RIZA, 1996).

De fluxen die zijn toegepast op de STONE-plots zijn weergegeven in figuur 3.8. Voor het pleistocene gebied is temporele variatie van de onderrand toegepast. Hiervoor is met de nieuwe weerstanden de kwelelasticiteit berekend. Vervolgens is met een gegeven verschil tussen hoogste en laagste grondwaterstand een in de tijd variërende, sinusvormige, onderrand berekend, waarbij de piek van de kwel optreedt in de wintersituatie. De toegepaste methode is beschreven in (Massop *et al.*, 2000). In het holocene gebied is geen temporele variatie van de onderrand toegepast, omdat voor dit gebied te grote onzekerheid is over de variatie. Voor enkele locaties bleek namelijk uit observaties van stijghoogten dat bij aanwezigheid van een dikke scheidende laag de maximale kwelintensiteit niet in het winterseizoen, maar mogelijk in het zomerseizoen optreedt.

Figuur 3.8

De onderrand voor de STONE-plots:
kwel/wegzijgingsfluxen

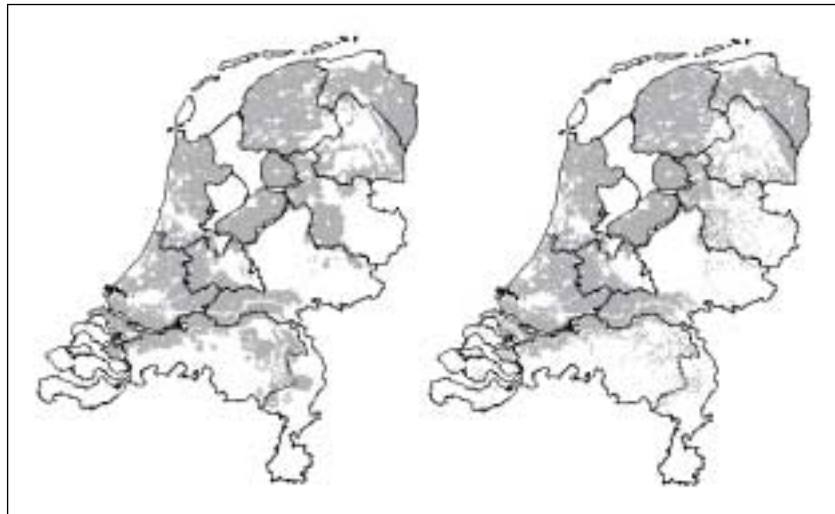


3.1.6 Wateraanvoer

Voor het bepalen van gebieden waar wateraanvoer aanwezig is, is een GIS-kaart samengesteld uit verschillende gegevensbronnen aanwezig bij het

RIVM, Alterra en het RIZA, met name de rijkswaterstaatskaarten (voorloper van het WIS), en het WIS. Enkele gebieden zoals Texel (geen aanvoer), de kop van Groningen (geen aanvoer) en het noordelijk deel van de Betuwe zijn handmatig aangepast. Het resultaat is weergegeven in figuur 3.9 (links). De kaart met polygonen is vervolgens vergrid met een celgrootte van 250 meter. Vervolgens is wateraanvoer toegekend aan het landelijke gebied met STONE-plots, alleen als voor een STONE-plot in meer dan de helft van het areaal wateraanvoer mogelijk is. Doordat het bestand met wateraanvoergebieden niet is opgenomen in de ruimtelijke indeling, wordt in het pleistocene deel van Nederland, met name in Salland en de Peel, ruimtelijk een diffuser beeld verkregen van wateraanvoergebieden. In figuur 3.9 (rechts) is het landelijk gebied weergegeven waar wateraanvoer mogelijk is.

Figuur 3.9
 Wateraanvoergebieden: basisbestand (links) en toepassing op het landelijk gebied in STONE (rechts)



Voor de hydrologische modellering is in het holocene deel van Nederland de wateraanvoer vrijwel onbeperkt verondersteld (10 mm/dag), in het pleistocene deel is de aanvoer beperkt tot 1,5 mm/dag.

3.1.7 Berekening

In de hydrologische modellering is verondersteld dat voor een beperkt areaal landbouwgrond berekening mogelijk is. Dit areaal is gebaseerd op berekeningscijfers van het LEI (1992) voor de jaren 1985 en 1986, en toegekend op basis van een indeling in districten en gewassen. Voor de verdeling van dit totale beregende areaal over de plots, is eerst een prioritering gemaakt van de afzonderlijke gridcellen naar behoefte aan berekening, op basis van een indeling in gewastype, bodemtype en kwelintensiteit. Het beregende areaal is toegekend aan de meest behoeftige gebieden. Deze methode staat beschreven in de gebruikershandleiding van MONA (Kroon en Werkman, 2001). Als in meer dan de helft van het aantal gridcellen binnen de STONE-plot berekening is toegekend, is berekening van de STONE-plot mogelijk. Door deze vertaling naar STONE-plots, en dus het ontbreken van de berekening bij de ruimtelijke indeling, is zowel in holoceen als in pleistoceen Nederland het beregende areaal afgenomen ten opzichte van de basisgegevens. De plots waar berekening mogelijk is, zijn weergegeven in figuur 3.10. Of er daadwerkelijk berekend wordt tijdens de hydrologische simulatie, hangt af van de vochtigheid in de wortelzone tijdens de modelberekening.

De technische criteria voor beregening in SWAP zijn overgenomen uit (Kroes *et al.*, 1999). Er vindt beregening plaats als op 20 cm diepte een bepaalde drukhoogte wordt onderschreden. Voor gras, snijmaïs en bouwland zijn deze drukhoogten respectievelijk -316, -500 en -200 cm. Het aantal beregeningsgiften is beperkt tot 2 per week. Per gift wordt beregend uit het oppervlaktewater, totdat veldcapaciteit is bereikt.

Er is voor gekozen geen beregening uit grondwater toe te kennen. Bij toekennen zou de beregening ook consistent in het regionale hydrologische model moeten worden gebracht en door de onzekerheid van de exacte locatie en diepten van onttrekkingen uit het grondwater kunnen makkelijk fouten worden geïntroduceerd. De positieve effecten van het simuleren van de effecten van beregening zouden waarschijnlijk niet opwegen tegen de negatieve effecten van deze foutenintroductie. Zie voor verdere opmerkingen over beregening de discussie in paragraaf 3.5.

.....
Figuur 3.10
Plots waar beregening mogelijk is in
STONE



3.1.8 Meteorologie

De STONE-plots zijn ingedeeld naar 15 weerdistricten, die een onderdeel vormen van de ruimtelijke indeling. De indeling in weerdistricten is tot stand gekomen door een vertaling van PAWN-districten naar weerregio's, op een zelfde wijze als in (Kroes *et al.*, 1999). Voor deze 15 weerdistricten waren decadicijfers beschikbaar voor neerslag en verdamping voor de reeks 1971 t/m 1999. Om 2 complete reeksen van 15 jaar te verkrijgen is de meteorologie van 1985 gebruikt voor het jaar 2000. Omdat er alleen voor het weerstation De Bilt ook dagelijkse waarnemingen van neerslag en

verdamping beschikbaar waren, is de dagelijkse verdeling van neerslag en verdamping van dit station toegepast op de decadijfers van de 15 districten. De gevolgen van deze benadering op de hoogte van de gesimuleerde grondwaterstanden en dus op de drainagefluxen in STONE worden verwaarloosbaar klein geacht.

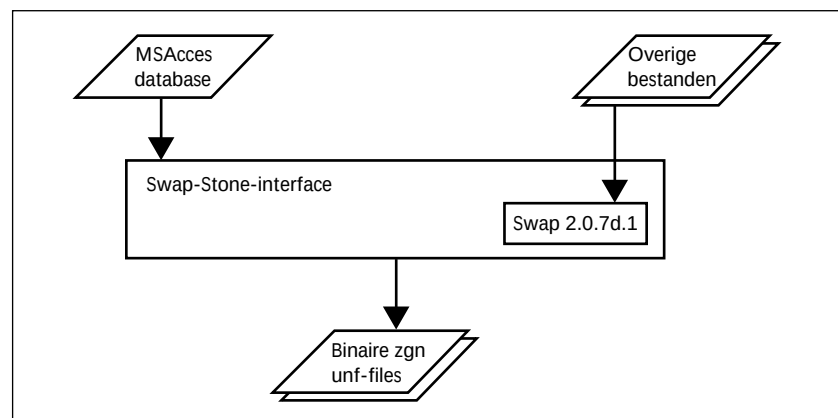
Voor genoemde 15 weerdistricten worden vanaf januari 1956 worden maandelijks neerslag en verdampingsgegevens gepubliceerd in de klimatologische overzichten van het weer (MOW-overzichten). Voor de verdampingsgegevens in de MOW-overzichten geldt (Huinink, 1998):

- 1956-1971: Verdamping per decade als E_o^{MOW} (verdamping vrij wateroppervlak) met maandgemiddelde invoer van overdag gemiddelden
- 1971-1/4/1987: Verdamping per decade als E_o^{MOW} met circa 10 procent verhoogde etmaalgemiddelden
- 1/4/1987-heden: Verdamping per decade als E_M (MakkinkVerdamping): potentiële verdamping van gras

Om de verdampingsreeks consistent te maken zijn eerst de referentie-verdampingscijfers vanaf 1/4/1987 door een factor 0,8 gedeeld om de E_o^{MOW} te krijgen. Deze factor is gebaseerd op het verschil van de gewasfactor voor gras in de Penman- en de Makkink benadering. Feddes toonde aan dat onder bepaalde omstandigheden in een langdurig gemiddeld zomerhalfjaar deze factor rond de 0,8 kan variëren (Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Voor een uitgebreide beschrijving van de verdampingsberekening in SWAP wordt verwezen naar paragraaf 3.1.2.

3.2 Hydrologische berekening

Voordat de hydrologische berekeningen plaats kunnen vinden, moet de GIS-informatie eerst worden omgezet naar SWAP-invoerfiles. Hiervoor is een interface ontwikkeld in de programmeertaal Delphi. Dit interface leest de GIS-files uit een database en geeft de informatie door aan het model SWAP, volgens onderstaand schema:



Voor STONE is het nodig de hydrologie door te rekenen in 5 serie berekeningen. Daarna vindt een conversie plaats van hydrologische gegevens uit SWAP naar gegevens voor GONAT (ANIMO), omdat de laagindeling van de hydrologie meer verfijnd is in het verticale vlak dan de laagindeling voor GONAT. Hieronder is een samenvatting gegeven van de berekeningen die nodig zijn voor STONE. De conversie van hydrologische uitvoer naar invoer voor STONE is weergegeven in paragraaf 3.4. Meer gedetailleerde gegevens zijn te vinden in (Boogaard en Kroes, 1997).

De volgende hydrologische berekeningen zijn uitgevoerd voor het STONE-instrumentarium:

1. Scenario A: yyyy bestanden (zgn. unf-files), met de meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor de initialisatie van de nutriëntenberekeningen voor de periode 1941-1970. Hiertoe is het landgebruik snijmaïs vervangen door akkerbouw (overig bouwland) (zie Boogaard en Kroes, 1997).
2. Scenario C: 6405 bestanden (zgn. unf-files), met meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor het doorrekenen van de periode 1971 t/m 1985.
3. Scenario L: yyyy bestanden (zgn. unf-files), de meteorologische gegevens van 1971 t/m 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor scenario-berekeningen waarbij snijmaïs vervangen is door snijmaïs met vanggewas.
4. Scenario Y: 6405 bestanden (zgn. unf-files), de meteorologische gegevens van 1986 t/m 1999, aangevuld met 1 maal de meteorologische gegevens van 1985. Dit scenario wordt in STONE gebruikt voor het doorrekenen van de periode 1986 t/m 2000. Het aanvullende jaar (2000) is nodig omdat het STONE-instrumentarium een reeks van 15 jaren nodig heeft.
5. Een extra bestand (swat.dat) met gesimuleerde Gt's en kwel/wegzijgingsvlak; resultaten in dit bestand zijn gebaseerd op de resultaten van scenario C.

3.3 Resultaten

De resultaten van de hydrologische berekening zijn op een aantal aspecten beoordeeld: de gemiddelde termen van de waterbalans (op basis van expert-judgement), confrontatie van de berekende grondwaterstanden met de grondwatertrappenkaart en met de huidige inzichten in de veroudering van deze kaart, op basis van een landelijke steekproef.

De beoordeling heeft plaatsgevonden voor de weerjaren 1978 t/m 1985. Er is een reeks van 8 jaar gekozen, omdat dit de minimaal benodigde periode is voor het analyseren van grondwatertrappen. Specifiek is voor deze 8 jaren gekozen, omdat deze reeks relatief weinig extreme jaren in zich heeft die de analyse, bij toepassing op een dergelijk korte periode, negatief zouden beïnvloeden (Massop *et al.*, 1999). Tijdens het aanmaken van de schematisatie is aanvankelijk ook de reeks 1970 t/m 1985 beschouwd, deze zal hier verder niet worden besproken.

Waterbalans

In tabel 3.13 zijn de gemiddelde balanst termen weergegeven voor de periode 1978 t/m 1985, gebaseerd op de berekening in SWAP op dagbasis.

Tabel 3.13

De gemiddelde balanst termen berekend met SWAP (mm/jaar) voor de simulatieperiode 1978-1985

	Gras	Maïs	Overig	Natuur	Totaal
neerslag+irrigatie	811,5	793,5	808,8	807,0	808,6
infiltratie 1 ^e orde	5,5	0,6	0,1	2,8	3,3
infiltratie 2 ^e orde	3,8	0,2	0,2	2,3	2,3
infiltratie 3 ^e orde	0,3	0,0	0,0	0,1	0,2
kwel	102,2	72,7	89,7	51,4	88,4
transpiratie	-330,8	-192,4	-183,1	-316,2	-278,3
runoff	-3,0	-1,4	-3,7	-1,0	-2,7
maai velds drainage	-82,6	-39,2	-34,5	-61,3	-63,0
drainage 3 ^e orde+buis drainage	-128,3	-134,6	-317,4	-19,2	-161,5
drainage 2 ^e orde	-61,4	-62,5	-36,2	-26,6	-49,2
drainage 1 ^e orde	-46,4	-61,9	-47,7	-27,5	-44,9
wegzijging	-98,8	-183,2	-90,7	-252,7	-128,0
interceptie	-97,9	-39,5	-22,6	-97,8	-73,3
bodemverdamping	-84,3	-156,4	-162,0	-82,0	-110,3
totale bergingsverandering	-10,2	-4,0	0,9	-20,7	-8,5

Uit de tabel is af te leiden dat gemiddeld over het oppervlakte van Nederland circa 814 mm de plots binnen komt, via neerslag, vermeerderd met irrigatie en infiltratie vanuit de drainagesystemen. Hiervan verdwijnt aan de bovenkant van de plots ongeveer 460 mm door evapotranspiratie (bodemverdamping, gewasverdamping en interceptie). Deze term wordt als plausibel beoordeeld, hoewel deze term naar de lage kant neigt.

Het aandeel van de kwel is gemiddeld over het oppervlakte geringer dan het aandeel van de wegzijging. Dit wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat een belangrijk deel van de kwelgebieden niet vertegenwoordigd is in de STONE-plots, omdat (de omgeving van) dit gebied dikwijls is geclassificeerd als water en de plot vervolgens niet als landelijk plot wordt gekenmerkt. Juist in deze natte gebieden is de verdamping hoog; dit is een mogelijke verklaring voor de enigszins laag lijkende evapotranspiratie.

Wanneer de netto wegzijging wordt verdisconteerd met de neerslag en verdamping, blijft circa 320 mm over voor drainage van het grondwater. Van deze 320 mm wordt volgens de tabel ongeveer 30 procent gedraineerd door de diepere primaire en secundaire systemen, 50 procent door de categorie drainagebuizen, greppels en droogvallende slootjes, en de overige 20 procent door nog ondiepere drainagemiddelen; het maaiveld en de oppervlakkige afspoeling. Op basis van de huidige inzichten wordt de verdeling van de drainage over de drainagemiddelen als plausibel beoordeeld.

De berekende waterbalanstermen worden op basis van de huidige inzichten in het algemeen als plausibel beoordeeld. Om de waterbalanstermen nader te kunnen beoordelen zouden de resultaten vervolgens op stroomgebiedsniveau moeten worden geanalyseerd en vergeleken met metingen.

De waterbalanstermen kunnen worden vergeleken met de oude hydrologische schematisatie van de UC-hydrologie, (Massop *et al.*, 2000 en Kroes *et al.*, 1999). Bij een directe vergelijking moet er wel op worden gelet dat de waterbalansen verschillende perioden beslaan (1977 - 1985 nu versus 1985 gerapporteerd voor de UC-hydrologie). Toch zijn er duidelijk een aantal verschillen aan te wijzen. Ten eerste zijn de termen van kwel en wegzijging in de nieuwe schematisatie groter. Dit is te verklaren doordat nu de kwel/wegzijgingsflux als onderscheidende factor in de ruimtelijke indeling is opgenomen. Door deze verbetering wordt de flux ruimtelijk minder uitgemiddeld. Ten tweede valt op dat het accent van de nieuwe hydrologie ondieper ligt; de ontwatering vindt meer plaats via de ondiepe systemen (het tertiair, de buis- en maaiveldsdrainage). De nieuwe hydrologie wordt op dit punt als meer realistisch beoordeeld. De verbetering is hoogst waarschijnlijk toe te schrijven aan een aanzienlijke verfijning van de schematisatie en betere benadering van de drainageweerstand (nu berekend met drainageformules). Daarnaast is met name de hoeveelheid drainagebuizen in de nieuwe schematisatie verbeterd, die een aanzienlijk aandeel hebben in de ondiepe drainage. Hoewel de ligging van drainagebuizen zo goed mogelijk is gegenereerd op basis van vuistregels, is de exacte locatie van deze drainagebuizen echter in de praktijk onzeker.

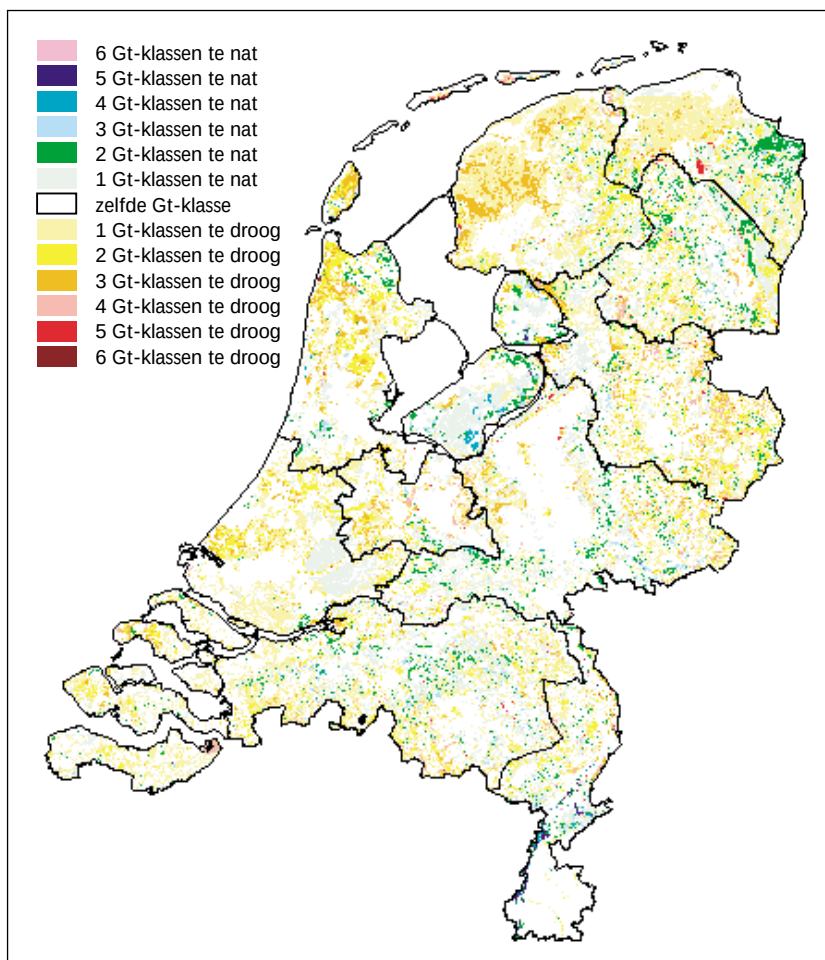
Vergelijking simulatie-resultaten met de grondwatertrappenkaart

Voor de simulatie van SWAP is voor de beoordeling van de grondwaterstanden per plot een GHG en GLG afgeleid. Hiervoor is per 14 dagen de grondwaterstand weggeschreven. Van deze grondwaterstanden worden, volgens de gangbare methode, de 3 jaarlijkse extremen gebruikt voor de berekening van de gesimuleerde grondwatertrap. Omdat de schematisatie in SWAP in een aantal stappen moest worden verbeterd op basis van de eerste resultaten van de grondwaterstanden en SWAP een lange rekentijd heeft, is bij de berekening gekozen voor een beperkte simulatieperiode van 8 jaar: 1978 - 1985.

De gemodelleerde Gt is vergeleken met de gekarteerde Gt uit de bodemkaart 1:50.000. In figuur 3.11 is het verschil tussen beiden weergegeven. De figuur laat de gebieden zien waar de gesimuleerde grondwatertrap wel (wit) en niet (gekleurd) overeenkomen met de gekarteerde grondwatertrap. In de figuur is voor de gebieden die niet overeenkomen het aantal klassen verschil weergegeven. Een gekarteerde Gt II(*), bijvoorbeeld, die als een Gt V(*) wordt gemodelleerd is 3 klassen te droog.

De gesimuleerde Gt is in 42 procent van het areaal gelijk aan de gekarteerde grondwatertrap, in 21 procent van het areaal natter en in 37 procent droger. De figuur laat zien dat de afwijkende drogere en nattere grondwatertrappen meestal 1 of 2 klassen verschillen met de grondwatertrappenkaart.

Figuur 3.11
Verskil tussen de gesimuleerde Gt en de Gt-kaart



De resultaten zijn ook weergegeven in tabelvorm. In tabel 3.14 is per gekarteerde Gt (1^e kolom) de verdeling van de oppervlakten over de diverse gesimuleerde Gt's weergegeven.

Uit de tabel wordt duidelijk voor welke Gt's de simulaties overeenkomen met de kartering in de grondwatertrappenkaart. Dit geldt met name voor de droge Gt's 6 en vooral Gt 7, maar ook voor de natte Gt 1. De goede simulatie van de droge Gt's ten opzichte van de matig natte Gt's (3, 4 en 5) is zeer wel mogelijk een aanwijzing voor het bekende feit dat de Gt-kaart een te natte situatie aangeeft. Tegenstrijdig aan deze conclusie lijkt het feit dat in de gebieden met Gt 1 en 2 de gesimuleerde Gt grotendeels wel overeenkomt. Deze gebieden zijn echter van andere aard: het zijn groten-

deels peilbeheerste laagveengebieden met een zeer ondiep ontwateringsniveau en grondwaterstanden nabij het maaiveld. Volgens de simulaties is er bij Gt 4 en 5 sprake van accentverschuiving: in deze arealen wordt de Gt het meest gesimuleerd als Gt 6 in plaats van de gekarteerde Gt. Voor de gebieden waar Gt 5 is gekarteerd wordt slechts in 5 procent van het areaal daadwerkelijk Gt 5 gesimuleerd. Deze Gt 5 vertegenwoordigt volgens de definitie een zeer breed grondwaterregiem (GHG < 40 cm en GLG > 120 cm). Een mogelijke verklaring voor de grote afwijking van deze Gt is enerzijds dat deze Gt moeilijk is te modelleren, anderzijds zijn er aanwijzingen dat de gekarteerde Gt 5 in de praktijk nauwelijks meer als Gt 5 voorkomt (zie vergelijking Gt met landelijke steekproef).

Tabel 3.14

Verdeling van het areaal van de gekarteerde grondwatertrappen over de oppervlakten van de gemodelleerde grondwatertrappen

Gekarteerde Gt	Gemodelleerde Gt (arealen ha landelijke gebied)								
	1	2	3	4	5	6	7	som	areaal zelfde Gt
geen Gt	0	0	0	0	281	0	0	281	-
1	7050	3494	744	0	988	0	338	12.613	7050
2	63.813	146.269	76.325	17.850	12.031	2981	6313	325.581	146.269
3	3463	72.938	132.625	96.788	26.788	85.119	39.844	457.563	132.625
4	156	7650	35.888	30.375	6106	44.125	26.406	150.706	30.375
5	11.538	1331	46.675	82.350	29.169	251.831	103.150	526.044	29.169
6	1856	81	22.631	52.113	58.994	411.231	203.219	750.125	411.231
7	1819	3506	5794	4075	12.288	94.506	412.875	534.863	412.875
							totaal	2.757.775	1.169.594

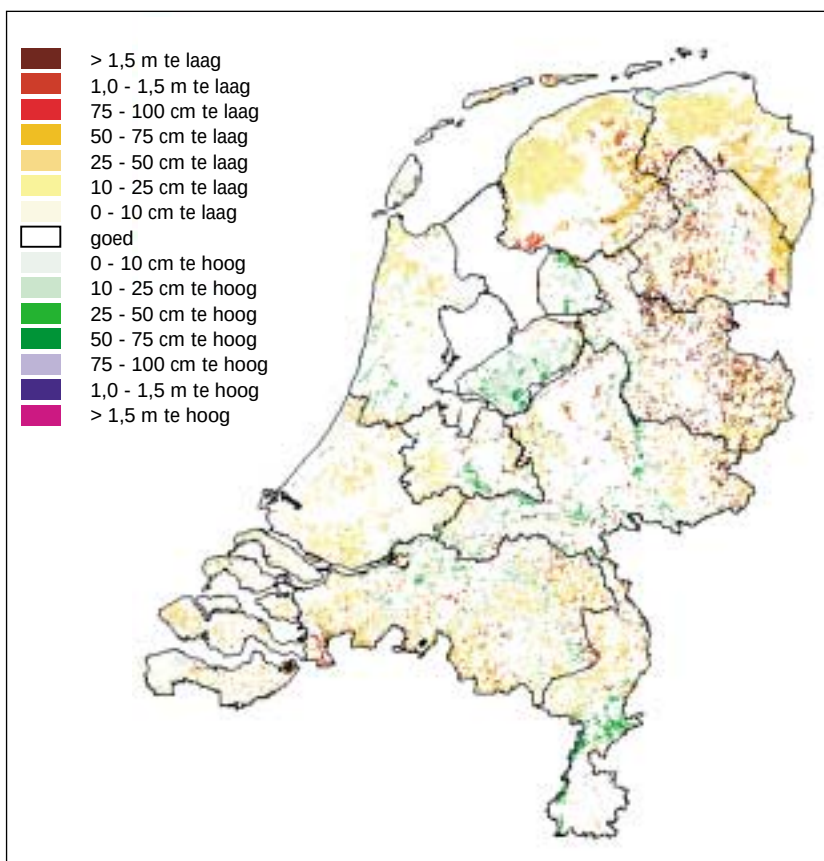
Gekarteerde Gt	Gemodelleerde Gt (percentage van het areaal per gekarteerde Gt)								
	1	2	3	4	5	6	7	som	percentage zelfde Gt
geen Gt	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100	-
1	55,9	27,7	5,9	0,0	7,8	0,0	2,7	100	55,9
2	19,6	44,9	23,4	5,5	3,7	0,9	1,9	100	44,9
3	0,8	15,9	29,0	21,2	5,9	18,6	8,7	100	29,0
4	0,1	5,1	23,8	20,2	4,1	29,3	17,5	100	20,2
5	2,2	0,3	8,9	15,7	5,5	47,9	19,6	100	5,5
6	0,2	0,0	3,0	6,9	7,9	54,8	27,1	100	54,8
7	0,3	0,7	1,1	0,8	2,3	17,7	77,2	100	77,2
							totaal		42,4

In figuur 3.12 en 3.13 zijn de verschillen tussen de gekarteerde en gesimuleerde GHG weergegeven. In de figuren is een verschil van 0 aangegeven als de GHG of GLG binnen de klassegrenzen van de desbetreffende Gt valt, voor de overige gebieden zijn de verschillen tot de begrenzing van de klasse weergegeven. Voor de Gt-kaart is voor de controle van de associaties (vb II/V), die in een klein deel van het gebied voorkomen, de droogste waarde gekozen (dus de V in het voorbeeld). Deze keuze kan voor deze gebieden onterecht een afwijking van de gesimuleerde Gt aangeven.

Uit de figuren blijkt dat de GHG in een groter areaal afwijkt dan de GLG. De GHG is dan ook grotendeels de "verklarende factor" voor afwijking t.o.v. de gekarteerde Gt. Uitzondering hierop zijn de te natte gebieden in het pleistocene deel van Nederland. Uit de figuren is verder af te leiden dat in het grootste deel van het afwijkende areaal de verschillen tussen de simulatie en de kartering beperkt blijven tot 25 cm. Grote afwijkingen van

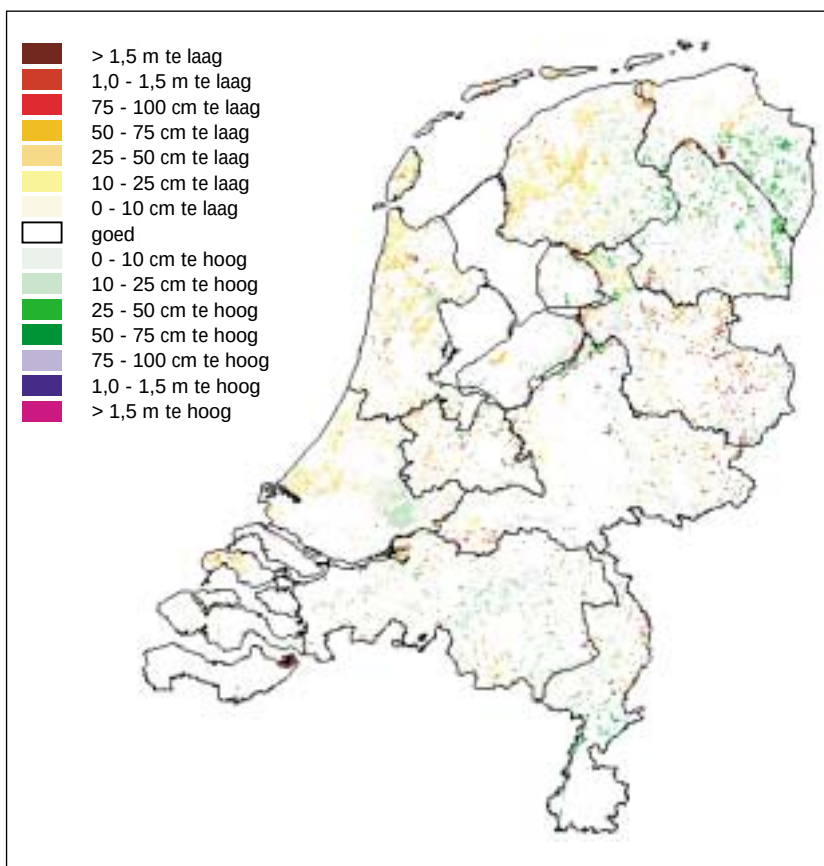
Figuur 3.12

Vershil tussen de gesimuleerde GHG en de Gt-kaart



Figuur 3.13

Vershil tussen de gesimuleerde GLG en de Gt-kaart



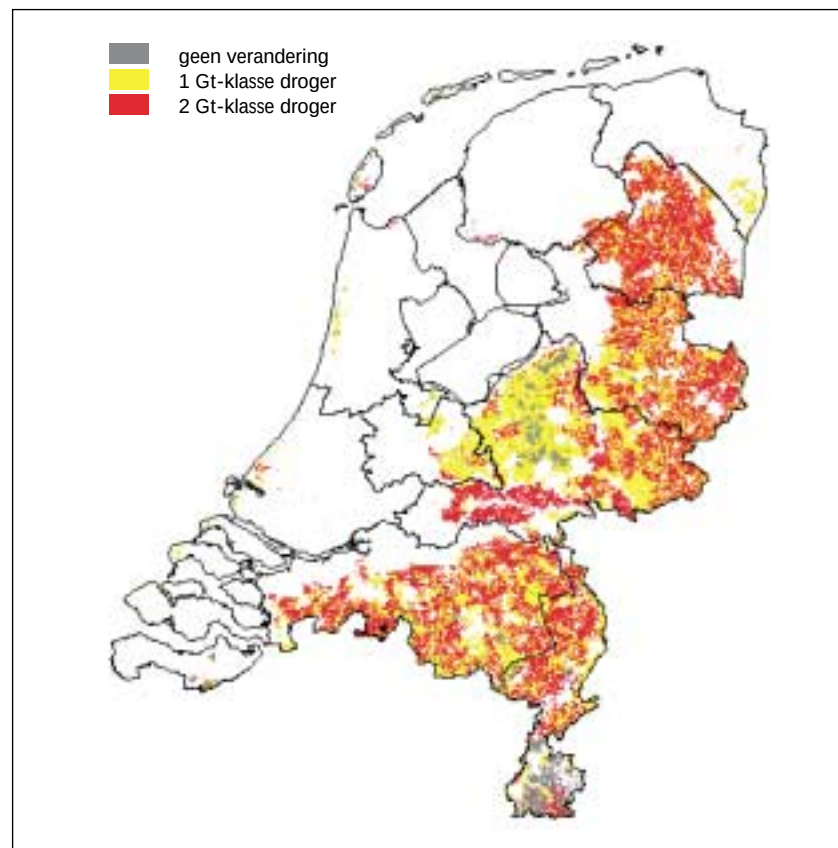
meer dan een meter, vooral bij de GHG, zijn te vinden in delen van oost-Overijssel, oost-Gelderland en west-Drenthe. Deze gebieden zijn volgens de grondwatertrappenkaart voornamelijk gekarakteriseerd als Gt V met een GHG geringer dan 40 cm onder maaiveld, terwijl de GHG in de modelsimulatie daar meer dan 1 meter onder maaiveld wordt berekend.

Hoewel de gesimuleerde Gt in 58 procent van het areaal afwijkt van de Gt-kaart, hoeft de gesimuleerde Gt niet altijd fout te zijn. Dit komt niet alleen vanwege het feit dat door schematisatie van de werkelijkheid er onvermijdelijk informatieverlies is opgetreden bij het vervaardigen van de Gt-kaart, maar met name omdat de Gt-kaart in grote delen van Nederland verouderd is en in de praktijk veelal een drogere situatie te vinden is dan is aangegeven op de Gt-kaart. In figuur 3.14 is een indicatie van deze verschuiving van de Gt weergegeven voor het pleistocene gebied (bron: Alterra, in milieubalans 1999). De figuur laat zien dat de Gt in dit gebied in de praktijk veelal 1 of 2 klassen verschoven kan zijn ten opzichte van de Gt-kaart, richting de drogere Gt.

Wanneer de gesimuleerde Gt wordt uitgesplitst naar het pleistocene gebied en rekening wordt gehouden met deze mogelijke verschuiving van 1 of 2 klassen, dan neemt het areaal dat "goed gesimuleerd" wordt voor het pleistocene gebied toe van 49 procent naar (mogelijk) 72 procent. Deze vergelijking heeft slechts een beperkte, indicatieve waarde, omdat de resultaten zijn gebaseerd op extrapolatie van een steekproef. Voor het holocene gebied is een dergelijke analyse niet uitgevoerd, omdat hiervoor geen informatie beschikbaar is.

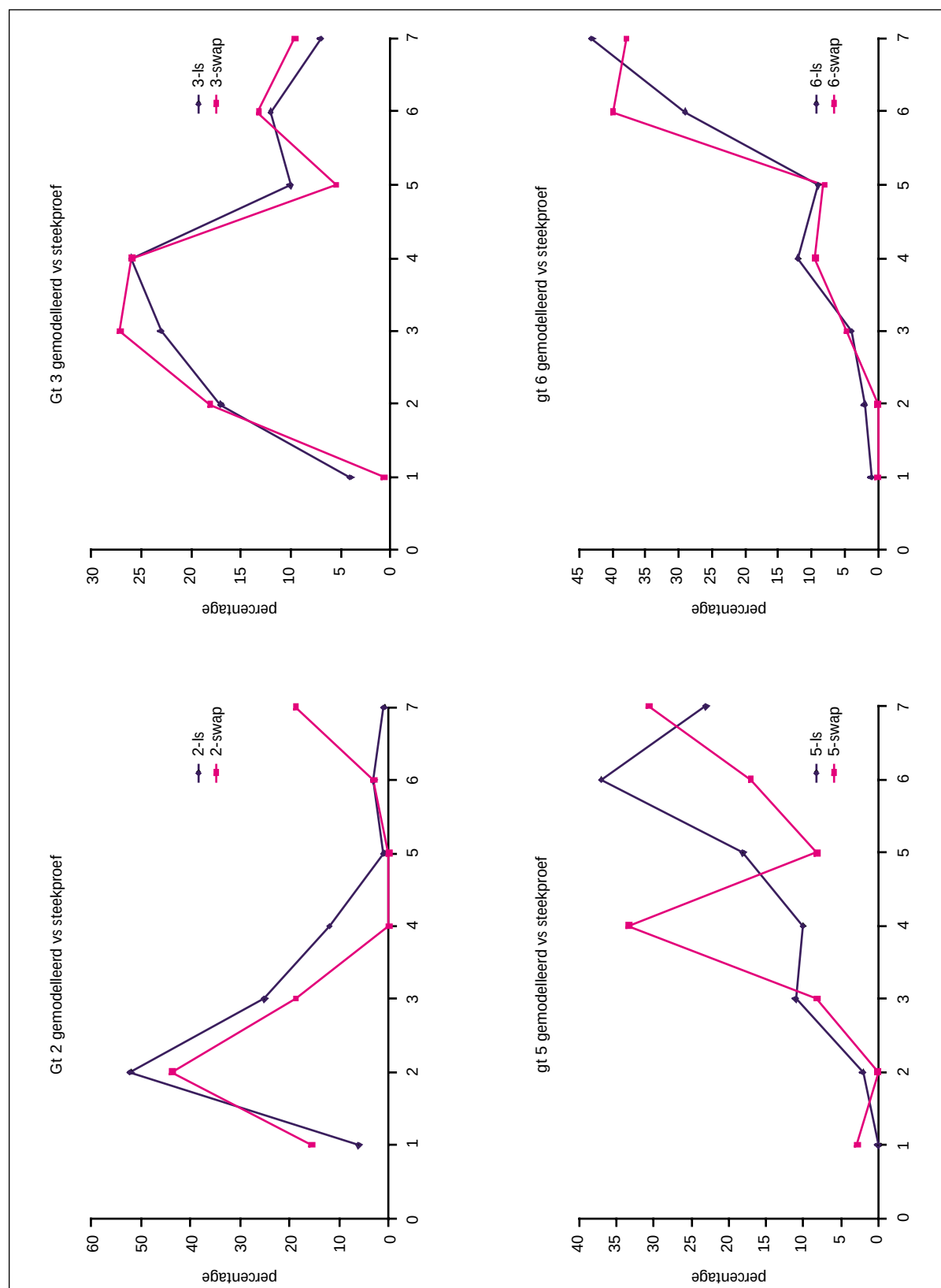
Figuur 3.14

Extrapolatie van de verschuiving van de Gt in de Landelijke Steekproef naar het pleistocene gebied (Bron: Alterra)



Figuur 3.15

Voor vier gekarteerde Gt's is een steekproef gedaan naar de actualiteit van de Gt. Per gekarteerde Gt is een spreiding van de werkelijk voorkomende Gt's weergegeven. Uitgezet is de verdeling van het areaal (procentueel) tegen de voorkomende Gt's (Gt-ls). Voor dezelfde locaties zijn tevens de met SWAP gesimuleerde Gt's weergegeven (Gt-swap).



Vergelijking simulatie-resultaten met de landelijke steekproef van de Gt-kaart

Voor een aantal kaartvlakken van de Gt kaart is een landelijke steekproef uitgevoerd in het pleistocene gebied om de actualiteit van deze kaart te toetsen (Van der Loo, 1997 en 1998, Visschers, 1997 en 1998). De kaart in figuur 3.14 is gebaseerd op extrapolatie van de resultaten van deze steekproef. Hieronder wordt de gesimuleerde grondwatertrap ook geconfronteerd met de landelijke steekproef, maar nu wordt ze vergeleken met de brongegevens en op dezelfde locaties waar de steekproef is genomen. Het betreft in totaal 780 puntmetingen binnen de Gt vlakken II, III, V en VI. Per genoemde Gt is een grafiek gemaakt van de spreiding van de werkelijk voorkomende grondwatertrappen (uit de steekproef) en de spreiding van de gesimuleerde Gt (uit de STONE-hydrologie). De resultaten van deze vergelijking zijn weergegeven in figuur 3.15.

De gesimuleerde Gt en de landelijke steekproef vertonen opvallende overeenkomsten in afwijkingen van de gekarteerde Gt en accentverschuiving. Gt 5 voldoet in mindere mate aan de accentverschuiving. De algemene conclusie die hieruit wordt getrokken is dat de gesimuleerde grondwatertrappen weliswaar in een groot areaal afwijken van de grondwatertrappenkaart, maar dat er voldoende vertrouwen is dat de modelsimulaties de werkelijkheid goed benaderen.

3.4 Conversie van hydrologische resultaten naar STONE-compartimenten

SWAP hanteert een fijnere verticale laagindeling en kleinere tijdstappen dan STONE (GONAT/ANIMO). De uitvoer van SWAP, die in een specifiek formaat wordt weggeschreven (zie Kroes *et al.*, 1999), moet voor de berekeningen in STONE dan ook eerst worden opgeschaald naar de grovere verticale laagindeling en tijdstappen van een decade.

Ook bij eerdere berekeningen met SWAP voor STONE (Kroes *et al.*, 1999) was deze opschaling nodig. Ten opzichte van eerdere berekeningen is de verticale laagindeling van zowel SWAP als STONE aangepast.

Verticale schematisatie en -integratie

In bijlage 3.3 wordt een overzicht gegeven van de verticale schematisatie van de hydrologie en de compartimenten in STONE. Uit de bijlage volgt direct de vertaling die is toegepast om de hydrologische eenheden om te zetten naar de compartimenten in STONE. Tevens is aangegeven waar de laagindeling van zowel SWAP als STONE zijn aangepast. De veranderingen worden hieronder nader toegelicht.

Voor de indeling tot 1 meter onder maaiveld is voor zowel STONE als SWAP de oude verticale schematisatie gehanteerd, volgens Kroes *et al.* (1999). Voor deze indeling zijn geen aanpassingen doorgevoerd, omdat: er al een redelijke fijne indeling werd gehanteerd en de bodemchemische schematisatie al te ver gevorderd was om nog veranderingen door te voeren. Voor de indeling vanaf 1 meter diepte zijn aanpassingen verricht, om een meer verfijnde indeling tussen 2 en 3 meter te krijgen. De GLG zit vaak in deze zone en de nitraatconcentraties op GLG-niveau werden duidelijk negatief beïnvloed door deze grove schematisering. In de nieuwe indeling worden tussen 1 en 4 meter diepte nu 14 lagen in SWAP onderscheiden en 9 lagen in STONE; in de oude indeling waren dat respectievelijk 8 en 3 lagen. Verder is de totale profiellengte verlengd met 6 meter tot een totaal van 13 meter, om de grondwaterstanden dieper te kunnen laten uitzakken. Het effect hiervan op de nutriëntenuitspoeling is vooralsnog niet gekwantificeerd.

Bij het maken van de nieuwe verticale indeling moet aan een aantal voorwaarden worden voldaan.

De eerste voorwaarde is dat de grenzen van de STONE-compartimenten moeten samenvallen met de grenzen van de verticale hydrologische schematisatie. Omdat er aggregatie van de hydrologische eenheden naar de STONE-eenheden plaatsvindt, mogen eerstgenoemde eenheden wel fijner zijn dan laatstgenoemde. Een tweede voorwaarde is dat binnen de verticale schematisatie van zowel de hydrologie als de STONE-compartimenten de grenzen van de bodemhorizonten moeten worden gehanteerd, die volgt uit de beschrijving van de bodemfysische profielen. Voor de ondergrond is rekening gehouden met de dieptegrenzen van de chemische eenheden (1 - 2 meter, 2 - 4 meter, 4 - 13 meter). Ook hier geldt dat wel verfijningen mogen plaatsvinden, van zowel de compartimenten als de verticale hydrologische schematisatie.

Tijdsdiscretisatie en -integratie

SWAP rekent met variabele tijdstappen, variërend van minuten tot uren. SWAP voert resultaten uit met een minimale tijdstaplenkte van een dag, waarbij geïntegreerd is over alle tussenliggende tijdstappen. Deze integratie geldt voor alle fluxen; voor toestandsvariabelen (grondwaterstand, berging) wordt de toestand aan het begin en aan het eind van de tijdstap genomen (Kroes *et al.*, 1999b). Evenals in voorgaande berekeningen (Kroes *et al.*, 1999) is gekozen voor een decade als lengte van de uitvoertijdstap. Daarbij varieert de lengte van een decade tussen 8 en 11 dagen en is rekening gehouden met schrikkeljaren.

3.5 Discussie en aanbevelingen

- Voor de natuurplots is geen onderscheid gemaakt tussen bos en overige natuur. Hierdoor kan in bosgebieden de verdamping worden onderschat en dus de grondwateraanvulling overschat. Dit onderscheid zou echter alleen juist worden benaderd als het bos gedifferentieerd zou worden naar minstens drie bostypen, te weten donker naaldbos, gewoon loofbos, en broek-achtige bos. Wegens gebrek aan direct beschikbare informatie hierover is deze differentiatie achterwege gelaten. Het gevolg is dat alleen bij grote, homogene gebieden met donker naaldbos sprake is van een noemenswaardige geringere (gemiddelde) grondwateraanvulling, waardoor hier te hoge grondwaterstanden worden gesimuleerd. Naar schatting betreft dit enkele gebieden op stuwwal-achtige omgeving (delen van de Veluwe, Brabant, Oost Nederland) waar een circa 10 procent te hoge grondwaterstand wordt gesimuleerd, bijvoorbeeld 4,0 meter onder maaiveld i.p.v. 4,4 meter onder maaiveld. Voor het doel van toepassing in STONE, namelijk berekening van de af- en uitspoeling van nutriënten, zijn gezien de aard van de gebieden en de diepe grondwaterstanden de negatieve gevolgen van deze benadering dan ook te verwaarlozen.
- De doorlaatvermogens en verticale weerstanden van het hydrologisch topsysteem zijn grotendeels gebaseerd op een inschatting per hydrotype; voor de verticale weerstand in holocene Nederland is de waarde uit de NAGROM-schematisatie gehanteerd. De differentiatie van kD en c-waarden van het topsysteem naar het hydrotype is een zeer grove benadering die in de toekomst sterk kan en moet worden verbeterd. Het gevolg van deze benadering heeft effect op de waarde van de diverse drainageweerstand, deze worden hieronder beoordeeld.
- De consensusgroep hydrologie heeft de kwaliteit van de drainageweerstand als volgt beoordeeld. De primaire drainageweerstand worden goed bevonden. De secundaire en tertiaire drainageweerstand zijn

over het algemeen goed, maar zijn in de zandgebieden in de open profielen, met name in oost-Gelderland, oost-Overijssel en in Brabant rond de Centrale Slenk beoordeeld als "aan de lage kant". Daardoor kunnen in deze gebieden onder natte condities de pieken in grondwaterstanden in geringe mate worden onderschat.

- Het totale areaal waar in de schematisatie buisdrainage is toegekend bedraagt circa 1,2 miljoen ha. Dit stemt in redelijke mate overeen met het areaal dat Huinink heeft berekend voor drainagebehoefte grond (circa 800.000 ha, zie Massop *et al.*, 2000), zeker wanneer bedacht wordt dat in de praktijk snel sprake zal zijn van "overdrainage". De consensusgroep is mede daarom van mening dat het bestand voor buisdrainage een goede inschatting is van de werkelijkheid. Enkele kanttekeningen zijn dat in het zeeleigebied de drainageintensiteit waarschijnlijk in geringe mate is overschat. Daarnaast zijn er enkele gebieden in het pleistocene deel van Nederland aan te wijzen, zoals oost-Drenthe, waarvan bekend is dat er meer buisdrainage aanwezig is dan wordt geschematiseerd. De drainage in deze gebieden kan echter moeilijk in vuistregels worden vertaald. Een tweede oorzaak voor een verschil met de werkelijkheid is dat in deze gebieden door de plotbenadering de eigenschappen niet volledig zuiver worden benaderd. Doordat het bestand van buisdrainage namelijk niet opgenomen is in de ruimtelijke indeling en doordat deze eigenschap op basis van meerderheid wordt toegekend aan de plots, kan aan landbouwgebieden die niet voldoen aan de criteria toch buisdrainage worden toegekend (en vice versa). Een gevolg van het op lokale schaal overschatten en onderschatten van buisdrainage is dat de pieken van de grondwaterstanden teveel respectievelijk te weinig zullen worden afgetopt.
- Uit modelleer-ervaring met SWAP is gebleken dat toepassing van maaiveldsdrainage onontbeerlijk is, bijvoorbeeld in recente studies in het gebied van de Hilver en in Drenthe. Het vertegenwoordigt in principe het deel van het maaiveld dat onder het gemiddelde maaiveldsniveau ligt. In de praktijk zal ook een deel boven dit gemiddelde liggen; dit deel wordt in het model vertegenwoordigd door de oppervlakkige afspoeling (Surface Runoff). De 2 balansposten van oppervlakkige afspoeling en maaiveldsdrainage zijn nauw met elkaar verweven en zullen bij de modeluitkomsten dan ook als één post moeten worden beoordeeld. De maaiveldsdrainage is ook om een praktische reden niet geïntegreerd met de oppervlakkige afspoeling: de bovenrandvoorwaarde van SWAP wordt namelijk met behulp van een extra zeer ondiep drainagemiddel makkelijker en sneller berekend.
- De consensusgroep hydrologie is van mening dat de kaart met kwel/wegzijgingsfluxen in het algemeen de werkelijkheid goed benadert, goed is voor de doelstelling van STONE en bovendien een grote verbetering is ten opzichte van de flux in de UC-hydrologie (Massop *et al.*, 2000). Hiervoor is in detail gekeken naar een aantal bekende gebieden, die op basis van expert-judgement positief werden beoordeeld. Wel werden enkele kanttekeningen geplaatst bij natte delen in de oostelijke punten van Overijssel en Gelderland en het gebied rond de Grote Peel in Zuid-Oost-Brabant. Deze delen lijken te nat gesimuleerd. Met name in deze gebieden blijkt de kwelflux extra gevoelig voor verandering van de grondwateraanvulling. Om deze gebieden te verbeteren zouden de modellen NAGROM en SWAP verder iteratief (meer dan 2 iteratieronden) op elkaar moeten worden afgesteld. De grondwaterstand kan nu in genoemde gebieden lokaal te hoog worden gesimuleerd.
- De effecten van beregening zijn onderbelicht in de huidige schematisatie, met name doordat er veel informatieverlies is opgetreden bij de omzetting van de algemene schematisatie van beregening naar de STONE-

schematisatie, op basis van dominantie van eigenschappen. Daarnaast is uitgegaan van de LEI-cijfers uit 1992, terwijl sindsdien de berekening, vooral in het zuiden van Nederland aanzienlijk is toegenomen. Ten slotte is de berekening slechts geschematiseerd als berekening uit oppervlaktewater; dit had in grote delen van Nederland grondwater moeten zijn. Dit is (vooralsnog) geen optie in SWAP, omdat de daaruit voortvloeiende grondwaterstandsverlaging alleen met een gekoppeld model goed kunnen worden berekend. Berekening leidt tot minder verdampingsreductie en daardoor tot een lager neerslagoverschot. Aan de andere kant leidt berekening tot een hoger neerslagoverschot, als met neerslag alle vormen van neerslag wordt bedoeld (natuurlijke neerslag+berekening). Bij een hoger neerslagoverschot door berekening ontstaan hogere GLG's die in de zomer van belangrijke invloed kunnen zijn op de processen van de N-kringloop.

- In paragraaf 3.3 zijn de hydrologische resultaten beoordeeld en bediscussieerd. Voor de beoordeling van de grondwaterstanden op basis van de Gt-kaart geldt, evenals bij de ruimtelijke schematisatie van de grondwatertrappen en bodemkaart, dat de waarde in het middelpunt van de 250 meter cel representatief wordt geacht voor de hele cel. Door deze aanname treedt informatieverlies op en wordt onzuiverheid gecreëerd; in werkelijkheid kunnen namelijk binnen deze cel meerdere grondwaterklassen voorkomen.
- Bij de schematisatie van gebieden waar wateraanvoer mogelijk is, treedt door de plotbenadering en het ontbreken van deze informatie in de ruimtelijke indeling informatieverlies op (zie figuur 3.9). Dit kan lokaal in enkele delen van het pleistocene gebied, met name in oost-Brabant en Overijssel, leiden tot een geringe overschatting of onderschatting van de grondwaterstanden onder droge condities.
- Voor de waddeneilanden en Zuid-Limburg is geen kwel/wegzijging berekend, omdat het grondwatermodel NAGROM geen dekking heeft voor dit gebied. Omdat deze kwel/wegzijging een van de meest bepalende factoren is voor de berekening van de grondwaterstanden in het topsysteem, hebben de hydrologische berekeningen een beperkte waarde in dit gebied. Wel is voor deze gebieden zo goed mogelijke de kwel/wegzijging ingeschat, door waarden te extrapoleren van gebieden die vergelijkbare kenmerken hebben voor overige hydrologische eigenschappen, zoals drainageweerstand, grondwatertrap, bodemtype etc.
- De effecten van verandering van de verticale schematisatie op de nutriëntenhuishouding, met name van de verlenging van het profiel, moeten in de toekomst nader worden gekwantificeerd.

3.6 Conclusies hydrologie: ruimtelijke indeling en parametrisatie

- Er is een nieuwe set landsdekkende hydrologische parameters gegenereerd, als randvoorwaarde voor de nieuwe ruimtelijke indeling van STONE.
- Deze parameterset voor STONE kan niet worden aangemerkt als "de dataset" voor heel Nederland. Het is een dataset met een eigen schaal, hydrologische situatie en bruikbaarheidsrange.
- De parameterset is uitsluitend bruikbaar voor analyses van scenario's waarin de hydrologische condities niet wijzigen t.o.v. de aangenomen situatie. Wijzigingen van landgebruik en ingrepen in het hydrologische systeem kunnen niet met deze parameterset worden doorgerekend.
- De nieuwe hydrologische schematisatie is opgebouwd voor het landelijk gebied en bestaat uit 6405 eenheden met unieke eigenschappen. De nieuwe schematisatie is daarmee meer gedetailleerd dan de hydrologie

uit de WSV-schematisatie (3624 eenheden, Boers *et al.*, 1997) en de UC-hydrologie (470 eenheden, Massop *et al.*, 2000).

- De hydrologische schematisatie vormt één van de hoofdcomponenten van de nieuwe ruimtelijke indeling in STONE-plots, waardoor de hydrologische informatie zuiver wordt toegekend aan de STONE-plots. De nieuwe ruimtelijke indeling heeft voor de onderscheiden factoren, zoals hydrotype, diverse hydrologische parameters, landgebruik, bodemtype, een hoge zuiverheid. Deze, varieert van 75 tot 100 procent en is gemiddeld over de onderscheiden parameters 92 procent.
- Bij de huidige ruimtelijke indeling worden wel grotere onzuiverheden gehanteerd voor een aantal invoerbestanden die niet zijn opgenomen in de ruimtelijke schematisatie, met name de beregening, wateraanvoer en buisdrainage. Dit is een noodzakelijk gevolg van het beperken van het aantal unieke eenheden. De gevolgen van deze onzuiverheid zijn voornamelijk merkbaar op lokaal niveau en over het algemeen voor STONE beperkt.
- De gesimuleerde waterbalans is over het algemeen als plausibel gekenmerkt. Dit is gebaseerd op basis van huidige inzichten en ondersteund door ervaringen (bijvoorbeeld recent in het stroomgebied van de Hilver en in Drenthe). Meer specifiek geldt dat de kwel/wegzijing goed wordt gesimuleerd. De verdeling van de drainage over de verschillende drainagesystemen (primaair, secundair, tertiair, buis en oppervlakkige afspoeling) wordt als plausibel gekenmerkt. De verschillende deeltermen van de evapotranspiratie zijn aan de lage kant. Het aandeel van de maaiveldsdrainage is hoog, maar wel realistisch.
- De grondwaterstanden zijn over het algemeen redelijk goed gesimuleerd. Voor de beoordeling van de gesimuleerde grondwaterstanden is ten eerste een vergelijking met de gekarteerde grondwatertrap gemaakt (grondwatertrappenkaart uit de bodemkaart 1:50.000). De gesimuleerde grondwatertrap komt in gemiddeld 42 procent van het areaal overeen met de gekarteerde grondwatertrap. Omdat de grondwatertrappenkaart in een groot deel van Nederland niet meer actueel is en vaak een te natte situatie weergeeft, is deze vergelijking van beperkte waarde. De grondwaterstanden zijn daarom ook geconfronteerd met een actuele landelijke steekproef uitgevoerd in het pleistocene gebied. De gesimuleerde grondwaterstanden komen goed overeen met de waarnemingen in de steekproef. Wanneer de gesimuleerde grondwatertrappen worden vergeleken met een extrapolatie van de landelijke steekproef over het pleistocene gebied, dan neemt het areaal waar de grondwatertrap goed gesimuleerd wordt sterk toe.
- Vergeleken met de hydrologie van de WSV-schematisatie is de schematisatie sterk verfijnd (van circa 3600 eenheden naar 6405 eenheden), de kwaliteit van de invoerbestanden is verbeterd en geactualiseerd en er is een meer gestructureerde methode van opschalen van de parameters gehanteerd. Hierdoor is de hydrologische schematisatie verbeterd t.o.v. de WSV-schematisatie.
- Ook vergeleken met de UC-hydrologie is de huidige hydrologische schematisatie voor STONE een aanzienlijke verbetering. Ten eerste sluiten de schematisaties van de STONE-plots en de hydrologie nu volledig op elkaar aan, waardoor met de huidige schematisatie geen onzuiverheid meer wordt gecreëerd, zoals bij toepassing van de UC-hydrologie. Ten tweede is door toename van het aantal unieke hydrologische eenheden van 470 naar 6405 de van nature voorkomende hydrologische variatie beter gesimuleerd, waardoor de nieuwe schematisatie een regionaal karakter heeft gekregen. Ten derde is een aantal invoerbestanden verbeterd ten opzichte van de UC-hydrologie.

-
- Met de nieuwe hydrologische schematisatie kunnen uitspraken bij beleidsondersteuning worden gedaan voor regionale gebieden met een gemiddelde omvang van naar schatting 2500 ha. Afhankelijk van de regionale geohydrologische homogeniteit kunnen met de hydrologie uitspraken worden gedaan voor kleinere gebieden (tot minimaal 1000 ha), of moeten uitspraken worden gedaan over grotere gebieden.
 - Het is gewenst voor enkele stroomgebieden de gesimuleerde termen van de waterbalans nader te verifiëren aan de hand van reeds uitgevoerde analyses.
 - De kwaliteit van de hydrologische parameterset voor STONE kan, met handhaving van de huidige ruimtelijke plot-indeling, verder worden verbeterd. Ten eerste is het gewenst de doorlatendheden en de verticale weerstand van het topsysteem ruimtelijk te differentiëren. Ten tweede kan de onderrandflux worden verbeterd, door de hydrologische modellen verdergaand te laten itereren.

4 Parametrisatie van de bodemchemie

In de WSV-schematisatie waren de bodemchemische gegevens direct "opgehangen" aan de indeling in 21 bodemfysische eenheden en in het verticale vlak gespecificeerd naar de horizonten van het bijbehorend bodem-profiel.

De toekenning van de chemie in de nieuwe schematisatie wijkt op drie hoofdpunten af van de oude schematisatie:

- de chemie van de bodem is sterk verfijnd
- de chemie van de ondergrond is apart onderscheiden
- de chemie is toegekend aan compartimenten in plaats van horizonten

De 21 bodemtypen zijn ruimtelijk verfijnd tot 456 bodemchemische eenheden, die zijn ontstaan uit een combinatie van bodemtypen (21), land-gebruiksvormen (4) en indelingen in fosfaatbindend vermogen (3), kationen-uitwisselingscapaciteit (3) en mineralisatiecapaciteit (3) (zie paragrafen 2.1.4 en 2.2). Voor de chemie van de ondergrond is een andere indeling gehanteerd, omdat de bodemkaart onvoldoende informatie biedt over de samenstelling van de diepere lagen. Bovendien moet hiervoor een grovere indeling worden gehanteerd, omdat veel minder gegevens beschikbaar zijn over deze "diepe chemie". Hiervoor is de geohydrologische indeling in hydrotypen (zie paragraaf 2.1.1) als ruimtelijke indeling gehanteerd.

In de oude STONE-schematisatie waren de chemische gegevens voor de bodem en ondergrond in één file weergegeven. Wanneer de gegevens van de bodemchemie (456) en de chemie van de ondergrond (30) zouden worden gecombineerd, zou de file met chemische gegevens een factor 80 groter worden dan de in de oude schematisatie, waardoor de verwerkingstijd in STONE aanzienlijk zou worden verhoogd. Daarom is er pragmatisch voor gekozen deze file, "*soil.dat*", op te splitsten in de file "*soil.dat*" voor de bovengrond en "*soilbot.dat*" voor de ondergrond. Eerst genoemde file komt aan de orde in dit hoofdstuk (parametrisatie van de bodemchemie), laatst genoemde file wordt behandeld in het hoofdstuk 5 (parametrisatie van de chemie van de ondergrond).

In het verticale vlak zijn de eenheden (compartimenten) in STONE verfijnd ten opzichte van de WSV-schematisatie, waarbij geldt dat de begrenzingen van de diverse horizonten van het bodemtype samen vallen met deze compartimentsgrenzen. De chemische eigenschappen van de nieuwe schematisatie zijn in de nieuwe schematisatie opgehangen aan deze indeling in compartimenten, in plaats van de horizonten.

De gegevens voor de bodemchemie zijn zoveel mogelijk afkomstig uit het Bodemkundig InformatieSysteem (BIS). Soms zijn aanvullende bronnen gebruikt of waarden uit de oude schematisatie. De gegevensverzameling van de bodemchemie en de toekenning van de parameters aan de bodemchemische eenheden worden in dit hoofdstuk uitgebreid behandeld.

4.1 Benodigde gegevens voor soil.dat

De gegevens met betrekking tot de bodemchemische schematisatie zijn te vinden in de invoerfile "*soil.dat*" van GONAT. Voor het aanpassen van deze file aan de nieuwe schematisatie zijn in ieder geval de volgende gegevens nodig:

- horizont-indeling (code, diepten)
- soil physical unit
- droge bulk dichtheid
- totale Al/Fe gehalte van droge grond
- organische stof gehalte (humusgehalte)
- lutum gehalte
- ph-KCl
- C/N-ratio

Een groot deel van deze gegevens kan direct worden bevraagd uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS). Voor de droge bulkdichtheid worden de gegevens indirect afgeleid van overige parameters uit het BIS, zoals het leemgehalte, de mediaan van de zandfractie (M50), het organische stofgehalte en het lutumgehalte. Daarom wordt meer gegevens uit het BIS geselecteerd, dan direct nodig is voor de file *soil.dat*. Voor de C/N-ratio van de bodem is een aparte procedure gehanteerd; hiervoor zijn de oude waarden gehanteerd.

4.2 Gegevens uit het BIS

Uit het Bodemkundig Informatie Systeem, aangevuld met gegevens van de Landelijke Steekproef Kaarteenheden (LSK), zijn de volgende laaggegevens geselecteerd van de beschreven en bemonsterde profielen:

- profiel-nr (dit is een unieke karakterisering van het profiel voor opslag in BIS)
- horizont-code
- begindiepte horizont
- einddiepte horizont
- humus-gehalte (analyse uitslag indien aanwezig anders schatting)
- lutum-gehalte (analyse uitslag indien aanwezig anders schatting)
- leem-gehalte (analyse uitslag indien aanwezig anders schatting)
- M50 (berekende uit analyse uitslag indien aanwezig anders schatting)
- pH-KCL (analyse uitslag indien aanwezig anders nul)
- Al-ox (analyse uitslag indien aanwezig anders nul)
- Fe-ox (analyse uitslag indien aanwezig anders nul)
- CEC (analyse uitslag indien aanwezig anders nul)

Deze selectie leverde de gegevens op van 34592 lagen, verdeeld over 6180 locaties en verspreid over geheel Nederland. De laaggegevens hoeven niet compleet te zijn voor alle parameters, maar per laag is voor tenminste één parameter altijd een waarde nodig. Van de genoemde parameters zijn in het algemeen over Al-ox, Fe-ox en CEC de minste gegevens beschikbaar. Alle lagen zijn op basis van textuur en humusgehalte vertaald naar een bodemfysische bouwsteen van de Staringreeks. Deze vertaling levert informatie over de zuiverheid van de bodemfysische eenheden binnen de bodemchemische eenheden.

Van deze locaties zijn eveneens de x- en y-coördinaten geselecteerd. De laaggegevens zijn in een info-bestand ingelezen (basis-prof.dat). Van de lokatiegegevens is een punten-coverage aangemaakt (xy-prof), met het

profiel-nr als sleutel tussen de coverage en de laaggegevens in basis-prof.dat.

4.3 Profielen toekennen aan bodemchemische eenheden

Het bestand met 456 bodemchemische eenheden ("ACOM4") vormt de ruimtelijke indeling van de bodemchemie en is opgebouwd uit bodemfysische eenheden, landgebruik, en classificaties van fosfaatbindend vermogen, mineralisatie en CEC (zie paragraaf 2.1.2).

Eén bodemchemische eenheid beslaat vaak meerdere kaartvlakken (1 tot > 6000). Per combinatie verschilt de landelijke oppervlakte van minder dan 100 tot meer dan 120.000 ha (zie tabel 4.1).

.....
Tabel 4.1

Oppervlakte verdeling van de bodemchemische eenheden (bce's)

Oppervlakte (ha)	Cumulatief aantal
.....	
< 100	28
100 - 1000	223
1000 - 2000	289
2000 - 5000	350
5000 - 10.000	385
10.000 - 25.000	427
25.000 - 50.000	447
50.000 - 100.000	455
> 100.000	456

Dit bestand is eerst omgezet naar een vector-bestand, om zo te kunnen combineren met de informatie uit het BIS. Vervolgens is een overlay gemaakt met de punten-coverage xy-prof zodat een verdeling van de punten (profielen) over de bodemchemische eenheden ontstaat.

4.4 Laaggegevens toekennen aan GONAT-lagen

De informatie uit het BIS wordt in een vijftal stappen toegekend aan de verticale schematisatie, waarbij eerst op een zo'n gedetailleerd mogelijk niveau informatie wordt toegekend, en vervolgens, als op dat niveau geen informatie beschikbaar is, op een globaler niveau informatie wordt toegekend.

Stap 1

Elke bodemfysische eenheid (bce) is gerelateerd aan een bodemfysische eenheid (bfe). De bfe's definiëren de fysische laagopbouw door middel van bouwstenen van de Staringreeks (Wösten *et al.*, 1988).

De bodemschematisatie (tot 1 meter) is voor de nieuwe STONE-schematisatie (GONAT) in het verticale vlak opgedeeld in 9 compartimenten (zie tabel 4.2). In de procedure en in de tabel is tevens een 10^e laag onderscheiden, om aanvullende informatie te verzamelen voor de chemie van de ondergrond. Voor de grenzen van de bouwstenen van de Staringreeks (bodemhorizonten in STONE) geldt dat ze gelijk zijn aan één van de compartimentsgrenzen.

In tabel 4.2 is als voorbeeld Bfe 8 weergegeven. Deze heeft de volgende opbouw: 0 - 30 cm: B1 (humushoudend leemarm fijn zand); 30 - 120 cm: O1 (humus arm, leemarm fijn zand). In werkelijkheid komt variatie voor in de profielopbouw, zodat een laag op een bepaalde diepte ook uit ander

materiaal (andere bouwsteen) kan bestaan dan in de profielschets is aan-gegeven (bijvoorbeeld zwak of sterk lemig fijn zand). Per laag zijn daarom ook alternatieve bouwstenen gedefinieerd. Deze alternatieven zijn per bfe aangegeven voor alle lagen tot 200 cm diepte die binnen GONAT gedefi-nieerd worden. De laagindeling met de toegestane bouwstenen voor bfe 8 ziet er als volgt uit:

Tabel 4.2

Voorbeeld van de verticale indeling van bodemfysische eenheid 8

Laag/compar-timent	Diepte	Bouwsteen	Alt1	Alt2	Alt3	Alt4	Alt5	Alt6	Alt7
1	5	B1	B2	B3					
2	15	B1	B2	B3	O1	O2	O3		
3	20	B1	B2	B3	O1	O2	O3		
4	25	B1	B2	B3	O1	O2	O3		
5	35	B1	B2	B3	O1	O2	O3		
6	50	O1	O2	O3					
7	60	O1	O2	O3					
8	75	O1	O2	O3					
9	100	O1	O2	O3					
(10)*	200	O1	O2	O3					

*) een 10^e laag is onderscheiden voor aanvulling van de chemische gegevens van de onder-grond

Vervolgens worden per bce voor alle afzonderlijke GONAT-lagen laag-gegevens geselecteerd uit basis-prof.dat onder de volgende voorwaarden:

- het BIS-profiel is aan de bce toegekend
- de BIS-laag overlapt de GONAT-laag geheel of gedeeltelijk. Deze voor-waarde houdt in dat de gegevens van een BIS-laag voor meerdere GONAT-lagen geselecteerd kunnen worden
- de bodemfysische bouwsteen van de BIS-laag komt overeen met één van de gedefinieerde (alternatieve) bodemfysische bouwstenen voor de bce-GONAT-laag

Indien er meerdere profielen binnen een bce voorkomen is er voor een GONAT-laag dus ook informatie van meerder BIS-lagen beschikbaar.

Daarna worden per bce-GONAT-laag de waarden voor de verschillende kenmerken gemiddeld. Om het gemiddelde voor een kenmerk te kunnen berekenen moeten minimaal drie waarden beschikbaar zijn. Per kenmerk en per stap wordt aangegeven hoeveel waarden beschikbaar zijn voor het berekenen van het gemiddelde (kolom N1-...van tabel bce-profiel.xls).

Deze eerste stap levert niet voor alle kenmerken per laag de volledige infor-matie op. Tot 100 cm zijn er 9 GONAT-lagen. Er zijn 456 bce's, in totaal dus 4104 lagen. In onderstaande tabel staat het resultaat per kenmerk aan-gegeven. Deze tabel laat zien dat stap 1 gegevens oplevert voor 28 tot 47 procent van de kenmerken per laag.

Tabel 4.3

Overzicht van de gegevenstoekenning aan de GONAT-lagen per onderscheiden stap

Kenmerk	Percentage lagen gevuld per stap				
	Stap 1	Stap 1+2	Stap 1+2+3	Stap 1+2+3+4	Stap 1+2+3+5
humus	47	78	91	100	
lutum	45	74	87	100	
pH	43	75	90	100	
FeAl-ox	28	62	79		100
Dichtheid					

Stap 2

Vervolgens zijn de nog niet ingevulde kenmerken berekend door eliminatie van het landgebruik uit de bodemchemische eenheid. Als voorbeeld worden de puntgegevens binnen de bodemchemische eenheden 81.131 (gras), 82.131 (mais), 83.131 (akkerbouw) en 84.131 (natuur) samengevoegd. Per kenmerk wordt weer het gemiddelde uitgerekend uit minimaal 3 waarden. Uit tabel 4.3 is af te lezen dat op deze manier circa 30 procent van de lagen gevuld wordt.

Stap 3

Vervolgens is informatie gebruikt van een andere gebiedsschematisatie, de fysisch-chemische karakterisering van de gronden in Nederland (de Vries, 1999). Deze schematisatie deelt de gronden in op basis van overeenkomstige profielopbouw en kenmerken. Er worden 315 verschillende eenheden onderscheiden. Een grid-bestand met de verbreiding van deze eenheden (fce's) is gecombineerd met het bce-bestand. Per bce is de dominante fce vastgesteld. De puntgegevens met een overeenkomstig fce zijn vervolgens gemiddeld. Deze stap leverde 13 tot 17 procent van de laaginformatie op.

Stap 4

Voor de ontbrekende gegevens voor humus, lutum en pH-KCl zijn tenslotte de landelijke gemiddelden gebruikt uit (de Vries, 1999). Hierbij is de dominante fce binnen de bfe als sleutel gebruikt.

Stap 5

De fysische-chemische schematisatie van rapport 654 geeft geen informatie over het ijzer- en aluminium-gehalte. Voor de ontbrekende 21 procent van de FEAL-waarden is het gemiddelde per hoofdgroep uit de legenda van bodemkaart 1:50.000 berekend, met de fce als ingang. Het aantal beschikbare waarnemingen is weergegeven in kolom N5-FEAL_OX

4.5 Bulkdichtheid

De bulkdichtheid is per bodemlaag geschat. Hierbij zijn, afhankelijk van de samenstelling van de bodemlaag, drie functies mogelijk:

Indien er sprake is van een zandlaag, wordt de bulkdichtheid geschat uit het organische stofgehalte (%), het leemgehalte (%), de mediaan van de zandfractie (M50 in micrometer) en de variabele 'wel of niet bovengrond'. De vertaalfunctie is afkomstig uit onderzoek van Wösten (1997). Voor alle zandlagen is de M50 op 205 vastgesteld.

Voor kleilagen wordt de bulkdichtheid geschat uit het organische stofgehalte (%) en het lutumgehalte (%) volgens (Wösten, 1997).

Bij veenlagen wordt de bulkdichtheid geschat met de formule van Boekel, met de variabelen 'verzadigd vochtgehalte' uit de Staringreeks en het organisch stofgehalte (%).

4.6 C/N-ratio

Voor de C/N-ratio was geen informatie beschikbaar in het BIS. Daarom zijn hiervoor de waarden uit de oude schematisatie overgenomen, die per bodemfysische eenheid en horizont waren gespecificeerd.

4.7 Discussie, conclusies en aanbevelingen

De bodemchemische karakterisering in dit project resulteert onder meer in gemiddelde waarden voor het humusgehalte, lutumgehalte en bulkdichtheden. De berekende waarden kunnen afwijken van de kenmerken van de bodemfysische eenheid (bfe), die in de Staringreeks gehanteerd worden. Dit is te verklaren uit de toegepaste ruimtelijke indeling:

Enerzijds wordt in ongeveer 25 procent van het areaal een afwijkende karakterisering bfe gehanteerd in STONE, door de noodzakelijke reductie van het aantal unieke rekeneenheden (zie paragraaf 2.3). Hiermee is rekening gehouden door bij de toekenning van parameters zoveel mogelijk uit te gaan van die gegevens waar de schematisatie "zuiver" is voor de bodemfysische eenheid.

Anderszijds kunnen de berekende waarden afwijken door het sterke schematische karakter van de bfe-indeling. De profielopbouw van een bfe wordt aangeduid met een aantal Staringreeks-bouwstenen. Een bfe-laag heeft een haarscherpe begin- en einddiepte. In werkelijkheid (en in de basisgegevens) varieert de begin en einddiepte van een laag. In de berekende profielen kunnen de overgangen daarom afwijken. Ook worden hoge en lage waarden door aanwezigheid van verschillende materialen vaak weggemiddeld.

De bodemchemie in de nieuwe schematisatie is aanzienlijk verbeterd ten opzichte van de WSV-schematisatie door de sterke ruimtelijke verfijning van de bodemchemische eigenschappen (van 21 eenheden naar 456 eenheden). Dit wordt versterkt doordat in de nieuwe schematisatie de zuiverheid van weergave van het bodemtype aanzienlijk is verhoogd (van circa 50 procent naar 75 procent).

Bij een deel van de profielen komt een sterk afwijkende bce-karakterisering voor. Voor de toekomst wordt aanbevolen de overeenkomsten tussen de bce-karakterisering en bodemfysische bouwstenen verder te analyseren. Nagegaan moet worden of afwijking van de Staringreeks bouwsteen effect heeft op berekeningen in STONE.

De waarden voor de C/N-ratio kunnen in de toekomst worden verfijnd naar de 456 bodemchemische eenheden, waarbij de ruimtelijke indeling gehandhaafd kan blijven.

5 Parametrisatie van de chemie van de ondergrond

In de WSV-schematisatie waren wegens een tekort aan middelen nauwelijks chemische data beschikbaar voor de ondergrond. Omdat hiervoor toch informatie nodig was, werden gegevens zoals het lutumpercentage, het organische stofgehalte, de droge bulkdichtheid en het ijzer- en aluminiumgehalte veelal noodzakelijkerwijs geëxtrapoleerd van de onderste lagen (circa 1 - 1,2 meter diepte) van het betreffende bodemtype naar de ondergrond. Deze onjuiste benadering van de chemische ondergrond heeft consequenties voor de berekening van bijvoorbeeld de denitrificatie. In de nieuwe schematisatie krijgt de chemie van de ondergrond dan ook meer aandacht. Voor de parametrisatie van deze chemie is NITG-TNO geconsulteerd.

Op basis van de informatiedichtheid van chemische gegevens en de gehanteerde indeling van plots in STONE is besloten de indeling in 22 geohydrologische hydrotypen (zie paragraaf 2.1.1) te gebruiken voor de ruimtelijke indeling van de chemie van de ondergrond. Voor enkele hydrotypen bleek de variatie in de chemie nog te groot, daarom is een aantal hydrotypen regionaal uitgesplitst. Uiteindelijk is een ruimtelijke indeling van 30 regionale (sub)hydrotypen gebruikt.

Vanwege praktische redenen (zie hoofdstuk 4) is er voor gekozen de file *"soil.dat"*, waarin de chemie is weergegeven, op te splitsen in de file *"soil.dat"* voor de bodem, die behandeld is in hoofdstuk 4, en *"soilbot.dat"* voor de ondergrond. De parametrisatie van de file *"soilbot.dat"* komt aan de orde in dit hoofdstuk. De paragrafen 5.1, 5.2 en delen van paragraaf 5.5 zijn integraal overgenomen uit: *"Geologische parametrisatie van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van het STONE-model"*, (Griffioen et al., 2000). Dit rapport is door NITG-TNO opgesteld in het kader van dit project REDESIGN STONE.

Naderhand leverden de ijzer en aluminium concentraties problemen op, omdat hiervoor de totale concentraties waren bepaald, terwijl in GONAT de met ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten benodigd waren. Dit probleem is uiteindelijk opgelost door achteraf een vertaalslag toe te passen (zie paragraaf 5.3).

In de oude schematisatie is de verticale verdeling van de chemie toegekend aan de verdeling in bodemhorizonten; in de nieuwe schematisatie is de chemie gekoppeld aan de zogenaamde indeling in compartimenten (lagen voor GONAT/STONE). De compartiments-grenzen zijn op deze chemische indeling aangepast. Tevens is ten behoeve van de berekeningen de compartimentsindeling verfijnd ten opzichte van de WSV-schematisatie (zie paragraaf 6.1).

5.1 Methodologie

De geologische en geochemische parametrisatie betreft het opstellen van waarden voor de volgende als model-parameters gedefinieerde eigenschappen:

-
1. lutum-percentage
 2. organisch (kool)stofgehalte
 3. droge bulkdichtheid
 4. totaal Al-gehalte
 5. totaal Fe-gehalte

Op landsdekkende schaal is geen informatie beschikbaar omtrent C/N en C/P ratio's van grond voor het diepte-interval van 1 tot 7 meter onder maaiveld. Ook is vrijwel geen informatie beschikbaar omtrent de natuurlijke P-gehaltes in sediment, en is de informatie omtrent de belasting van oppervlaktewater door kwel van nutriëntrijk grondwater niet gemakkelijk toegankelijk. De parametrisatie van de ondergrond is daarom beperkt gebleven tot de bovenstaande 5 parameters.

Indien relevant en mogelijk worden voor de vijf parameters drie diepte-intervallen onderscheiden, die als modellagen in het STONE model zitten. De drie diepteintervallen zijn: 1 tot 2 meter onder maaiveld, 2 tot 4 meter onder maaiveld en 4 tot 7 meter onder maaiveld. De eerste twee eigenschappen, lutum en organische stof, zijn afgeleid middels deskundigenoordeel van drie districtsgeologen van TNO-NITG. De percentages lutum en organische stof zijn geschat door laboratoriumbepalingen aan geanalyseerde monsters te koppelen aan "best educated guesses" voor de diepte-intervallen van de hydrotypen. Per hydrotype is steekproefsgewijs een aantal boringen in DINO gecontroleerd.

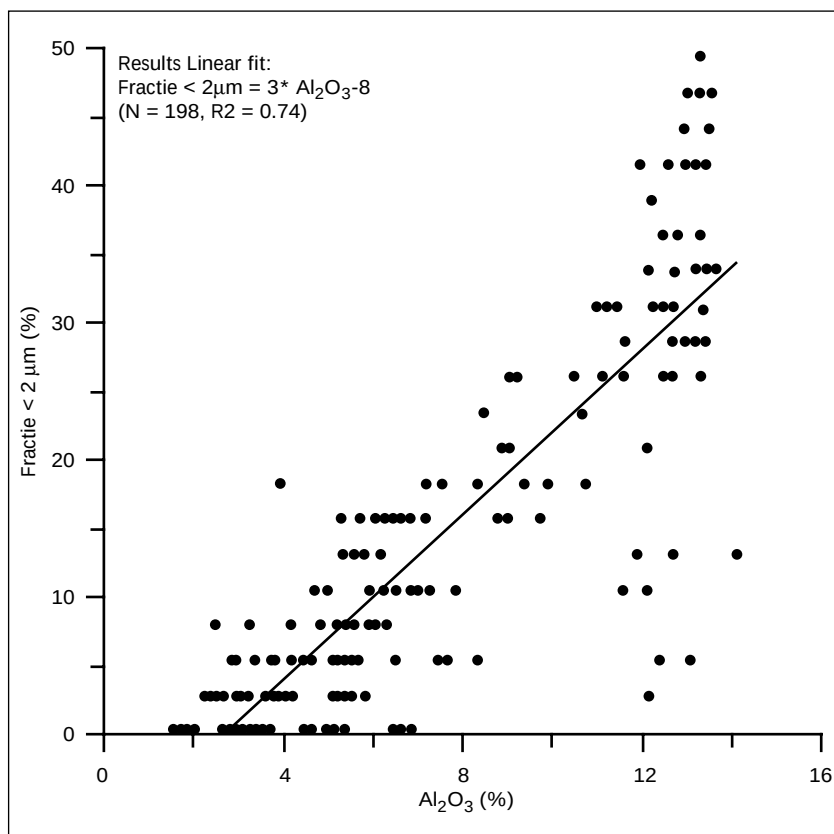
De derde eigenschap, droge bulkdichtheid, is voor klastische sedimenten op 1,7 kg/dm³ gesteld. Voor organisch rijke afzettingen is gesteld dat grond die voor 90 procent en meer uit organisch materiaal bestaat, de bulkdichtheid gelijk is aan 0,4 kg/dm³. Mogelijk is deze waarde nog lager, want Boelter (1969) heeft waarden van 0,1 tot 0,25 kg/dm³ gevonden voor veen. De waarde voor de droge bulkdichtheid is geschat tussen deze twee extremen voor grond met 5 tot 70 procent organisch materiaal. Deze schatting is mede gebaseerd op Locher en De Bakker (1990).

De laatste twee eigenschappen, totaal Al en totaal Fe, zijn gebaseerd op geochemische analysegegevens van de Nederlandse ondergrond indien gegevens voor het (sub)hydrotype beschikbaar zijn. Er zijn totaal circa 100 boringen waarvoor anorganische geochemische analyses beschikbaar zijn, waarbij elke boring meestal meerdere monsters kent. De beschikbare monsters zijn per (sub)hydrotype en per diepteinterval gegroepeerd. Het gemiddelde en de standaard deviatie zijn berekend voor deze groepen. Beide waarden zijn weergegeven tezamen met het aantal monsters waarop deze waarden gebaseerd zijn. Er moet rekening mee worden gehouden dat de geochemische boringen niet ten behoeve van de hydrotype kartering gezet zijn, maar meestal naar aanleiding van specifieke aardwetenschappelijke vraagstellingen. Het is dus zeer wel mogelijk dat de boringen die gegroepeerd zijn in een hydrotype, niet representatief zijn voor dat hydrotype. In een aantal gevallen waarin dit in extreme mate het geval was zijn de meetwaarden genegeerd. Indien geen monsters beschikbaar zijn voor een groep is het gehalte Al en gehalte Fe geschat. De schattingen van het gehalte Al zijn gebaseerd op de lutum-gehaltes, gebruik makend van een empirische relatie tussen de gehalten aan lutum en Al (zie figuur 5.1):

$$\% \text{ lutum} = 3 * \% \text{ Al}_2\text{O}_3 - 8$$

Figuur 5.1

Correlatie tussen gehalten aan Al en lutum, gebaseerd op 198 metingen



5.2 Resultaten en discussie

De parametrisatie is verricht voor het diepteinterval van 1,0 tot 7,0 meter onder maaiveld. Indien relevant zijn verschillende waarden gegeven voor de drie diepteintervallen waarin het STONE model gedefinieerd is (1 tot 2 meter onder maaiveld, 2 tot 4 meter onder maaiveld en 4 tot 7 meter onder maaiveld). De resultaten van de parametrisatie voor laag-Nederland zijn weergegeven in bijlage 5.1. De resultaten voor hoog-Nederland en het rivieren gebied zijn weergegeven in bijlage 5.2.

Meerdere hydrotypen zijn geografisch opgedeeld in subhydrotypen, omdat de geologische opbouw van deze hydrotypen duidelijk varieert.

Voor het hydrotype "Duinstrook" is het in de bovenste 4 meters nauwelijks mogelijk tot een goede schatting van het percentage organische stof en de droge bulkdichtheid te komen. Dit wordt veroorzaakt doordat dit hydrotype is ontstaan door samenvoeging van de Jonge Duinen, de Strandwallen en de Strandvlaktes. De strandvlaktes zijn in de bovenste 2 meter grotendeels en tussen 2 en 4 meter ten dele met veen opgevuld; in de duinen en de strandwallen komt veen slechts sporadisch voor.

Van groot belang voor de hydrotypen die aan de landinwaartse kant van laag-Nederland liggen is de diepte waarop het Pleistoceen voorkomt. De diepte waarop de onderkant van het Holoceen ligt, is goed bekend en is ook op digitale wijze beschikbaar. In de huidige uitwerking is de parametrisatie van de drie diepteintervallen gebaseerd op de regionale opbouw van de verschillende hydrotypen. Een grote verbetering op meer lokale schaal is hier wel zeer goed en betrekkelijk eenvoudig mogelijk. Dit geldt vooral voor het diepteinterval 4 tot 7 meter onder maaiveld.

Ten aanzien van de opdeling van de verschillende Westland-hydrotypen gelden de volgende opmerkingen:

- Westland D-profiel is opgedeeld in drie geografische eenheden: a. Zeeland, Zuid-Holland en gebied rondom Castricum, b. Friesland, Groningen (incl. de Waddeneilanden), en c. Flevopolders en omgeving
- Westland DC-profiel is opgesplitst in drie geografische eenheden: a. Schouwen-Duiveland, b. Flevopolders en c. Friesland en Groningen
- Westland D-profiel in Friesland en Groningen is geologisch gelijk aan het Westland D-profiel in Friesland en Groningen
- De Dikte van de Duinkerken afzettingen is minder dan 1 meter voor Westland DH-profiel en voor Westland DHC-profiel in Friesland, Groningen en Zeeland; deze afzettingen keren dus niet terug in de parametrisatie van 1 tot 7 meter onder maaiveld.
- Westland DH-profiel is opgedeeld in drie gebieden: a. Zeeland en Brabant, b. rivierengebied (Tiel op Hollandveen volgens de geologische kaart), en c. Flevopolders, Friesland en Groningen
- Westland DHC-profiel is opgedeeld in vier gebieden: a. Friesland, Groningen en Zeeland, b. Flevopolders, c. Kop van Noord-Holland, en d. Holland rivierengebied. - Het Westland DHC-profiel in het rivierengebied (incl. IJ-dal bij Amsterdam) is gelijk aan het Westland DH-profiel in het rivierengebied.

De resultaten van de parametrisatie voor het oostelijk rivierengebied en hoog-Nederland zijn weergegeven in bijlage 5.1. Verschillende opmerkingen en kanttekeningen zijn van belang bij het beschouwen van de parametrisatie, die hieronder uiteen zijn gezet.

Het hydrotype Singraven beekdalen is opgedeeld in drie regionale eenheden, te weten: a. Brabant en Oost-Nederland, b. Limburg en c. Drents Plateau. Voor het diepteinterval van 4 tot 7 meter onder maaiveld is voor de eerste eenheid weer een opdeling gemaakt in West-Brabant ten westen van de Centrale Slenk, en Oost-Brabant en Oost-Nederland. De reden hiervoor is dat de dikte van de beekdalopvullingen wezenlijk verschillend is voor deze twee deelgebieden en de Pleistocene afzettingen onder de Singraven Formatie ook sterk verschillend zijn. De parameters voor het Singraven beekdalen hydrotype zijn voor het diepteinterval 4 tot 7 meter onder maaiveld niet te bepalen in Limburg, omdat de geologische afzettingen op deze diepte hier sterk uiteenlopen. De Singraven Formatie in dit deel van Nederland bestaat geheel uit klastische sedimenten, terwijl voor de rest van Nederland veelvuldig veen voorkomt.

Dekzand profiel, Eem en/of keileemprofiel, en Open profiel zijn tot één eenheid gecombineerd. Een juiste naam voor deze eenheid is Twente profiel. Het gaat hier namelijk niet alleen om dekzand maar bovenal om de Formatie van Twente (en eventueel de Formaties van Eindhoven en Asten). Het hydrotype Eem en/of keileemprofiel in Midden-Nederland rondom de stuwwallen van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug hoort voor de eerste zeven meter geologisch bij het Dekzand profiel (of Twente-profiel); de Eem-afzettingen komen hier dieper dan 7 meter onder maaiveld voor. Lokaal komen binnen het Twente profiel veenlagen voor die een grote invloed hebben op de hydrologische en geochemische processen. Deze veenlagen hebben een lokale verbreiding en op supraregionale schaal kan hiervoor niet ruimtelijk gedifferentieerd worden. Ze zijn ook niet meegewogen bij het opstellen van de waarden van de procesparameters. De eenheid Eem en/of keileemprofiel bij Gaasterland dient geschaard te worden onder het hydrotype Keileem profiel (zie hieronder).

Het Nuenengroep profiel is opgedeeld in twee eenheden, want in het centrale deel komt op regionale schaal een subeenheid voor die een wezenlijk andere geologische opbouw kent dan de rest van de eenheid. Figuur 5.1

geeft aan waar de subeenheid als een soort venster voorkomt in de Centrale Slenk. De x,y coördinaten van dit gebied zijn weergegeven in Tabel 5.1. De rest van Nuenengroep profiel kent dezelfde opbouw in het dieptetraject van 1 tot 7 meter onder maaiveld als het zogenaamde Twente profiel.

Tabel 5.1

Coördinaten van de hoekpunten van het venster in de Nuenengroep met meer lemige grond

x-coördinaat	y-coördinaat
140.000	385.000
140.000	393.500
150.000	400.000
170.000	400.000
177.000	395.000
170.000	381.000
160.000	380.000
150.000	380.000
140.000	385.000

Het Keileem profiel en het Keileem-Peelo profiel kunnen onder één noemer geschaard worden (incl. Eem en/of Keileemprofiel bij Gaasterland). Het betreft het gebied ten westen van de Hunze tot en met Gaasterland met Pleistocene afzettingen aan het oppervlak en de stuifzanden van de Formatie van Kootwijk (RGD, 1975). Het is niet bekend of de noodzaak tot differentiatie in twee hydrotypen gelegen is in een verschillende opbouw van de eerste meter beneden maaiveld.

Peelo profiel in het veenkoloniaal gebied ten oosten van het Hunze-dal zou voor het diepteinterval van 1 tot 7 meter onder maaiveld geklassificeerd moeten worden als Dekzand profiel, of beter Twente profiel.

De stuwwallen in Twente kunnen geschaard worden onder het hydrotype Oost-Nederland profiel. De recent gemaakte geologische kaart op nationale schaal wijkt voor Twente en het oostelijk deel van de Achterhoek wezenlijk af van die uit 1975. Mogelijkheden voor verbetering van de hydrotype-klassificatie zijn hier hoogstwaarschijnlijk goed mogelijk.

Voor löss profiel doet zich de situatie voor dat de dikte van de löss afzettingen varieert van 0 tot 14 meter dik. Bij de parametrisatie is een gemiddelde dikte van 7 meter aangehouden en is geen onderverdeling in de diepte gemaakt. Lokaal zijn er wel wezenlijke variaties.

5.3 Vertaalslag naar invoer voor GONAT

Voor het vervaardigen van de file "*soilbot.dat*", waarin de bodemchemische parameters van de plots beschreven staan, is elk plot eerst aan een subhydrotype toegekend. Omdat voor het vervaardigen van de ruimtelijke indeling van de plots niet deze indeling in 30 subhydrotypen is gehanteerd, maar de indeling in 22 hydrotypen, vindt de toekenning plaatst aan dat subhydrotype dat het grootste oppervlakte-aandeel vertegenwoordigt binnen het plot. Op deze wijze wordt bij de schematisatie een onzuiverheid geïntroduceerd. Deze onzuiverheid is echter gering, doordat de indeling in 22 hydrotypen vergaand is verfijnd op basis van andere factoren (landgebruik, bodemtype etc., zie hoofdstuk 2).

Na toekenning van de plots aan de subhydrotypen, zijn de parameters in de file *soilbot.dat* gevuld met de in paragraaf 5.1 en 5.2 besproken waarden. Voor een aantal parameters was nog een vertaalslag nodig om te komen tot invoer voor GONAT. Daarnaast moesten ook de parameters waar geen gegevens voor konden worden afgeleid, worden bepaald. Hieronder wordt beschreven op welke wijze de diverse parameters uiteindelijk zijn bepaald voor de file *soilbot.dat*.

Lutum- , organische stof gehalte en droge bulkdichtheid van de ondergrond

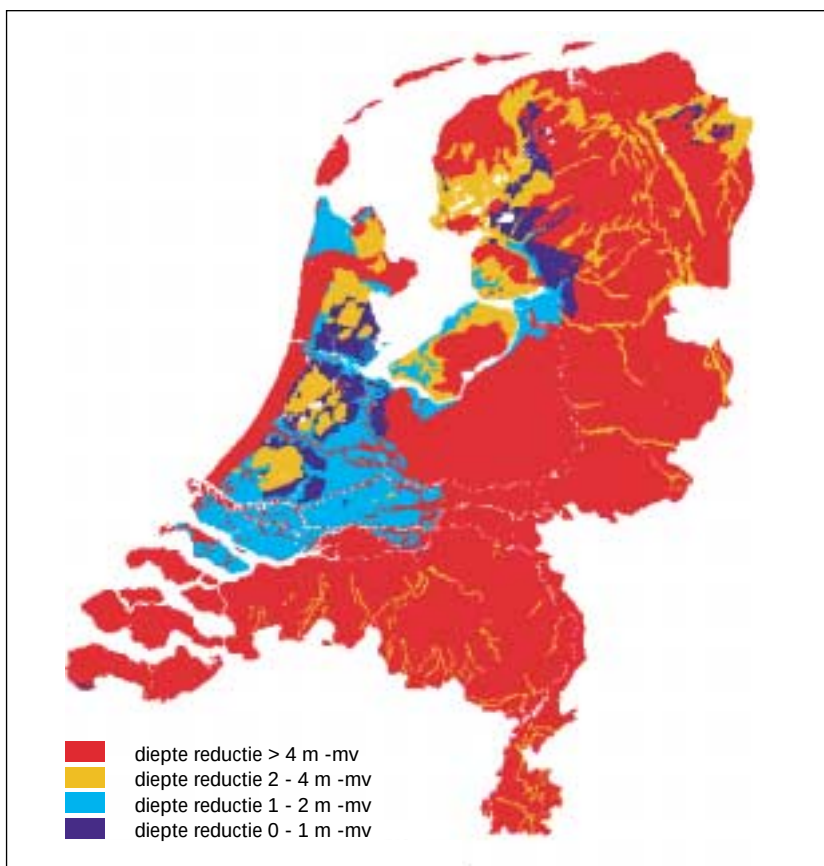
Voor de droge bulkdichtheid zijn de waarden zoals besproken in paragraaf 5.1 en 5.2 direct overgenomen. Ook het lutum- en organische stof gehalte zijn gebaseerd op de waarden opgeleverd door NITG-TNO. In sommige gevallen waren echter nullen opgegeven. In werkelijkheid zijn de gehalten niet 0 maar zeer klein. GONAT kan bovendien niet rekenen met deze nullen; de laagst voorkomende waarde in de oude schematisatie was voor het organisch stof gehalte gelijk aan 0,1. Om dat GONAT een hogere waarde nodig heeft dan nul en om de getallen toch te kunnen onderscheiden van de waarde 0,1, zijn de nullen omgezet naar de waarde 0,09. Evenzo was de laagst voorkomende waarde voor het lutum gehalte gelijk aan 1,0 en zijn de nullen omgezet naar 0,9.

Ijzer en Aluminium van de ondergrond

Bij de parametrisatie van de ondergrond is voor Al/Fe het totaal Al/Fe-gehalte bepaald door TNO. Achteraf bleek echter dat voor GONAT de met Ammonium-oxalaat extraheerbare fractie van belang is, omdat deze het fosfaatbindend vermogen bepaalt. Deze fractie is minder dan de totale gehalten die bepaald zijn door TNO. Uit mondeling overleg met NITG-TNO kwam naar voren dat deze fractie van Al tussen de 10 en 15 procent van het totale gehalte bestaat en voor Fe tussen de 20 en 50 procent. Uiteindelijk is, in overleg met TNO, besloten de opgeleverde Al/Fe getallen pragmatisch om te rekenen. Voor aluminium is 10 procent genomen van het totale gehalte aluminium. Voor ijzer is 25 procent genomen, tenzij er sprake is van een volledig gereduceerde omgeving. In dit laatste geval is een waarde van nul gehanteerd. Voor de keuze of de omgeving al dan niet geheel gereduceerd is, is de grondwatertrappenkaart (zie bodemkaart 1:50.000) gehanteerd. Dit heeft geleid tot de volgende indeling (zie figuur 5.2).

Figuur 5.2

Schematisatie van de reductie van ijzer over de diepte



Voor de Fe concentratie houdt dit in dat voor bepaalde hydrotypen vanaf bepaalde gereduceerde lagen een waarde van nul is ingevuld. De specificatie hiervan is weergegeven in onderstaande tabel. In de overige gevallen is de Fe-concentratie omgerekend volgens bovenstaande vertaalslag.

Tabel 5.2

De reductie van ijzer gespecificeerd per voorkomend hydrotype en diepte

Hydrotype	Diepte met volledige reductie
14, 15	1 m -mv
10, 12, 13	2 m -mv
2, 7, 9, 18-21	4 m -mv

pH, C/N-ratio en horizont-code van de ondergrond

Voor de pH en de C/N ratio zijn in eerste instantie dummy waarden ingevuld. Dit geldt eveneens voor de horizont code. Deze waarden zijn in tweede instantie gekopieerd uit de onderste laag van de bodem, dat wil zeggen laag 10 van de file "soil.dat" (zie hoofdstuk 4). Dit houdt in dat voor de pH-waarden de eigenschappen van de onderste bodemlaag, volgens de nieuwe bodemchemische indeling, zijn toegekend en de waarden voor de C/N ratio zijn overgenomen uit de oude schematisatie.

Kwelwaterkwaliteit

Voor de kwelwaterkwaliteit (N- en P-concentraties) zijn dezelfde waarden gehanteerd als in de WSV-schematisatie, omdat hier binnen dit project REDESIGN STONE geen tijd en geld meer beschikbaar was. Een verbetering van deze gegevens heeft voor de toekomst een hoge prioriteit voor de correcte voorspelling van de oppervlaktewaterbelasting in Laag Nederland.

5.4 Conclusies en aanbevelingen

De parametrisatie van chemie van de ondergrond op basis van de subhydrotypen is uitgevoerd op basis van "educated guesses". Voor de geochemische parameters is de parametrisatie uitgevoerd op basis van beschikbare geochemische analyses indien aanwezig, en anders ook met behulp van educated guesses. Het gebruik van de indeling in subhydrotypen heeft zijn beperkingen. De verticale differentiatie van de chemie van de ondergrond in drie diepteintervallen blijkt wel zeer goed mogelijk voor de meeste subhydrotypen.

Verschillende hydrotypen zijn noodzakelijk geografisch onderverdeeld, omdat er regionaal wezenlijke verschillen zijn in eigenschappen van de nationale hydrotypen. Met name de verschillende hydrotypen van de Westland-Formatie zijn opgedeeld in subhydrotypen. Omdat voor de ruimtelijke indeling in STONE-plots niet de subhydrotypen, maar de indeling in hydrotypen als basis hebben gediend, wordt in principe een onzuiverheid geïntroduceerd ten aanzien van de toekenning van plots aan subhydrotypen. Deze onzuiverheid is van zeer beperkte omvang doordat de plots naast de indeling in hydrotypen sterk zijn gedifferentieerd op basis van andere kenmerken, zoals het bodemtype, landgebruik, drainageweerstand etc. Andere hydrotypen zijn daarentegen weer samengevoegd, omdat zich geen verschillen voordoen op het beschouwde diepte-interval. Speciale vermelding verdient de samenvoeging van Dekzand profiel, Eem en/of keileemprofiel en Open profiel tot het zogenaamde Dekzand profiel.

De toekenning van de chemie van de ondergrond aan de indeling in sub-hydrotypen gaat in principe uit van een homogene samenstelling. In de praktijk zijn de verschillende hydrotypen echter zeer heterogeen, waardoor toekenning van de chemie van de ondergrond aan deze hydrotypen een beperkte waarde heeft. De hydrotypen waarvoor dit in het bijzonder geldt zijn Duinstrook, Dekzand profiel en Nuenengroep profiel. De geologische variatie speelt zich hier vaak af op lokale schaal. Verbetering van de parametrisatie is voor deze hydrotypen goed mogelijk. De problematiek van uitspoeling van nutriënten speelt ook in deze gebieden want grote delen van deze gebieden hebben een landbouwfunctie.

Een tweede belangrijke aanbeveling voor de toekomst is om de basis van het Holocene als digitaal bestand te gebruiken bij de parametrisatie van de ondergrond. In het rivierengebied ligt het Pleistoceen bijvoorbeeld vaak binnen 7 meter onder maaiveld. Het is voor zo'n situatie waardevol om de basis zo gedetailleerd mogelijk mee te nemen, omdat de overgang van Holocene naar Pleistoceen voor zo'n gebied ook samengaat met wezenlijke veranderingen in de geologische en geochemische parameters.

Een eventueel toekomstige verbetering van de chemie zal naar verwachting bij handhaving van de nieuwe ruimtelijke plot-indeling kunnen worden gerealiseerd, door een groter aantal chemische combinaties te hanteren. Dit vereist wel extra verwerkingstijd bij de berekeningen.

De parametrisatie van het aluminium- en ijzergehalte voor de ondergrond is uiteindelijk gebaseerd op een pragmatische vertaling van totale gehalten naar met ammonium-oxalaat extraheerbare gehalten. Deze waarden moeten in de toekomst specifiekere worden bepaald en worden gedifferentieerd naar de onderscheiden eenheden.

De pH-gegevens van de ondergrond zijn overgenomen uit de gegevens van de onderste bodemlaag, volgens de nieuwe indeling in 456 eenheden (zie hoofdstuk 4). De waarden moeten in de toekomst nog nader gespecificeerd worden voor de ondergrond. De waarden voor de C/N-ratio en kwelwaterkwaliteit van de ondergrond zijn overgenomen uit de oude schematisatie. Deze waarden moeten in de toekomst worden gespecificeerd, bij voorkeur op basis van de bestaande indelingen voor de chemie.

6 Parametrisatie van de overige invoer van GONAT/ANIMO

Alvorens STONE scenario's doorgerekend kunnen worden zijn de initiële bodemwaarden voor stikstof en fosfor nodig. Deze worden met GONAT berekend in een initialisatie periode (1941-1985). De benodigde invoer gegevens staan in de invoer files van GONAT. Omdat het aantal, de ligging, en de samenstelling van de plots zijn vernieuwd, zullen ook bijvoorbeeld de bestanden met mestgiften en de administratieve bestanden van GONAT/ANIMO moeten worden aangepast. Deze bestanden worden in dit hoofdstuk besproken.

Voor de initialisatie van GONAT zijn, naast de bestanden "*soil.dat*" en "*soilbot.dat*" (zie hoofdstuk 4 en 5) de volgende bestanden nodig en dien ten gevolge aangepast:

- Bo_file *
- Cr_files *
- Dm_files *
- General.dat
- Km_files *
- Plot.dat

De invoerfiles die gemarkeerd zijn met een * bestaan steeds uit 3 files (a, b en c), met in totaal 8 perioden. De indeling van deze files is weergegeven in tabel 6.1.

Tabel 6.1
Onderverdeling van de files Bo, Cr, Dm en Km in 3 files

Filenummer	Periode
.....	
a	1941 - 1954
a	1955 - 1955
b	1956 - 1969
b	1970 - 1970
c	1971 - 1974
c	1975 - 1979
c	1980 - 1984
c	1985 - 1985

6.1 Aanpassing van de verticale indeling in compartimenten

De gehanteerde verticale indeling is weergegeven in bijlage 3.3. Hierin is tevens de verandering van de indeling weergegeven, ten opzichte van de oude verticale schematisatie. Voor de indeling vanaf 1 meter diepte zijn aanpassingen verricht, om een meer verfijnde indeling te krijgen in de zone waar de laagste grondwaterstanden "actief" zijn. Verder is de totale profiel-lengte verlengd. Een uitgebreidere beschrijving van de aanpassingen is te vinden in paragraaf 3.4.

6.2 Aanpassing van de Bo_file

De drie Bo-files (a, b en c) bevatten voor de betreffende perioden (zie tabel 6.1) het landgebruik per plot. Aangezien het landgebruik één van de onderscheidende kenmerken van de ruimtelijke schematisatie is (zie paragraaf

2.1.2), wordt deze direct bepaald door de ruimtelijke schematisatie. Voor de schematisatie is het LGN3-plus gebruikt. Omdat de codering in het LGN niet overeen komt met de door GONAT gehanteerde codering, moet deze worden vertaald. De LGN3-code 1 (gras) is daarom omgezet naar 6. Bovendien is (alleen) voor de perioden van vóór 1971 het landgebruik maïs (2) omgezet naar overig bouwland (3), omdat voor deze periode geen maïs voorkwam.

6.3 Aanpassing van de Cr_files

De *Cr-files* bevatten per periode (zie tabel 6.1) en per plot een correctiefactor voor stikstof in natte en droge depositie. Aangezien bij de verschillende instituten niet precies kon worden achterhaald hoe deze correctie factor tot stand is gekomen, is gekozen voor een pragmatische oplossing: de waarden uit de WSV-schematisatie zijn in GIS ruimtelijk rekenkundig gemiddeld naar de nieuwe plots. De plotschematisatie past echter niet op de WSV-schematisatie, onder meer omdat in de nieuwe schematisatie een groter stedelijk gebied is gehanteerd en duinen zijn toegevoegd. Voor de ontbrekende delen is de meest voorkomende waarde per meteo-district toegekend aan de ontbrekende delen.

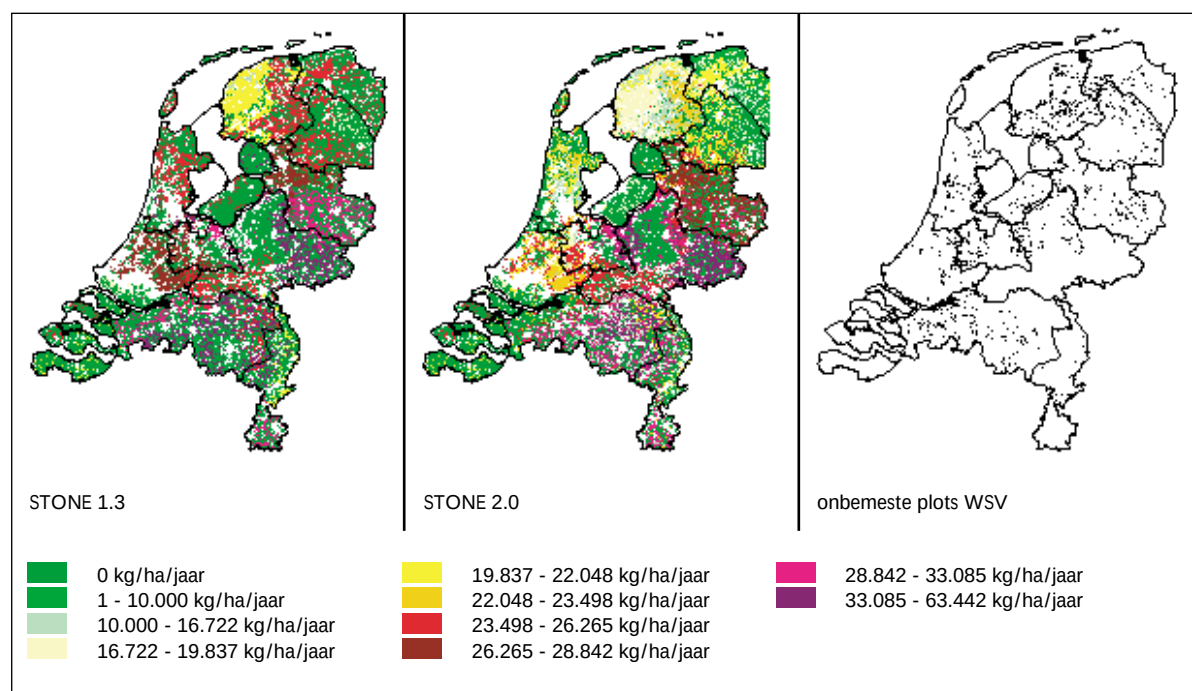
6.4 Aanpassing van de Dm_files

De *Dm-files* bevatten gegevens over de dierlijke mestgift per plot en per periode. Ook van deze gegevens waren geen originele invoer bestanden voorhanden en derhalve zijn ook deze gegevens van de WSV-schematisatie omgerekend naar de stone2.0-schematisatie. Ook hier doet zich het probleem voor dat de nieuwe schematisatie niet past op de oude. De keuze is gemaakt om niet de totale hoeveelheid mest gelijk te houden maar het applicatieniveau (ofwel de hoeveelheid mest per ha). Er is in het verleden bij de berekening van de hoeveelheid mest per ha rekening gehouden met het LEI-district, het bodemtype en het landgebruik. Voor het landgebruik is gebruik gemaakt van de indeling die is gehanteerd in de schematisatie (gras, maïs, overig landbouw, natuur). Voor het bodemtype is de indeling in veen, klei en zand gebruikt (zie tabel 2.6) en niet de indeling in bodemfysische eenheden. De laatste leverde te veel combinaties op en bleek bovendien te gedetailleerd voor de toekenning van de mestapplicatie.

De gebruikte methode van omrekening is in eerste instantie een administratieve bewerking, waarbij van fijn naar grof is gewerkt. Eerst zijn voor de beide schematisaties combinaties gemaakt van het LEI-district, de bodemtype en het landgebruik. Vervolgens is het gemiddelde applicatieniveau van de WSV-schematisatie per unieke combinatie aan dezelfde unieke combinatie van nieuwe schematisatie toegekend. In 0,5 procent van het totale areaal komt deze uit drie parameters bestaande unieke combinatie niet in beide schematisaties voor. Hiervoor is dezelfde procedure gevolgd voor een combinatie van twee parameters; het LEI-district en het bodemtype. Waar ook deze combinatie niet voorkwam is de gemiddelde applicatie van (alleen) het LEI-district toegekend. De beschreven methode levert een mestgift op celniveau. Deze applicatie is tot slot omgezet naar giften per plot door de applicatie rekenkundig te middelen over de plot. Voor de natuurplots is er van uit gegaan dat geen mest wordt toegediend. Hiervoor is plaats van bovenstaande procedure het applicatieniveau op nul gezet.

.....
Figuur 6.1

Voorbeeld van mestapplicatie in de oude en nieuwe schematisatie voor "natte mest" en de ligging van onbemeste WSV-plots



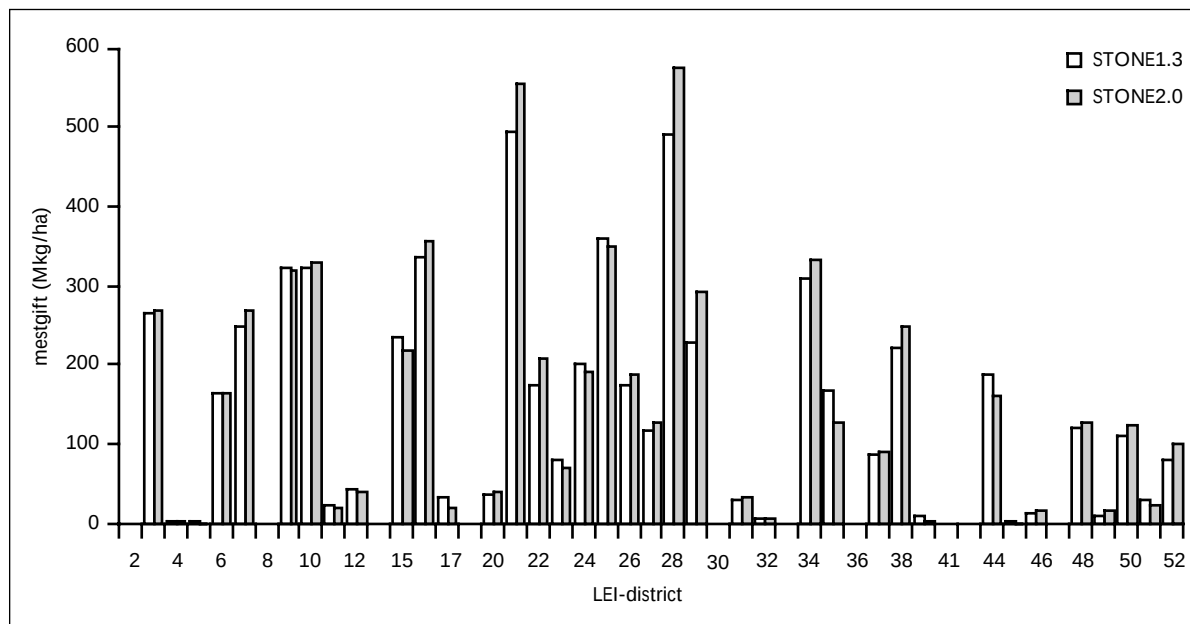
In de WSV-schematisatie is een correctie toegepast vanwege grote verschillen in de arealen grasland tussen het LGN en het CBS. Van een aantal grasland plots is het applicatie niveau op nul gezet (de onbemest plotse, in het verleden ook aangeduid als "no-shit plots"). Deze onbemeste plots zijn bij de omrekening als plots met een applicatieniveau van nul meegemiddeld. Het effect van deze onbemeste plots is duidelijk te zien. Juist daar waar veel onbemeste plots lagen is het applicatieniveau in de STONE2.0-schematisatie duidelijk lager.

De hoeveelheid toegediende mest in de oude- en nieuwe schematisatie zijn met elkaar vergeleken voor de post natte mest (wmh1). Het blijkt dat hiervoor de hoeveelheid mest landelijk met 4,7 procent is toegenomen. Dit is niet te verklaren uit de toename van areaal (2,4 procent), omdat het areaal met name toeneemt voor duingebied. Aangezien dit gebied een natuurfunctie heeft met een applicatieniveau van nul, kan dit niet de verklarende factor zijn. De verklaring moet daarom gebaseerd zijn op het veranderde landgebruik.

Op LEI-districts niveau zijn de verschillen tussen de WSV-schematisatie en de nieuwe STONE-schematisatie een stuk groter (zie figuur 6.2). Dit is te verklaren door de aanwezigheid van onbemeste pots in de WSV-schematisatie. Daarnaast is de indeling in LEI-districten niet als onderscheidend kenmerk meegenomen in de nieuwe ruimtelijke schematisatie. De cellen van een plot kunnen daardoor over meerdere LEI-districten verspreid liggen, waardoor de applicaties van meer dan één LEI-district zijn gemiddeld. Omdat de plots relatief klein zijn en de individuele cellen van een plot niet ver van elkaar liggen, zal dit effect gering zijn. De grootste oorzaak van de verschillen in mestapplicatie per LEI-district moet dan ook gezocht worden in het veranderde landgebruik (zie figuur 6.3). De ruimtelijke ligging van het landgebruik is in een aantal opzichten veranderd ten opzichte van de WSV-schematisatie. Ten eerste is een ander tijdstip van opname gehanteerd

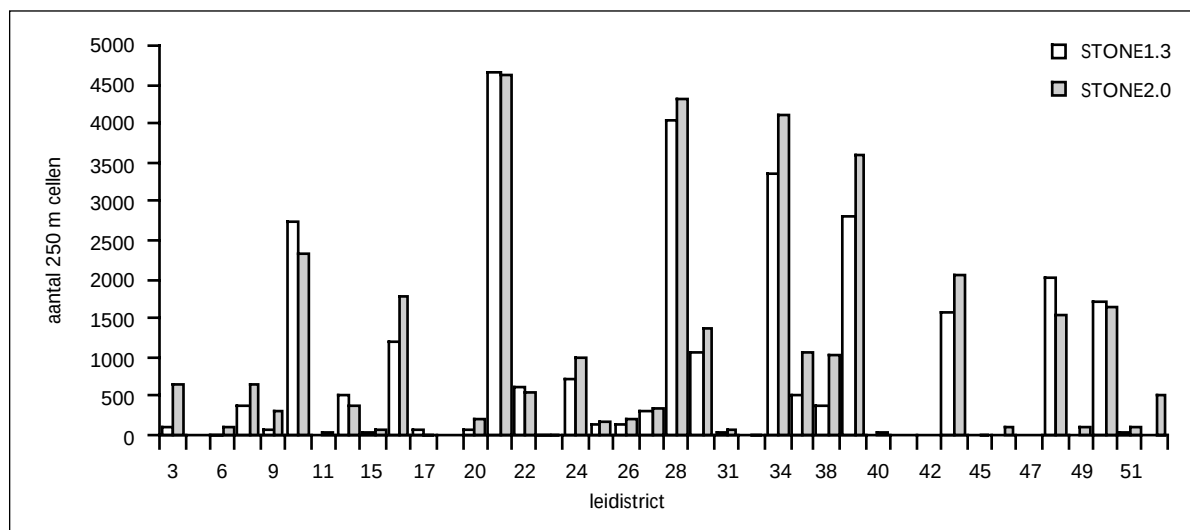
Figuur 6.2

De verschillen van de gesommeerde mestgift per LEI-district



Figuur 6.3

De verschillen in areaal maïs per LEI-district



(LGN3, periode 1995-1997, in plaats van LGN2). Ten tweede is de ruimtelijke indeling veranderd omdat meer plots zijn gehanteerd en dus een hogere zuiverheid is behaald, ook voor het landgebruik. Daardoor zullen, bijvoorbeeld binnen een LEI-district, andere verhouding gelden voor de arealen natuur, gras, maïs, en overige landbouw in de schematisatie. Ten derde speelt het hiervoor besproken toegenomen areaal in de schematisatie een rol.

Doordat het applicatieniveau als uitgangspunt is gekozen en door bovengenoemde verandering van landgebruik, verandert de totale hoeveelheid toegediende mest in de initialisatie van GONAT ten opzichte van de WSV-schematisatie. De gevolgen zullen hiervan zullen meer gedetailleerd aan de orde komen in het project plausibiliteitstoets STONE.

6.5 Aanpassing van de file *general.dat*

In "*General.dat*" zijn alleen de getallen voor het totale aantal plots gewijzigd.

6.6 Aanpassing van de *km_files*

De *Km-files* bevatten gegevens over de kunstmestgift per plot per periode. De omrekening van de WSV- naar de plotschematisatie heeft op precies dezelfde wijze plaatsgevonden als bij de *Dm_files*, met dezelfde beperkingen en opmerkingen.

6.7 Aanpassing van de file *plot.dat*

De atmosferische depositie en de infiltratie/kwel worden per PAWN-district beschreven; de ander typen informatie in "*plot.dat*" worden per plot gespecificeerd. Eerstgenoemde per PAWN-district toegekende gegevens hoeven niet aangepast te worden voor de nieuwe plotschematisatie; wel moet worden aangegeven binnen welk PAWN-district de betreffende plots zich bevinden. Doordat voor de ruimtelijke indeling van plots de indeling in PAWN-districten niet direct is gebruikt (maar wel indirect via de meteo-districten), zal bij de toekenning van plots aan PAWN-districten een onzuiverheid worden geïntroduceerd. Deze onzuiverheid wordt echter gering geacht, door de grote differentiatie van de plots, het gebruik van andere regionale indelingen in de schematisatie en de aangetoonde grote zuiverheid van de schematisatie voor diverse parameters.

Voor de indeling in veen, klei en zand, die ook in de file *plot.dat* wordt toegekend, geldt een zeer beperkte onzuiverheid, omdat deze indeling wel is gehanteerd bij de ruimtelijke indeling. De ruimtelijke indeling bepaalt daarvoor direct tot welke categorie de plot behoort. De nieuwe indeling in zand, klei en veen wijkt echter af van de WSV-schematisatie. Ten eerste geldt dat de toekenning van bodemfysische eenheden in de nieuwe schematisatie is gebaseerd op de bodemkaart 1:50.000 (Klijn, 1997) in plaats van op de bodemkaart 1:250.000 (Wösten *et al.*, 1988). Ten tweede is de zuiverheid van de nieuwe schematisatie ten aanzien van deze indeling hoger. Ten derde geldt dat de vertaling van de bodemfysische eenheden naar de indeling in veen, zand en klei in geringe mate afwijkt van de WSV-schematisatie (zie tabel 2.6 en Boers *et al.*, 1997).

In het bestand "*plot.dat*" wordt verwezen naar het bestand "*soil.dat*" door middel van het corresponderende nummer van de bodemeenheid in "*soil.dat*". De nieuwe schematisatie hanteert hierbij 456 bodemchemische eenheden, in plaats van de 21 bodemfysische eenheden die in de WSV-schematisatie zijn gehanteerd (zie hoofdstuk 4). Om ook de verwijzing naar de 21 bodemfysische eenheden te bewaren, is ervoor gekozen de verwijzing naar de 456 bodemchemische eenheden als een extra kolom in "*plot.dat*" op te nemen. Bovendien is er besloten "*soil.dat*" op te delen in bovengrond (*soil.dat*) en ondergrond (*soilbot.dat*) (zie hoofdstuk 4 en 5). Dit houdt in dat er in "*plot.dat*" ook een verwijzing naar het bestand "*soilbot.dat*" is opgenomen.

6.8 Initialisatie van GONAT

GONAT is opnieuw geïnitieerd met de nieuwe invoerfiles (zie paragraaf 3.2, hoofdstuk 4, 5 en 6). Hiervoor zijn conform de procedure in de WSV-schematisatie (Boers *et al.*, 1997) de initiële waarden voor GONAT berekend voor het jaar 1985 door het doorrekenen van de periode 1941-1985 met GONAT. Door aanpassing van de invoerfiles in de nieuwe schematisatie verschillen deze initiële toestandsvariabelen met de WSV-schematisatie. De resultaten en verandering van de initialisatie worden hier verder niet besproken, maar zullen worden behandeld in het vervolg project Plausibiliteit STONE.

6.9 Discussie en aanbevelingen

- De oorsprong van de correctiefactor die is gehanteerd voor stikstof bij natte en droge depositie ("Cr-file") was niet te achterhalen. De factor is pragmatisch vertaald van de WSV-schematisatie naar de nieuwe schematisatie. In de toekomst moeten de originele correctie factoren worden achterhaald of opnieuw worden gecalibreerd voor de nieuwe schematisatie.
- De informatie met mestgegevens (dm-files, km-files), die de basis vormen voor de initialisatie van GONAT, bleken bij de instituten niet (digitaal) beschikbaar. Ook deze belangrijke basisgegevens zijn pragmatisch vertaald van de WSV-schematisatie naar de nieuwe schematisatie. Hierbij is de keuze gemaakt om het applicatie niveau, dat wil zeggen de hoeveelheid mest per bodemtype, landgebruikstype en oppervlakte-eenheid, gelijk te houden. Omdat de indeling in bodemtypen en landgebruik is veranderd ten opzichte van de WSV-schematisatie, bijvoorbeeld door een grotere zuiverheid van de schematisatie, zal de totale mest applicatie zijn aangepast. Voor een voorbeeldsituatie is aangetoond dat de totale mestgift 4.7 procent is toegenomen ten opzichte van de WSV-schematisatie. Een nadere analyse van het effect van deze benadering is absoluut noodzakelijk en zal aan de orde komen in het vervolgproject "plausibiliteitstoets STONE". Voor de toekomst wordt sterk aangeraden de brongegevens te achterhalen en alsnog te gebruiken in de nieuwe schematisatie.
- Een zwakke schakel van de initialisatie is dat de huidige situatie voor landgebruik en hydrologie wordt gehanteerd voor de berekening van de historische mestgift. Het toegepaste landgebruik (LGN3) is opgenomen in de periode 1995-1997, terwijl hiermee de situatie vanaf 1940 is doorgerekend. Wel is er rekening gehouden met de grote verandering in trends van het landgebruik, zoals de opkomst van snijmaïs (zie Boers *et al.*, 1997). De hydrologische situatie is voor een groot deel gebaseerd op de in waterlopen volgens het Top10-vector bestand. Met name deze indeling is in de loop der jaren sterk aan verandering onderhevig geweest, door bijvoorbeeld ruilverkaveling en optimalisatie voor de landbouw. Het is duidelijk dat het landgebruik en de hydrologie zeker niet als representatief voor de gehele periode 1940-heden kunnen worden gezien.

7 Aanpassing in de programmatuur en data in STONE

Voor het implementeren van de nieuwe schematisatie is een aantal veranderingen doorgevoerd in de STONE-programmatuur en in de "harde data" in STONE, die niet direct tot de invoer moet worden gerekend. Het betreft bijvoorbeeld aanpassingen om de rekensnelheid van STONE te waarborgen, aanpassingen ten behoeve van een verandering van de districtenkaart en aanpassingen van de fractie-, conversie-, en droge grondtabellen aan de nieuwe schematisatie.

Om STONE geschikt te maken voor de nieuwe schematisatie, zijn ook aanpassing uitgevoerd aan de conversieprogrammatuur. De functionele en technische beschrijving van de conversieroutines is beschreven in Beusen *et al.* (2001) en wordt hier niet verder besproken. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste aanpassingen weergegeven en eventueel het doel van die aanpassingen.

7.1 Aanpassingen ten behoeve van de rekensnelheid

Een randvoorwaarde voor de nieuwe schematisatie was dat de doorlooptijd van de nieuwe schematisatie niet langer dan één dag mocht bedragen. Hiervoor is uitgegaan van een STONE run van 45 jaar en de hardware die nu gebruikt werd (Pentium II, 450 Mhz). Het grootste aandeel van de doorlooptijd wordt gebruikt door GONAT. In maart 2000 was de snelheid van GONAT ongeveer 9,5 plots per minuut (ongeveer 19 uur voor de gehele berekening). Na enige aanpassingen met GONAT1.3 is de snelheid verhoogd naar 16 plots per minuut. Op basis van deze snelheidsverbetering is de randvoorwaarde vertaald naar een maximaal aantal van 6000 plots. Uiteindelijk hanteert de nieuwe schematisatie 6405 plots. Verdere reductie van het aantal plots zou de kwaliteit van de schematisatie verminderen. Tevens is het aantal lagen waarvoor gerekend wordt per plot verhoogd van 15 naar 22. Ook deze verhoging veroorzaakt een langere doorlooptijd van STONE.

De genoemde veranderingen resulteren in een snelheid van ongeveer 12 plots per minuut. De doorlooptijd van GONAT is $(3 \text{ perioden} \times 15 \text{ jaar} \times 6405 \text{ plots} / 12 \text{ plots per minuut})$ gelijk aan 1600 minuten ofwel bijna 27 uur. Deze doorlooptijd is boven de gestelde limiet van één dag, maar nog wel acceptabel. Naast de doorlooptijd van GONAT gebruikt ook STONE nog rekentijd. Er is in STONE2.0 een aantal veranderingen doorgevoerd, zodat er tenminste geen toename van de rekentijd zal zijn. Deze toename is wel te verwachten omdat het aantal plots en daarmee ook de grootte van de bestanden verhoogd is.

7.2 Aanpassingen van de harde data in STONE

7.2.1 PAWN-kaart

In STONE wordt de indeling in 80 PAWN-districten op twee manier gebruikt. Ten eerste kan men in STONE uitvoer aggregeren op PAWN-district niveau en het resultaat visualiseren. De PAWN-kaart voor de visualisatie van STONE1.3 was zeer gedetailleerd en onoverzichtelijk en daardoor niet geschikt om data te visualiseren. Daarom is er gekozen voor een andere

PAWN kaart, uit "spacebase" van het RIVM (nlpawn0_98). Ten tweede wordt de PAWN-kaart gebruikt voor de koppeling van invoerparameters van GONAT. De kaart is dan ook gebruikt voor het genereren van PAWN-districts afhankelijke data in de schematisatie.

7.2.2 conversietabellen PAWN-LEI-plots

Voor het genereren van de conversie tabellen zijn de volgende bestanden gebruikt:

- nlpawn0_98 (polygonen met PAWN-districten)
- de nieuwe plot-indeling (grid-bestand)
- Lei_ori (polygonen met LEI-gebieden)

De polygonenkaarten zijn eerst omgezet naar grid-bestanden, met dezelfde grenzen en cel-grootte als de STONE-schematisatie, om ze te kunnen combineren met de plot-indeling. Vervolgens is het oppervlaktewater verwijderd uit de bestanden (Pawn0_98: waarden 81-91, Lei_ori: waarde 0 en STONE-plots: waarde 6407), evenals het stedelijk gebied (STONE-plots: 6406). De kaarten van PAWN-districten, LEI-gebieden en STONE-plots zijn vervolgens gecombineerd in één grid-bestand. Van de attribuutwaarden van dit bestand zijn in excel vervolgens opsommingen gemaakt van het totale areaal plots, PAWN- of LEI-gebieden, resulterend in de conversietabellen. In minder dan 0,1 procent van het areaal vielen delen van de plots buiten het LEI-district of PAWN-kaart, bijvoorbeeld in het havengebied van Rotterdam en delen van Zuid-Zeeland. Dit is als verwaarloosbaar beschouwd en niet gecorrigeerd in de conversietabellen.

7.2.3 Droge gronden

In het bestand "*droog.dat*" moet per plot worden aangegeven of de plot tot droge gronden wordt gerekend. Hiervoor is een overlay gemaakt tussen de plots en de bij het RIVM aanwezige droge gronden kaart (*droog 50 meter*). Het grid met STONE-plots is eerst gesampled naar een 50 meter grid en vervolgens gecombineerd met de droge grondenkaart, tot een kaart waarin per gridcel de plotcode en de typering droge grond is aangeduid. De overlay bevat nog slechts 222.570 ha droge gronden van de oorspronkelijke 235.622 ha. Het verschil wordt verklaard door de plots in steden en oppervlaktewater. Bovendien is 2900 ha van de STONE-plots weggevallen in de overlay, bijvoorbeeld delen van de eilanden.

Vervolgens zijn de droge plots toegekend op basis van de fractie "droge grond". De natuurplots zijn buiten beschouwing gelaten, omdat de droge gronden kaart (in principe) alleen landbouwgronden bevat. Hiervoor is een totaal areaal van 240.000 ha droge grond toegekend aan de plots met de grootste fractie droge grond. De plots zijn hiervoor geordend naar de afnemende fractie "droog". De plot waarbij het cumulatieve areaal droge grond 240.000 ha overschrijdt, is meegenomen als laatste droge plot. Het totale areaal droge grond in de schematisatie is 240.181 ha.

De als droog gekenmerkte plots zijn geanalyseerd. De maximale fractie droog is 0,964, de minimale fractie is 0,394. De plots hebben de volgende eigenschappen voor grondwatertrap (Gt) en grondsoort:

Gt	Aantal plots
...	
0	9
5	4
6	189
7	315

Grondsoort	Aantal plots
.....	
Veen	17
Zand	479
Klei	21

Op basis van de grondwatertrap wordt geconcludeerd dat de meeste plots echt droog zijn (Gt 6 en 7). Voor 13 plots geldt dit niet; dit is waarschijnlijk het gevolg van de noodzakelijke reductie van de unieke eenheden (o.a. Gt) tot een beperkt aantal rekenplots (zie paragraaf 2.1). Het grootste aantal STONE-plots dat gekenmerkt als "droge grond" ligt op zand. De bovenstaande methode, die ook is gebruikt in STONE1.3, levert een goed resultaat op.

Er is ook gekeken naar een alternatieve methode van toekenning van droge gronden, op basis van de volgende eigenschappen:

1. geen natuur
2. zandgronden (volgens indeling veen/zand/klei, tabel 2.6)
3. Gt VI of VII

Dit leverde een slechter resultaat: 655.106 ha droge grond en is daarom niet gehanteerd.

7.2.4 Fractietabel bouwland

In GONAT2.0 is de gewasopname vervangen door een gewasopname module (gg2-module). Deze module is in een ander deelproject van STONE ontwikkeld, parallel aan dit project. Door toevoeging van deze module is er een extra invoerbestand nodig, namelijk "*bourat_d.dat*" (in STONE worden ze aangemaakt onder de naam *frbouw1.dat*, *frbouw2.dat* en *frbouw3.dat*). Dit bestand geeft voor de plots met het gewas 'bouwland' de fractie granen, bieten en aardappelen. Dit bestand is op twee manieren gemaakt. Een manier was nodig voor de initialisatie van GONAT2.0 en de andere manier werd in het conversieprogramma ConvMest geïmplementeerd. In beide methoden wordt de verdeling van granen, bieten en aardappelen uit het CLEAN uitvoerbestand gebruikt en gecombineerd met de plot-indeling. Het verschil tussen de methoden is dat het bestand voor de initialisatie alleen gebruik maakt van gegevens van 1986, terwijl de methode die geïmplementeerd is in ConvMest gebruik maakte van een gemiddelde over een 15 jarige reeks uit GONAT. De laatste methode wordt hier beschreven.

De methode wordt hieronder in stappen beschreven:

- Lees onder het kopje [dierlijke_bemesting_per_mestsoort] de gegevens LEI nummer, gewas, bodemtype en areaal.
- Aggregeer deze gegevens per LEI gebied en per gewas. Sommeer de arealen over de verschillende bodemsoorten. Bepaal de fractie per LEI gebied van de CLEAN gewassen die hieronder genoemd worden.
- Gebruik de volgende conversietabel:

GONAT-naam	CLEAN-naam (code)
.....	
Granen	Wintertarwe (104)
Bieten	Pootaardappelen en bieten (103)
Aardappelen	Consumptie en fabrieksaardappelen (102)

- Bepaal het gemiddelde over alle invoerjaren van één simulatieperiode (1986 - 2000, 2001 - 2015, 2016 - 2030) per LEI gebied. Voor de initialisatie is alleen 1986 als invoerjaar gebruikt en wordt deze stap niet uitgevoerd.
- Lees de fractietabel "*frleiwsv.dat*" in.

- Lees het gewas voor elke plot in, uit het bestand Bo.dat.
- Indien het gewas bouwland is, gebruik dan de volgende formule:

$$\text{bouwrat} = \text{bouwrat} + \text{fbouw}(\text{lei}) * (\text{fractie frleiwsv})$$
 met:
bouwrat: gewasratio (granen, bieten, aardappelen) van de STONE-plots
fbouw(lei): gewasratio (wintertarwe(104), pootaardappelen en bieten(103), consumptie en fabrieksaardappelen(102)) van LEI gebied lei.
Fractie frleiwsv: bevat de oppervlakte fracties van de STONE-plots binnen de LEI districten.
- Bepaal de relatieve verhouding voor de drie gewassen per plot (is gelijk aan de bouwrat gedeeld door de som van de drie gewassen bouwrat).
- Schrijf voor elke plot met bouwland het plotnummer en de drie fracties naar een uitvoerbestand.

7.2.5 Analyse arealen bemest grasland

De nieuwe arealen grasland in STONE zijn achteraf vergeleken met de CLEAN (LEI-landbouwtelling) 1997 arealen. Er bleek nog een groot verschil tussen het areaal gras in STONE, afgeleid van LGN3 bestand en tussen deze arealen in CLEAN: in STONE blijkt 350.000 hectare grasland meer grasland dan in CLEAN. Dit verschil kan verklaard worden door bijvoorbeeld de niet getelde landbouwgronden (circa 150.000 ha) en grasarealen met een stedelijke functie (voetbalvelden, vliegvelden, wegbermen, parken, enz.). In het algemeen is wel een orde grootte bekend van de factoren die tot een verschil tussen LEI en LGN3 leiden, echter de locatie van de onbrekende gegevens is in het algemeen niet bekend.

Er is een overlay gemaakt tussen het gras in het LGN3 bestand en arealen die onder de relatie nota vallen. Dit zijn arealen die door de overheid voor natuurbeheer worden opgekocht. Dit levert al zo'n 142.000 ha op. Daarnaast kan men een overlay maken met gebieden die in bezit zijn van natuurorganisaties (bijv. natuurmonumenten, natuurlandschap). Dit levert ook zo'n 10.000 ha op. Samen levert dit al meer dan 150.000 ha LGN3 gras dat een duidelijke natuurbestemming heeft. In de toekomst kan rekening worden gehouden met deze grasarealen met natuurbestemming en de niet getelde landbouw gronden (ongeveer 150.000 ha).

Het is niet duidelijk of dit verschil in grasarealen in de praktijk bemest wordt. Het is aannemelijk dat zowel de niet getelde landbouwgronden, als sportvelden, vliegvelden etc. evengoed bemest worden.

Bij het beoordelen van de nieuwe schematisatie is door de STONE-deskundigen besloten om toch de grasarealen aan te passen, en dit verschil in areaal als onbemest toe te kennen in de STONE-schematisatie.

In het vervolgproject, plausibiliteitstoets STONE wordt een methode geanalyseerd voor het achteraf aanpassen van het areaal gras, door toekenning van onbemeste grasplots aan de schematisatie, zodat het verschil tot een aanvaardbaar niveau wordt gereduceerd. De resultaten en implementatie van deze methode waren ten tijde van het afronden van dit rapport niet gereed en worden daarom behandeld in het vervolgproject "plausibiliteitstoets STONE".

7.3 Aanpassingen in de organisatorische programmatuur

STONE Model Interface (SMI)

De STONE Model Interface (SMI) is niet veranderd. Echter de relationele database die de SMI gebruikt is wel veranderd.

Gonatapi

Voor bouwland wordt de fractie granen, bieten en aardappelen als invoerbestand voor GONAT opgegeven. In de Gonatapi wordt de bouwland bestanden naar de juiste naam gekopieerd. In de database van de SMI zijn deze bestanden toegevoegd.

CleanOps

Het bestand "*LeiHa.dat*" is uit de SMI database verwijderd. Dit bestand werd al in STONE1.3 niet gebruikt, maar was nog niet uit de database verwijderd.

Volgorde ConvDier en ConvMest

In STONE1.3 werd eerst *ConvMest* uitgerekend, en daarna *ConvDier*. Het programma *ConvMest* rekent de dierlijke mest en kunstmest uit per plot. Een van de uitvoerbestanden van *ConvMest* (*dmtmp.dat*) bevat per plot twee items namelijk de GVE (GrootVee Eenheid) en een matrix van dierlijke mestsoorten en mestcomponenten. De informatie van de dierlijke mest wordt in *ConvMest* bepaald. De GVE wordt in *ConvDier* bepaald. *ConvMest* schrijft voorlopig een "nodata value" weg in het GVE veld en creëert een bestand van 35 Mb per simulatieperiode van 15 jaar. *ConvDier* leest dit bestand weer in en vult per plot de GVE waarde in. Efficiënter zou zijn om de GVE waarden per plot te schrijven in een tijdelijk bestand en dit bestand in te lezen in *ConvMest*. Op deze manier wordt er opslagcapaciteit bespaard en *ConvDier* hoeft niet 100 Mb data in te lezen, waar het programma niets mee doet. In STONE2.0 is de volgorde van *ConvMest* en *ConvDier* omgedraaid. Eerst wordt er een klein bestand door *ConvDier* aangemaakt met GVE waarden per plot. Daarna wordt dit bestand door *ConvMest* ingelezen en gebruikt om een compleet bestand voor dierlijke mest aan te maken. Deze verandering betekent ook een wijziging van de relationele database.

ConvMest

In *ConvMest* is een aantal handige aanpassingen gedaan die ervoor zorgen dat het programma flexibeler met invoerbestanden kan omgaan. De versie in STONE1.3 was gevoelig voor het formaat van de invoerbestanden, zoals "*kmcg.dat*", "*dmcg.dat*" en "*dmsrtcg.dat*". Het aantal en de volgorde van de rijen was in STONE1.3 van belang. Dit zorgde er ook voor dat een WSV scenario en een MV5 scenario niet met dezelfde STONE-applicatie gedraaid konden worden. Dat probleem is nu verholpen in STONE2.0. *ConvMest* ordent de invoerbestanden zelf en bepaalt welke rijen er gebruikt worden. Tevens worden de fractietabellen die *ConvMest* als invoerbestand heeft, door het programma zelf geordend, waardoor een efficiëntere verwerking en juiste bewerking wordt gewaarborgd. In STONE2.0 wordt ook beter omgegaan met lege regels in het CLEAN uitvoer bestand. In het verleden bleek dat, door een update van de CLEAN executabels, het formaat iets was gewijzigd. Dit leverde problemen op voor het programma *ConvMest*. Ook dit probleem is opgelost.

7.4 Aanpassingen in de gebruikersschil

De gebruikersschil van STONE1.3 (GUI) is niet gewijzigd. De invoerbestanden van de GUI zijn wel gewijzigd. Er zijn nieuwe "GGF"-bestanden aangemaakt voor de PAWN- en plotindeling. Met behulp van de *Geolib bibliotheek* (die ook door de GUI gebruikt wordt) zijn beide kaarten als shapefile ingelezen en bewaard als "GGF"-bestand. Het enige probleem dat speelde bij deze conversie is het feit dat de volgorde van de polygonen van de shapefile

belangrijk was. De STONE GUI gaat er namelijk vanuit dat de volgorde van de polygonen (uit de GGF bestanden) en de binnengekomen data steeds hetzelfde is. De volgorde van de polygonen uit de oude en nieuwe schematisatie moet dus hetzelfde zijn, voor een efficiënte en snelle bewerking. De performance van de nieuwe GUI is wel veranderd bij de visualisatie van het 'WSV niveau'. Het gebruik van het interne geheugen is flink toegenomen door de verdubbeling van het aantal plots en ook de tijd voor het maken van een afbeelding is toegenomen. Tevens is de tijd om data van de STONE server op te halen toegenomen. De minimum eisen voor de client zijn door de nieuwe schematisatie toegenomen. Geadviseerd wordt om een PC met tenminste 128 Mb intern geheugen te gebruiken om resultaten op het fijnste detail niveau te bekijken. Om resultaten op PAWN of LEI gebied te bekijken kan een lichtere machine voldoen.

7.5 Discussie en aanbevelingen

STONE2.0 draait goed. Er is een aantal noodzakelijke aanpassingen verricht in de invoerbestanden van STONE. Het opvallende is dat de SMI en de GUI niet aangepast hoeven te worden om een ingrijpende verandering als een nieuwe schematisatie op te vangen. Er blijven nog twee kanttekeningen bij de invoerbestanden en werking van STONE2.0. Ten eerste is de keuze van de droge gronden nog een punt waarover een bewuste beslissing genomen moet worden. Ten tweede moet de praktijk uitwijzen of de GUI nog aan de eisen van de gebruiker voldoet. De snelheid van de GUI is bij de representatie op het plot-niveau achteruit gegaan en de minimum hardware eisen zijn omhoog gegaan bij het presenteren op het kleinste ruimtelijk niveau.

Literatuur

Abrahamse, A.H., G. Baarse, E. van Beek, 1982. Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. Vol XII, Model for regional h, agricultural water demands and damages from drought and salinity. N-1500/12 Neth. Delft Hydraulics, Rijkswaterstaat and Rand Corporation, Santa Monica.

Boelter, D.H., 1975. Physical properties of peats related to degree of decomposition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. (33), 606-609.

Boers. P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh, J.A.P.H. Vermulst, 1997. Watersysteemverkenningen 1996, uitspoeling meststoffen uit landbouw. Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw. RIZA, DLO-Staring Centrum, Waterloopkundig Laboratorium.

Boogaard, H.L. and J.G. Kroes, 1997. GONAT; Geographical Orientated National simulations with ANIMO 3.5 of nutrients. Technical Document 41, DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

Boumans, L., A. Breeuwsma, W. van Duyvenbooden, D.J. de Groot Obbink, S. Jelgersma, H. van Straten en J.H.M. Wösten, 1987. Kwetsbaarheid van grondwater. Kartering van de Nederlandse bodem in relatie tot de kwetsbaarheid van grondwater voor verontreiniging. Rapport 840387003, RIVM, Bilthoven.

Breeuwsma, A., J.H.M. Wösten, J.J. Vleeshouwer, A.M. van Slobbe en J. Bouma, 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil survey. Soil Sci. Soc. Of Am. Journal 50: 186-190.

CHO-TNO, 1988. Van Penman naar Makkink; een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen. Eindrapport van de project- en begeleidingsgroep verdampingsberekeningen. Rapporten en Nota's No.19. Den Haag.

Cultuurtechnische vereniging, 1988. Cultuurtechnisch Vademecum.

De Lange, W.J. en J.L. van der Meij, 1994. Serie rapporten NAGROM supra-regio's. RIZA en TNO-GG, Delft en Lelystad.

De Lange, W.J., 1996. Groundwater modeling of large domains with analytic elements. Proefschrift Technische Universiteit Delft.

De Lange, W.J., 1997. Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of drainageweerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel. Deel 1, 2 en 3. Stromingen 3, nummers 2, 3 en 4.

De Lange W.J., 1999. A Cauchy boundary condition for the lumped interaction between an arbitrary number of surface waters and a regional aquifer, Journal of Hydrology 226(3-4), pp 250-274.

Griffioen, J., D.J. Huisman, J.H.A. Bosch, F.D. de Lang en H.J.T. Weerts, 2000. Geologische parametrisatie van de Nederlandse ondergrond ten behoeve van het STONE-model. Delft, NITG-TNO.

Groot, W.J.M. de, P.A. Finke, J. Oude Voshaar, M.J.D. Hack-ten Broeke, F. de Vries en Y. van Randen, 1998. Bodemschematisatie. Opschaling door aggregatie van bodeminformatie voor modelsimulaties op nationale en regionale schaal, Wageningen.

Huinink, J.Th.M., 1998. Neerslag, verdamping en neerslagoverschotten; Regionale verschillen binnen Nederland, IKC-Landbouw, Ede.

Klijn, 1997. Vertaaltabelen bodem voor MOZART-SMART-DEMNAT, T2178. Delft, Waterloopkundig Laboratorium.

Kroes, J.G., P. Groenendijk en J. Huygen, 1999. Hydrologie voor STONE: berekeningen met Swap 2.0. Technical Document 57. ALTERRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.

Kroes, J.G., J.C. van Dam, J. Huygen, R.W. Vervoort, 1999b. SWAP 2.0: User's Guide, Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Technical Document 53. DLO Winand Staring Centre report 81, Wageningen Agricultural University, Wageningen.

Kroon, T. en W. Werkman, 2001 (in prep). MONA, koppelingsconcept MOZART-NAGROM. Beschrijving en gebruikershandleiding van de modellen-trein. RIZA, Lelystad.

Locher, W.P. & De Bakker, H., 1990. Bodemkunde van Nederland. Deel 1. Algemene Bodemkunde. Malmberg, Den Bosch, 439 pp.

Loo, H., van der, 1997 en 1998. Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Kaarteenheden met Gt II en kaarteenheden met Gt V. Rapport 483.2, en 483.3, SC-DLO. Wageningen.

Massop H. Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand; Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Wageningen. SC-DLO, rapport 527.1.

Massop H. Th.L., P.J.T van Bakel en J. Huygen, 1999. Analyse van de verandering in de GHG over de periode 1980-1998 in het beheersgebied van het waterschap De Dommel. Wageningen, SC-DLO Interne mededeling.

Massop, H.Th.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, A. van der Giessen, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. Hydrologie voor STONE; schematisatie en parametrisatie. Wageningen, Alterra-RIZA-RIVM. Alterra-rapport 038.

RGD, 1975. Geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, 134 pp. en kaarten.

RIVM, 1999. Milieubalans 1999, Bilthoven.

RIZA, 1996. Modelbeschrijvingen MOZART. RIZA. Lelystad.

Ruitenbergh, G.H., F.A. Wopereis en O. Oenema, 1991. Berekende optimale stikstofbemesting voor grasland als functie van grondsoort. SC-Rapport 173.

Visschers, R., 1997 en 1998. Steekproef voor de bodemeigenschappen en grondwatertrappen van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. kaarteenheden met Gt III en kaarteenheden met Gt IV. Rapport 483.1, en 483.4, SC-DLO. Wageningen.

Vries, F. de, 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. DLO-Staring Centrum, Wageningen. SC-rapport 654.

Wit, A.J.W. de; Heijden, T.G.C. van der; Thunnissen, H.A.M., 1999. Vervaardiging en nauwkeurigheid van het LGN3-grondgebruiksbestand. DLO-Staringcentrum, Wageningen.

Wösten, J.H.M., F.de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Rapport 2055.

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, SC-DLO. Wageningen.

Wösten, 1997, Bodemkundige vertaalfuncties bij SC-DLO. Staring Centrum, Wageningen. Rapport 563.

Bijlagen

Bijlage 2.1 Overzicht van de criteria voor het reduceren van het aantal plots

De betekenis van de termen is toegelicht in paragraaf 2.2. Voor de ruimtelijke factoren zijn in onderstaande tabel de volgende codes gehanteerd:

- stap 1: 1a: hydrotipe
1b: grondwatertrap
1c: kwelklasse
1d: drainageklasse
resultaat stap :1
- stap2: 2a: indeling in zand, veen klei
2b: bodemtype
2c: landgebruik
2d: meteorologische regio
resultaat stap 2:2
- stap3: 3a: fosfaatbindend vermogen
3b: mineralisatiecapaciteit
3c: kationenuitwisselingscapaciteit
resultaat stap 3:3

Stap-run	Pasgrid	Pasfactoren	Relatief oppervlakte-criterium (%)	Absoluut oppervlaktecriterium (aantal gridcellen)
1-1	1c	1a	5	-
1-2	1d	1a	5	-
1-3	1d	1a, 1b, 1c	15	-
1-4	1c	1a, 1b, 1d	10	-
1-5	1d	1a, 1b, 1c	10	-
1-6	1c	1a, 1b, 1d	10	-
1-7	1d	1a, 1b, 1c	15	-
2-8	2d	1	25	120
2-9	2b	1, 2d	25	80
2-10	2c	1, 2d, 2b	10	40
3-11	3a	2	30	75
3-12	3b	2, 3a	30	75
2-13	3 x 2c	2, 3a, 3b	35	80

Bijlage 3.1 Streefpeilen voor de wintersituatie*

Hydrotype	Streefpeil (cm) per Gt-groep						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
.....							
Betuwe-komgronden	60	80	110	120	130	150	185
Betuwe-stroomrugggronden	70	90	120	130	140	160	195
Dekzand profiel	70	90	120	130	140	160	195
Duinstrook	70	90	120	130	140	160	195
Eem en/of keileemprofiel	70	90	120	130	140	160	195
Keileem profiel	70	90	120	130	140	160	195
Keileem-Peeloo profiel	70	90	120	130	140	160	195
Löss profiel	70	90	120	130	140	160	195
Nuenengroep profiel	70	90	120	130	140	160	195
Oost-Nederland profiel	70	90	120	130	140	160	195
Open profiel	70	90	120	130	140	160	195
Peeloo profiel	70	90	120	130	140	160	195
Singraven-beekdalen	70	90	120	130	140	160	195
Stuwwallen	70	90	120	130	140	160	195
Tegelen/Kedichem profiel	70	90	120	130	140	160	195
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	50	60	90	100	110	130	165
Westland-H-profiel	50	60	90	100	110	130	165

* Uitzondering is gemaakt voor de streefpeilen voor kleibouwland-, komgrond- en veenweidegebieden (zie tabel 3.10). De streefpeilen voor de zomersituatie zijn te berekenen met behulp van tabel 3.11.

Bijlage 3.2 Ontwateringsbases van het primaire, secundaire en tertiaire drainagesysteem

.....

Hydrotype	Waterloop	Ontwateringsbasis (cm) per Gt-groep						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
.....								
Betuwe-komgronden	Greppels	40	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	40	40	80	85	70	100	110
	Sloten > 3m	40	60	90	100	110	130	165
Betuwe-stroomruggronden	Greppels	40	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	40	40	80	85	70	100	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Dekzand profiel	Greppels	40	50	50	55	55	65	110
	Sloten < 3m	40	50	60	65	75	95	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Duinstrook	Greppels	40	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	40	40	70	85	70	100	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Eem en/of keileemprofiel	Greppels	40	70	70	60	45	65	90
	Sloten < 3m	40	70	90	75	75	75	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Keileem profiel	Greppels	40	40	45	60	50	85	90
	Sloten < 3m	40	40	60	75	70	75	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Keileem-Peeloo profiel	Greppels	40	40	70	60	65	95	100
	Sloten < 3m	40	50	100	80	80	100	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Löss profiel	Greppels	40	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	40	50	80	85	70	100	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Nuenengroep profiel	Greppels	40	40	70	55	70	75	80
	Sloten < 3m	40	40	100	85	75	90	100
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Oost-Nederland profiel	Greppels	40	60	65	80	85	90	100
	Sloten < 3m	40	95	110	110	115	145	145
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Open profiel	Greppels	40	70	75	66	70	85	85
	Sloten < 3m	40	95	100	95	95	125	125
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Peeloo profiel	Greppels	40	40	70	100	75	80	90
	Sloten < 3m	40	50	90	145	100	115	120
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Singraven-beekdalen	Greppels	40	40	55	50	50	65	110
	Sloten < 3m	40	40	70	60	70	95	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Stuwwallen	Greppels	40	70	75	66	70	85	85
	Sloten < 3m	40	95	100	95	95	125	125
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175
Tegelen/Kedichem profiel	Greppels	40	40	75	80	90	100	110
	Sloten < 3m	40	40	80	80	100	100	110
	Sloten > 3m	50	70	100	110	120	140	175

Hydrotype	Waterloop	Ontwateringsbasis (cm) per Gt-groep						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
.....								
Westland-C-profiel	Greppels	40	60	90	90	90	100	110
	Sloten < 3m	40	60	80	95	100	100	110
	Sloten > 3m	60	80	110	120	130	150	185
Westland-DC-profiel	Greppels	40	60	90	90	90	100	110
	Sloten < 3m	40	60	80	95	100	100	110
	Sloten > 3m	60	80	110	120	130	150	185
Westland-DHC-profiel	Greppels	40	65	90	90	90	100	110
	Sloten < 3m	40	75	95	95	100	100	110
	Sloten > 3m	60	80	110	120	130	150	185
Westland-DH-profiel Friesland/ Noordoostpolder	Greppels	40	65	80	80	80	105	110
	Sloten < 3m	60	75	85	90	85	100	120
	Sloten > 3m	60	80	110	120	130	150	185
Westland-D-profiel	Greppels	40	60	90	90	90	100	110
	Sloten < 3m	40	90	100	110	100	110	120
	Sloten > 3m	60	80	110	120	130	150	185
Westland-HC-profiel	Greppels	30	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	30	45	80	85	70	100	110
	Sloten > 3m	30	40	70	80	90	110	145
Westland-H-profiel	Greppels	30	40	60	75	60	75	75
	Sloten < 3m	30	45	80	85	70	100	110
	Sloten > 3m	30	40	70	80	90	110	145

Bijlage 3.3 Vertikale schematisering modelbodemprofiel

Compartimenten en bodemlagen in SWAP

comp. nr. (-)	Dikte (m)	diepte bovenr. (m-mv.)	diepte onderr. (m-mv.)
1	0,010	0,000	0,010
2	0,010	0,010	0,020
3	0,010	0,020	0,030
4	0,010	0,030	0,040
5	0,010	0,040	0,050
6	0,025	0,050	0,075
7	0,025	0,075	0,100
8	0,025	0,100	0,125
9	0,025	0,125	0,150
10	0,050	0,150	0,200
11	0,050	0,200	0,250
12	0,050	0,250	0,300
13	0,050	0,300	0,350
14	0,050	0,350	0,400
15	0,100	0,400	0,500
16	0,100	0,500	0,600
17	0,150	0,600	0,750
18	0,100	0,750	0,850
19	0,150	0,850	1,000
20	0,100	1,000	1,100
21	0,100	1,100	1,200
22	0,100	1,200	1,300
23	0,100	1,300	1,400
24	0,100	1,400	1,500
25	0,100	1,500	1,600
26	0,100	1,600	1,700
27	0,100	1,700	1,800
28	0,200	1,800	2,000
29	0,300	2,000	2,300
30	0,300	2,300	2,600
31	0,400	2,600	3,000
32	0,500	3,000	3,500
33	0,500	3,500	4,000
34	0,500	4,000	4,500
35	0,500	4,500	5,000
36	0,1000	5,000	6,000
37	0,1000	6,000	7,000
38	0,2000	7,000	9,000
39	0,2000	9,000	11,000
40	0,2000	11,000	13,000

Compartimenten in ANIMO/STONE

comp. nr. (-)	dikte (m)	diepte bovenr. (m-mv.)	diepte onderr. (m-mv.)
1	0,05	0,00	0,05
2	0,10	0,05	0,15
3	0,05	0,15	0,20
4	0,05	0,20	0,25
5	0,10	0,25	0,35
6	0,15	0,35	0,50
7	0,10	0,50	0,60
8	0,15	0,60	0,75
9	0,25	0,75	1,00
10	0,20	1,00	1,20
11	0,20	1,20	1,40
12	0,30	1,40	1,70
13	0,30	1,70	2,00
14	0,30	2,00	2,30
15	0,30	2,30	2,60
16	0,40	2,60	3,00
17	0,50	3,00	3,50
18	0,50	3,50	4,00
19	1,00	4,00	5,00
20	2,00	5,00	7,00
21	3,00	7,00	10,00
22	3,00	10,00	13,00

* aanpassingen ten opzichte van de oude schematisatie zijn vet gedrukt

Bijlage 5.1 Parametrisatie van de diepe chemie voor de sub hydrotypen in laag-Nederland

Hydrotype	Diepte interval	lutum	Org. Materiaal	Droge Bulk Dichtheid	Totaal Al Gem.	Totaal Al St.dev.	Totaal Fe Gem.	Totaal Fe St.dev.	Aantal monsters
	m-mv	%	%	Kg/dm ³	% Al ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	
<i>Laag-Nederland</i>									
Duinstrook	1-2	0	0-95	1,7 - 0,4	6,19	0,11	2,75	0,06	2
	2-4	0	0-95	1,7 - 0,4	7,50	3,83	5,38	0,12	3
	4-7	1	0	1,7	7,41	2,72	3,50	0,38	3
Westland C-profiel	1-2	25	0,1	1,7	10		3		-
	2-4	15	0	1,7	7,5		1,5		-
	4-7	5	10	1,7	2		1		-
Westland D-profiel - Zeeland en IJ-Castricum	1-7	1-2	0,1	1,7	4		1,5		-
Westland D-profiel - Flevopolders	1-2	15-20	5	1,4	10		4		-
	2-4	0	0	1,7	2		1		-
	4-7	0	0	1,7	2		1		-
Westland D- en DC-profiel - Friesland en Groningen	1-2	5-10	0,1	1,7	6,29	1,57	1,98	0,93	16
	2-4	2-4	0,1	1,7	5,57	2,50	1,81	1,55	26
	4-7	1-2	0,1	1,7	4,02	1,76	0,89	0,90	37
Westland DC-profiel - Schouwen-Duiveland	1-2	20	0,1	1,7	6		2		-
	2-4	15	1	1,7	5,5		2		-
	4-7	1-2	0,1	1,7	4		1		-
Westland DC-profiel - Flevopolders	1-2	20	5	1,4	6		2		-
	2-4	20	10	1,2	5,5		2		-
	4-7	0	0	1,7	4		1		-
Westland DH-profiel - Zeeland en Brabant	1-2	0	95	0,4	2		6		-
	2-4	0	0	1,7	2		1		-
	4-7	0	0	1,7	2		1		-
Westland DH-profiel - Flevopolders, Groningen en Friesland	1-2	0	95	0,4	2		6		-
	2-4	10	70	1,1	4		5		-
	4-7	0	0	1,7	2		2		-
Westland DH- en DHC-profiel - Hollands rivieren-gebied incl. IJ-dal Amsterdam	1-2	20	75	1,1	6		1		-
	2-4	20	75	1,1	6		1		-
	4-7	30	65	1,2	5,82	0,28	1,24	0,14	2
Westland DHC-profiel - Zeeland, Friesland en Groningen	1-2	0	95	0,4	10,52	3,69	4,50	2,24	12
	2-4	20	45	1,4	10,91	2,38	4,90	2,02	49
	4-7	30	1	1,7	7,93	1,97	2,82	1,16	57
Westland DHC-profiel - Flevopolders	1-2	20	5	1,3	6		2		-
	2-4	10	15	1,0	6		2		-
	4-7	0	1	1,7	3		1,5		-
	1-2	0	95	0,4	2		6		-
	2-4	20	45	1,0	5		3		-
	4-7	30	1	1,7	8		3		-
	1-2	0	95	0,4	4		6		-
	2-4	0	70	1,1	4		5		-
	4-7	0	30	1,5	4		5		-
	1-2	5	95	0,4	4		6		-
	2-4	10	70	1,1	7		4		-
	4-7	20	35	1,0	10		5		-

Bijlage 5.2 Parametrisatie van de diepe chemie voor de sub hydrotypen in het rivierengebied en hoog-Nederland

Hydrotype	Diepte interval	lutum	Org. Materiaal	Droge Bulk Dichtheid	Totaal Al Gem.	Totaal Al St.dev.	Totaal Fe Gem.	Totaal Fe St.dev.	Aantal monsters
	m-mv	%	%	Kg/dm ³	% Al ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	
<i>Rivierengebied</i>									
Betuwe-komgronden	1-2	50	5	1,3	15,24	2,14	5,56	1,15	27
	2-4	50	10	1,2	14,84	1,49	6,93	3,59	38
	4-7	10	0	1,7	12,12	3,26	6,64	2,40	36
Betuwe-stroomruggronden	1-2	15	1	1,7	9,64	3,73	6,7	1,87	7
	2-4	1	0	1,7	1,85	0,98	3,88	4,95	5
	4-7	1	0	1,7	2		4		-
<i>Hoog-Nederland</i>									
Singraven beekdalen -	1-2	0	10	1,2	4,94	2,52	4,22	7,05	48
Brabant en Oost-Nederland	2-4	0	1	1,7	4,57	2,48	1,68	1,64	42
- West-Brabant	4-7	15-20	0,1	1,7	6		2,5		-
- Oost-Brabant en Oost-Nederland	4-7	0	0	1,7	3,03	1,51	0,58	0,36	22
Singraven beekdalen -	1-2	0	0	1,7	3		1		-
Limburg	2-4	0	0	1,7	3		1		-
	4-7	n.t.b.	n.t.b.	n.t.b.	3		1		-
Singraven beekdalen -	1-2	0	70	1,1	5		1		-
Drents Plateau	2-4	0	0	1,7	5		1		-
	4-7	0	0	1,7	5		1,5		-
Twente profiel (Dekzand profiel, Eem en of keileem profiel, en Open profiel)	1-7	0	0	1,7	2,21	2,07	0,38	0,44	48
Keileemprefiel en Keileem-Peelo profiel	1-2	10	0	1,7	5,3	2,33	1,18	0,81	8
	2-4	2	0,1	1,7	5,28	2,31	1,18	0,68	19
	4-7	0	0,1	1,7	4,73	2,62	1,32	1,42	27
Nuenengroep-profiel	1-7	0	0	1,7	4,6	3,76	1,24	1,20	23
Nuenengroep profiel - venster	1-2	1	0	1,7					#
	2-4	4	0,1	1,7					#
	4-7	1	0	1,7					#
Peelo profiel	1-2	2	0,1	1,7	3,24	1,29	6,73	10,13	3
	2-4	2	0,1	1,7	2,42	0,28	0,44	0,08	7
	4-7	0	0,1	1,7	2,98	0,93	0,55	0,25	13
Stuwwallen (behalve in Twente)	1-7	0	0	1,7	1		0,75		-
Tegelen/Kedichem profiel	1-7	15-20	0,1	1,7	5,77	4,7	2,24	4,06	311
Löss profiel	1-7	0	0	1,7	3	1	1		-
Oost-Nederland profiel en stuwwallen in Twente	1-2	20	0,1	1,7	1,29		0,73		1
	2-4	40	0	1,7	1,03	0,08	0,43	0,06	2
	4-7	60	0	1,7	1,27	0,21	0,66	0,12	3