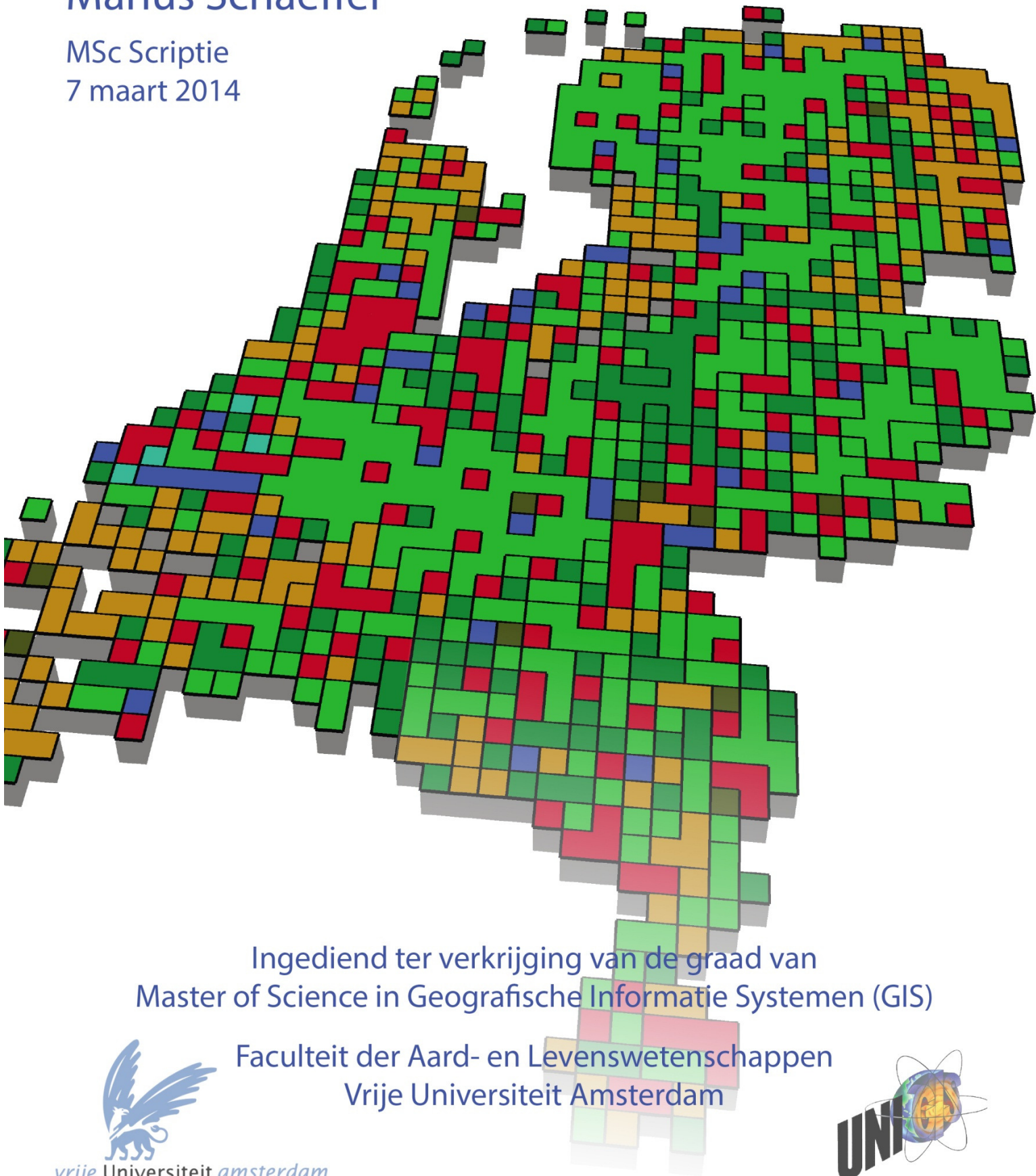


# De invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie

Marius Schaeffer

MSc Scriptie  
7 maart 2014



Ingediend ter verkrijging van de graad van  
Master of Science in Geografische Informatie Systemen (GIS)

Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen  
Vrije Universiteit Amsterdam





**VU AMSTERDAM**  
**GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCES**

UNIGIS Adres  
FEWEB-RE  
Vrije Universiteit  
De Boelelaan 1105  
1081 HV Amsterdam  
+31 (0)20-5986099 Telefoon  
+31 (0)20-5986004 Fax  
unigis@feweb.vu.nl E-mail  
www.unigis.nl Internet

Titel De invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie  
*Een koppeling tussen de Ruimtescanner en het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium*

Afstudeerscriptie ten behoeve van het verkrijgen van de Master of Science graad in Geografische Informatie Systemen (GIS), Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen Vrije Universiteit Amsterdam

Datum 7 maart 2014  
Naam Marius Schaeffer  
Studentnummer 1885944  
Begeleider Drs. Ronnie Lassche  
Universiteit Vrije Universiteit Amsterdam, UNIGIS



## SAMENVATTING

Veranderingen in het landgebruik hebben invloed op de hydrologie. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de directe en indirecte invloed van landgebruikveranderingen op de hydrologie. Met de directe invloed wordt de invloed bedoeld die landgebruikverandering heeft op de verdamping en de verhardingsgraad en daarmee de netto neerslag die het grondwater bereikt. Met de indirecte invloed wordt de invloed op de hydrologie bedoeld als gevolg van aanpassing van het waterbeheer, zoals slootpeilen, buisdrainage en beregening, aansluitend op het nieuwe landgebruik.

In dit onderzoek is de invloed van landgebruikverandering op het gevoerde waterbeheer, de verdamping en de grondwaterstand onderzocht. Hierbij is gestart met een literatuuronderzoek waarbij de relatie tussen het landgebruik en de hydrologie is beschouwd. Vanuit de theoretische kaders zijn de effecten op de hydrologie kwantitatief verkend die het gevolg zijn van landgebruikverandering. Hiervoor is gebruik gemaakt van een koppeling tussen het landgebruik model de Ruimtescanner (VU et al, 2010) en het hydrologische model het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI, 2008a). De hydrologische effecten zijn verkend op basis van twee landgebruik scenario's, namelijk het Global Economy (GE) scenario en het Regional Communities (RC) scenario.

Het doel van dit onderzoek is tweeledig. Het eerste doel is om te bepalen of de Ruimtescanner geschikt is om te koppelen aan het NHI. Het tweede doel is om met een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI het effect van het toekomstig landgebruik op de verdamping en de grondwaterstand te berekenen.

De hoofdvraag van het onderzoek is: "Hoe groot is de invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie?"

Uit de resultaten van deze scriptie blijkt, dat een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI goed mogelijk is en daarmee het effect van veranderend landgebruik op de hydrologie kan worden bepaald. Om de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner geschikt te maken als invoer voor het NHI zijn wel omzettingen nodig, waarbij een aantal vertaalkeuzes moeten worden gemaakt. Het omzetten brengt een aantal onzekerheden met zich mee, maar ook kansen om landgebruik scenario's van de Ruimtescanner te gebruiken voor watervraagstukken.

Met betrekking tot de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI kunnen de volgende voornaamste conclusies uit dit onderzoek worden getrokken:

- Een aantal van de 23 landgebruikclassen van de Ruimtescannerscenario's komen niet één op één overeen met de gebruikte landgebruikclassen in het NHI. Voor deze klassen is een vertaalkeuze nodig, waarbij de eigenschappen van een landgebruik

functie dient te worden behouden, zoals die oorspronkelijk bedoeld is in de Ruimtescanner.

- Het landgebruikbestand van de Ruimtescanner maakt onderscheid in diverse vormen van het stedelijk gebied. Dit biedt de mogelijkheid om voor hydrologische berekeningen onderscheid te maken in de verhardingsgraad van stedelijke landgebruikklassen.
- Het aanpassen van waterbeheerparameters aansluitend op het nieuwe landgebruik is complex en verdient nadere aandacht. De moeilijkheid hierin is om te bepalen welke parameterwaarde het nieuwe landgebruik krijgt, maar ook de onzekerheid hoe het waterbeheer zich in de toekomst ontwikkelt.

Met betrekking tot de effecten van landgebruikverandering op de hydrologie kunnen de volgende voornaamste conclusies uit dit onderzoek worden getrokken:

- De effecten op de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de verdamping als gevolg van landgebruikverandering zijn met name lokaal groot. Op regionale schaal zijn de effecten gering.
- Op basis van de toekomstscenario's van het landgebruik zijn in de gebieden van Laag-Nederland zowel verlagingen als verhogingen van de GHG en GLG zichtbaar. Op de zandgronden van Hoog-Nederland is voornamelijk een verlaging te zien van de GHG en GLG.
- De grootste effecten op de GHG, GLG en de verdamping vinden plaats waar kale grond plaats maakt voor een andere landgebruikklasse en waar een landgebruikklasse verandert naar glastuinbouw of stedelijk gebied.
- Het aanpassen van het waterbeheer aansluitend op het nieuwe landgebruik heeft een sterker effect op de GHG en GLG (secundaire effect) dan door alleen verdampingsveranderingen (primaire effect).
- De hydrologische effecten als gevolg van landgebruikverandering zijn met name lokaal vergelijkbaar met de effecten als gevolg van toekomstscenario's waarin landgebruikverandering, klimaatverandering en bodemdaling gecombineerd zijn meegenomen.

## ABSTRACT

Changes in land use have influence upon hydrology. This influence can be subdivided into direct and indirect influence of changes in land use upon hydrology. Direct influence comprises the influence of changes in land use upon evapotranspiration and degree of imperviousness and may thus lead to changes in groundwater recharge. Indirect influence upon hydrology comprises changes in water management arising from changes in land use, such as the water level in canals and ditches, groundwater drainage and irrigation.

This research examines the influence of changes in land use on water management, evapotranspiration and groundwater level. It begins with an evaluation of the scientific literature dealing with the relationship between land use and hydrology. This theoretical framework is used to investigate the effect of land use on hydrology from a quantitative outlook. The Land Use Scanner (VU et al, 2010) land use model coupled with a hydrological model named the Netherlands Hydrological Instrument (NHI, 2008a) was used for this purpose. The hydrological effects were investigated from the standpoint of two land use scenarios for 2040, namely the Global Economy (GE) scenario and the Regional Communities (RC) scenario.

This research had two goals. The first was to establish whether the Land Use Scanner could be coupled effectively with the NHI. The second was to use the Land Use Scanner coupled with the NHI to calculate the consequences of future land use upon evapotranspiration and groundwater.

The governing question of this research was: "To what extent do changes in land use influence hydrology?"

The results presented in this thesis demonstrate that it is possible to use the Land Use Scanner coupled with the NHI to establish the effect of changes in land use on hydrology. In order to be able to use the land use scenarios of the Land Use Scanner as input for the NHI, some data conversions had to be made and this entailed the making of some data translation choices. Although these conversions introduced some degree of uncertainty, they also provided new opportunities to employ land use scenarios from the Land Use Scanner for water-related issues.

The main conclusions that can be drawn from this study about the use of the Land Use Scanner coupled with the NHI are as follows:

- There is no direct match between some of the 23 land use categories included in the Land Use Scanner's scenarios and the land use categories employed by the NHI. In these cases, it has been necessary to choose a category whose land use function characteristics were equivalent to those originally used by the Land Use Scanner.

- The Land Use Scanner's land use dataset differentiates between various types of urban areas. This offers an opportunity to differentiate between the degree of imperviousness levels in hydrological calculations for various categories of urban land use.
- Adjusting water management parameters connected to new land use is complex and merits further attention. The difficulty lies both in establishing which parameter values should be assigned to the new use and in the uncertainty of how water management will evolve in the future.

The main conclusions that can be drawn from this study about the effects of changes in land use on hydrology are as follows:

- The effects on the average highest groundwater level (GHG) and average lowest groundwater level (GLG) and evapotranspiration as a consequence of changes in land use are particularly noticeable at a local level. On a regional level the effects are marginal.
- The impact of scenarios for changes in land use lead to both decreases and increases in the GHG and GLG calculated in the lower-lying regions of the Netherlands. In the sandy soil areas of the higher-lying regions of the Netherlands a decrease in the GHG and GLG was mostly calculated.
- The greatest effects on the GHG, GLG and evapotranspiration are to be found in those areas where bare soil is replaced by a different category of land use or where another land use category is replaced with greenhouses or an urban area.
- There is a greater effect on the GHG and GLG as a result of changes in water management due to new land use (secondary effect) than there is through changes in evapotranspiration alone (primary effect).
- It is above all at a local level that hydrological consequences of changes in land use are comparable to the consequences of future scenarios where changes in land use, climate change and land subsidence are taken in combination.





## INHOUDSOPGAVE

	Blz.
<b>DISCLAIMER</b>	<b>3</b>
<b>VOORWOORD</b>	<b>4</b>
<b>1 INLEIDING</b>	<b>5</b>
1.1 Achtergrond	5
1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen	7
1.3 Onderzoeksontwerp	7
1.4 Leeswijzer	8
<b>2 HET LANDGEBRUIK IN NEDERLAND</b>	<b>10</b>
2.1 Het veranderend landgebruik	10
2.2 Het toekomstig landgebruik	11
<b>3 DE RELATIE TUSSEN HET LANDGEBRUIK EN DE HYDROLOGIE</b>	<b>15</b>
3.1 Landgebruik en verdamping	15
3.2 Landgebruik en waterbeheer	17
3.3 De koppeling tussen een landgebruik model en een hydrologisch model	18
<b>4 MATERIAAL</b>	<b>24</b>
4.1 De Ruimtescanner	24
4.2 Het landgebruik in de Ruimtescanner	25
4.3 Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI)	26
4.4 Het landgebruik in het NHI	26
4.5 Grond- en oppervlaktewaterberekeningen met het NHI	27
<b>5 WERKWIJZE</b>	<b>29</b>
5.1 De koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI	29
5.2 Vertaling landgebruikclassen Ruimtescanner naar het NHI	30
5.3 Aggregatie en classificatie	37
5.4 Aanpassen van hydrologische modelparameters	38
5.5 Analyse van de relatie tussen de hydrologie en het huidig landgebruik	47
5.6 Analyse van de hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik	53
<b>6 RESULTATEN</b>	<b>59</b>
6.1 De relatie tussen de hydrologie en het huidig landgebruik	59
6.2 Hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik	70
<b>7 OVERIGE VERANDERINGEN IN DE TOEKOMST</b>	<b>80</b>
7.1 Klimaatverandering en bodemdaling	80
7.2 Hydrologische effecten berekend met het Deltamodel	81
7.3 Klimaatverandering vs. landgebruikverandering	83

<b>8</b>	<b>DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN</b>	<b>85</b>
8.1	Ruimtelijke resolutie	85
8.2	Thematische resolutie	86
8.3	Temporele resolutie	87
8.4	Functionele resolutie	90
<b>9</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>93</b>
	<b>LITERATUURLIJST</b>	<b>97</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	<b>105</b>
<b>BIJLAGE 1:</b>	<b>GEBRUIKTE DATABESTANDEN</b>	
<b>BIJLAGE 2:</b>	<b>GIS-MODELLEN:</b>	
	2a: Omzetten RS-landgebruikscenario naar een NHI-landgebruikscenario	
	2b: Analyse NHI-parameters	
	2c: Aanpassen NHI-parameters	
	2d: Calculate fields using code blocks with Python	
<b>BIJLAGE 3:</b>	<b>RESULTATEN VAN DE ANALYSE OP BASIS VAN HET HUIDIG LANDGEBRUIK:</b>	
	3a: Het waterbeheer per bodemtype (boxplots)	
	3b: Het waterbeheer per bodemtype (tabellen)	
	3c: Hydrologische karakteristieken van het huidig landgebruik	
<b>BIJLAGE 4:</b>	<b>RESULTATEN TOETSING HYDROLOGISCHE VERSCHILLEN VAN HET HUIDIG LANDGEBRUIK</b>	
<b>BIJLAGE 5:</b>	<b>RESULTATEN VAN DE ANALYSE OP BASIS VAN HET TOEKOMSTIG LANDGEBRUIK:</b>	
	5a: Verandering GHG, GLG en verdamping per WH-regio	
	5b: Verandering GHG, GLG en verdamping per landgebruikklasse	



## **DISCLAIMER**

De in deze scriptie gepresenteerde resultaten zijn gebaseerd op mijn eigen onderzoek aan de Faculteit der Aard- en Levenswetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam. Alle bijstand die is verkregen zowel van individuele personen als organisaties is vermeld. Daarnaast zijn alle gebruikte gepubliceerde en ongepubliceerde bronnen opgenomen in de literatuurlijst.

Deze scriptie is niet eerder gebruikt voor het verkrijgen van een graad aan een instituut.

Getekend:

Alkmaar, 7 maart 2014,

Marius Schaeffer

## VOORWOORD

Voor u ligt mijn afstudeerscriptie voor het verkrijgen van de Master of Science graad in Geografische Informatie Systemen (GIS) gevolgd aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Dit onderzoek vormt de afsluiting van een periode met vele uren zwoegen en verschillende uitdagingen, maar bovenal een periode waar ik met veel plezier en trots op terug kijk.

Om mijn kennis, de mogelijkheden en toepassingen van GIS te vergroten heb ik besloten om de Master GIS van UNIGIS te volgen. Na 8 interessante GIS-modules ben ik in 2011 begonnen met het schrijven van mijn scriptie. Voor het onderwerp van mijn scriptie heb ik de mogelijkheid van UNIGIS aangegrepen om aan te sluiten bij het project "Scenario development for water using hydrologic and land use models" als onderdeel van het onderzoeksprogramma "Kennis voor Klimaat" (KvK thema 6).

Graag wil ik een aantal mensen bedanken die hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze scriptie. Te beginnen met het bedanken van mijn begeleider Ronnie Lassche, die mij voorzien heeft van waardevolle feedback en een hele prettige begeleiding. Het heeft geleid tot een resultaat waar ik trots op ben. Verder wil ik het UNIGIS team bedanken voor het introduceren van het onderwerp van mijn scriptie.

Ik wil Deltares bedanken die mij de middelen en kennis beschikbaar hebben gesteld om het onderzoek te kunnen uitvoeren. Hierbij ben ik grote dank verschuldigd aan Joost Delsman, voor zijn betrokkenheid, deskundigheid, het meedenken en zijn verfrissende inzichten. Ook een dankwoord voor Joachim Hunink en Ab Veldhuizen voor de ondersteuning bij het uitvoeren van de berekeningen met het NHI.

Bijzondere dank gaat uit naar mijn familie, voor hun grote steun en belangstelling. Niels bedankt voor je creativiteit die hebben bijgedragen aan het mooie voorblad van deze scriptie.

Onnoemlijk veel te danken heb ik aan mijn vrouw Sonja. Ik bewonder je onuitputtelijke vertrouwen, rust, geduld en betrokkenheid tijdens de opleiding en het schrijven van deze scriptie. Jouw steun en bemoediging zijn onmisbaar.

Tot slot wens ik u veel leesplezier toe en hoop ik dat het lezen van deze scriptie voor u even inspirerend mag zijn als het maken ervan voor mezelf is geweest.

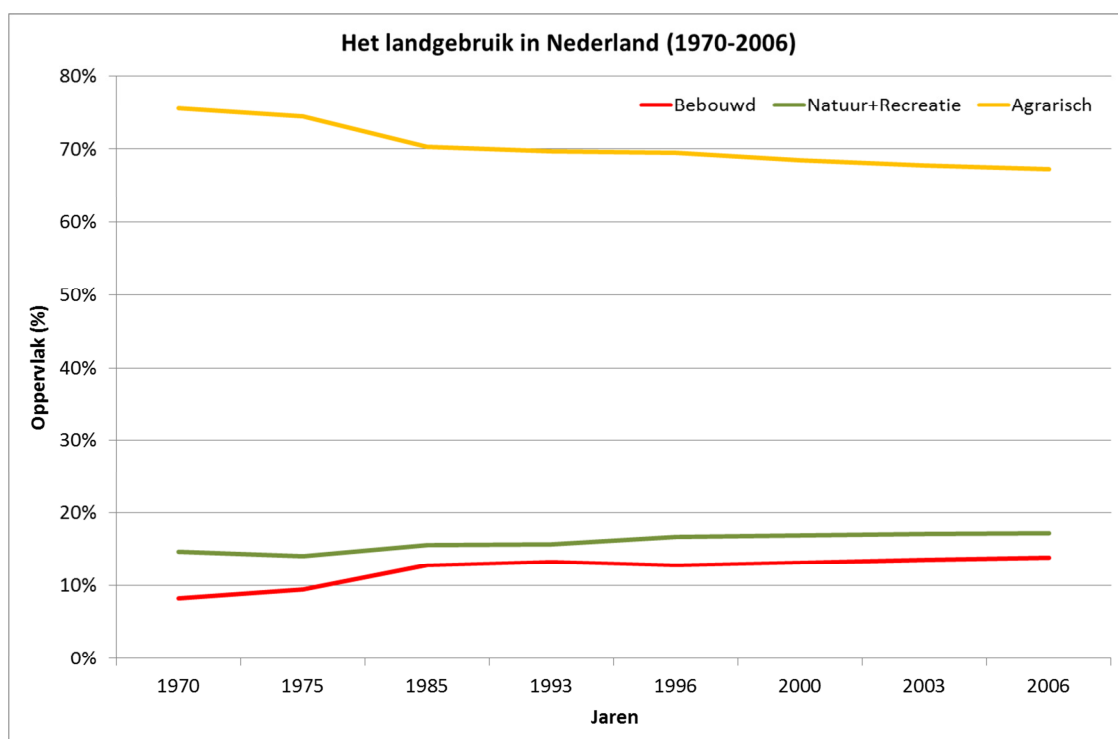
Alkmaar, maart 2014

Marius Schaeffer

## 1 INLEIDING

### 1.1 Achtergrond

Het landgebruik in Nederland is in de afgelopen decennia aanzienlijk veranderd. Het areaal aan landbouw in Nederland is sinds 1970 fors afgenomen (afbeelding 1.1). Hiervoor zijn natuur, recreatie en bebouwd gebied in de plaats gekomen. Groei en krimp van landgebruik functies zijn het gevolg van een veranderende samenleving. Veranderingen in welvaart, bevolkingsgroei en maatschappelijke behoeftes zorgen voor verschuivingen in de ruimteclaims van wonen, werken, verkeer en recreatie (Dekkers et al, 2005; Verburg et al, 2009). Hoe het landgebruik wordt ingevuld beïnvloedt niet alleen de beschikbare ruimte, maar beïnvloedt ook de kwaliteit van andere milieuthema's zoals water, bodem, gezondheid en de leefomgeving (RIVM, 2000, MNP, 2007).



**Afbeelding 1.1: Het veranderend landgebruik in Nederland tussen 1970 en 2006. Bebouwd gebied is een sommatie van het oppervlak bebouwd terrein, verkeersterrein en glastuinbouw; natuur + recreatie is een sommatie van het oppervlak bos, open natuurlijk terrein en recreatie terrein; agrarisch is een sommatie van het oppervlak (overig) agrarisch terrein. De oppervlaktewaarden zijn gebaseerd op het landoppervlak, het binnen- en buitenwater is hierin niet meegenomen (gebaseerd op data van het CBS, 2010).**

De verwachting is dat ook in de toekomst het landgebruik in Nederland sterk zal blijven veranderen (CPB et al, 2006; MNP, 2007). Omdat het landgebruik verschillende milieuthema's beïnvloedt, is een ruimtelijk toekomstbeeld van het landgebruik in Nederland noodzakelijk voor de verkenning van de kwaliteit van diverse milieuthema's zoals hierboven genoemd (RIVM, 2000; MNP, 2007). Voor de verkenning van het toekomstig landgebruik

wordt gebruik gemaakt van modellen die een indicatie geven van de meest waarschijnlijke ontwikkelingen van het landgebruik. De toekomstbeelden van het landgebruik worden vervolgens gebruikt voor andere effectmodellen om de effecten op diverse milieuthema's te onderzoeken.

De afgelopen decennia is in diverse onderzoeken een koppeling gemaakt tussen landgebruik modellen en hydrologische modellen om de invloed van landgebruikveranderingen op de hydrologie te onderzoeken. In buurlanden Duitsland en België is hierbij veel aandacht voor overstromingsrisico's als gevolg van veranderende waterafvoeren in rivieren en beken (Bronstert et al, 2007, Dams, 2008, Hurkmans, 2009 en Poelmans, 2010). In Nederland is de beschikbaarheid van zoetwater op de lange termijn een belangrijk watervraagstuk (RIZA, 2005 en Deltares, 2012) en als onderdeel opgenomen in het nationaal Deltaprogramma voor de 21e eeuw. In het kader van de Landelijke Zoetwaterverkenning (Deltares, 2012) zijn verkennende analyses gedaan rekening houdend met toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering, bodemdaling en landgebruikverandering. Hierbij is onder andere een koppeling gemaakt tussen het hydrologisch model het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI, 2008a) en het landgebruik model de Ruimtescanner (VU et al, 2010). Beide modellen worden regelmatig ingezet voor landelijke studies.

Parallel lopend aan de Landelijke Zoetwaterverkenning is in dit afstudeeronderzoek de invloed van landgebruikverandering op het gevoerde waterbeheer, de verdamping en de grondwaterstand onderzocht. Hierbij is gelijk aan de Landelijk Zoetwaterverkenning een koppeling gemaakt tussen het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (hierna genoemd als NHI) en de Ruimtescanner. Anders dan de Landelijk Zoetwaterverkenning staat in deze scriptie de invloed van landgebruikveranderingen op de hydrologie centraal. In dit onderzoek is de invloed van klimaatverandering, zeespiegelstijging en bodemdaling op de hydrologie niet in de berekeningen meegenomen, waardoor een goed beeld ontstaat van de effecten van landgebruikveranderingen op de hydrologie. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het primair effect en het secundair effect van landgebruikverandering op de hydrologie. Met het primair effect wordt bedoeld het effect van landgebruikverandering op de verdamping en verhardingsgraad en daarmee de netto neerslag die het grondwater bereikt. Met het secundair effect wordt bedoeld het effect op de hydrologie als gevolg van aanpassing van het waterbeheer aansluitend op het nieuw landgebruik. In deze scriptie is tevens uitgebreid ingegaan op de gemaakte keuzes die nodig zijn om de Ruimtescannerscenario's geschikt te maken als invoer voor het NHI en daarmee gepaard gaande onzekerheden en kansen.

In dit onderzoek zijn de effecten verkend van twee landgebruik scenario's, namelijk het Global Economy (GE) scenario en het Regional Communities (RC) scenario. Het GE en RC scenario zijn de twee extremen van de vier sociaaleconomische scenario's en geven de bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen van het landgebruik.

## 1.2 Doelstelling en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is tweeledig. Het eerste doel is om te bepalen of de Ruimtescanner geschikt is om te koppelen aan het NHI. Het tweede doel is om met een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI het effect van het toekomstig landgebruik op de verdamping en de grondwaterstand te berekenen.

De hoofdvraag van het onderzoek is: *“Hoe groot is de invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie?”*

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende subonderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat is de relatie tussen het landgebruik en de hydrologie?
2. Op welke manier kan de Ruimtescanner gekoppeld worden aan het NHI?
3. Welke ruimtelijke, thematische en temporele onzekerheden zijn aanwezig bij het koppelen van de Ruimtescanner aan het NHI en wat is de invloed hiervan op de resultaten?
4. Wat is de invloed van het landgebruik in 2040 op de hydrologie kijkend naar de verdamping en de grondwaterstand?
  - a) Wat is het verschil in het effect op de verdamping en de grondwaterstand tussen scenario's GE en RC?
  - b) Wat is het verschil tussen het primaire effect en het secundaire effect van landgebruikverandering?

Ter vergelijking van de effecten van landgebruikveranderingen ten opzichte van andere toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging, zijn de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de resultaten uit de Landelijke Zoetwaterverkenning van Deltares. Hiervoor is de volgende vraag beantwoord:

5. Hoe verhoudt de invloed van landgebruik scenario's zich tot de invloed van overige toekomstige ontwikkelingen op de grondwaterstand en de verdamping?

## 1.3 Onderzoeksontwerp

### *Onderzoeksfilosofie*

Belangrijk is de filosofie van een onderzoek, die bepaalt namelijk de manier waarop een onderzoek wordt uitgevoerd. De onderzoeksfilosofie hangt af van de manier waarop over de ontwikkeling van kennis wordt gedacht (Saunders et al, 2006). De onderzoeksfilosofie die het best past bij dit onderzoek is het positivisme, omdat analyserend, rationeel, experimenterend en gebaseerd op ervaringen, inzicht is gekregen in de werkelijkheid of een goede benadering van de werkelijkheid. Dit inzicht is toegepast om effecten te verkennen, gebruikmakend van bestaande modellen die gevoed zijn met objectieve



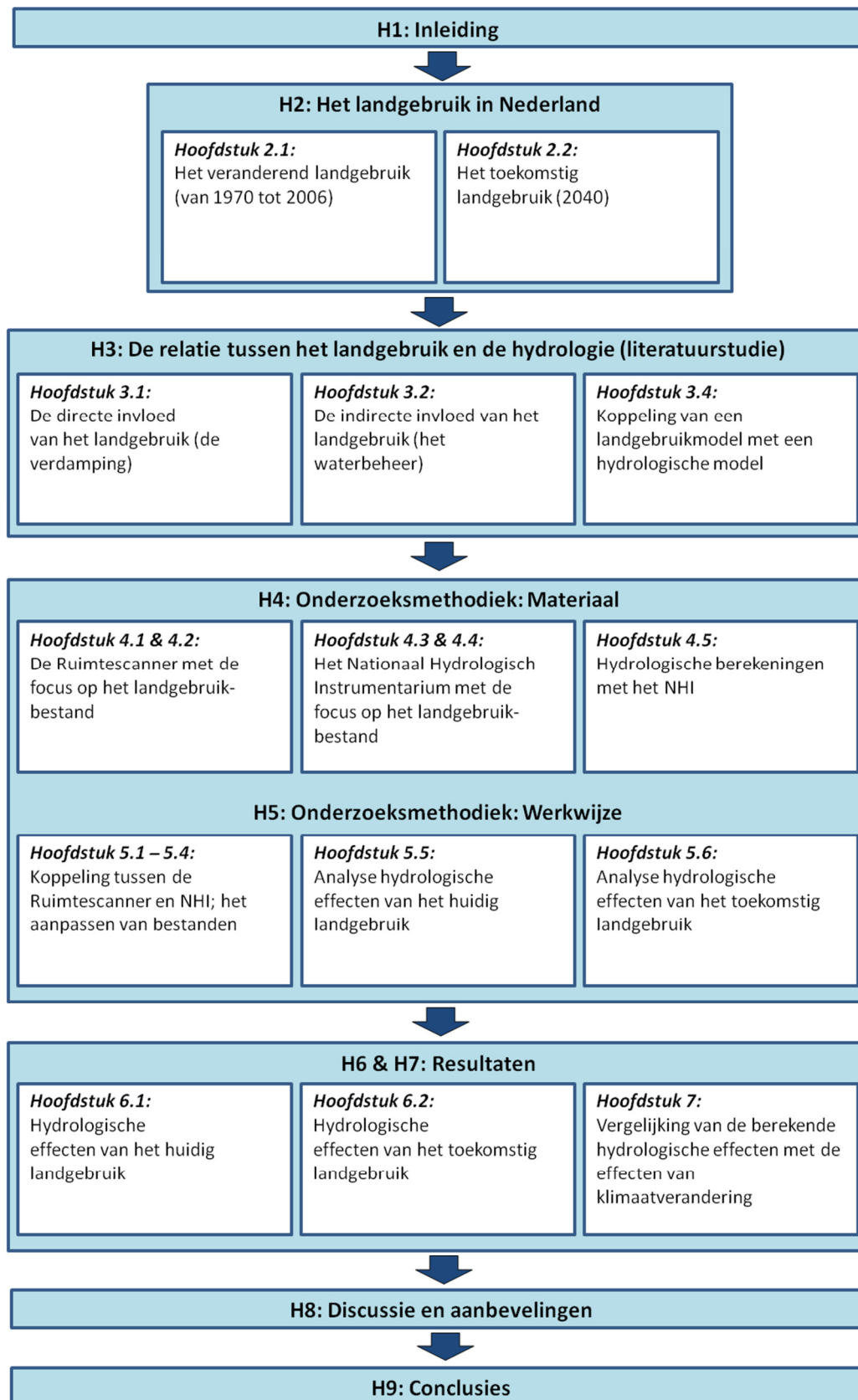
gegevens. Het onderzoek is uitgevoerd met een gestructureerde methodologie, waar de nadruk ligt van het positivisme (Saunders et al, 2006).

### *Onderzoekstrategie*

Een onderzoeksstrategie wordt ontworpen op basis van een deductieve- of inductieve onderzoeksmethodiek (Saunders et al, 2006; Baarde et al, 2001). Dit onderzoek heeft een verkennend karakter waar een inductieve onderzoeksmethode beter bij past. In dit onderzoek is op basis van de theorie de relatie onderzocht tussen het landgebruik en de hydrologie. Vanuit de theoretische kaders zijn de effecten op de hydrologie verkend die het gevolg zijn van landgebruikverandering. Hiervoor is gebruik gemaakt van een koppeling tussen het landgebruik model de Ruimtescanner en het hydrologische model het NHI, waarin bestaande kennis is toegepast gebaseerd op ervaring en wetenschap. Ondanks de meer inductieve aard van dit onderzoek, heeft dit onderzoek ook deductieve eigenschappen. De deductieve kant heeft betrekking op de toetsende fase tijdens de beschouwing van de resultaten, waarin terug geredeneerd is vanuit de resultaten naar de theorie en de verwachtingen vooraf aan dit onderzoek. De gehanteerde onderzoekstructuur is weergegeven in het schema van afbeelding 1.2.

## **1.4 Leeswijzer**

Deze scriptie volgt het schema zoals is weergegeven in afbeelding 1.2. Vanuit de achtergrondschemen en probleemstelling in hoofdstuk 1, is de vraagstelling in paragraaf 1.2 neergezet. In hoofdstuk 2 is het historisch veranderend landgebruik in Nederland beschreven op basis van cijfers van het CBS (van het verleden tot het heden) en de toekomstscenario's gesimuleerd met de Ruimtescanner (van het heden naar de toekomst). Hierna zijn in hoofdstuk 3 door middel van literatuuronderzoek de theoretische kaders onderzocht en is de relatie tussen het landgebruik en de hydrologie beschreven. In hoofdstuk 4 is de onderzoeksmethodiek toegelicht met een beschrijving van de toegepaste koppeling tussen het landgebruik model de Ruimtescanner en het hydrologisch model het NHI. De resultaten van de berekeningen en analyses zijn beschreven in hoofdstuk 6. Om een indicatie te krijgen hoe de hydrologische effecten als gevolg van landgebruikverandering zich verhouden ten opzichte van de hydrologische effecten als gevolg van klimatologische veranderingen en bodemdaling, zijn in hoofdstuk 7 de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de resultaten uit de Landelijke Zoetwaterverkenning. In hoofdstuk 8 zijn de onzekerheden en kansen beschreven met de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI en zijn aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. In hoofdstuk 9 zijn tot slot de conclusies gegeven.



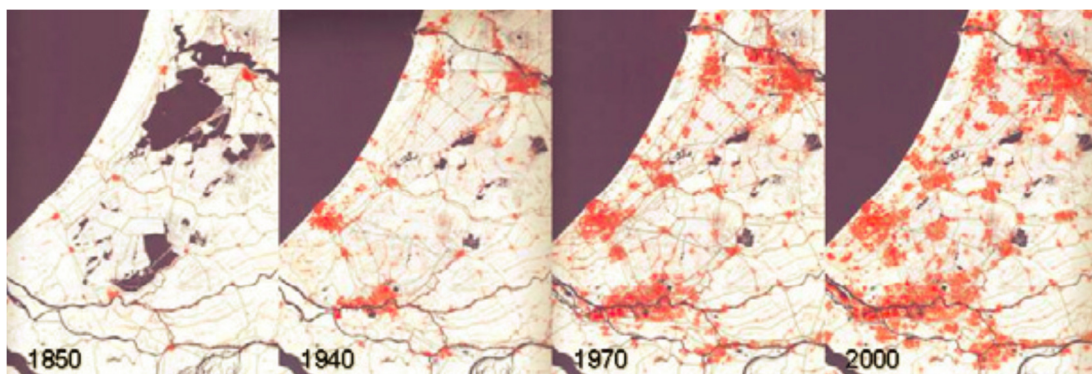
Afbeelding 1.2: Stroomdiagram met de relatie tussen de hoofdstukken in deze scriptie.

## 2 HET LANDGEBRUIK IN NEDERLAND

Voordat de toekomstige scenario's worden gepresenteerd, is het zinvol om de ontwikkelingen in de afgelopen decennia te bekijken. Met de historische ontwikkelingen wordt een beeld gevormd van de snelheid waarmee het landgebruik zich voortdurend ontwikkeld. In paragraaf 2.1 is een beschrijving gegeven van de landgebruikveranderingen vanaf de jaren '70 tot het heden. Hiervoor zijn de bodemgebruik gegevens gebruikt afkomstig uit de databank van het CBS. In paragraaf 2.2 is een doorkijk gegeven van het landgebruik in 2040 op basis van twee scenario's gesimuleerd met de Ruimtescanner.

### 2.1 Het veranderend landgebruik

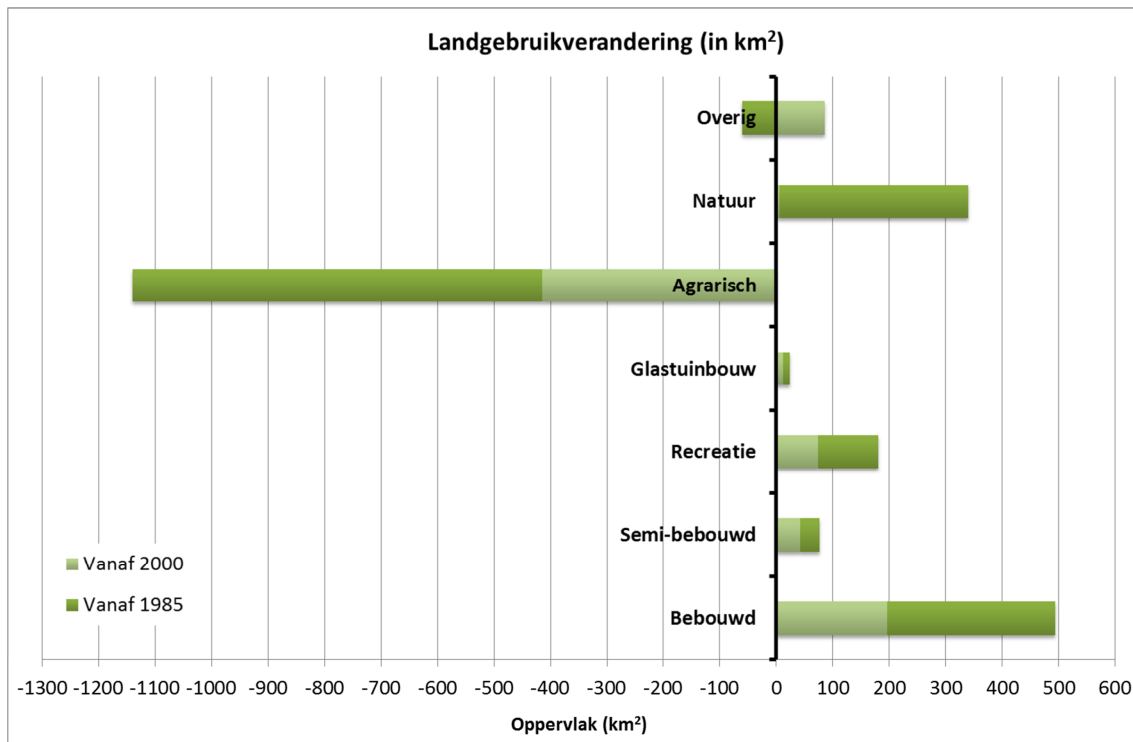
Ten opzichte van andere Europese landen is het landgebruik van Nederland het meest dynamisch (PBL, 2006). In de afgelopen decennia is het landgebruik in Nederland aanzienlijk veranderd. Het areaal landbouw is fors gekrompen en hiervoor is natuur, recreatie en stedelijk gebied in de plaats gekomen. De groei van het stedelijk gebied, natuur en recreatie is een gevolg van de bevolkingsgroei, waardoor meer ruimte nodig is voor wonen, werken, vervoer en recreatie (Dekkers et al, 2005; Verburg et al, 2009). Met name door de groei van het stedelijk gebied is Nederland één van de dichtbevolkte landen van Europa (WUR et al, 2007). In afbeelding 2.1 is de snelle verdichting van de Randstad duidelijk te zien.



Afbeelding 2.1: Verstedelijking van de Randstad (Hooimeijer, et al, 2005).

In afbeelding 2.2 is de verandering in landgebruik weergegeven in km<sup>2</sup> vanaf 1985 tot en met 2006. De afname van het agrarische terrein is daarin het meest opvallend. De groei van bebouwd gebied, glastuinbouw, recreatie terrein en semi-bebouwd terrein is in de periode 2000 tot 2006 sterker dan de groei over de periode van 1985 tot en met 2000. In de studie van het Planbureau voor de leefomgeving (Daalhuizen, 2008) wordt dit beeld verklaard door drie met elkaar samenhangende maatschappelijke veranderingen. Ten eerste is de welvaart sterk toegenomen, wat in combinatie met bevolkingsgroei geresulteerd heeft in een groeiende woningmarkt, bedrijvigheid en mobiliteit. Ten tweede is de publieke interesse in natuur en landschap gegroeid. Samen met de toegenomen vrije tijd heeft mobiliteit voor een groei van recreatieterrein (golfbanen, maneges en

jachthavens) gezorgd. Ook heeft realisatie van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS), als onderdeel van het natuurbeleid, geleid tot een grote groei van natuur. Ten derde heeft de landbouw verschuivingen in de productie doorgemaakt door technologische innovaties en ruimtelijke efficiencyingrepen.



**Afbeelding 2.2:** Het veranderend landgebruik in Nederland tussen 1985 en 2006 (gebaseerd op data van het CBS, 2010).

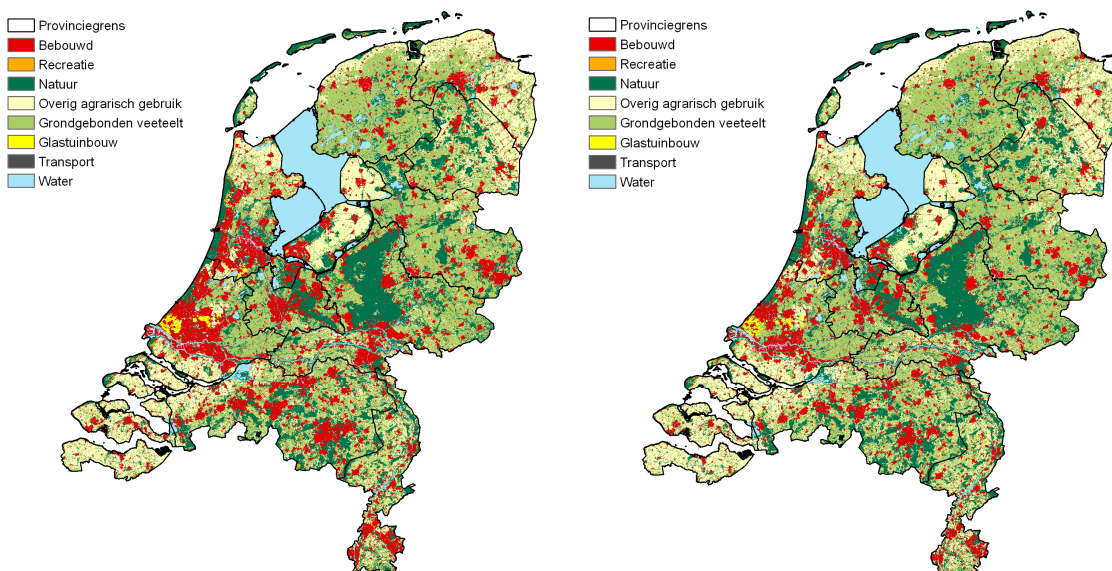
## 2.2 Het toekomstig landgebruik

De verwachting is dat het landgebruik in Nederland sterk zal blijven veranderen. Met het landgebruik model de Ruimtescanner (VU et al, 2006) wordt een ontwikkelingsperspectief gegeven van het landgebruik op basis van verschillende scenario's. De scenario's zijn gebaseerd op de sociaaleconomische scenario's ontwikkeld door de planbureaus. Door de planbureaus (CPB et al, 2006; MNP, 2007) zijn toekomstbeelden geschetst van Nederland in 2040 op basis van vier sociaaleconomische scenario's, die gekarakteriseerd kunnen worden als:

- Global Economy (GE)
- Strong Europe (SE)
- Transatlantic Market (TM)
- Regional Communities (RC)

In afbeelding 2.3 is het toekomstig landgebruik weergegeven die gesimuleerd zijn met de Ruimtescanner. Links in de afbeelding is het landgebruik weergegeven van het scenario

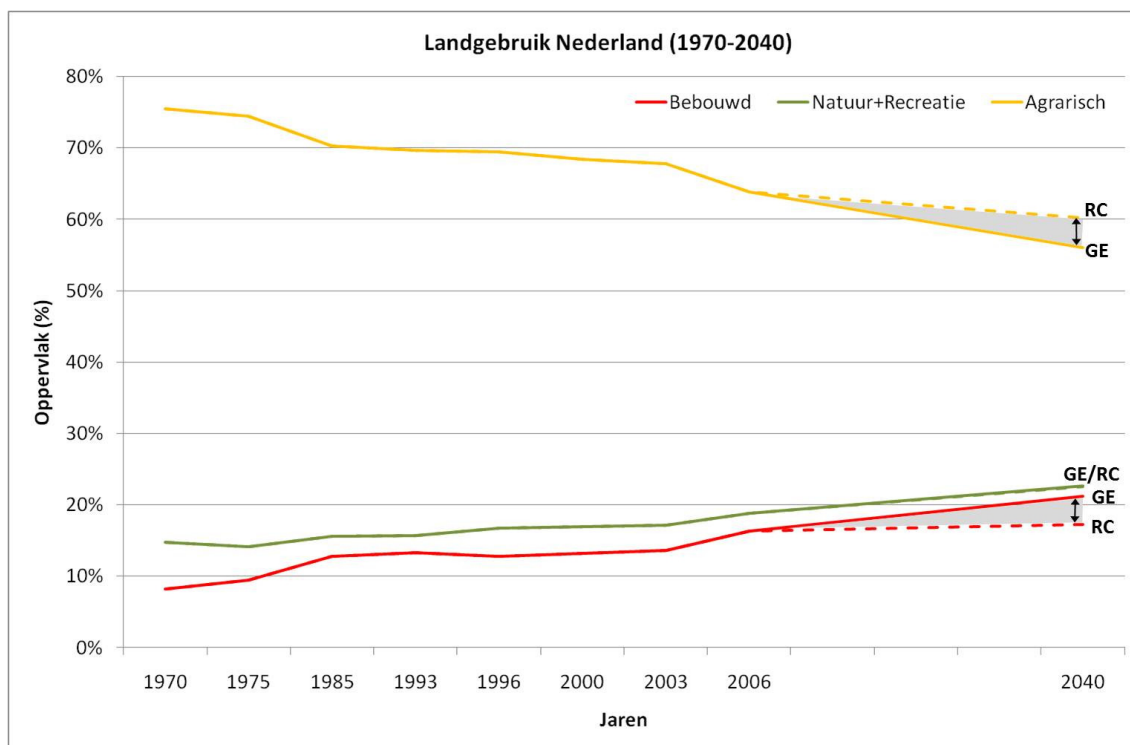
Global Economy (hierna genoemd als GE) en rechts in de afbeelding is het landgebruik weergegeven van het scenario Regional Communities (hierna genoemd als RC). Deze twee scenario's vormen het uitgangspunt van deze scriptie. Het GE en RC scenario zijn de twee extremen van de vier sociaaleconomische scenario's en geven de bandbreedte van mogelijke ontwikkelingen van het landgebruik. Het GE scenario wordt gekenmerkt door een snel groeiende economie en sterke bevolkingsgroei. De sleutelementen in dit scenario zijn globalisering, liberalisering en privatisering. In dit scenario gelden voor verstedelijking nauwelijks beperkingen. Dit leidt tot versnippering en een afname van het gecultiveerde landschap. Het RC scenario wordt gekenmerkt door een kleine afname in de bevolkingsgroei, groeiende zorg voor de omgeving en sociale duurzaamheid. Lokale en regionale bestuursorganen en instituties worden steeds belangrijker. Welzijn, gelijkheid en milieubescherming krijgen prioriteit. Een meer gedetailleerde beschrijving van de scenario's is gegeven in de studies van Koomen et al (2008b) en Riedijk et al (2007).



**Afbeelding 2.3: Het toekomstig landgebruik in 2040 bij een hoge druk scenario van bevolkingsgroei en economische groei (Global Economy, links) en het lage druk scenario met een afname in bevolkingsgroei (Regional Communities, rechts). De afbeelding is gemaakt op basis van de dataset aangeleverd door de Vrije Universiteit (VU et al, 2010).**

Afbeelding 2.4 toont het veranderend landgebruik vanaf 1970 tot en met 2040. De trendlijn tot 2006 is gebaseerd op gegevens van het CBS. De trendlijn vanaf 2006 tot en met 2040 is gebaseerd op de scenario's gesimuleerd met de Ruimtescanner. Het bebouwd oppervlak betreft een sommatie van het oppervlak bebouwd gebied, verkeersterrein en glastuinbouw. Het agrarisch oppervlak is een sommatie van de oppervlakken van akkerbouw, intensieve veeteelt, meerjarige teelt en grondgebonden veeteelt. Het oppervlakaandeel per functie is gebaseerd op het landoppervlak. De grafiek toont vanaf het jaar 2006 een groei van het bebouwd gebied voor scenario's GE en RC van respectievelijk 30% en 6%. De groei van recreatie en natuur is vanaf 2006 tot 2040 ongeveer gelijk in beide scenario's, namelijk

20%. Daarentegen krimpt het aandeel agrarisch gebied in scenario GE en RC met respectievelijk 12% en 6%.



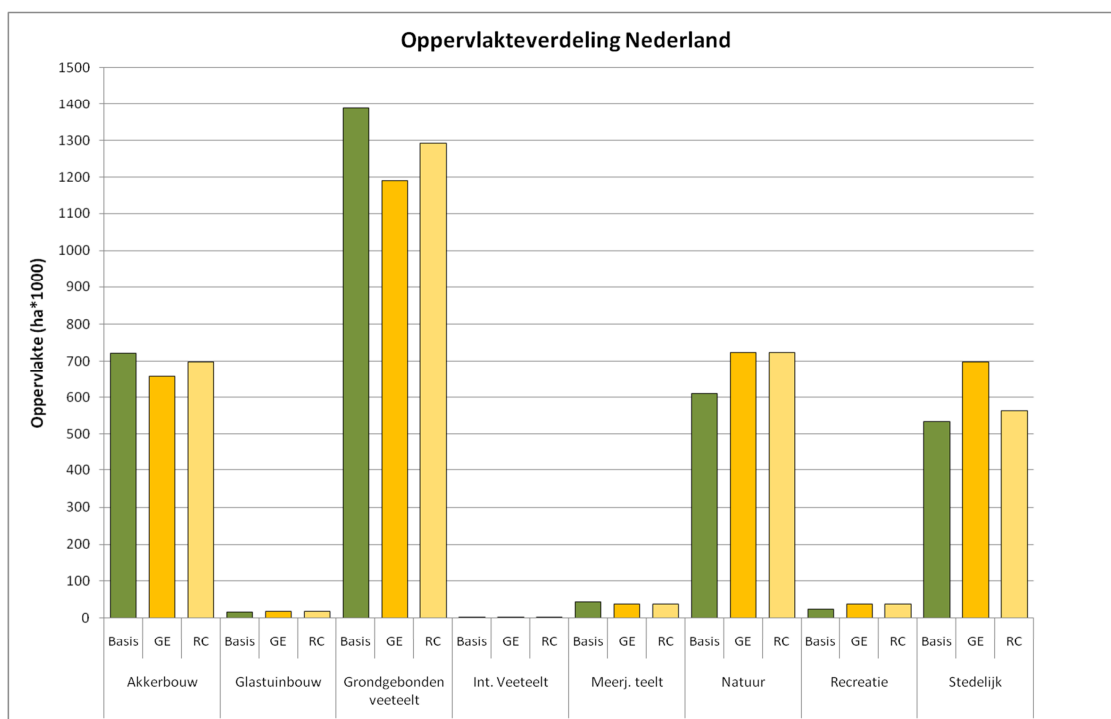
Afbeelding 2.4: Veranderend landgebruik vanaf 1970 t/m 2040.

In tabel 2.1 en afbeelding 2.5 is de oppervlakteverandering van het landgebruik vanaf 2006 tot 2040 weergegeven van de afzonderlijke Ruimtescanner functies. Hierin valt op dat de functie recreatie in beide scenario's de grootste groei heeft ten opzichte van het referentiejaar. Ondanks de forse groei, gaat het hier om een relatief klein oppervlak. Intensieve veeteelt heeft in beide scenario de grootste krimp, ook hier gaat het om een relatief klein oppervlak.

Tabel 2.1: Het veranderend landgebruik op basis van de Ruimtescanner scenario's GE en RC.

Landgebruiksklasse	Basis 2006	Scenario GE		Scenario RC	
	(ha)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Stedelijk (incl. infrastructuur)	533.591	697.686	+31%	563.877	+6%
Recreatie	23.945	38.162	+59%	37.389	+56%
Natuur	609.427	723.006	+19%	723.411	+19%
Intensieve Veeteelt	2.000	1.330	-34%	1.338	-33%
Akkerbouw	721.614	656.785	-9%	699.009	-3%
Meerjarige teelt	43.363	37.320	-14%	37.395	-14%
Grondgebonden veeteelt	1.388.058	1.191.685	-14%	1.292.077	-7%
Glastuinbouw	16.440	17.158	+4%	17.160	+4%

De groei van het bebouwd gebied (inclusief infrastructuur) is in scenario RC veel geringer dan in scenario GE, respectievelijk een toename van 6% en 31%. De groei van het areaal natuurterrein is met 19% in beide scenario's gelijk. De groei van bebouwd gebied, natuur- en recreatieterrein is gerelateerd aan de krimp van de functies akkerbouw en grondgebonden veeteelt.



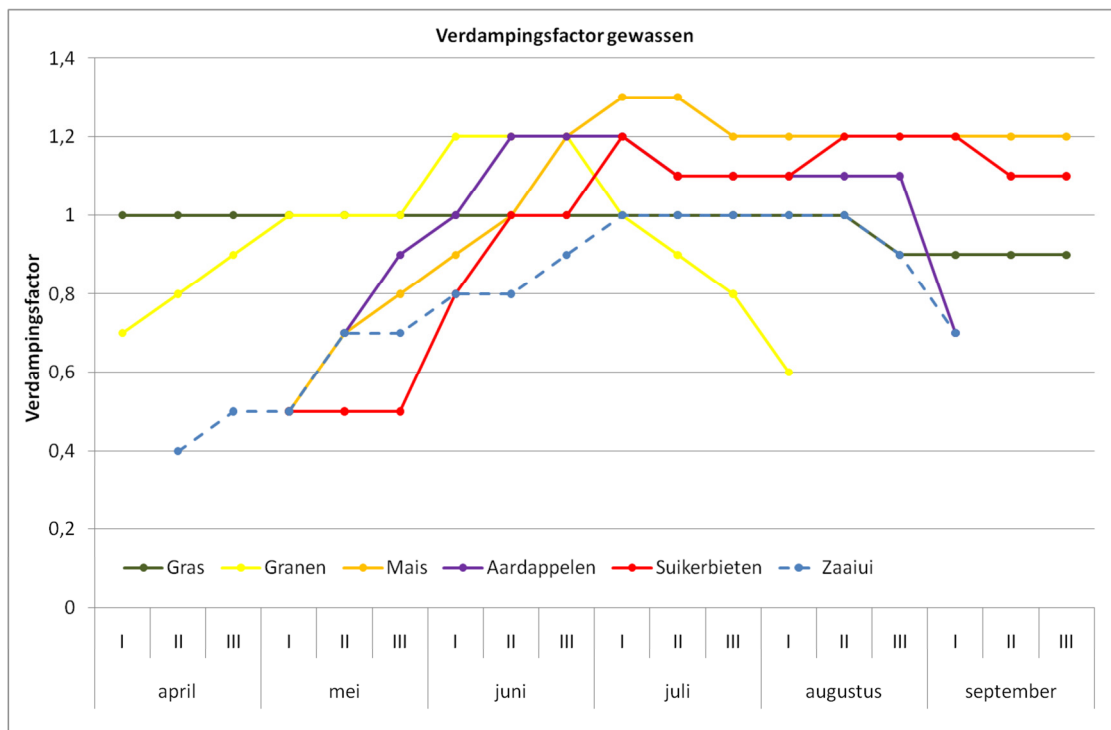
**Afbeelding 2.5: Het oppervlak van het veranderend landgebruik op basis van de Ruimtescanner scenario's GE en RC weergegeven in hectares.**

### 3 DE RELATIE TUSSEN HET LANDGEBRUIK EN DE HYDROLOGIE

Veranderingen in het landgebruik hebben invloed op de hydrologie. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de directe en indirecte invloed van landgebruikverandering op de hydrologie. Met de directe invloed wordt de invloed bedoeld die landgebruikverandering heeft op de verdamping en de verhardingsgraad en daarmee de netto neerslag die het grondwater bereikt. De relatie tussen het landgebruik en de verdamping is in paragraaf 3.1 beschreven. Met de indirecte invloed wordt de invloed op de hydrologie bedoeld als gevolg van aanpassing van het waterbeheer, zoals slootpeilen, buisdrainage en beregning, aansluitend op het nieuwe landgebruik. De relatie tussen het landgebruik en het waterbeheer is in paragraaf 3.2 beschreven. In paragraaf 3.3 is een overzicht gegeven van studies waarbij met een koppeling van een landgebruik model en een hydrologisch model de effecten van het veranderend landgebruik op de hydrologie is berekend.

#### 3.1 Landgebruik en verdamping

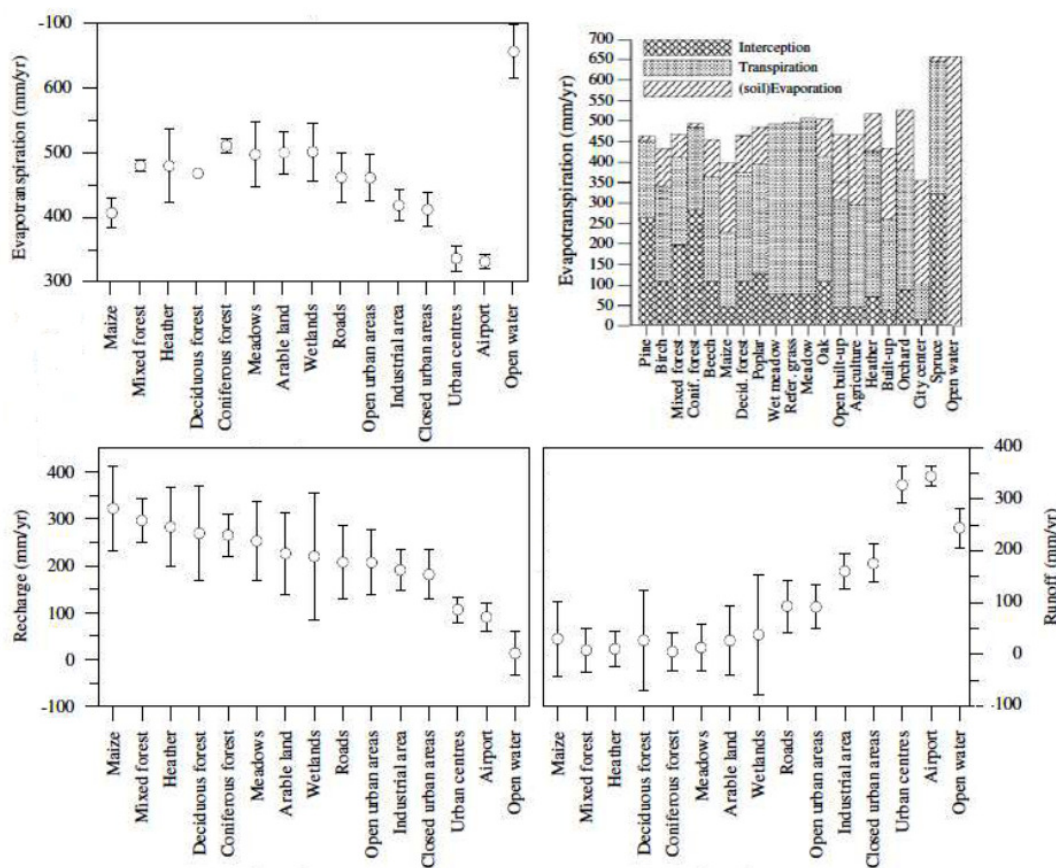
Verschillende gewassen verdampen meer of minder bij dezelfde atmosferische condities. De verschillen in vegetatiehoogte, bladoppervlak, in huidmondjes en de gewasontwikkeling over het jaar is deels samengevat als een gewasfactor (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988).



Afbeelding 3.1: Gewasfactor per tien dagen (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988).



Afbeelding 3.1 toont de gewasfactor voor verschillende gewassen, rekening houdend met het ontwikkelingsstadium van een gewas. In hydrologische berekeningen is het gebruik van een gewasfactor een gangbare manier om de potentiële verdamping (de verdamping bij optimale groeicondities) van gewassen te berekenen. Naaldbos en loofbos zijn niet in deze grafiek opgenomen, maar hebben ook hun eigen verdampingsgedrag. Diverse studies tonen het verschil tussen de verdamping van naaldbomen en loofbomen en dat bos meer water verdampt dan graslanden en akkerbouwgebieden (Dams et al, 2008; Bosch et al, 1982; Brown et al, 2005; Scanlon et al, 2007).



**Afbeelding 3.2:** De berekende gemiddelde jaarlijkse oppervlakte-afvoer (runoff), de grondwateraanvulling (recharge) en de evapotranspiratie (evapotranspiration) in het onderzoek van Batelaan et al (2007).

De hoeveelheid neerslag die vanaf het aardoppervlak wordt verdampt, kan worden opgesplitst in een hoeveelheid die rechtstreeks vanaf het bodemoppervlak of wateroppervlak verdampt (bodemverdamping en open water verdamping), een hoeveelheid die via de plant verdampt (transpiratie) en een hoeveelheid die direct vanaf het bladoppervlak verdampt (interceptieverdamping). De totale hoeveelheid verdampt water wordt in studies veelal aangeduid als verdamping of evapotranspiratie. In de rechterbovenhoek van afbeelding 3.2 zijn de componenten die samen de evapotranspiratie vormen gesplitst. De verdamping van gewassen door de bladmondjes (transpiratie) heeft

het grootste aandeel in de evapotranspiratie. Bij akkerbouwgebieden heeft ook de bodemverdamping een groot aandeel in de evapotranspiratie. In het stedelijk gebied vindt er voornamelijk bodemverdamping plaats (Batelaan et al, 2007). In het onderzoek van Batelaan et al (2007) wordt aangetoond dat verdamping een sterke correlatie heeft met het landgebruik, veel meer bijvoorbeeld dan het bodemtype of de hellingsgraad van het maaiveld.

Elk type oppervlak heeft zijn eigen verdampingsgedrag en bepaalt daarmee de hoeveelheid neerslag die in de bodem infiltreert of via het maaiveld afstroomt (oppervlakteafvoer) en het grondwater bereikt (grondwateraanvulling). De verdamping is hierdoor een belangrijke factor in de waterbalans (Veldhuizen et al, 2008). De hoeveelheid neerslag die uiteindelijk in de bodem infiltreert, is naast de verdamping ook afhankelijk van de verhardingsgraad van het grondoppervlak (Van de Ven, 1989; Haase, 2009). In de gebieden waar de verhardingsgraad hoog is, zoals wegen, bebouwing en kassen, is infiltratie van neerslag beperkt. Bij een hoge verhardingsgraad vindt er voornamelijk oppervlakkige afstroming van neerslag plaats naar het riool of direct naar het oppervlaktewater. In stedelijke gebieden is de grondwateraanvulling dan ook beperkt. In afbeelding 3.2 zijn de verschillen in verdamping, oppervlakteafvoer en de grondwateraanvulling zichtbaar. Zoals verwacht is de verdamping en de grondwateraanvulling kleiner dan in akkerbouw- en bosgebieden. Anderzijds kan de grondwateraanvulling in het stedelijk gebied ook worden vergroot door de aanleg van waterlopen, parken, tuinen en lekkage vanuit de riolering (Vázquez-Suñé et al, 2005; Poelmans, 2010).

### **3.2 Landgebruik en waterbeheer**

Het waterbeheer heeft als doel het watersysteem (oppervlaktewater en grondwater) geschikt te maken voor maatschappelijke behoeften. De behoeften komen voort uit doelstellingen met betrekking op de waterkwantiteit en waterkwaliteit zoals het voorkomen van wateroverlast, verdroging en verzilting (TU Delft, 2008). Het waterbeheer van het oppervlaktewater en grondwater is afhankelijk van bodemeigenschappen, het klimaat en is afgestemd op de landgebruik functies die het watersysteem moet bedienen (TU Delft, 2008; Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). Het gevoerde waterbeheer kan regionaal van aard zijn zoals peilbeheer om wateroverlast en verdroging te voorkomen en doorspoeling om waterkwaliteitsproblemen zoals verzilting tegen te gaan. Het gevoerde waterbeheer kan ook lokaal van aard zijn zoals de ontwatering van percelen door sloten, greppels en buisdrainage, maar ook door beregening van percelen om watertekorten in de wortelzone van gewassen aan te vullen. In tabel 3.1 is in grove lijnen het waterbeheer geschetst bij de landgebruiktypen landbouw, natuur en het stedelijk gebied.

**Tabel 3.1: Grote schets van het waterbeheer per landgebruikfunctie<sup>1</sup>.**

Waterbeheer	Landbouw		Natuur		Stedelijk gebied
	Laagwaardig <sup>2</sup>	Hoogwaardig	Droog	Nat	
Buisdrainage	Matig diepe ontwatering	Diepe ontwatering	Buisdrainage afwezig <sup>3</sup>	Buisdrainage afwezig <sup>3</sup>	Diepe ontwatering
Sloten/greppels	Kleine afstand	Kleine afstand	Sloten en greppels afwezig <sup>4</sup>	Kleine afstand <sup>5</sup>	Grote afstand
Peilbeheer	Klein tot matig grote drooglegging <sup>6</sup>	Grote drooglegging	Sloten afwezig <sup>4</sup>	Kleine drooglegging	Grote drooglegging <sup>7</sup>
Berekening <sup>8</sup>	Soms berekening	Vaak berekening	Geen berekening	Geen berekening	Geen berekening
Doorspoeling <sup>9</sup>	Soms doorspoeling	Vaak doorspoeling	Geen doorspoeling	Vaak doorspoeling	Vaak doorspoeling

1) De informatie in deze tabel is gebaseerd op het Cultuur Technisch Vademecum (1988), het dictaat Waterbeheer (TU Delft, 2008), de Landelijke Zoetwaterverkenning (Deltares, 2012) en beleidsnota's van diverse waterschappen.

2) Met laagwaardig wordt hier bedoeld grasland en maïsteelt ten behoeve van vee.

3) In natuurgebieden is buisdrainage over het algemeen niet aanwezig, omdat versnelde afvoer van water in natuurgebieden doorgaans niet wenselijk is.

4) Droge natuurgebieden komen voornamelijk voor op zandgronden waarin waterlopen afwezig zijn.

5) Natte natuurgebieden zijn moerasgebieden, kwelders en veenweidegebieden waar veel open water aanwezig is.

6) De drooglegging is het verschil tussen het maaiveld en het waterpeil. In veengebieden wordt een kleine drooglegging gehanteerd.

7) In stedelijk gebied wordt, indien nodig, bij nieuwbouw het maaiveld opgehoogd met zand om de gewenste drooglegging te bereiken.

8) Afhankelijk van de beschikbaarheid van zoetwater.

9) Afhankelijk van de mate van waterkwaliteit problemen en de beschikbaarheid van zoetwater.

### 3.3 De koppeling tussen een landgebruik model en een hydrologisch model

In de vorige paragraaf is de relatie beschreven tussen het landgebruik en de hydrologie. Deze relatie zorgt er ook voor dat wanneer verschuivingen plaatsvinden in het landgebruik dat ook zijn weerslag heeft op de hydrologie. Met andere woorden; de hydrologie verandert mee met de veranderingen van het landgebruik. Deels direct door veranderingen in de verdamping, infiltratie en oppervlakte-afvoer. Deels indirect doordat het waterbeheer wordt afgestemd op de 'nieuwe' functie van het landgebruik. De hydrologische effecten door landgebruikveranderingen is in diverse studies onderzocht. De laatste jaren is er veel aandacht voor overstromingsrisico's als gevolg van veranderende waterafvoeren in rivieren en beken door klimaatverandering en landgebruikverandering (Dams et al, 2008; Hurkmans et al, 2009; Poelmans, 2010). Daarnaast kunnen verschuivingen in het landgebruik tot problemen leiden zoals watertekorten door droogte (Kloptstra et al, 2005;

RIZA, 2005; Dekkers et al, 2007; Deltares, 2012). Landgebruikveranderingen leiden niet alleen tot mogelijke kwantiteitsproblemen, maar kunnen ook (grond)waterkwaliteitsproblemen veroorzaken. De kwaliteit (zuurgraad, zoutgehalte, hardheid, nutriëntenrijkheid) van de bodem en het grondwater verandert door processen die afhankelijk zijn van de samenstelling van het infiltrerend neerslagwater en de dikte van de onverzadigde zone (Paulissen et al, 2007). Daarbij heeft het landgebruik ook invloed op de waterkwaliteit van het oppervlaktewater. Met name landbouwgebieden hebben een duidelijke invloed op de oppervlaktewaterkwaliteit (Rijkswaterstaat, 2007).

#### *Het gebruik van scenario's en modellen*

Om inzicht te krijgen in de meest waarschijnlijke toekomstige ontwikkelingen van het landgebruik wordt gebruik gemaakt van scenario's. Scenario's zijn toekomstbeelden van de meest waarschijnlijke ontwikkelingen. Voor de ontwikkeling van het landgebruik wordt gebruik gemaakt van sociaaleconomische scenario's ontwikkeld door de planbureaus (CPB et al, 2006; MNP, 2007). Scenario's hebben in eerste instantie een kwalitatief karakter, maar kunnen met rekenmodellen kwantitatief worden uitgewerkt. Modellen zijn rekenprogramma's waarin relaties als rekenregels zijn opgenomen en bevatten een vereenvoudigde representatie van de werkelijkheid. Om het toekomstig landgebruik te simuleren zijn er in Nederland enkele ruimtegebruik modellen beschikbaar, zoals de Ruimtescanner (VU et al, 2010), de Leefomgevingsverkenner (Nijs et al, 2001), het TIGRIS-model (Transport Infrastructuur Grondgebruik Interactie Simulatie) (RAND Europe et al, 2005), het CLUE-model (Conversion of Land Use and its Effects) (Verburg et al, 2009) en het UrbanSim model (Waddell, 2002).

Ook met betrekking tot de hydrologie wordt veel gebruik gemaakt van modellen om inzicht te krijgen in de mogelijke gevolgen van toekomstige ontwikkelingen, ingrepen en maatregelen op het oppervlakte- en grondwatersysteem. Om de hydrologische effecten te berekenen worden hydrologische modellen gebruikt zoals Sobek (WL Delft Hydraulics, 1997) en Mozart (WL-Delft Hydraulics, 1995) voor het oppervlaktewater, Fluzo (Smidt et al, 1991), MetaSWAP (Kroes et al, 2003) en Modflow (Harbaugh et al, 2000) voor het grondwater en afgeleide of gecombineerde versies hiervan zoals het NHI (NHI, 2008a) en Triwaco (Royal Haskoning, 2004).

Door een landgebruik model te koppelen aan een hydrologisch model is het mogelijk om het effect op de hydrologie te berekenen als gevolg van landgebruikveranderingen. De afgelopen jaren is in diverse onderzoeken een koppeling gemaakt tussen landgebruik modellen en hydrologische modellen om de invloed van landgebruikveranderingen op de hydrologie te onderzoeken. De koppeling tussen een landgebruik model en een hydrologische model is voor verschillende doeleinden gebruikt, zoals het in beeld brengen van toekomstige risico's met betrekking tot overstromingen, verdroging en de zoetwatervoorziening. In tabel 3.2 en 3.3 is een overzicht gegeven van onderzoeken

waarbij een combinatie is gebruikt van een ruimtegebruik model en een oppervlaktewater- of grondwatermodel. De onderzoeken hebben het nut van de koppeling tussen een landgebruik model en een hydrologisch model bewezen, maar hebben zich voornamelijk beperkt tot het berekenen van de invloed van veranderend landgebruik op het oppervlaktewatersysteem. Studies waarbij een koppeling is gemaakt tussen een landgebruik model en een grondwatermodel is beperkt. In de onderzoeken is opgemerkt dat wanneer het effect van landgebruik op de hydrologie wordt onderzocht de landgebruikclassen sterk vereenvoudigd worden tot een paar klassen, voornamelijk de klassen gras, akkerbouw, natuur en stedelijk gebied.

### *Oppervlaktewater*

De koppeling tussen landgebruik modellen en oppervlaktewatermodellen wordt in merendeel van de studies toegepast voor onderzoek in stroomgebieden van grote rivieren en beken. De in de tabel genoemde onderzoeken tonen aan dat landgebruikveranderingen een sterke invloed hebben op het stroomgedrag van rivieren en beken. De onderzoeken samenvattend kan worden geconcludeerd dat een afname van natuur en akkerbouw ten behoeve van stedelijk gebied resulteren in een verminderende verdamping en versnelde afvoer van neerslagwater naar rivieren en beken. Ook de verandering van natuur naar landbouw hebben een versnelde afvoer van neerslagwater naar de rivieren en beken als gevolg door toepassing van ontwateringsmiddelen zoals buisdrainage. Versnelde afvoer van neerslagwater naar rivieren en beken leiden tot grotere rivierafvoeren en overstromingsrisico's. Ook zijn rivieren en beken in droge perioden gevoeliger voor watertekorten door een verminderende grondwateraanvulling als het gevolg van meer oppervlakte-afvoer van neerslagwater.

**Tabel 3.2: Onderzoeken die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd waarbij een koppeling is gemaakt tussen een landgebruik model en een oppervlaktewatermodel.**

Onderzoeker(s)	Onderzoek	Onderzoek-gebied	Landgebruik model	Hydrologisch model
Bronstert et al (2002)	Modelling the impact of land-use changes on flood generation: the Lein study	Het Lein Stroomgebied (Zuidwest Duitsland)	LUCK (Fritsch et al, 2002)	WaSiM-ETH (Schulla, 1997)
Bronstert et al (2007)	Multi-scale modelling of land-use change and river training effects on floods in the rhine basin	Het stroomgebied van rivier de Rijn tussen Maxau en de Duits/ Nederlandse grens bij Lobith (Zuidwest Duitsland)	LUCK	WaSiM-ETH, HBV (Bergström, 1995) en SOBEK (WL Delft Hydraulics, 1997)
Niehoff et al (2002)	Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany	Het stroomgebied van rivier de Rijn (Zuidwest Duitsland)	LUCK	WaSiM-ETH

Hurkmans et al (2009)	Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin	Het stroomgebied van rivier de Rijn bovenstrooms van Lobith	Dyna-CLUE (Verburg et al, 2009)	VIC (Liang et al, 1994; 1996)
Fohrer et al, (2000)	Hydrologic Response to Land Use Changes on the Catchment Scale	Het Dietzhölze stroomgebied gelegen bij Hessen in Duitsland	ProLand (Moller at al., 1999)	SWAT (Arnold et al, 1993; 1998)
Ott et al, (2004)	Quantifying the impact of land-use changes at the event and seasonal time scale using a process-oriented catchment model	Het Dreisam stroomgebied in het zuidelijk deel van het Zwarte Woud	LUCK	TACd (Uhlenbrook en Leibundgut, 2002)
McColl et al, (2007)	Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support	Yakima River's stroomgebied bij Kittitas County, Washington	What If (Klosterman, 2001)	HEC-HMS (USACE, 2000)
Tang et al, (2005)	Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale	Het stroomgebied van Muskegon River, gelegen aan de oostelijke kust van Lake Michigan	LTM (Pijanowski et al, 2002)	L-THIA (Harbor, 1994 en Bhaduri et al, 2000)
Yu-Pin Lin et al, (2007)	Modeling and assessing land-use and hydrological processes to future land-use and climate change scenarios in watershed land-use planning	Het Wu-Tu stroomgebied van de Keelung River Basin, Noord Taiwan	CLUE-s	GWLF (Haith en Shoemaker, 1987)
Poelmans (2010)	Modelling urban expansion and its hydrological impacts	Het stroomgebied van de Molenbeek nabij Leuven, en voor Brussel en Vlaanderen	Zelf ontwikkelde verstedelijkingsmodellen; een cellulaire automaten model, een logistische regressie model en een combinatie van beide (Poelmans, 2010 en Poelmans et al, 2010)	De gebruikte en gecombineerde hydrologische modellen zijn het WetSpa-model (De Smedt et al, 2000 en Wang et al, 1996), het PDM (Moore, 2007) en InfoWorks RS (Wallingford Software Ltd, 2009).

### *Het grondwatersysteem*

Ondanks dat landgebruikveranderingen één van de belangrijkste door de mens veroorzaakte activiteit is die leidt tot wijzigingen in het grondwatersysteem (Calder, 1993 in Dams et al, 2008), is het aantal onderzoeken op het grondwatersysteem in Nederland, maar ook in andere landen veel kleiner dan het aantal onderzoeken op het oppervlaktewatersysteem.

**Tabel 3.3: Onderzoeken die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd waarbij een koppeling is gemaakt tussen een landgebruik model en een grondwatermodel.**

Onderzoeker(s)	Onderzoek	Onderzoeks-gebied	Landgebruik model	Hydrologisch model
Dams et al (2008)	Predicting land-use change and its impact on the groundwater system of the Kleine Nete catchment, Belgium	Stroomgebied Kleine Nete in België	CLUE-s (Verburg et al, 2009)	Modflow (Harbaugh et al, 2000) en het Wetspass model (Batelaan et al, 2001)
RIZA (2005)	Berekeningen watertekortopgave en maatregelen watertekorten; Droogtestudie Nederland	Nederland	Ruimtescanner (VU, 2002)	Nagrom (De Lange, 1996), Mozart (WL-Delft Hydraulics, 1995), Mona (RIZA et al, 2002) en DM (Wegner, 1981).
Deltares (2012)	Zoetwatervoorziening in Nederland, (Aangescherpte) Landelijke knelpuntenanalyse in de 21e eeuw.	Nederland	Ruimtescanner (VU et al, 2010)	NHI (NHI, 2008a): Koppeling tussen Modflow (Harbaugh et al, 2000), MetaSWAP (Kroes et al, 2003), Mozart (WL-Delft Hydraulics 1995) en DM (Wegner, 1981)

Door Batelaan et al (2003; 2007) is een koppeling gemaakt tussen de hydrologische modellen Wetspass en Modflow om de effecten van het landgebruik op de grondwateraanvulling en de grondwaterstand te berekenen. Voortbordurend op de methodiek van Batelaan et al (2003; 2007) is door Dams et al, (2008) het effect van het toekomstig landgebruik op de grondwateraanvulling en grondwaterstand onderzocht in het stroomgebied Kleine Nete in België. Dams et al (2008) hebben hierbij gebruik gemaakt van vier landgebruik scenario's, met als doeljaar 2020. De landgebruik scenario's zijn gesimuleerd met het CLUE-s model (Verburg et al, 2009). Dit onderzoek toont onder meer aan dat veranderingen in de grondwateraanvulling het meest gevoelig zijn voor verstedelijking en bebossing. De grootste veranderingen in de grondwaterstand vinden plaats in gebieden waar verstedelijking plaatsvindt.

Behalve op stroomgebied niveau zijn ook op landelijke schaal berekeningen gemaakt waarin de invloed van het toekomstig landgebruik op het grondwatersysteem is onderzocht. In de achtergrondrapportage voor de droogtestudie in Nederland (RIZA, 2005) zijn berekeningen gemaakt van het watertekort voor de functie natuur en landbouw in Nederland. Voor deze studie is onder meer het watertekort voor het jaar 2050 berekend op basis van het "Controlist-scenario", wat een middenscenario is (ICIS, 2002). Voor de hydrologische berekening is een koppeling gemaakt tussen de modellen Nagrom (De Lange, 1996) voor de verzadigde grondwaterzone, Mozart (WL-Delft Hydraulics, 1995) voor de onverzadigde zone, Mona (RIZA et al, 2002) voor de koppeling tussen Nagrom en Mozart en DM (Wegner, 1981) voor de verdeling van het oppervlaktewater. Dit hydrologisch instrumentarium is de voorloper van het huidige NHI. Naast klimatologische veranderingen is ook het toekomstig landgebruik in de berekeningen meegenomen. Voor

het toekomstig landgebruik zijn de scenario's uit de Ruimtescanner gebruikt (VU, 2002). Uit de berekeningen blijkt, dat de veranderingen in het landgebruik voor het Controlist-scenario met name lokaal grote invloed hebben op de grondwaterstand. Geconcludeerd is, dat van de doorgevoerde veranderingen (zeespiegelstijging, klimaatveranderingen, bodemdaling en landgebruik) het landgebruik de grootste invloed heeft op de grondwaterstand en de kwel- en wegzijging. Of anders gezegd; de grondwaterstand, kwel en wegzijging reageren het gevoeligst op het veranderende landgebruik. Met name door uitbreiding van natuur, bos en bebouwd gebied. Dit had niet zozeer te maken met de invloed van landgebruikverandering op verdamping of de grondwateraanvulling, maar meer met het veranderend waterbeheer. Op plaatsen van bijvoorbeeld natuur en bosareaal is het waterpeil verhoogd en zijn oppervlakkige drainagemiddelen verwijderd.

Recentelijk is een studie afgerond waarin de toekomstige zoetwatervoorraad van Nederland is verkend (Deltares, 2012). De studie is gericht op de omvang en plaats van de toekomstige zoetwatervraag. Hierbij is gebruik gemaakt van het NHI (NHI, 2008a). Bij deze verkenning zijn scenario's gebruikt van klimaatverandering, bodemdaling, zeespiegelstijging en landgebruikverandering. Voor het toekomstig landgebruik is gebruik gemaakt van de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner (scenario's RC en GE). In deze studie is geconcludeerd dat verschuivingen in het landgebruik kwantitatief verwaarloosbaar zijn en nauwelijks effect hebben op de toekomstige watervraag. Om deze reden zijn de effecten van het veranderend landgebruik op de hydrologie niet los van de overige toekomstige ontwikkelingen uitgewerkt.



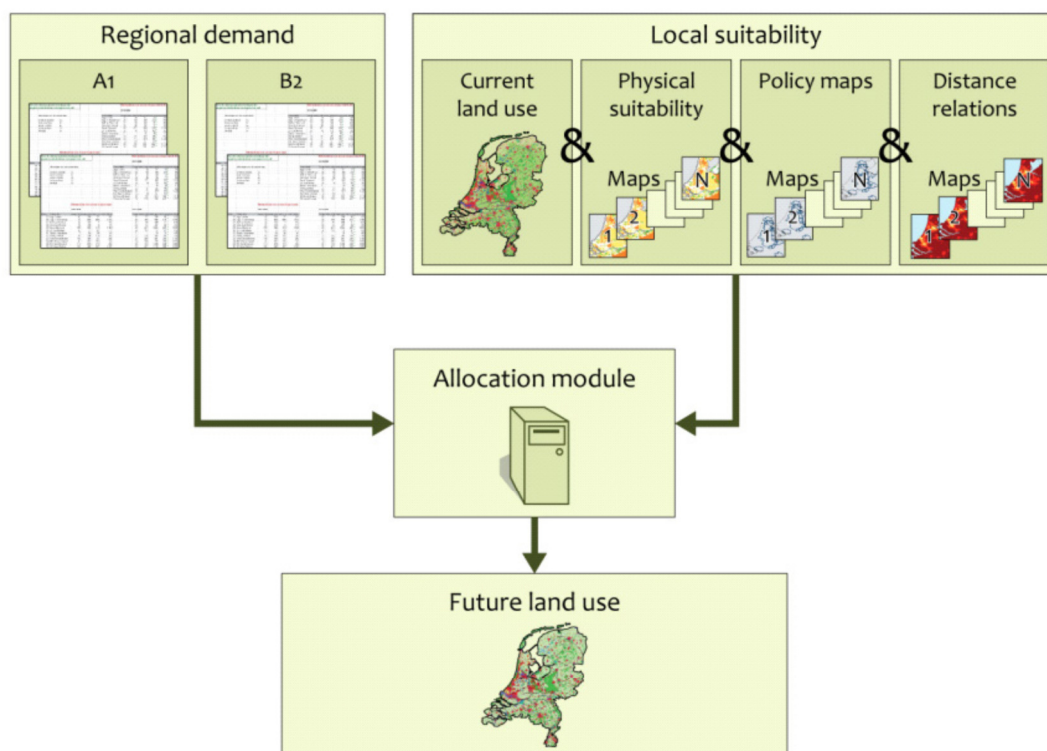
## 4 MATERIAAL

In dit onderzoek is het effect van landgebruikveranderingen op de hydrologie onderzocht. Hiervoor is een koppeling gemaakt tussen het landgebruik model de Ruimtescanner (VU et al, 2010) en het hydrologische model het NHI (NHI, 2008a). De toepassing en werking van beide modellen is in dit hoofdstuk beschreven.

### 4.1 De Ruimtescanner

De Ruimtescanner is een (geo-)informatiesysteem dat helpt om mogelijke toekomstige ontwikkelingsperspectieven van het ruimtegebruik in Nederland inzichtelijk te maken. De Ruimtescanner is ontwikkeld door onder meer de Vrije Universiteit (VU-FEWEB), het Landbouw-Economisch Instituut (LEI), het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), Geodan en Object Vision. De Ruimtescanner is de afgelopen jaren ingezet bij het toetsen en voorbereiden van ruimtelijk beleid in Nederland, onder andere bij de verkenning van een alternatieve locatie voor een nationale luchthaven (Scholten et al, 1999), ter voorbereiding op de Vijfde Nota Ruimtelijke Ordening (Schotten et al, 2001) en meer recentelijk de scenario studies van Overijssel (Koomen et al, 2008a) en van Nederland in 2040 (Borsboom - van Beurden et al, 2007; Koomen et al, 2008b, Deltares, 2012).

#### Land Use Scanner layout



Afbeelding 4.1: De werking van de Ruimtescanner (VU et al, 2010).

De Ruimtescanner is een GIS gebaseerd ruimtelijk model die op eenvoudige en snelle wijze diverse ruimtelijk scenario's op regionale schaal in kaart brengt (gridcellen van 100 bij 100 meter). De werking van de Ruimtescanner is weergegeven in afbeelding 4.1. De veranderingen van het ruimtegebruik worden berekend op basis van veronderstellingen met betrekking tot de toekomstige vraag en het aanbod van de ruimte. De functies zoals wonen, werken, landbouw, natuur en recreatie zorgen voor een vraag naar ruimte (regional demand). De vraag van de functies wordt vervolgens afgestemd op het aanbod van de ruimte (local suitability). Het aanbod van de ruimte is afhankelijk van onder andere het huidige landgebruik (current land use), de geschiktheid van de ondergrond (physical suitability), het vigerend beleid (policy maps) en de bereikbaarheid (distance relations). Het model heeft een tijdshorizon van 30 tot 40 jaar. De Ruimtescanner geeft een ontwikkelingsperspectief op basis van verschillende scenario's. De scenario's zijn gebaseerd op de sociaaleconomische scenario's ontwikkeld door de planbureaus (CPB et al, 2006). Een uitgebreide beschrijving van de Ruimtescanner is gegeven door Scholten et al (2001), Koomen (2002), Borsboom- van Beurden et al, (2002, 2005) en Loonen (2006, 2009).

## 4.2 Het landgebruik in de Ruimtescanner

De vervaardiging van het landgebruikbestand van de Ruimtescanner is beschreven door de VU et al (2010). Een aantal belangrijke aspecten zijn in deze paragraaf beschreven. Het landgebruikbestand in de Ruimtescanner is gebaseerd op CBS Bodemstatistiek kaarten (2006). Door het PBL zijn hieraan toegevoegd:

- woonmilieu typering (op basis van data van ABF, 2006);
- bedrijfsterrein typering (op basis van de IBIS werklocatie inventarisatie, 2004);
- gewassoorten (op basis van LGN5 data, 2003/2004);
- locaties van boomkwekerijen (op basis van Top10Vector data van Kadaster, datum onbekend);
- locaties van intensieve veehouderijen (op basis van data van het LEI en Top10Vector data van het Kadaster, datum onbekend).

De verrijkte Bodemstatistiek kaarten zijn landsdekkende bestanden, die het landgebruik in Nederland weergeven met 88 klassen, met gridcellen van 25 bij 25 meter. Voor het gebruik van de landgebruikkaart in de Ruimtescanner wordt de data op basis van een meerderheidsregel in een cel geaggregeerd (samenvoeging) tot gridcellen van 100 bij 100 meter. Hierbij wordt het aantal landgebruikklassen teruggebracht van 88 naar 23 klassen. De gebruikte landgebruikklassen in de Ruimtescanner zijn weergegeven in tabel 4.1.

**Tabel 4.1: Landgebruiksklassen in de Ruimtescanner.**

Ruimtescanner code	Ruimtescanner beschrijving	Ruimtescanner code	Ruimtescanner beschrijving
0	wonen -stedelijk	12	meerjarige teelt
1	wonen - groen stedelijk	13	spoorlijnen
2	wonen - landelijk	14	wegen
3	recreatie	15	vliegvelden
4	bedrijfsterrein	16	bouwterrein
5	zeehavens	17	buitenland
6	droge natuur	18	groot zoetwater
7	natte natuur	19	rivieren
8	akkerbouw	20	bergingswater
9	grondgebonden veeteelt	21	zoutwater
10	glastuinbouw	22	overig water
11	intensieve veeteelt		

### 4.3 Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI)

Het NHI is een geïntegreerd grond- en oppervlaktewatermodel van Nederland en bestaat uit een aantal aan elkaar gekoppelde modellen. Het NHI is bijna landsdekkend, vooralsnog zijn de Waddeneilanden niet geschematiseerd (versie 3.0). Voor dit onderzoek is specifiek gekozen voor het NHI omdat dit een geïntegreerd hydrologisch model is van Nederland. Aandachtspunt is dat het NHI een lopend project is waarin nog verbeteringen plaatsvinden. Dit project wordt uitgevoerd door het NHI-projectteam (Alterra, Deltares, PBL, RWS-Waterdienst). Het NHI is een belangrijk instrument voor diverse thematische en integrale beleidsanalyses (NHI, 2008a). In de afgelopen jaren zijn met het NHI diverse landelijke en regionale berekeningen uitgevoerd voor de analyses van de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening in het kader van het Deltaprogramma (Deltares, 2012). Een uitgebreide beschrijving van het NHI is gegeven in de modelrapportage van het NHI (NHI, 2008a).

### 4.4 Het landgebruik in het NHI

De vervaardiging van het landgebruikbestand voor het NHI is beschreven in het deelrapport "Landgebruik" (NHI, 2008b). Een aantal belangrijke aspecten uit dit rapport zijn in deze paragraaf beschreven. De basis van het landgebruikbestand van het NHI is het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN) (Hazeu, 2005). Het LGN is een landsdekkend bestand, dat het landgebruik in Nederland weergeeft met 39 klassen, met gridcellen van 25 bij 25 meter. Voor het gebruik in het NHI wordt het aantal landgebruiksklassen van het LGN teruggebracht van 39 naar 19 klassen.

Van de 19 landgebruikclassen worden vervolgens twee klassen toegevoegd:

- locaties van boomteelt (op basis van data van TOP10Vector, datum onbekend);
- natuurkaart voor onderscheid tussen licht naaldbos en donker naaldbos (RIVM, datum onbekend).

Voor de toepassingen in het NHI vindt een verschaling plaats van de celgrootte van 25 bij 25 meter naar 250 bij 250 meter. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een meerderheidsregel en de voorwaarde dat binnen een gemeente de landgebruik verdeling van het opgeschaalde grid gelijk moet zijn aan het oorspronkelijke fijne grid. De gebruikte landgebruikclassen in het NHI zijn weergegeven in tabel 4.2.

**Tabel 4.2: Landgebruikclassen in het NHI.**

NHI code	NHI beschrijving	NHI code	NHI beschrijving
1	gras	11	loofbos
2	mais	12	licht naaldbos
3	aardappelen	13	natte natuur
4	(suiker)bieten	14	droge natuur
5	granen	15	kale grond
6	overige landbouw	16	zoet water
7	boomteelt	17	zout water
8	glastuinbouw	18	stedelijk
9	boomgaard	19	donker naaldbos
10	bollen		

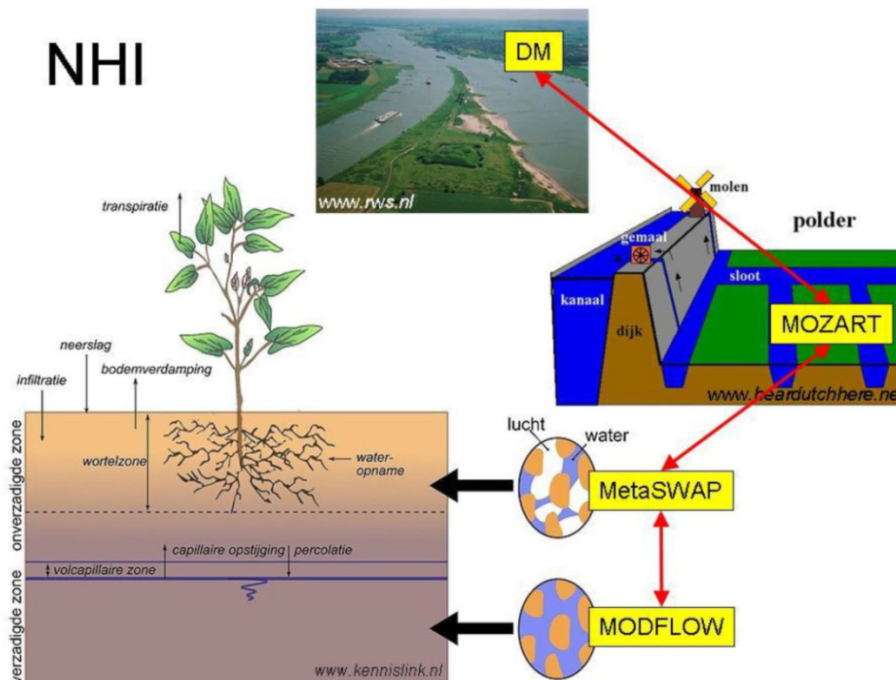
Voor het stedelijk gebied en infrastructuur is in het NHI een verhardingsgraad aangehouden die zo goed mogelijk aansluit bij de praktijk. Voor stedelijk gebied is een verhardingsgraad aangehouden van 40% en voor hoofdwegen en spoorwegen een verhardingsgraad van 80% (NHI, 2008b). In aanvulling hierop wordt binnen het NHI aangenomen dat van het neerslagwater dat terecht komt op het verharde oppervlak van stedelijk gebied, hoofdwegen of spoorwegen daarvan 20% verdampt, 15% in de bodem infiltreert en 65% direct tot afvoer komt. Dit betekent dat voor het stedelijk gebied en infrastructuur verondersteld wordt dat die voor respectievelijk 26% en 52% effectief verhard zijn (NHI, 2011).

#### **4.5 Grond- en oppervlaktewaterberekeningen met het NHI**

Met het NHI kunnen grond- en oppervlaktewaterstromingen op landelijke schaal berekend worden. Hiervoor is het NHI opgebouwd uit vier modellen:

- Modflow (Harbaugh et al, 2000); het model voor de diepe ondergrond.
- MetaSWAP (Kroes et al, 2003); het model voor de ondiepe ondergrond; de onverzadigde zone.

- Mozart (WL-Delft Hydraulics, 1995); het model voor het regionale oppervlaktewater.
- DM (Wegner, 1981); het model voor het landelijk oppervlaktewater.



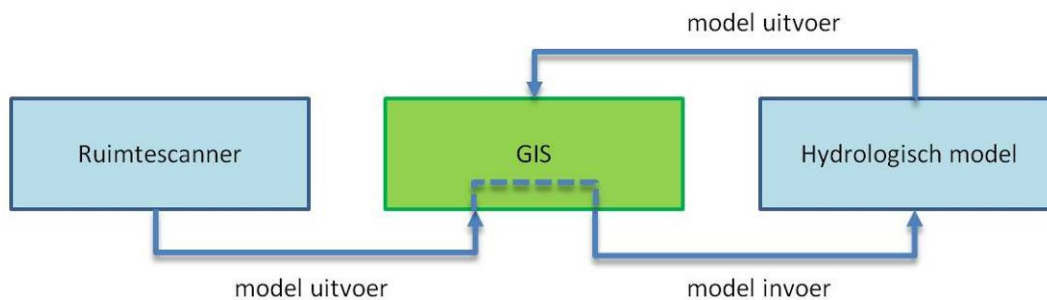
**Afbeelding 4.2: Overzicht van processen in het NHI (Snippen en IJker 2012 in Deltares 2013).**

De koppeling tussen de modellen is in afbeelding 4.2 weergegeven. Voor het vullen van het NHI is een databank opgebouwd met een groot aantal gegevens van verschillende informatiebronnen, die nodig zijn om het grond- en oppervlaktewatersysteem goed te kunnen begrijpen. De verzamelde informatie wordt vertaald naar hydrologische waarden en randvoorwaarden van het NHI. De informatiebronnen en werkwijzen die voor de schematisatie en parametrisatie van het NHI zijn gebruikt zijn beschreven in diverse rapporten (NHI, 2008a). De informatiebronnen bestaan deels uit landelijke bestanden zoals de maaiveldhoogte (AHN), meteorologie (KNMI), bodeminformatie (bodempysische kaart 1:50.000, BIS), het landgebruik (LGN5), schematisatie van de ondergrond (DINO, REGIS II), ligging van waterlopen (Top10vector, Topografische dienst Kadaster), aangevuld met gegevens van regionale waterbeheerders zoals peilgegevens, informatie en beslisregels van kunstwerken (aan- en afvoergegevens van oppervlaktewater) en locaties van onttrekkingen ten behoeve van landbouw, waterwinningen en industrie. Deze informatiebronnen zijn veelal beschikbaar als vector- of rasterbestand. Omdat het NHI rekent met gridcellen van 250 bij 250 meter zijn, indien nodig, de bronbestanden vergrid en/of opgeschaald. Bij opschaling is informatie vereenvoudigd en verdwijnen in het NHI de scherpe overgangen van bronbestanden zoals slootpeilen, drainagemiddelen en waterlopen.

## 5 WERKWIJZE

### 5.1 De koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI

De Ruimtescanner en het NHI werken los van elkaar. Het koppelende component is GIS (afbeelding 5.1). De landgebruik scenario's als resultaat van de Ruimtescanner zijn geschikt gemaakt om te gebruiken in het NHI. Vervolgens zijn de resultaten uit het NHI met GIS geanalyseerd en gevisualiseerd.



**Afbeelding 5.1: Losse koppeling van het landgebruik model de Ruimtescanner en het hydrologisch model het NHI, met GIS als koppelend component.**

Voor de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI moeten een aantal processen worden doorlopen om het landgebruikbestand van de Ruimtescanner geschikt te maken voor de model berekeningen met het NHI:

- Vertaling van landgebruikclassen (dit is beschreven in paragraaf 5.2)
- Verscalen van gridcellen (dit is beschreven in paragraaf 5.3)
- Aanpassen van hydrologische parameters NHI (dit is beschreven in paragraaf 5.4)

In hoofdstuk 3 is op basis van de literatuur de relatie onderzocht tussen het landgebruik en de hydrologie. In dit onderzoek is deze relatie kwantitatief onderzocht, gebruikmakend van de huidige datasets van het NHI. De uitvoering hiervan is beschreven in paragraaf 5.5. In paragraaf 5.6 is de uitvoering van de analyse beschreven van de berekeningen waarbij de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner als uitgangspunt zijn gebruikt.

Als bijlage zijn de volgende bestanden opgenomen:

Bijlage 1: Gebruikte databestanden

Bijlage 2: GIS-modellen:

2a: Omzetten RS-landgebruikscenario naar NHI-landgebruikscenario

2b: Analyse NHI-parameters

2c: Aanpassen NHI-parameters

2d: Calculate fields using code blocks with Python

## 5.2 Vertaling landgebruiksklassen Ruimtescanner naar het NHI

Om te rekenen met het NHI zijn de landgebruiksklassen uit de Ruimtescanner omgezet naar de landgebruiksklassen die gebruikt kunnen worden in het NHI. Hiervoor is een vertaalslag nodig. Het vertalen van de landgebruiksklasse van de Ruimtescanner naar de landgebruiksklassen is in twee stappen uitgevoerd:

- Stap 1. De gehanteerde landgebruiksklassen van de Ruimtescanner worden omgezet naar de LGN5-indeling.
- Stap 2. Het landgebruikbestand met LGN5-indeling is vervolgens omgezet naar geschikte landgebruiksklassen voor het NHI.

De eerste (tussen)stap is nodig omdat gebruik is gemaakt van een bestaand Fortran programma (NHI, 2008b) waarmee het LGN5 wordt vertaald naar een NHI landgebruikbestand. Bij deze omzetting worden tegelijkertijd ook bestaande kennistabellen in het NHI geraadpleegd en de randvoorwaarden bepaald voor de onverzadigde zone van het modelonderdeel Metaswap (in paragraaf 5.4 is dit verder uitgewerkt). De 23 landgebruiksklassen van de Ruimtescanner zijn in de eerste stap omgezet naar één van de 39 landgebruiksklassen uit het LGN5. Deze zijn vervolgens in de tweede stap vertaald naar één van de 19 landgebruiksklassen die in het NHI gebruikt worden voor hydrologische berekeningen.

De vertaling van de landgebruiksklassen van de Ruimtescanner (hierna genoemd als RS-landgebruiksklassen) naar landgebruiksklassen die in het NHI (hierna genoemd als NHI-landgebruiksklassen) gebruikt worden zijn weergegeven in tabel 5.1. Bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen kunnen niet alle klassen één op één worden overgenomen. De RS-landgebruiksklassen die niet overeenkomen met de NHI-landgebruiksklassen zijn 'recreatie', 'intensieve veeteelt', 'grondgebonden veeteelt', 'akkerbouw', 'meerjarige teelt', 'droge natuur' en de klassen van het 'stedelijk gebied'. Voor deze klassen is een vertaalkeuze gemaakt die zo goed mogelijk aansluit op een NHI-landgebruiksklasse. Hierbij is getracht de eigenschappen van de landgebruik functie te behouden, zoals die oorspronkelijk in de Ruimtescanner bedoeld is. Hieronder is van deze klassen gemotiveerd naar welke NHI-landgebruiksklasse een RS-landgebruiksklasse is vertaald.

### Recreatie

De RS-landgebruiksklasse 'recreatie' is omgezet naar de NHI-landgebruiksklasse 'grasland'. Hiervoor is gekozen omdat het bij recreatieterreinen voornamelijk gaat om onder meer sportvelden, parken, volkstuinten en kampeerterreinen. De RS-landgebruiksklasse grasland sluit hierbij het beste aan.

### Intensieve veeteelt

De RS-landgebruiksklasse 'intensieve veeteelt' is omgezet tot de NHI-landgebruiksklasse 'stedelijk'. Hiervoor is gekozen omdat het bij intensieve veeteelt gaat om stallen of schuren

voor vleeskalverenbedrijven, varkensbedrijven, pluimveebedrijven en andere hokdierbedrijven. Dit is verhard terrein en sluit het beste aan bij de landgebruikklasse stedelijk.

**Tabel 5.1: Vertaling van landgebruiksklassen.**

RS landgebruik-klasse	Ruimtescanner beschrijving	NHI landgebruik-klasse	NHI beschrijving
0	wonen -stedelijk	18	stedelijk (40% verhard)
1	wonen - groen stedelijk	18	stedelijk (40% verhard)
2	wonen - landelijk	18	stedelijk (40% verhard)
3	recreatie	1	gras
4	bedrijfsterrein	18	stedelijk (40% verhard)
5	zeehavens	18	stedelijk (40% verhard)
6	droge natuur	11, 12, 14, 19	droge natuur, loofbos, licht naaldbos, donker naaldbos
7	natte natuur	13	natte natuur
8	akkerbouw	3, 4, 5, 6, 10	Aardappelen, bieten, granen, bollen, overige landbouw
9	grondgebonden veeteelt	1, 2	gras, maïs
10	glastuinbouw	8	glastuinbouw
11	intensieve veeteelt	18	stedelijk (40% verhard)
12	meerjarige teelt	7, 9	boomteelt, boomgaard
13	spoorlijnen	18	stedelijk (80% verhard)
14	wegen	18	stedelijk (80% verhard)
15	vliegvelden	18	stedelijk (80% verhard)
16	bouwtterrein	15	kale grond
17	buitenland	-	-
18	groot zoetwater	16	zoet water
19	rivieren	16	zoet water
20	bergingswater	16	zoet water
21	zoutwater	17	zout water
22	overig water	16	zoet water

#### Grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur

Zoals in tabel 5.2 is weergegeven zijn de RS-landgebruiksklassen 'grondgebonden veeteelt', 'akkerbouw', 'meerjarige teelt' en 'droge natuur' in het NHI landgebruikbestand uitgebreider beschreven. Bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen naar NHI-landgebruiksklassen moet een keuze worden gemaakt welke NHI-landgebruiksklasse wordt gebruikt.



Voor de vertaling van de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur naar een NHI-landgebruiksklasse zijn twee opties mogelijk om de RS-landgebruiksklassen zo goed mogelijk op het NHI te laten aansluiten:

- Optie A: Een RS-landgebruiksklasse vertalen naar één van de gewenste NHI-landgebruiksklassen uit de tweede kolom van tabel 5.2.
- Optie B: Een RS-landgebruiksklasse vertalen naar meerdere gewenste NHI-landgebruiksklassen uit de tweede kolom van tabel 5.2.

Optie A: Bij het omzetten van de RS-landgebruiksklassen naar één NHI-landgebruiksklasse, wordt per regio bepaald welke NHI-landgebruiksklasse het meest voorkomt (grootste oppervlak). Vervolgens worden per regio de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur omgezet naar de meest dominante NHI-landgebruiksklasse. Deze optie sluit meer aan bij het RS-landgebruikbestand.

Optie B: Voor het omzetten van de RS-landgebruiksklassen naar meerdere gewenste NHI-landgebruiksklassen wordt het RS-landgebruikbestand gecombineerd met het NHI-landgebruikbestand. Door het RS-landgebruikbestand te combineren met NHI-landgebruikbestand worden deze RS-landgebruiksklassen vervangen door de gewenste klasse van het NHI-landgebruikbestand, ofwel het RS-landgebruikbestand wordt verwijnd. De gridcellen van het RS-landgebruikbestand die niet kunnen worden ingevuld op basis van het NHI-landgebruikbestand, worden omgezet naar de meest dominante NHI-landgebruiksklasse in een regio. Deze optie sluit meer aan bij het NHI-landgebruikbestand. Ten opzichte van optie A is bij optie B de complexiteit groter van het vertaalproces om het RS-landgebruikbestand te gebruiken in het NHI.

**Tabel 5.2: Keuzemogelijkheden bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen naar NHI-landgebruiksklassen.**

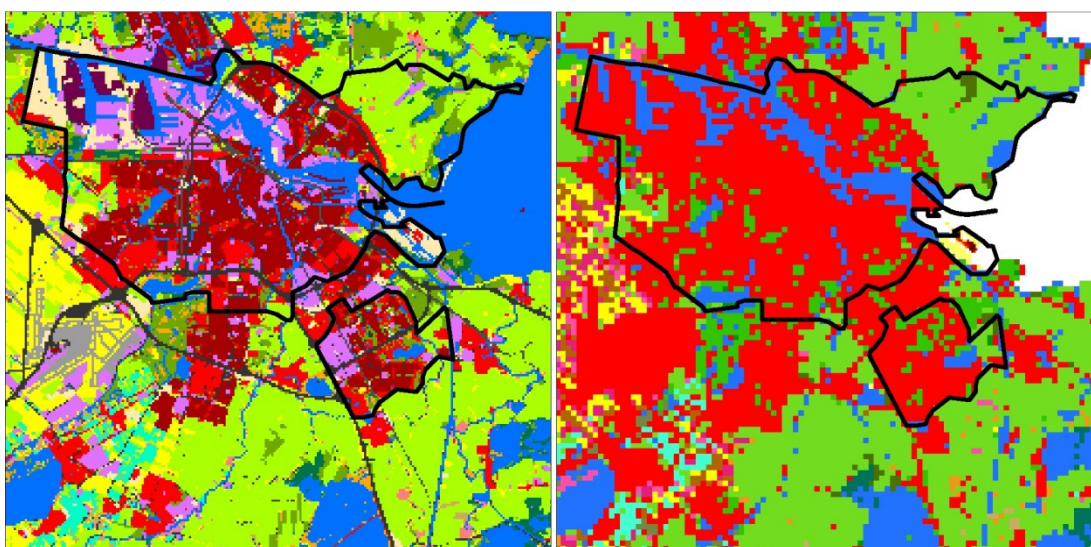
RS-landgebruiksklasse	NHI-landgebruiksklasse
Grondgebonden veeteelt	Gras, maïs
Akkerbouw	Aardappelen, bieten, granen, bollen, overige akkerbouw
Meerjarige teelt	Boomteelt, boomgaard
Droge natuur	Droge natuur, loofbos, licht naaldbos, donker naaldbos

De keuze tussen beide opties hangt af hoe groot de hydrologische verschillen zijn tussen de landgebruiksklassen waaruit een keuze kan worden gemaakt. Als de invloed van bijvoorbeeld gras en maïs op de verdamping en het waterbeheer hetzelfde zijn, is het geen probleem als de RS-landgebruiksklasse grondgebonden veeteelt wordt vertaald naar één van de NHI-landgebruiksklassen gras of maïs. Om een keuze te maken tussen optie A en optie B is een analyse uitgevoerd met enkele parameters van het NHI om de hydrologische verschillen tussen de NHI-landgebruiksklassen inzichtelijk te maken. De werkwijze en de resultaten van deze analyse zijn beschreven in respectievelijk paragraaf 5.5 en paragraaf 6.1. Uit de analyse blijkt, dat de NHI-landgebruiksklassen significant van elkaar verschillen.

Om deze reden is ervoor gekozen om de RS-landgebruiksklassen te verfijnen en optie B te gebruiken in dit onderzoek.

### Bebouwd gebied

In het landgebruikbestand van de Ruimtescanner wordt voor het stedelijk gebied de functies wonen, werken en infrastructuur onderscheiden. Naast de functies 'bedrijventerrein', 'zeehaven', 'luchthaven', 'spoorlijnen' en 'wegen' zijn er drie typen woonfuncties aanwezig. Het woongerrein is onderverdeeld in drie klassen, namelijk 'wonen-stedelijk', 'wonen-groen stedelijk' en 'wonen-landelijk'.

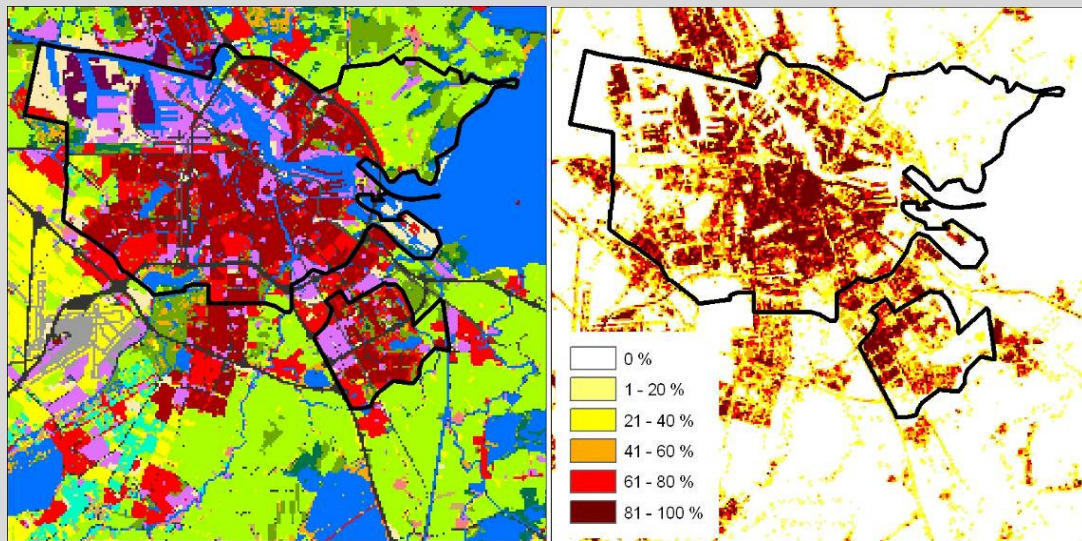


**Afbeelding 5.2:** Links zijn de diverse woonfuncties en werkfuncties van het Ruimtescanner landgebruikbestand weergegeven van Amsterdam (donkerrood = wonen-stedelijk; rood = wonen-groen stedelijk; licht-rood = wonen-landelijk; licht paars = bedrijventerrein; donker paars = zeehaven). Rechts de vertaling van de RS-landgebruiksklassen naar NHI-landgebruiksklassen.

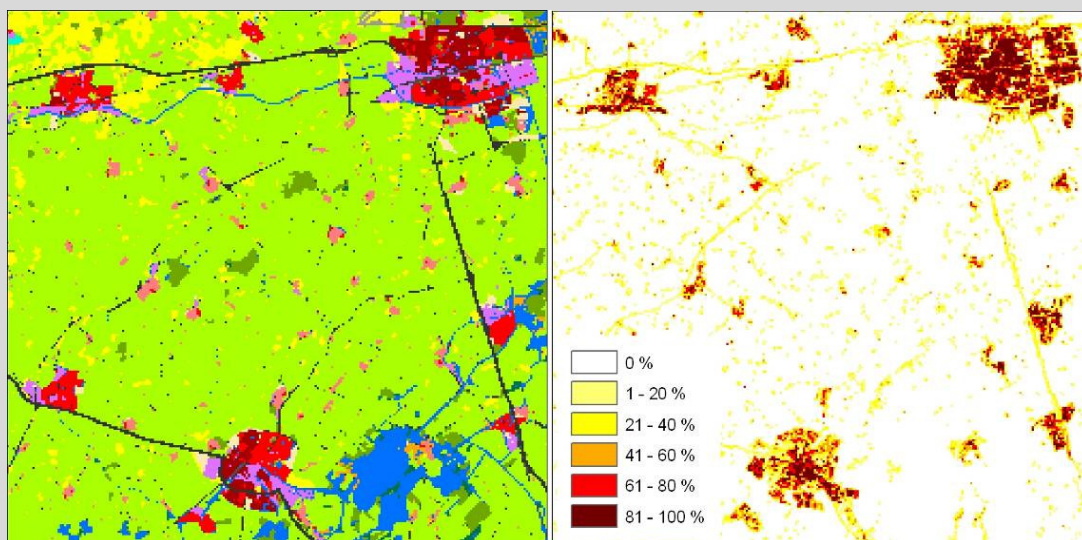
Bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen naar NHI-landgebruiksklassen zijn de klassen met een woon- en werkfunctie evenals infrastructuur vertaald naar één NHI-landgebruiksklasse, namelijk de klasse 'stedelijk' (zie afbeelding 5.2). Hierbij wordt gebruik gemaakt van een vertaaltabel met een verhardingspercentage. Per functie kan een verhardingsgraad (0-100%) worden opgegeven. In het NHI wordt voor bebouwing standaard een verhardingsgraad aangehouden van 40% en worden hoofdwegen en spoorwegen voor 80% verhard verondersteld (NHI, 2008b). Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt in woongerrein in stedelijk gebied of woongerrein in het buitengebied.

### Alternatieve bepaling van de verhardingsgraad in stedelijke gebieden

De verhardingsgraad van 40% in het stedelijk gebied is gebaseerd op basis van het onderzoek van Van de Ven (1989). Dit langjarig onderzoek is uitgevoerd in een woonwijk in Lelystad. De verhardingsgraad van het stedelijk gebied is sinds 1989 mogelijk gedateerd en zal per stedelijk gebied verschillen. Ook vanuit het centrum naar de buitenwijken van een stad is de verhardingsgraad verschillend (EEA, 2009).



Afbeelding 5.3: Links zijn de diverse woonfuncties en werkfuncties weergegeven van Amsterdam en omgeving (de zwarte lijn is de gemeentegrens van de gemeente Amsterdam). Rechts is de verhardingsgraad van Amsterdam en omgeving weergegeven. De gemiddelde verhardingsgraad in de stad Amsterdam is ca. 49 %.



Afbeelding 5.4: Links zijn de diverse woonfuncties en werkfuncties weergegeven van Leeuwarden en van kleinere woonkernen ten zuidwesten van Leeuwarden. Ook de kleinere woonkernen hebben een hoog verhardingspercentage (rechts).

Een alternatieve methode om de verhardingsgraad van stedelijk gebieden in Nederland te bepalen is door gebruik te maken van de Soil Sealing map (EEA, 2009). De Soil Sealing map is een rasterbestand van bebouwde en niet bebouwde gebieden met de mate van verharding, variërend van 0-100% met een resolutie van 100 bij 100 meter. In afbeelding 5.3 en 5.4 is de verhardingsgraad van Amsterdam weergegeven alsmede van kleinere woonkernen in de omgeving tussen Leeuwarden, Franeker en Sneek. Het centrum van de woonkernen alsmede de bedrijventerreinen en het havengebied zijn meer dan 80% verhard. Vanuit het centrum naar de buitenwijken van steden en dorpen neemt de verhardingsgraad af. Om een indicatie te krijgen wat de verhardingsgraad is ter plaatse van de diverse woon- en werkfuncties in het landgebruikbestand van de Ruimtescanner is het landgebruikbestand van de Ruimtescanner met de Soil Sealing map gecombineerd. Voor deze analyse is de Soil Sealing map met een ETRS89 stelsel en LAEA projectie omgezet tot een rasterbestand met een Rijksdriehoekstelsel (D\_Amersfoort, Double Stereographic). Door het omzetten van de projectie vindt een kleine verschuiving plaats in de plaatsing van de gridcellen. Hierdoor is de nauwkeurigheid van deze bepaling van grotere stedelijke gebieden met veel aaneengesloten gridcellen beter dan van kleinere stedelijke gebieden.

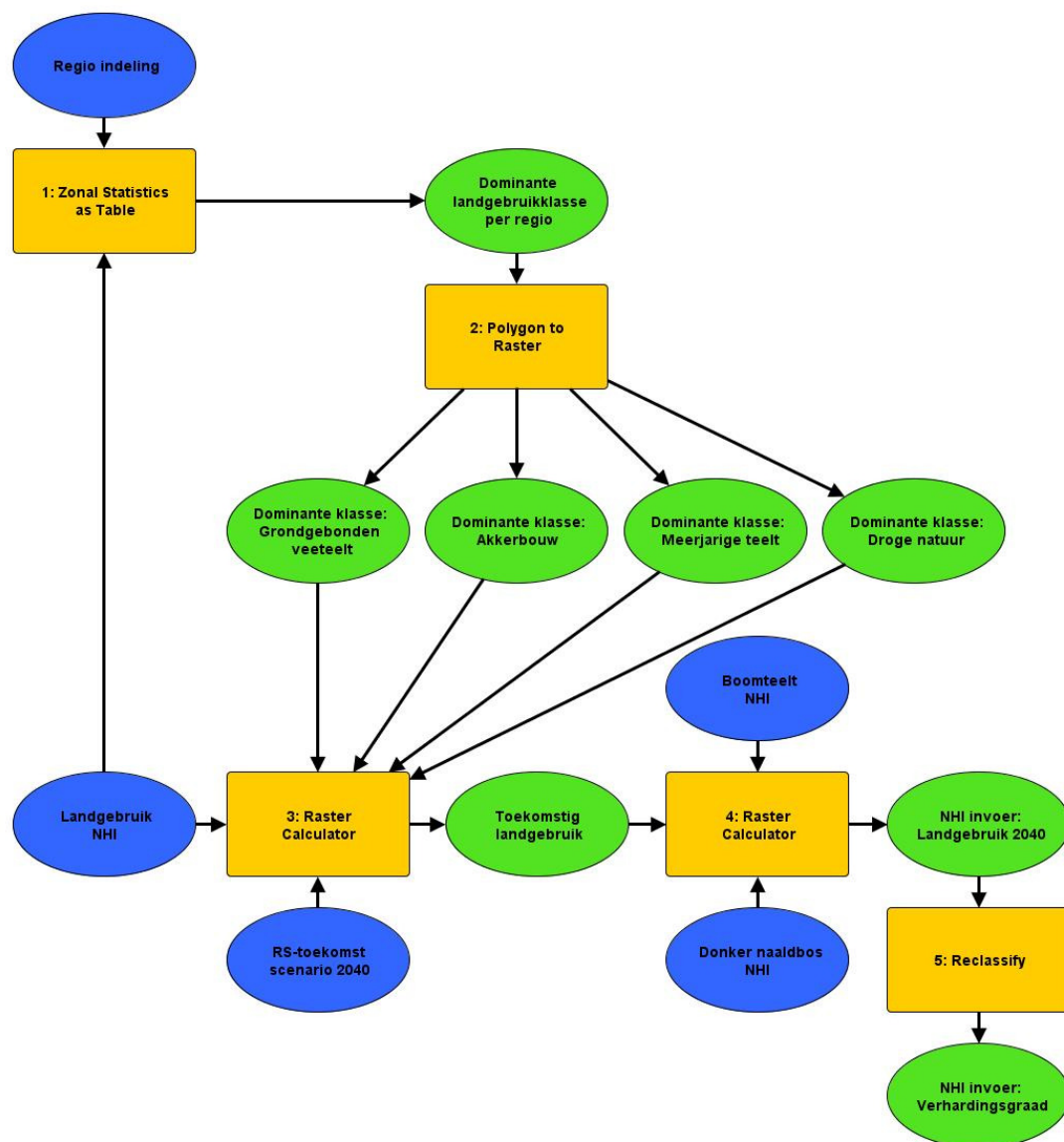
**Tabel 5.3: Berekende verhardingsgraad per stedelijke functie.**

Functie	NL	A'dam
Wonen-stedelijk	60%	65%
Wonen-groen stedelijk	44%	23%
Wonen- landelijk	32%	22%
Bedrijfterrein	61%	70%
Zeehavens	70%	67%
<b>Gemiddelde verhardingsgraad in het stedelijk gebied</b>	54%	49%

De berekening is zowel uitgevoerd voor heel Nederland als voor Amsterdam. In tabel 5.3 is het resultaat weergegeven. De gemiddelde verhardingsgraad in het stedelijk gebied in Nederland is 54%. De gemiddelde verhardingsgraad is op basis van de Soil Sealing map hoger dan gebruikt wordt in het NHI. Voor hydrologische studies is met name de verhardingsgraad een belangrijke parameter (Van de Ven, 1989; Dekkers et al, 2005; Haase, 2009; Poelmans, 2010). Het voordeel van het gebruik van het RS-landgebruikbestand ten opzichte van het NHI-landgebruikbestand is dat het stedelijk gebied uitgebreider beschreven wordt en daarmee de verhardingsgraad gedetailleerder kan worden ingevuld. De in dit kader beschreven alternatief dient als voorbeeld om op een eenvoudige manier de verhardingsgraad van het stedelijk gebied in te vullen. In dit onderzoek is er voor gekozen om aan te sluiten op de bestaande werkwijzen en (modelmatige) processen in het NHI en zijn er geen aanpassingen gedaan aan de verhardingsgraad.

### Uitgevoerde GIS-analyses

Om de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner te vertalen naar geschikte landgebruikbestanden die gebruikt kunnen worden in het NHI, is een GIS-model gemaakt. Dit GIS-model is opgenomen als bijlage 2a. Dit GIS-model is in afbeelding 5.5 vereenvoudigd weergegeven tot een aantal belangrijke stappen.



Afbeelding 5.5: Vereenvoudigd GIS-model voor het geschikt maken van het RS-landgebruikscenario als invoer voor het NHI.

De volgende GIS bewerkingen zijn uitgevoerd:

**Stap 1-2:** Op basis van het huidig landgebruik (NHI-landgebruikbestand) en waterhuishoudkundige regio's (afbeelding 5.14) is per regio voor elk van de vier RS-landgebruiksklassen de dominante NHI-landgebruiksklasse bepaald. Het resultaat is verwerkt in een tabel en omgezet naar vier rasters.

**Stap 3:** Het RS-landgebruikbestand is gecombineerd met het NHI-landgebruikbestand. De gridcellen van de landgebruikklasse grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur zijn vervangen door de gewenste klasse van het NHI-landgebruikbestand. De gridcellen van het RS-landgebruikbestand die niet kunnen worden ingevuld op basis van het NHI-landgebruikbestand zijn omgezet naar de meest dominante NHI-landgebruikklasse op basis van de rasters van stap 2.

**Stap 4:** Voor de toepassing in het NHI worden aan het landgebruikbestand twee extra landgebruikklassen toegevoegd, namelijk 'boomteelt' en 'donker naaldbos'. Beide bestanden zijn beschikbaar in het NHI. Hierbij geldt de voorwaarde dat alleen de klasse boomgaard vervangen kan worden door de klasse boomteelt en de voorwaarde dat alleen de klasse licht naaldbos vervangen kan worden door de klasse donker naaldbos.

**Stap 5:** Aan elke landgebruikklasse wordt een verhardingspercentage toegekend, dat in het NHI wordt gebruikt om per gridcel de verhardingsgraad te bepalen.

### 5.3 Aggregatie en classificatie

Het RS-landgebruikbestand bestaat uit gridcellen met een resolutie van 100 bij 100 meter. Deze resolutie sluit niet aan op de gebruikte resolutie in het NHI. In het NHI hebben de gridcellen een resolutie van 250 bij 250 meter. Om het RS-landgebruikbestand geschikt te maken als invoer van het NHI worden de gridcellen geaggregeerd tot gridcellen met een resolutie van 250 bij 250 meter. Voor de verscaling is gebruik gemaakt van een bestaand Fortran programma (NHI, 2008b). Per gridcel wordt met behulp van een meerderheidsregel van de onderliggende gridcellen bepaald welke dominant landgebruikklasse aanwezig is die vervolgens toegekend wordt aan de 250 bij 250 meter gridcel. De toepassing van de meerderheidsregel betekent niet dat de aan de cel toegekende klasse ook daadwerkelijk meer dan 50% van de gridcel beslaat. Dit is afhankelijk van hoeveel verschillende klassen binnen de 250 bij 250 meter cel voorkomen (zie het voorbeeld in tabel 5.4).

**Tabel 5.4: Het resultaat van het toepassen van de meerderheidsregel bij opschaling van gridcellen.**

Aandeel van de verschillende klassen binnen een cel	Gras (%)	Akker (%)	Heide (%)	Bebouwd (%)
Eindresultaat = Gras	35	20	25	20
Eindresultaat = Gras	95	0	0	5
Eindresultaat = Gras	55	0	0	45

Aggregatie van 100 bij 100 meter naar 250 bij 250 meter leidt in eerste instantie tot een oververtegenwoordiging van het dominant landgebruik (bijvoorbeeld grasland), waarbij ondervertegenwoordiging van bepaalde typen landgebruik optreedt (bijvoorbeeld stedelijk gebied). In het Fortran programma wordt hiermee rekening gehouden. De randvoorwaarde bij opschaling is dat de verdeling in landgebruik binnen een gemeente voor het opgeschaalde grid gelijk moet zijn aan het oorspronkelijk fijne grid. Een aandachtspunt hierbij is dat tijdens de toewijzing van een landgebruikklasse aan een cel het algoritme vaak op het probleem komt dat er gridcellen zijn met gelijke kansen (gridcellen met een

dezelfde oppervlak). De toewijzing van een landgebruikklasse aan een gridcel is dan willekeurig. De verschillen per gemeente tussen de oorspronkelijke en het opgeschaalde grid zijn klein (NHI, 2008b).

Ook van het raster met de verhardingsgraad vindt een verschaling van de gridcellen plaats. In het Fortran programma wordt per gridcel een gemiddelde verhardingsgraad berekend van de onderliggende gridcellen van het originele fijne grid, die vervolgens toegekend wordt aan de 250 bij 250 meter gridcel.

#### 5.4 Aanpassen van hydrologische modelparameters

Op basis van het in het NHI ingevoerde landgebruikbestand worden een aantal NHI-parameters aangepast die aansluiten op het landgebruik per gridcel. Een aantal modelparameters van het NHI hebben een directe relatie met het landgebruik. Voor berekeningen met het NHI wordt in het modelonderdeel Metaswap automatisch een koppeling gemaakt tussen het landgebruikbestand en kennistabellen (NHI, 2008b, Veldhuizen et al, 2008). Metaswap simuleert de processen vanaf de plant-atmosfeerinteracties tot aan het grondwater en bepaalt de grondwateraanvulling (Schaap et al, 2007, Projectgroep NHI, 2008a). Op basis van het landgebruikbestand en de koppeling met kennistabellen worden de volgende modelparameters in het NHI automatisch aangepast:

- Wortelzonedikte.
- Infiltratiecapaciteit.
- Verdampingsreductiekenmerken.
- Gewasontwikkelingsparameters.
- Beregeningskenmerken.

Het peilbeheer, onttrekkingen, doorspoeling en ontwateringmiddelen als sloten, greppels en buisdrainage zijn modelparameters die ook gerelateerd zijn aan het landgebruik, maar niet automatisch worden aangepast wanneer een ander landgebruikbestand in het NHI wordt gebruikt. Voor deze bestanden wordt gebruikt gemaakt van 'statische' kaarten (rasterbestanden) die gemaakt zijn op basis van informatiebronnen van regionale waterbeheerders (paragraaf 4.5). Indien gewenst kunnen deze basiskaarten wel worden aangepast.

Voor de RS-landgebruikbestanden zijn aanpassingen gedaan aan de NHI-parameters aansluitend op het landgebruikbestand. Voor het RS-referentiescenario (huidige situatie) is alleen de bestaande koppeling met kennistabellen gebruikt voor het modelonderdeel Metaswap, waarmee de uitgangspunten voor de onverzadigde zone en berekening worden bepaald. Voor de toekomstige RS-landgebruikbestanden zijn naast de bestaande koppeling voor het modelonderdeel Metaswap ook een aantal NHI-parameters gewijzigd in het modelonderdeel Modflow. Deze parameters hebben betrekking op het waterbeheer.

### *Aanpassingen NHI-parameters*

Bij verschuivingen in het landgebruik zal in de praktijk ook het gevoerde waterbeheer worden aangepast. Deze aanpassingen zijn ook modelmatig doorgevoerd in het NHI bij het gebruik van toekomstscenario's van het landgebruik. Voor de berekeningen met de RS-toekomstscenario's van het landgebruik zijn de volgende NHI invoerbestanden aangepast:

- Onverzadigde zone karakteristieken (automatisch met MetaSWAP).
- Berekening (automatisch met MetaSWAP).
- Diepte buisdrainage.
- Ontwateringsafstand van buisdrainage (door het aanpassen van het doorlaatvermogen van buisdrainage).
- Waterpeil van waterlopen.
- Afstand tussen waterlopen (door aanpassen van het doorlaatvermogen van waterlopen).
- Maaiveldhoogte.
- Bodemhoogte van waterlopen (gelijk aan aanpassing peil waterlopen).
- Hoogte oppervlakte afstroming (gelijk aan aanpassing maaiveldhoogte).

De afstand tussen ontwateringsmiddelen als waterlopen en buisdrainage is een sterk bepalende factor voor de drainageweerstand, of per modelcel, de lekweerstand. De drainageweerstand is de weerstand die het freatische grondwater ondervindt bij de stroming naar waterlopen of buisdrainage (Van der Gaast et al 2006; NHI, 2008d; 2008e). De relatie tussen de ontwateringsafstand en de drainageweerstand is gebruikt om aanpassingen te doen aan de dichtheid van waterlopen en buisdrainage in een rekencel<sup>1</sup>: Met het toenemen van de onderlinge afstand van waterlopen of buisdrainage, neemt ook de drainageweerstand toe. De drainageweerstand (weerstand in dagen) van waterlopen en buisdrainage wordt in het NHI vertaald naar een doorlaatvermogen (conductance, m<sup>2</sup>/dag). In deze scriptie is met betrekking tot het aanpassen van de modelparameters van de dichtheid van waterlopen en buisdrainage in een rekencel de term "drainageweerstand" gebruikt.

In deze paragraaf is niet verder ingegaan op het aanpassen van de bestanden van het modelonderdeel Metaswap, omdat deze modelparameters opnieuw bepaald worden door een automatische koppeling tussen het ingevoerde landgebruikbestand en kennistabellen. Hiervoor zijn geen handmatige bewerkingen nodig. De koppeling van het landgebruik en de

---

<sup>1</sup> In eerste instantie is het verschil in dichtheid van waterlopen, op basis van de lengte en breedte van waterlopen in een gridcel, tussen de huidige en toekomstige situatie als factor gebruikt om het doorlaatvermogen te vergroten dan wel te verkleinen. Als bijvoorbeeld de dichtheid van waterlopen in een gridcel met een factor 2 toeneemt, dan neemt ook het doorlaatvermogen met een factor 2 toe. Deze aanpak heeft geleid tot zeer hoge doorlaatvermogens met discutabele berekeningsresultaten. Besloten is om per landgebruikklasse een gemiddeld doorlaatvermogen per WH-regio te bepalen.



parameters van het modelonderdeel Metaswap zijn uitgebreid beschreven in de rapportages van het NHI (2008b; 2008c) en door Veldhuizen et al (2008). In tabel 5.5 zijn de bestanden weergegeven die zijn aangepast op basis van de RS-landgebruikscenario's. De bronnen van de gebruikte bestanden zijn opgenomen als bijlage 1. Voor de bestanden van het waterpeil, de drainageweerstand en de bodemhoogte van waterlopen wordt in het NHI onderscheid gemaakt in drie watersystemen, namelijk het primair watersysteem (p), secundair watersysteem (s) en het tertiair watersysteem (t). De indeling is gebaseerd op de breedte van waterlopen en kan grofweg als volgt worden getypeerd (NHI 2008b; 2012):

- Primair stelsel: > 3 meter breed (maatgevende afvoer 100 l/s)
- Secundair stelsel: 1 – 3 meter breed (maatgevende afvoer 25 l/s)
- Tertiair stelsel: < 1 meter breed (overige waterlopen en greppels)

Een vierde watersysteem is getypeerd als het hoofdwatersysteem. Dit zijn onder meer de rivieren en grote plassen en meren.

**Tabel 5.5: Overzicht van NHI modelparameters die in dit onderzoek zijn aangepast op basis van de landgebruikscenario's van de Ruimtescanner.**

Modelparameter	Hydrologische bestand	Modelonderdeel
Onverzadigde zone	Koppeling landgebruikbestand met kennistabellen (NHI-bewortelingsdiepte.exe en grid2metaswap.exe)	MetaSWAP
Berekening	Koppeling landgebruikbestand met kennistabellen (NHI_berekening.exe)	MetaSWAP
Diepte buisdrainage	bodh_b_250.asc	Modflow
Drainageweerstand buisdrainage	cond_b_250.asc	Modflow
Waterpeil waterlopen	Primair watersysteem winter: peil_p1w_250.asc Primair watersysteem zomer: peil_p1z_250.asc Secundair watersysteem winter: peil_s1w_250.asc Secundair watersysteem zomer: peil_s1z_250.asc Tertiair watersysteem winter: peil_t1w_250.asc Tertiair watersysteem zomer: peil_t1z_250.asc	Modflow
Drainageweerstand waterlopen	Primair watersysteem: cond_p_l0 Secundair watersysteem: cond_s_l0 Tertiair watersysteem: cond_t_l0	Modflow
Bodemhoogte waterlopen	Primair watersysteem winter: bodh_p1w_250.asc Primair watersysteem zomer: bodh_p1z_250.asc Secundair watersysteem winter: bodh_s1w_250.asc Secundair watersysteem zomer: bodh_s1z_250.asc Tertiair watersysteem winter: bodh_t1w_250.asc Tertiair watersysteem zomer: bodh_t1z_250.asc	Modflow
Maaiveldhoogte	ahn_f250.asc	Modflow
Hoogte oppervlakte afvoer	bodh_sof_250.asc	Modflow

### *Uitgangspunten voor het aanpassen van modelparameters*

Voor aanpassing van de modelparameters zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Alleen van de gridcellen waar landgebruikverandering plaatsvindt zijn modelparameters gewijzigd.
- De aanpassingen zijn gedaan van de directe invoerbestanden van het NHI, waarvan de resolutie 250 m bij 250 m is.
- De 'nieuwe' waarde van de modelparameters genoemd in tabel 5.5 is afhankelijk van naar welke landgebruikklasse een gridcel verandert en de regio waarin de verandering plaatsvindt. De nieuwe landgebruikklasse krijgt de gemiddelde waarde van dezelfde landgebruikklasse in de betreffende regio waar de landgebruikverandering plaatsvindt.
- De peilverandering van waterlopen is begrensd tot maximaal 1 meter (en daarmee ook de bodemhoogte van waterlopen).
- Voor nieuw stedelijk gebied is het waterpeil van waterlopen niet aangepast, maar is het maaiveld opgehoogd tot op het niveau van de gewenste drooglegging. De drooglegging van het stedelijk gebied is gebaseerd op de gemiddelde winter drooglegging van het primaire, secundaire en tertiaire watersysteem. Wijzigingen aan het maaiveldbestand betreffen alleen verhogingen van de maaiveldhoogte en ophogingen zijn begrensd tot maximaal 1 meter (en daarmee ook de hoogte van oppervlakte afvoer).
- Indien nodig zijn waterlopen uit een gridcel verwijderd (geen waterpeil of drainageweerstand gedefinieerd). Er zijn geen waterlopen aan een gridcel toegevoegd, indien in de betreffende gridcel van de oorspronkelijke dataset van het NHI geen waterlopen aanwezig zijn. Aangenomen is dat bij afwezigheid van water in een gebied waar landgebruikverandering plaatsvindt, geen waterlopen worden toegevoegd. Het gaat hier voornamelijk om landgebruikverandering in gridcellen op de hoger gelegen zandgronden. Dit geldt alleen voor waterlopen, voor buisdrainage geldt deze beperking niet.
- Het hoofdwatersysteem is in dit onderzoek niet aangepast.

### *Uitgevoerde GIS-analyses*

Om de NHI-parameters aan te passen is een GIS-model gemaakt. Dit GIS-model is opgenomen als bijlage 2c. Dit GIS-model is in afbeeldingen 5.6 t/m 5.11 vereenvoudigd weergegeven tot een aantal belangrijke stappen. De volgende GIS bewerkingen zijn uitgevoerd:

#### *Bepalen landgebruikverandering (afbeelding 5.6)*

**Stap 1-2:** Het RS-landgebruikscenario 2040 is verminderd met het RS-referentiescenario (huidig landgebruik). Het verschilraster is vervolgens omgezet tot de klassen 0: geen verandering en 1: wel verandering.

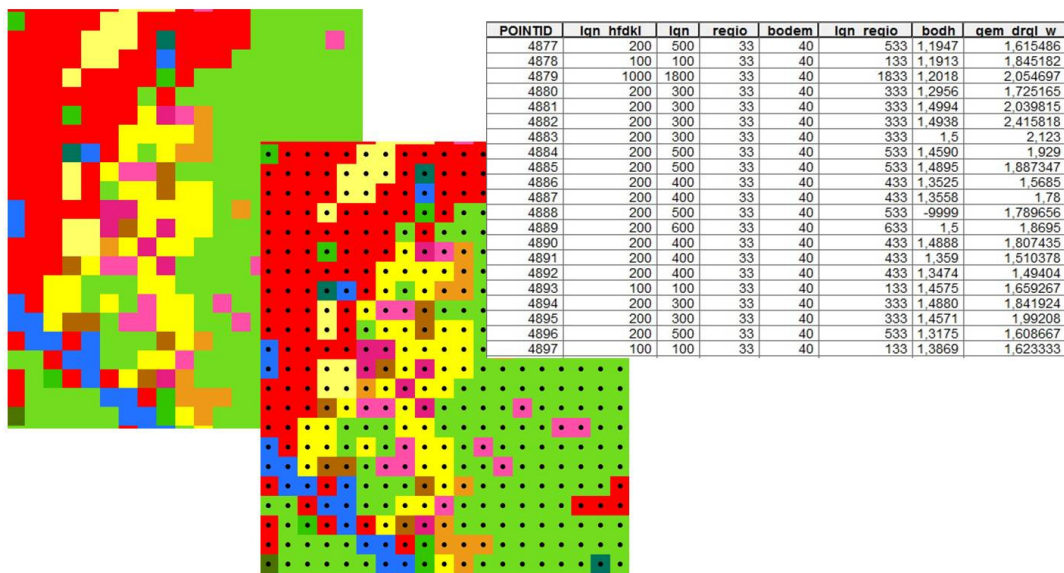
**Stap 3-4:** De landgebruikklassen van het RS-landgebruik scenario zijn omgezet tot honderdtallen, zodat de waarden (landgebruikklassen) van het RS-landgebruikbestand opgesteld kunnen worden bij de waarden (regionummering) van de waterhuishoudkundige

regio's (zie afbeelding 5.14). Door de waarden van het RS-landgebruik raster op te tellen bij de waarden van de WH-regio's, is met één waarde van elke gridcel de landgebruiksklasse en waterhuishoudkundige regio bekend. Deze combinatie waarde is gebruikt als "sleutelwaarde" om tabellen aan elkaar te koppelen.



Afbeelding 5.6: Vereenvoudigd GIS-model voor het aanpassen van NHI-parameters op basis van de RS-landgebruikscenario's.

**Stap 5:** Om een tabel te maken waarin alle benodigde waarden verzameld worden, is een puntenbestand gemaakt op basis van het rekengrid van het NHI (afbeelding 5.7). Hiervoor is het NHI-landgebruikbestand met een resolutie van 250 m bij 250 m omgezet tot een puntenbestand (het totaal aantal punten is 559.210).



**Afbeelding 5.7:** Het rekengrid van het NHI (links, gebaseerd op het NHI-landgebruikgrid) is omgezet naar een puntenbestand (midden). Op basis van het puntenbestand is een tabel opgebouwd waarin de benodigde informatie vanuit diverse rasterbestanden is verzameld (rechts).

**Stap 6-9:** Met het puntenbestand van het NHI-rekengrid zijn data uit diverse rasterbestanden verzameld die nodig zijn om de NHI-parameters aan te passen. Het verzamelen van de NHI-parameters is in paragraaf 5.5 beschreven. Het resultaat is een grote datatabel met per punt (rekencel) een waarde van de NHI-parameters. De datatabel is in SPSS (SPSS, 2002) ingevoerd. Met SPSS zijn van elke landgebruikklasse per waterhuishoudkundige regio gemiddelden berekend van de NHI-parameters die genoemd zijn in tabel 5.5.

**Stap 10:** De berekende gemiddelden van de NHI-parameters zijn als tabel geëxporteerd vanuit SPSS en gekoppeld aan het puntenbestand van het NHI-rekengrid. De sleutelwaarde op basis van het landgebruik en de waterhuishoudkundige regio's (zie stap 4) zijn gebruikt om de tabel uit SPSS te koppelen aan het puntenbestand van het NHI-rekengrid.

**Stap 11-15:** Om de GIS-analyses en de beschrijving hiervan overzichtelijk te houden is het puntenbestand van het NHI-rekengrid gesplitst in 5 bestanden.

*Aanpassen waterpeil in waterlopen (afbeelding 5.8)*

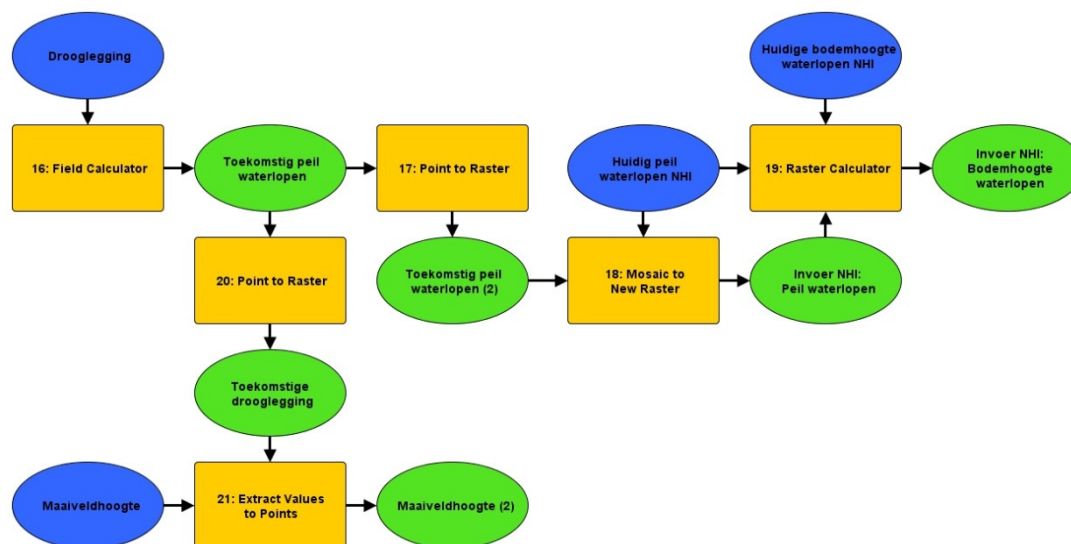
**Stap 16:** Van de gridcellen waarvan het landgebruik verandert, is de drooglegging omgerekend tot een waterpeil ten opzichte van NAP, waarmee in het NHI gerekend wordt. De verandering van het waterpeil is begrensd tot maximaal 1 meter. De punten die niet aan

deze voorwaarden voldoen hebben de waarde -9999 gekregen. De punten met de waarde -9999 worden niet aangepast.

**Stap 17:** De punten met een toekomstig waterpeil zijn omgezet tot een raster. De waarde -9999 krijgt hierbij de waarde "NoData".

**Stap 18:** Het originele NHI-bestand met waterpeilen is vervolgens gecombineerd met het raster met de toekomstige waterpeilen. Dit bestand is als invoer gebruikt om de hydrologische effecten te berekenen op basis van de RS-landgebruikscenario's.

**Stap 19:** De waterdiepte van de waterlopen is gelijk gehouden met de huidige situatie door het verschil tussen het toekomstig waterpeil en het huidige waterpeil op te tellen bij de huidige bodemhoogte.



Afbeelding 5.8: Aanpassen van de waterpeilen in het NHI.

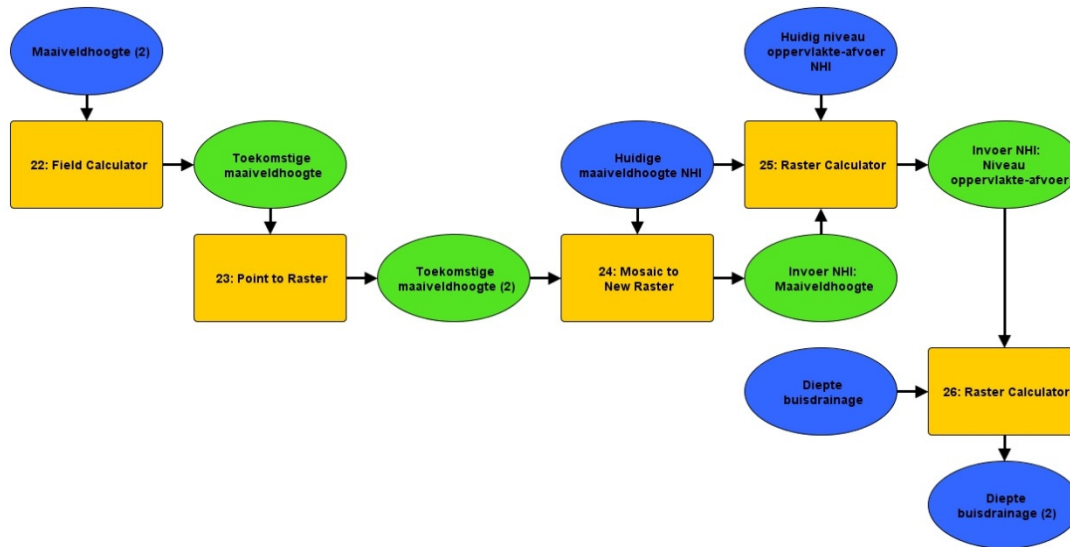
#### *Aanpassen van de maaiveldhoogte (afbeelding 5.9)*

**Stap 20-22:** Voor nieuw stedelijk gebied is het waterpeil van waterlopen niet aangepast, maar is het maaiveld opgehoogd tot op het niveau van de gewenste drooglegging. Wijzigingen aan het maaiveldhoogtebestand betreffen alleen verhogingen van de maaiveldhoogte en zijn begrensd tot maximaal 1 meter. De punten die niet aan deze voorwaarden voldoen hebben de waarde -9999 gekregen.

**Stap 23:** De punten met een toekomstige maaiveldhoogte worden omgezet tot een raster. De waarde -9999 krijgt hierbij de waarde "NoData".

**Stap 24:** Het originele NHI-bestand met de maaiveldhoogte is vervolgens gecombineerd met het raster van de toekomstige maaiveldhoogte. Dit bestand is als invoer gebruikt om de hydrologische effecten te berekenen op basis van de RS-landgebruikscenario's.

**Stap 25:** Het niveau van de oppervlakte-afvoer (SOF) is aangepast door het verschil tussen de toekomstige maaiveldhoogte en de huidige maaiveldhoogte op te tellen bij het huidige niveau van de oppervlakte-afvoer.



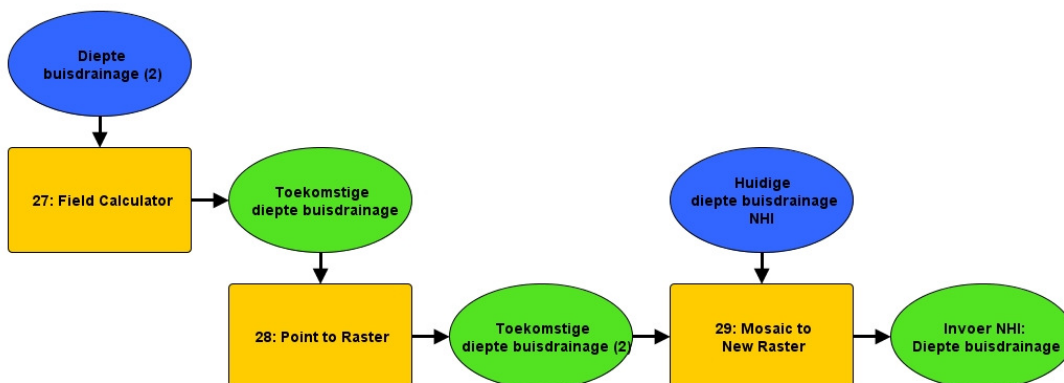
Afbeelding 5.9: Aanpassen van de maaiveldhoogte in het NHI.

*Aanpassen van de buisdrainage-diepte (afbeelding 5.10)*

**Stap 26-27:** Het nieuwe maaiveldhoogte bestand is gebruikt voor het aanpassen van de diepte van buisdrainage. Alleen van de gridcellen waar landgebruikverandering plaatsvindt is de diepte van buisdrainage omgerekend tot een buisdrainage-diepte ten opzichte van NAP, waarmee in het NHI gerekend wordt. De punten die niet aan deze voorwaarden voldoen hebben de waarde -9999 gekregen.

**Stap 28:** De punten met een toekomstig buisdrainage-diepte worden omgezet tot een raster. De waarde -9999 krijgt hierbij de waarde "NoData".

**Stap 29:** Het originele NHI-bestand met buisdrainage-diepte is vervolgens gecombineerd met het raster van de toekomstige buisdrainage-diepte. Dit bestand is als invoer gebruikt om de hydrologische effecten te berekenen op basis van de RS-landgebruikscenario's.



Afbeelding 5.10: Aanpassen van de buisdrainage-diepte in het NHI.

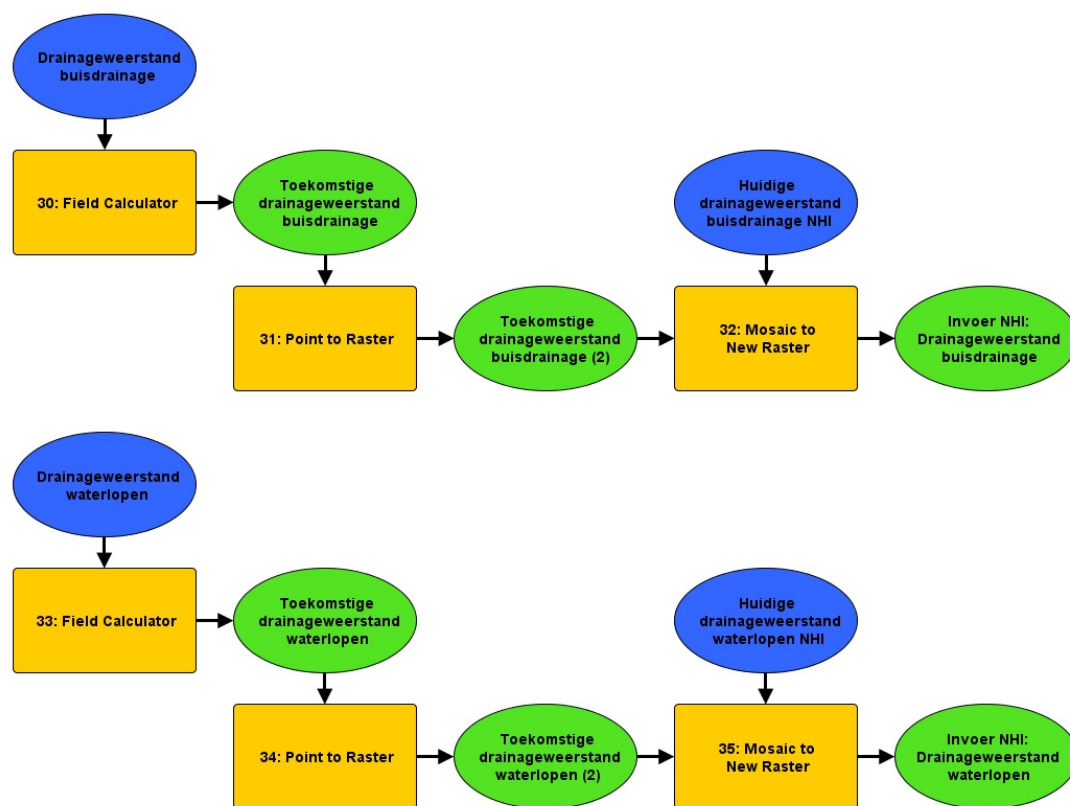
*Aanpassen van de drainageweerstand van waterlopen en buisdrainage (afbeelding 5.11)*

**Stap 30/33:** Voor het aanpassen van de drainageweerstand van buisdrainage en waterlopen zijn dezelfde GIS-bewerkingen uitgevoerd en gecombineerd weergegeven in

afbeelding 5.11. Alleen van de gridcellen waar landgebruikverandering plaatsvindt, is de toekomstige drainageweerstand berekend. De punten die niet aan deze voorwaarden voldoen hebben de waarde -9999 gekregen.

**Stap 31/34:** De punten met een toekomstig drainageweerstand zijn omgezet tot een raster. De waarde -9999 krijgt hierbij de waarde "NoData".

**Stap 32/35:** Het originele NHI-bestand met de drainageweerstand is vervolgens gecombineerd met het raster van de toekomstige drainageweerstand. Dit bestand is als invoer gebruikt om de hydrologische effecten te berekenen op basis van de RS-landgebruikscenario's.



**Afbeelding 5.11: Aanpassen van de drainageweerstanden in het NHI.**

### *Meteorologische situatie*

De berekeningen in dit onderzoek, voor zowel de huidige situatie als de toekomstscenario's, zijn uitgevoerd met een neerslag- en verdampingreeks van de periode 1 januari 2002 tot 1 januari 2004. Het eerste jaar (2002) geldt als het "inloopjaar" en is niet meegenomen in de analyses. De analyses zijn gedaan van het jaar 2003. Het jaar 2003 is gekozen, omdat hiervan relatief veel berekeningen beschikbaar zijn en de uitkomsten ter controle eenvoudig te vergelijken zijn en omdat het een relatief droog jaar is (ongeveer een 1/10 jaar optredend droog jaar). Het gebruik van de meteorologische gegevens van 2003 sluit aan op de maatschappelijke en politieke aandacht voor de toekomstige

zoetwatervoorziening in het licht van klimaatverandering (Tweede Deltacommissie). De waterveiligheid en zoetwatervoorziening zijn belangrijke thema's voor het waterbeheer in Nederland. Bij een warm en droog klimaatscenario komt de waterveiligheid en de zoetwatervoorziening onder druk te staan (Deltares, 2012).

## 5.5 Analyse van de relatie tussen de hydrologie en het huidig landgebruik

In hoofdstuk 3 is op basis van de literatuur de relatie onderzocht tussen het landgebruik en de hydrologie. In dit onderzoek is deze relatie kwantitatief onderzocht, gebruikmakend van de huidige datasets van het NHI. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van de hydrologische datasets uit het NHI, omdat het NHI een verzameling is van hydrologische gegevens op nationaal niveau waarin de werkelijke situatie zo goed mogelijk is geschematiseerd. De analyse op basis van het huidig landgebruik is gedaan om de volgende vragen te beantwoorden:

- Wat zijn de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen kijkend naar de verdamping en het waterbeheer?
- Welke keuze is op basis van de hydrologische verschillen het meest geschikt bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur naar de NHI-landgebruiksklassen (paragraaf 5.2)?
- Wat is de gemiddelde waarde van het drainageniveau en drainageweerstand van waterlopen en buisdrainage per landgebruiksklasse en regio?

### *De relatie tussen het huidige landgebruik, de verdamping en het gevoerde waterbeheer*

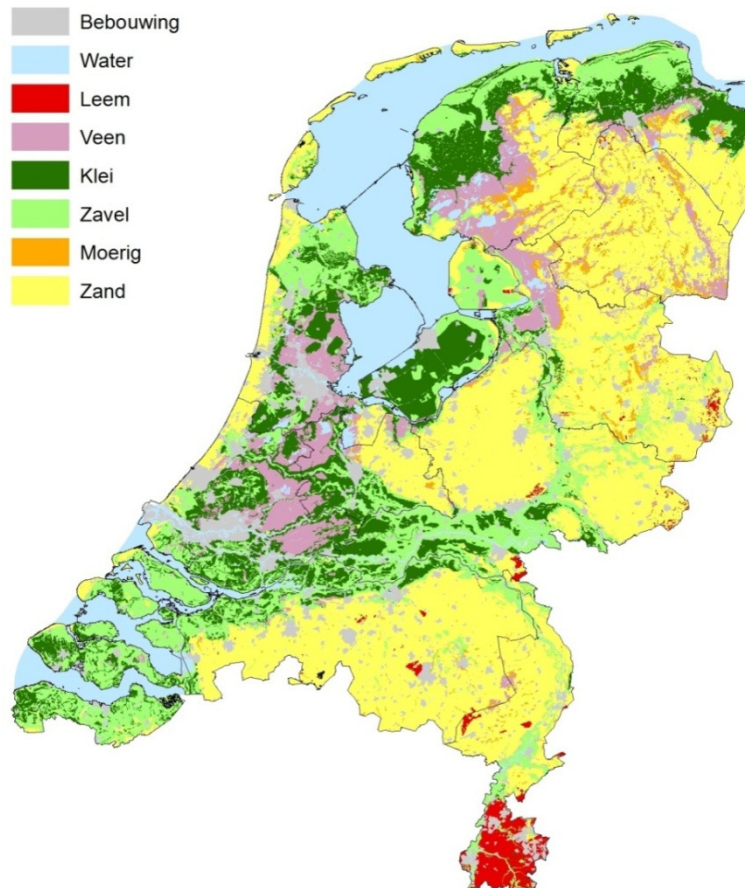
Om inzicht te krijgen in de verdampingshoeveelheid is van elke landgebruiksklasse de potentiële verdamping (de verdamping van vegetatie bij optimale verdampingsomstandigheden) per landgebruiksklasse berekend. De potentiële verdamping is berekend door de gewasfactor op dagbasis uit het NHI te combineren met de referentieverdamping op dagbasis afkomstig van het KNMI meetstation De Bilt (KNMI 2013). Hiervoor is de referentieverdamping van het jaar 2003 gebruikt. Om inzicht te krijgen in de verdampingsverschillen tussen de landgebruiksklassen en om te bepalen of deze regionaal variëren is met het huidig landgebruik bestand van het NHI de verdamping met het NHI berekend van het jaar 2003 (actuele verdamping). Kunstmatige aanvulling van bodemvocht door berekening is in deze berekening niet meegenomen. De overige NHI-parameters zijn niet aangepast.

Om inzicht te krijgen in de verschillen van het gevoerde waterbeheer tussen de verschillende landgebruiksklassen is een analyse uitgevoerd met de volgende drie NHI-parameters:

- Diepte buisdrainage.
- Dichtheid van waterlopen.
- Drooglegging van waterlopen.



Voor de dichtheid van open water is de analyse gedaan op basis van de totale dichtheid van de drie watersystemen in het NHI. Voor de drooglegging is de analyses gedaan op basis van de gemiddelde drooglegging van de drie watersystemen van zowel de winter- als de zomerdrooglegging.



**Afbeelding 5.12: Grondsoortenkaart van Nederland (Alterra, 2006).**

Voor het interpreteren van de uitkomsten van de huidige situatie is een indeling van ruimtelijke eenheden gemaakt op basis van de Grondsoortenkaart van Nederland (Alterra, 2006). Het bodemtype is namelijk sterk gerelateerd aan het type landschap, de geomorfologie en hoogteligging van een gebied. Door gebruik te maken van de Grondsoortenkaart is op een eenvoudige manier inzichtelijk te maken of de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen ook regionaal variëren. Voor de analyse zijn de 10 klassen van de Grondsoortenkaart herverdeeld tot 6 klassen van bodemtypen, namelijk veen, klei, zavel, zand, moerig en leem (zie afbeelding 5.12).

#### *Toetsen van verschillen*

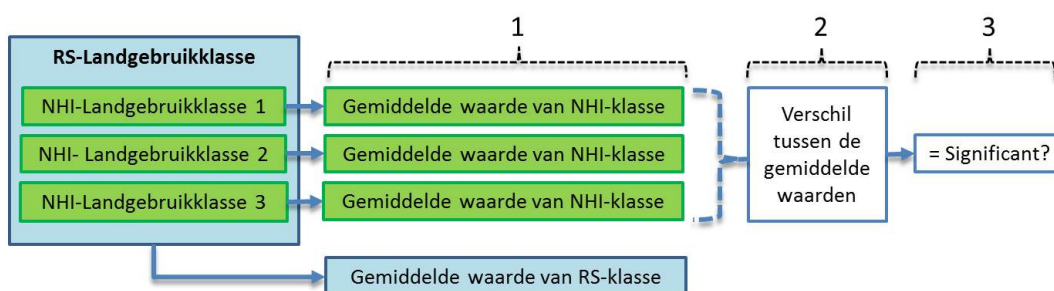
Bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur, moet een vertalingskeuze worden gemaakt om het RS-landgebruikbestand geschikt te maken voor gebruik in het NHI. De keuzeopties zijn in

tabel 5.6 weergegeven. Om een keuze te maken zijn de hydrologische verschillen tussen deze landgebruiksklassen belangrijk. Als de verschillen tussen de landgebruiksklassen groot zijn, dan is het logischer om onderscheid te maken in deze klassen. Op basis van de grootte van de verschillen is een keuze gemaakt op welke manier de RS-landgebruiksklassen worden vertaald naar NHI-landgebruiksklassen.

**Tabel 5.6: Keuzemogelijkheden bij de vertaling van RS-landgebruiksklassen naar NHI-landgebruiksklassen.**

RS-landgebruiksklasse	NHI-landgebruiksklasse
Grondgebonden veeteelt	Gras, maïs
Akkerbouw	Aardappelen, bieten, granen, bollen, overige akkerbouw
Meerjarige teelt	Boomteelt, boomgaard
Droge natuur	Droge natuur, loofbos, licht naaldbos, donker naaldbos

Voor deze analyse is een gedetailleerdere indeling van Nederland gebruikt dan de Grondsoortenkaart. Om een te grote spreiding in de waarden te voorkomen is gebruik gemaakt van een regio-indeling op basis van waterhuishoudkundige eigenschappen (afbeelding 5.14). Zoals geïllustreerd in afbeelding 5.13 is van elke waterhuishoudkundige regio een gemiddelde waarde berekend van elke NHI-landgebruiksklasse (1). Op basis hiervan is het verschil berekend tussen de NHI-landgebruiksklassen die behoren tot dezelfde RS-landgebruiksklasse (2). Omdat het oppervlak van een landgebruiksklasse en de spreiding van waarden van een landgebruiksklasse kan verschillen, is een statistische toets uitgevoerd om te toetsen of de verdamping en het waterbeheer van de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklassen behoren ook significant van elkaar verschillen (3).



**Afbeelding 5.13: De uitgevoerde stappen om de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen te toetsen.**

Voor de statistische toetsing is gekozen voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval ( $\alpha=0,05$ ), met  $H_0=$  “De gemiddelden van de groepen zijn gelijk aan elkaar” ( $H_0: \mu_1=\mu_2$ ). Voor de uitvoering is gecontroleerd op homogeniteit (Levene’s toets) en normaliteit, waarbij voor de normaliteitseis is gekeken of het aantal gridcellen (populatiegrootte) voldoende groot is (minimaal 30 gridcellen). De werkwijze van de toetsing en de resultaten zijn als bijlage 4 opgenomen.

De statistische toets is uitgevoerd van de volgende NHI-parameters:

- Diepte buisdrainage.
- Dichtheid van waterlopen van het secundaire watersysteem (de dichtheid van waterlopen is geen directe invoer van het NHI, maar is verwerkt in de drainageweerstand van waterlopen die wordt bepaald op basis van de dichtheid).
- Winter- en zomerdrooglegging van waterlopen van het secundair watersysteem.

#### *Hydrologische karakteristieken van het landgebruik*

Van de gridcellen waarvan het landgebruik verandert, zijn de waarden van de NHI-parameters uit tabel 5.5 aangepast. Om te bepalen wat de nieuwe parameterwaarde op basis van het nieuwe landgebruik moet zijn, is een analyse uitgevoerd met de huidige modelinvoer van het NHI. Van elke landgebruikklasse is een gemiddelde waarde berekend van de aan te passen modelparameters. Om te voorkomen dat een gemiddelde waarde berekend wordt op basis van een dataset met een grote spreiding in waarden, is het rekengrid van het NHI opgedeeld in regio's. De hydrologie wordt namelijk niet alleen beïnvloed door het landgebruik, maar ook door factoren zoals het bodemtype en of een gebied een hellend of liggend vlak betreft. Deze factoren variëren regionaal. Hiermee wordt een gemiddelde waarde berekend van elke landgebruikklasse die karakteristiek is voor de verschillende regio's. Voor de regio indeling is gebruik gemaakt van een bestaande indeling zoals die is gebruikt in het kader van de Landelijk Zoetwaterverkenning (Deltares, 2012). De gebruikte NHI-indeling is in afbeelding 5.14 weergegeven. Het zijn de zogenaamde waterhuishoudkundige regio's die uit 64 eenheden bestaat (hierna genoemd als WH-regio's). Deze indeling van 64 regio's is een samenvoeging van bestanden bestaande uit ca. 9000 Local Surface Water units (LSW). De LSW units zijn ruimtelijke eenheden gemaakt op basis van hoogteligging, bodem en (grond)watereigenschappen.



**Afbeelding 5.14: Indeling in waterhuishoudkundige regio's met regionummer en kleurnuances op basis van 9 grotere waterhuishoudkundige eenheden.**

#### *Uitgevoerde GIS-analyses*

Voor de analyse van de NHI-parameters op basis van de huidige situatie is een GIS-model gemaakt. Dit GIS-model is opgenomen als bijlage 2b. Dit GIS-model is in afbeelding 5.15 vereenvoudigd weergegeven tot een aantal belangrijke stappen.

**Stap 1:** Om een tabel te maken waarin alle benodigde waarden verzameld zijn is een puntenbestand gemaakt op basis van het rekengrid van het NHI. Dit is hetzelfde puntenbestand als weergegeven in afbeelding 5.6.

**Stap 2-3:** De landgebruikclassen van het NHI-landgebruikbestand zijn omgezet tot honderdtallen, zodat de waarden (landgebruikclassen) van het RS-landgebruikbestand opgesteld kunnen worden bij de waarden (regionummering) van de waterhuishoudkundige regio's. Deze combinatiewaarde is gebruikt als "sleutelwaarde" om tabellen aan elkaar te koppelen.

**Stap 4-5:** Voor de klassen klei en zavel is in de Grondsoortenkaart onderscheid gemaakt tussen een lichte of zware bodem. De klassen met licht en donker zijn samengevoegd tot één klasse.



Afbeelding 5.15: Vereenvoudigd GIS-model voor de analyse van diverse NHI-parameters.

**Stap 6-7:** In het NHI is de totale breedte en de totale lengte van waterlopen in een gridcel beschikbaar. De lengte en breedte van waterlopen zijn met elkaar vermenigvuldigd om de totale oppervlakte van open water in een gridcel te krijgen. Door het oppervlak open water te delen door het oppervlak van de gridcel is de dichtheid van open water bepaald.

**Stap 8-9:** Het niveau van het waterpeil in waterlopen en de diepte van buisdrainage is in het NHI beschikbaar in meters ten opzichte van NAP. Om voor deze parameters een gemiddelde te berekenen per landgebruik en regio zijn de waarden omgezet naar meters ten opzichte van het maaiveld.

**Stap 10-17:** Het puntenbestand van het NHI-rekengrid is gebruikt om de waarden van de rasterbestanden te verzamelen. Dit puntenbestand is ook gebruikt om NHI-bestanden aan te passen (zie afbeelding 5.6). Het resultaat is een grote datatabel met per punt (rekencel) een waarde van de NHI-modelparameters. De datatabel is opgenomen als bijlage 3c.

## 5.6 Analyse van de hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik

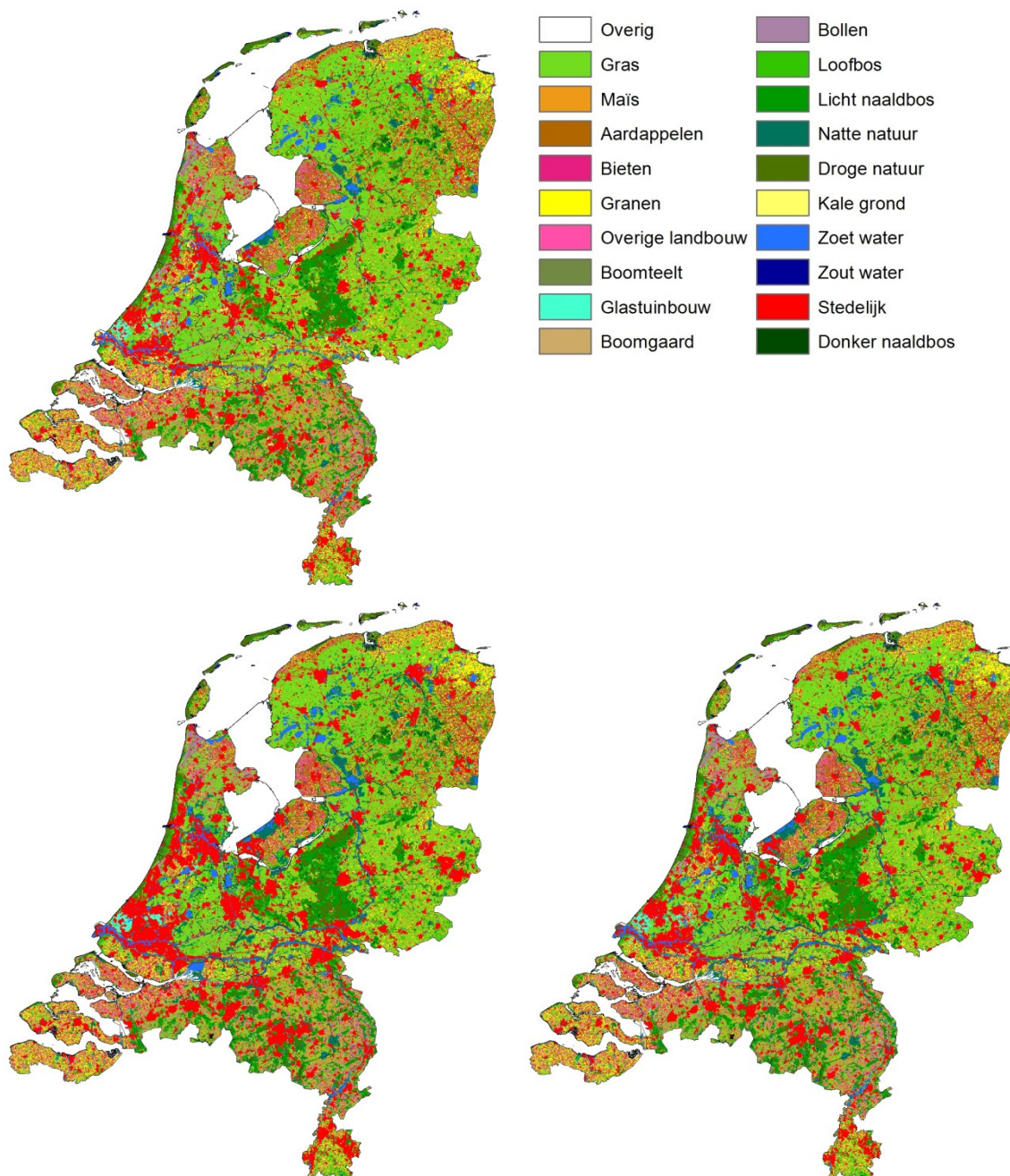
Met het NHI zijn de hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik onderzocht. Het uitgangspunt van de berekeningen zijn het met de Ruimtescanner gesimuleerde referentiescenario (2006) en de landgebruikscenario's van 2040, scenario's GE en RC. De reden om twee toekomstscenario's te verkennen is omdat met deze twee scenario's een bandbreedte van mogelijk ontwikkelingen van het landgebruik wordt geschetst en een overzichtelijk aantal scenario's wordt onderzocht.

De analyse met het toekomstig landgebruik is uitgevoerd om de volgende vragen te beantwoorden:

- Wat is de invloed van het landgebruik in 2040 op de hydrologie kijkend naar de verdamping en de grondwaterstand?
- Wat is het verschil in het effect op de verdamping en de grondwaterstand tussen scenario's GE en RC?
- Wat is het verschil tussen het primaire effect en het secundaire effect van landgebruikverandering?

### *Het GE en RC landgebruik scenario*

Op basis van de beschreven methodiek in paragraaf 5.2 zijn de RS-landgebruikscenario's omgezet tot landgebruikbestanden die geschikt zijn om berekeningen uit te voeren met het NHI. Het resultaat van de vertaling is weergegeven in afbeelding 5.16.

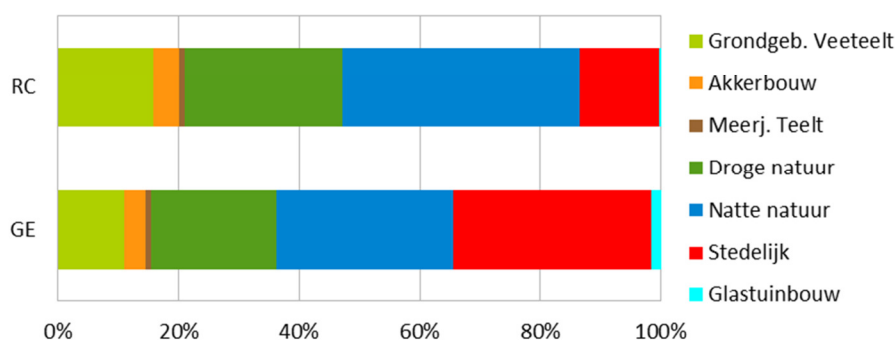


Afbeelding 5.16: Het huidig landgebruik (linksboven) en het toekomstig landgebruik in 2040 in scenario GE (linksonder) en scenario RC (rechtsonder), zoals gebruikt in het NHI.

**Tabel 5.7. Vereenvoudiging van de NHI-landgebruiksklassen ten behoeve van de analyse van de modelresultaten.**

NHI-landgebruiksklasse	Vereenvoudiging
Gras, maïs	Grondgebonden veeteelt
Aardappelen, bieten, granen, overige akkerbouw, bollenteelt	Akkerbouw
Boomteelt, boomgaard	Meerjarige teelt
Droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos	Droge natuur
Natte natuur	Natte natuur
Stedelijk	Stedelijk
Glastuinbouw	Glastuinbouw

Voor de analyses van de effecten op de GHG, GLG en de verdamping zijn de landgebruiksklassen tot zeven klassen vereenvoudigd zoals weergegeven in tabel 5.7. Op basis van deze zeven landgebruiksklassen is het veranderend oppervlak bepaald en (procentueel) weergegeven in afbeelding 5.17, waarbij het totale veranderend oppervlak 100% is. De verandering van de NHI-landgebruiksklassen behorend tot dezelfde RS-landgebruiksklasse, bijvoorbeeld de verschuiving tussen gras en maïs, is hierin niet opgenomen. Deze verschuiving is ca. 1% van het totale oppervlak van landgebruikveranderingen. De weergegeven verandering is de verandering van landgebruik 'functie' van een perceel, bijvoorbeeld van gras naar stedelijk gebied of van aardappelen naar natte natuur. Opgemerkt is dat de verandering naar grondgebonden veeteelt relatief groot is. Dit heeft met de vertaalkeuze te maken, waarbij de RS-landgebruiksklasse recreatie vertaald is naar de NHI-landgebruiksklasse grasland. In de RS-toekomstscenario's groeit het areaal van de klasse recreatie.

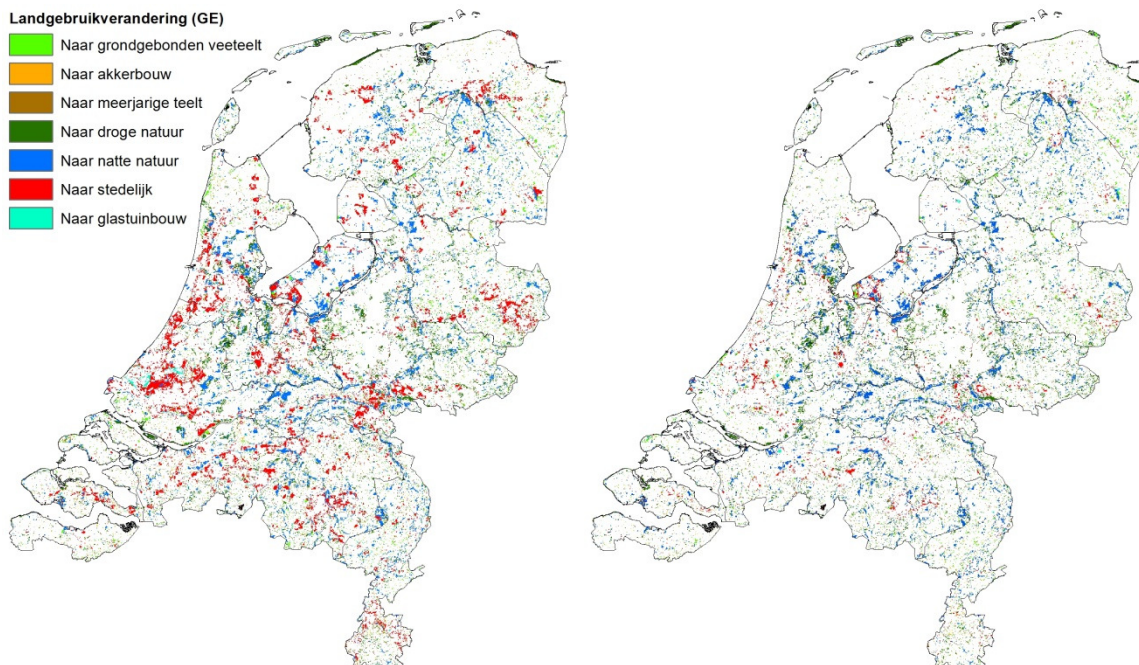


**Afbeelding 5.17: Kwantitatieve (procentuele) veranderingen van landgebruik in de RS-landgebruikscenario's GE en RC.**

Uit de analyse per WH-regio blijkt, dat de landgebruikverandering naar de klasse droge natuur, natte natuur en stedelijk gebied het meest voorkomen. Dit gaat met name ten koste van het areaal van de landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt en akkerbouw. Ook is er een grote verschuiving geconstateerd van de klasse droge natuur naar de klasse natte natuur. De veranderingen van het landgebruik is ruimtelijk weergegeven in afbeelding 5.18.



Hierbij is de toename van natuur en stedelijk gebied duidelijk waar te nemen. Ook is het verschil in verstedelijking tussen landgebruik scenario GE en RC duidelijk te zien.



**Afbeelding 5.18:** De verandering van het landgebruik in 2040 (links GE, rechts RC) ten opzichte van het huidig landgebruik (2006).

#### *De invloed van het landgebruik in 2040 op de hydrologie*

Tientallen parameters kunnen als uitvoer worden gegenereerd. Met relatie tot het onderwerp van dit onderzoek is gekozen om de effecten van het toekomstige landgebruik op basis van drie parameters te analyseren, namelijk de totale evapotranspiratie, de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) (tabel 5.8).

**Tabel 5.8:** De parameters op basis waarvan de effecten door het toekomstig landgebruik zijn uitgewerkt.

Parameter	Uitvoer NHI	Beschrijving
Verdamping	Parameter: Etact (jaarlijkse verdamping in mm) Modelonderdeel: Metaswap	De verdamping is een belangrijk onderdeel in de waterbalans. De verdamping vormt samen met de neerslag de bovenrand voorwaarde voor alle hydrologische modellen (Veldhuizen et al, 2008)
Grondwaterstand	Parameter: Head (m) als GHG en GLG Modelonderdeel: Modflow	Voor de grondwaterstand is de gemiddeld laagste (GLG) en hoogste grondwaterstand genomen (GHG), omdat de GLG en GHG een goede indicatie geven of er sprake is van vernatting of verdroging (RIZA, 2005).

Grondwaterstanden en het verloop daarvan kunnen op veel verschillende manieren worden weergegeven. Veel gebruikte maatlatten zijn de GHG en de GLG. De GHG en GLG

worden berekend door het gemiddelde van de 3 hoogste of 3 laagste grondwaterstanden op de 14e en 28e dag van de maand per jaar over een periode van minimaal 8 jaar. Omdat in dit onderzoek geen 8 jarige reeks is gebruikt, gaat het hier eigenlijk om de HG3 en LG3. De HG3 en de LG3 zijn het gemiddelde van de laagste en hoogste drie grondwaterstanden van eveneens de 14e en 28e dag van de maand (Gaast et al, 2006; Deltares, 2012).

Om de effecten op de verdamping en de grondwaterstand als gevolg van landgebruikveranderingen te bepalen, is het verschil berekend tussen de toekomstscenario's en het referentiescenario, onderscheidend naar WH-regio en landgebruikverandering. Van de 64 WH-regio's zijn 10 WH-regio's geselecteerd waarvan het oppervlak met grondwaterveranderingen het grootst is. Van de geselecteerde 10 WH-regio's zijn de effecten van landgebruikveranderingen op de hydrologie beschreven aan de hand van kaarten, grafieken en tabellen. Van de grootste landgebruikveranderingen is de invloed op de verdamping en de grondwaterstand in detail beschouwd. Dit betreft de landgebruikverandering van de klassen grondgebonden veeteelt en akkerbouw naar de klassen droge natuur, natte natuur en stedelijk.

#### *Het verschil in het hydrologisch effect tussen landgebruik scenario GE en RC*

Het GE en RC landgebruik scenario zijn de twee extremen van de vier ontwikkelde sociaaleconomische scenario's. Om inzichtelijk te maken of het verschil in ontwikkeling van het landgebruik ook leidt tot effect-verschillen op de verdamping en de grondwaterstand, zijn de berekeningsresultaten van beide scenario's met elkaar vergeleken. De scenario's verschillen met name in de groei van het stedelijk gebied.

#### *De primaire- en secundaire effecten als gevolg van landgebruikverandering*

De invloed van het landgebruik op de hydrologie kan worden opgesplitst in de primaire- en secundaire effecten van het landgebruik:

- De primaire effecten: Dit zijn de effecten van het landgebruik op de evapotranspiratie en daarmee op de netto neerslag die het grondwater bereikt.
- De secundaire effecten: Dit zijn de effecten van het landgebruik op de hydrologie als gevolg van aanpassing van het waterbeheer aansluitend op het landgebruik. Hiermee wordt het aanpassen van (lokale) waterbeheeraspecten bedoeld zoals het slootpeil, toepassen van buisdrainage, greppels en beregening.

Om inzicht te krijgen in het effect-verschil op de grondwaterstand tussen de invloed van het landgebruik op de verdamping (primair effect) en de invloed van het waterbeheer afgestemd op het landgebruik (secundair effect), is een berekening gedaan waarin geen aanpassingen zijn gedaan aan waterbeheerparameters (zie paragraaf 5.4). Deze berekening is alleen uitgevoerd met het landgebruik scenario GE. Dit landgebruik scenario is gekozen omdat in dit scenario de grootste landgebruikveranderingen plaatsvinden. Dit scenario is aangeduid als "GE\_ms" ("ms" staat voor MetaSwap.). De resultaten van de

berekening met (scenario GE) en zonder aanpassing (GE\_ms) van waterbeheerparameters zijn met elkaar vergeleken.

*De effecten van landgebruikveranderingen ten opzichte van overige toekomstige ontwikkelingen*

Om een indicatie te krijgen over hoe de hydrologische effecten als gevolg van landgebruikveranderingen zich verhouden ten opzichte van de effecten als gevolg van andere toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering en bodemdaling, zijn de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de resultaten uit de studie naar knelpunten in de zoetwatervoorziening van Nederland (Deltares, 2012). Deze studie is uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma. In dit programma zijn scenario's gebruikt van klimaatverandering, bodemdaling, zeespiegelstijging en landgebruikverandering. Omdat hierbij eveneens gerekend is met het NHI en de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner is indicatief een vergelijking mogelijk tussen de resultaten. Een aandachtspunt hierbij is dat bij de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI een aantal vertaalkeuzes in de studie van Deltares afwijken van de gemaakte vertaalkeuzes in dit onderzoek. De volgende scenario's zijn met elkaar vergeleken:

- Voor het effect op de grondwaterstand is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten op basis van het landgebruik scenario RC uit dit onderzoek en het Deltascenario W+/RC uit de studie van Deltares.
- Voor het effect op de verdamping is een vergelijking gemaakt tussen de resultaten op basis van de landgebruik scenario's GE en RC uit dit onderzoek met de klimaatscenario's W+ en G uit de studie van Deltares.

## 6 RESULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de resultaten beschreven van de analyse op basis van het huidige landgebruik in paragraaf 6.1 en het toekomstig landgebruik in paragraaf 6.2. Met betrekking op de analyse op basis van het huidige landgebruik zijn de volgende resultaten als bijlage opgenomen:

Bijlage 3: Resultaten van de analyse op basis van het huidige landgebruik:

3a: Het waterbeheer per bodemtype (grafieken)

3b: Het waterbeheer per bodemtype (tabellen)

3c: Hydrologische karakteristieken van het landgebruik

Bijlage 4: Resultaten toetsing hydrologische verschillen van het huidige landgebruik

Met betrekking op de analyse op basis van het toekomstig landgebruik zijn de volgende resultaten als bijlage opgenomen:

Bijlage 5: Resultaten van de analyse op basis van het toekomstig landgebruik:

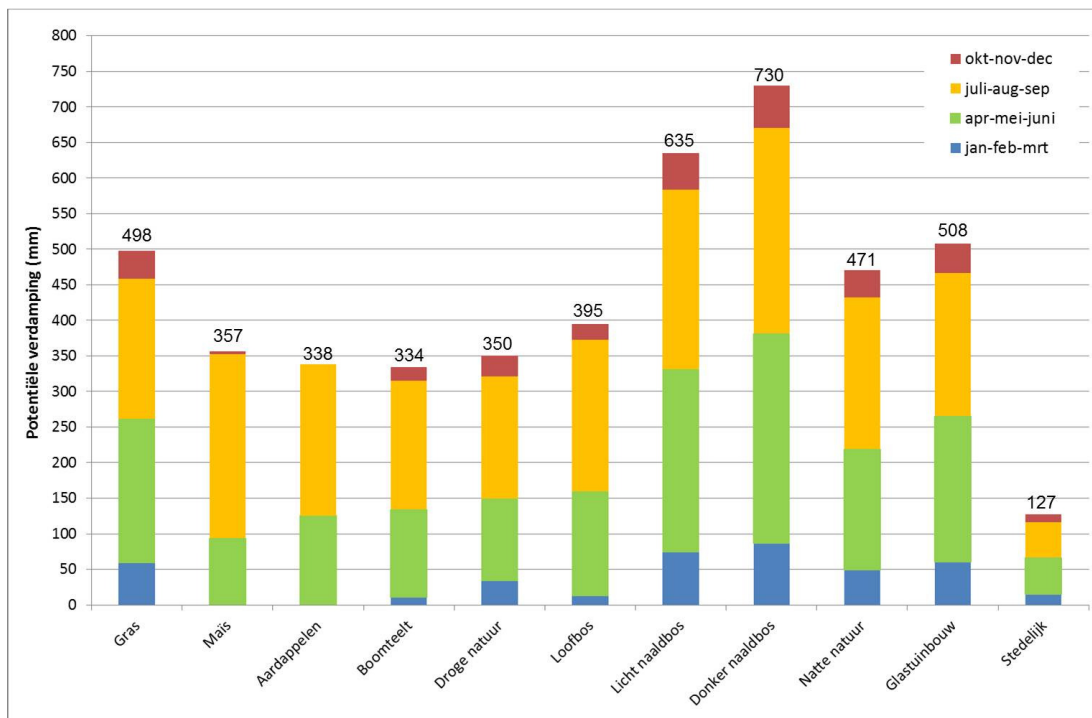
5a: Verandering GHG, GLG en verdamping per WH-regio

5b: Verandering GHG, GLG en verdamping per landgebruikklasse

De resultaten zijn voornamelijk in boxplots verwerkt, zodat de spreiding van de waarden goed zichtbaar is. Voor de helderheid zijn de uitschieters in de boxplots weggelaten.

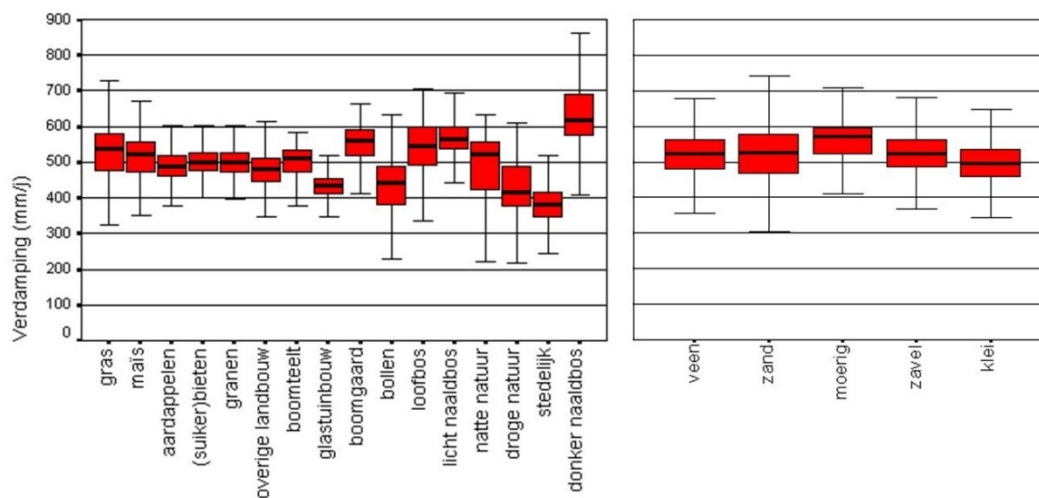
### 6.1 De relatie tussen de hydrologie en het huidige landgebruik

In afbeelding 6.1 is de potentiële verdamping weergegeven per kwartaal, berekend op basis van de gewasfactor (NHI) en de referentieverdamping van 2003 (KNMI, 2013). Logischerwijze is de verdamping in de zomermaanden (groeiseizoenen van vegetatie) het grootst en kleiner in de wintermaanden. Voor de landgebruiksklassen met betrekking tot akkerbouw: (suiker)bieten, granen, overige landbouw en bollen, wordt in het NHI de gewasfactor van aardappelen gebruikt (NHI, 2008b). Ook voor boomteelt en boomgaard wordt in het NHI dezelfde gewasfactor gebruikt. De gewasfactor houdt rekening met onder andere de groeistadia van een gewas. De akkerbouw- en maïsgronden zijn in de winterperiode braakliggend en hebben daardoor geen gewasverdamping in de wintermaanden. De verdamping van naaldbossen is groter dan loofbossen, omdat naaldbomen in tegenstelling tot loofbomen niet bladverliezend zijn. Opvallend is het verdampingsverschil tussen de klassen glastuinbouw en stedelijk. Ondanks in het glastuinbouwgebied en stedelijk gebied de verdamping van vegetatie geen grote rol speelt, is de verdamping van glastuinbouw groter dan stedelijk. De gewasfactor houdt mogelijk ook rekening met het vasthouden van water in bassins ten behoeve van de glastuinbouw.



**Afbeelding 6.1: De potentiële verdamping in het jaar 2003 (op basis van de referentieverdamping van het KNMI en de gewasfactor van het NHI).**

In afbeelding 6.2 is het resultaat weergegeven van de actuele verdamping per landgebruiksklasse en het bodemtype. De verdamping verschilt niet veel per bodemtype, maar er zijn wel duidelijk verschillen te zien tussen de landgebruiksklassen. Dit is ook te zien op basis van de spreiding van de verdampingswaarden, die voor de meeste landgebruiksklassen relatief klein is. Dit wijst erop dat de verdamping minder sterk afhankelijk is van andere factoren, zoals het bodemtype.

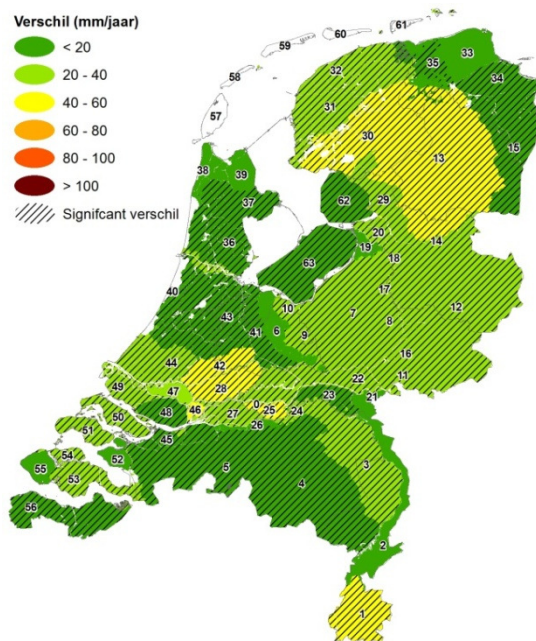


**Afbeelding 6.2: Boxplots van de gemiddelde jaarlijkse verdamping per landgebruiksklasse (links) en per bodemtype (rechts).**

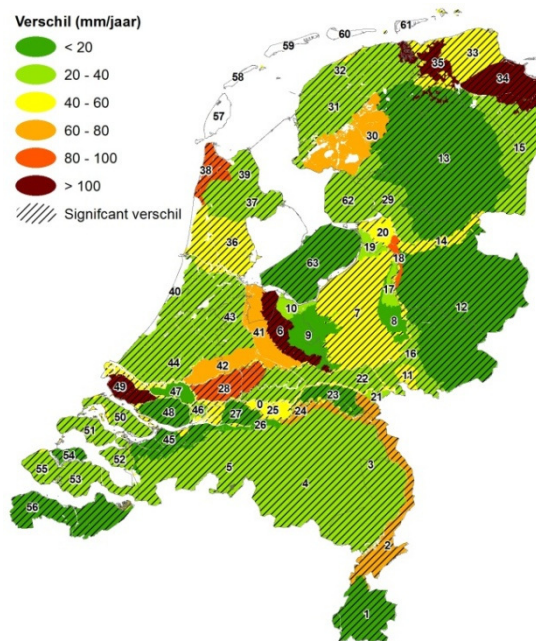
**Tabel 6.1: Gemiddeld, minimaal en maximaal verschil van alle regio's en het resultaat van de statistische toetsing.**

RS-Landgebruiksklasse	Verschillen per WH-regio (mm/jaar)			Aantal regio's met een significant verschil
	Gemiddeld	Min.	Max.	
Grondgebonden veeteelt	23	1	56	72 %
Akkerbouw	71	23	206	69 %
Meerjarige teelt	60	11	128	55 %
Droge natuur	148	17	317	84 %

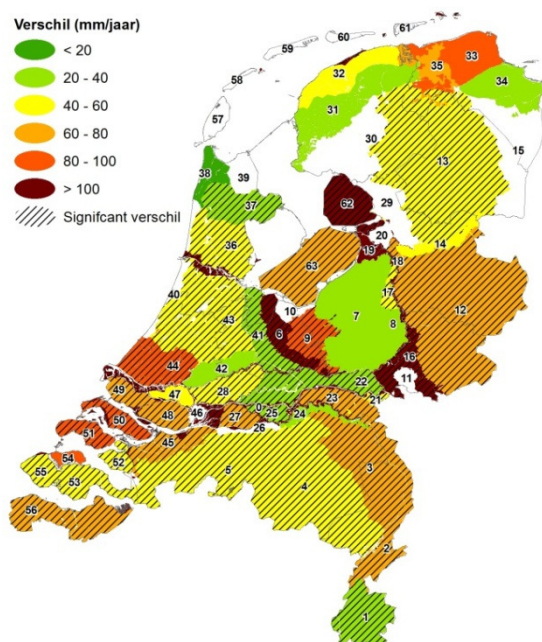
In tabel 6.1 is het resultaat van de statistische toetsing weergegeven. Van de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklasse behoren is het verschil berekend en bepaald of het verschil significant is (zie voor meer uitleg tabel 5.6 en afbeelding 5.13). Het gemiddelde verschil van de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw en meerjarige teelt is respectievelijk 4%, 9% en 11% van de totale verdamping in 2003 (635 mm, KNMI meetstation De Bilt). De verschillen in verdamping tussen de landgebruiksklassen van droge natuur zijn met gemiddeld 148 mm per jaar het grootst (23% van de totale jaarlijkse verdamping in 2003). In de laatste kolom is het percentage gegeven van het aantal regio's waarbij het verdampingsverschil tussen de vergeleken landgebruiksklassen significant is. De regio's met een significant verschil zijn in afbeelding 6.3 weergegeven. Het aantal regio's met een significant verschil is voor alle vier de RS-landgebruiksklassen groot (55% - 84%).



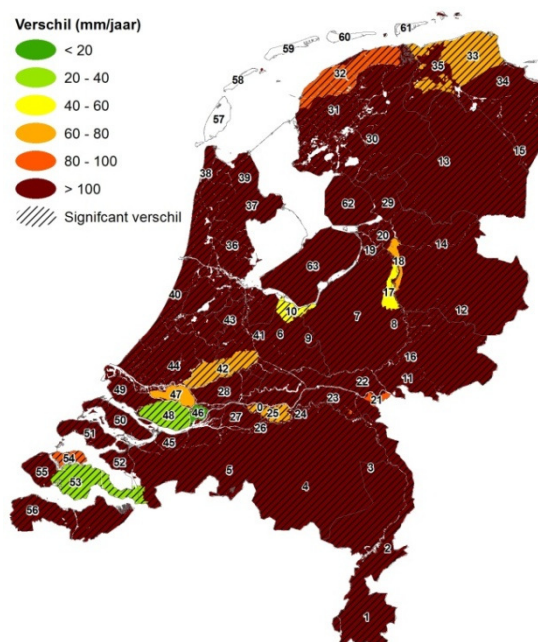
**Afbeelding 6.3a: Het verschil tussen de gemiddelde verdamping van gras en maïs.**



**Afbeelding 6.3b: Het verschil tussen de gemiddelde verdamping van aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw.**



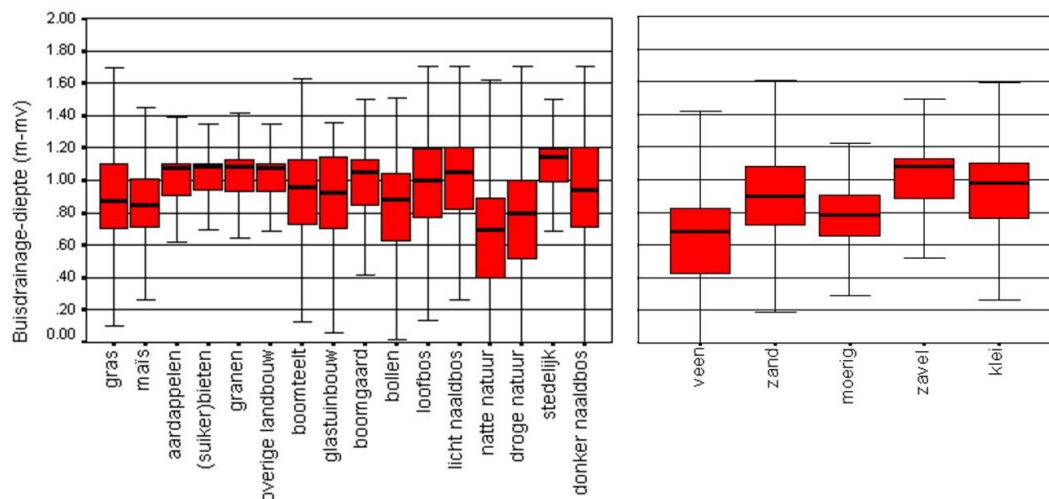
Afbeelding 6.3c: Het verschil tussen de gemiddelde verdamping van boomgaard en boomteelt.



Afbeelding 6.3d: Het verschil tussen de gemiddelde verdamping van droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos.

### Buisdrainage

In afbeelding 6.4 is de gemiddelde buisdrainage-diepte weergegeven per landgebruiksklasse en per bodemtype.



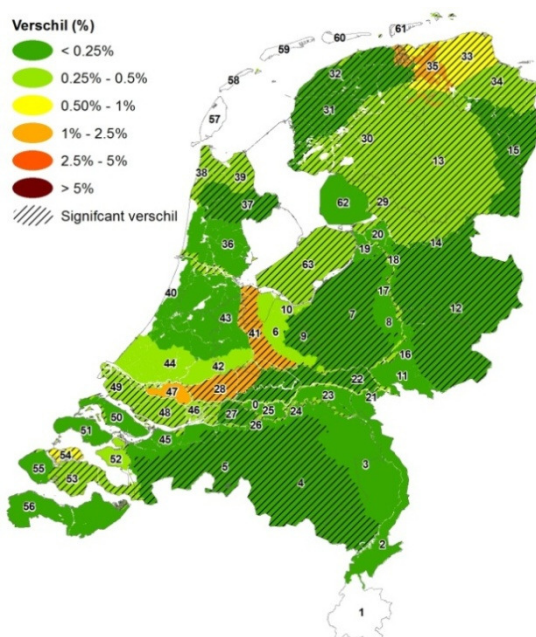
Afbeelding 6.4: Boxplots van de gemiddelde buisdrainage-diepte per landgebruiksklasse (links) en per bodemtype (rechts).

Zoals verwacht blijkt uit de berekeningen dat de buisdrainage-diepte niet alleen afhankelijk is van het landgebruik, maar ook van het bodemtype. Dit heeft te maken met het feit dat de ontwerpnormen voor de aanleg van buisdrainage afhankelijk is van het bodemtype en van het landgebruik (Herzienen Cultuurtechnisch Vademecum, 1988). De gemiddelde

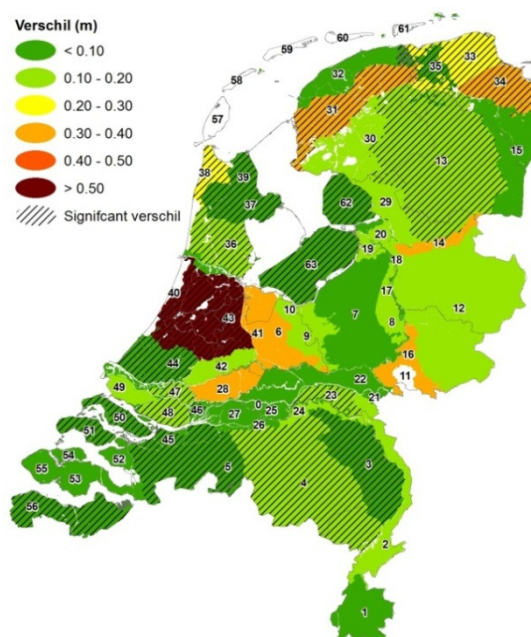
buisdrainage-diepte op de klei- en zavelgronden is ca. 1 meter en op de veengronden ca. 60 cm. De verschillen tussen de landgebruiksklassen zijn het grootst op de veen- en zavelgronden. Over het algemeen is buisdrainage afwezig in natuurgebieden. Door opschaling van de gridcellen is ook een drainagediepte weergegeven voor de natuurgebieden, waarvan de diepte gering is. De buisdrainage ligt het diepst in het stedelijk gebied en op de akkerbouwgronden. Opvallend is de kleine spreiding van de klassen akkerbouw en stedelijk, wat er op duidt dat de buisdrainage-diepte van deze klassen minder afhankelijk zijn van andere factoren zoals het bodemtype.

Tabel 6.2: Gemiddeld, minimaal en maximaal verschil van alle regio's en het resultaat van de statistische toetsing.

RS-Landgebruiksklasse	Verschillen per WH-regio (in meters)			Aantal regio's met een significant verschil
	Gemiddeld	Min.	Max.	
Grondgebonden veeteelt	0.06	0.01	0.27	50%
Akkerbouw	0.16	0.01	0.57	38%
Meerjarige teelt	0.11	<0.01	0.55	13%
Droge natuur	0.25	<0.01	1.02	44%

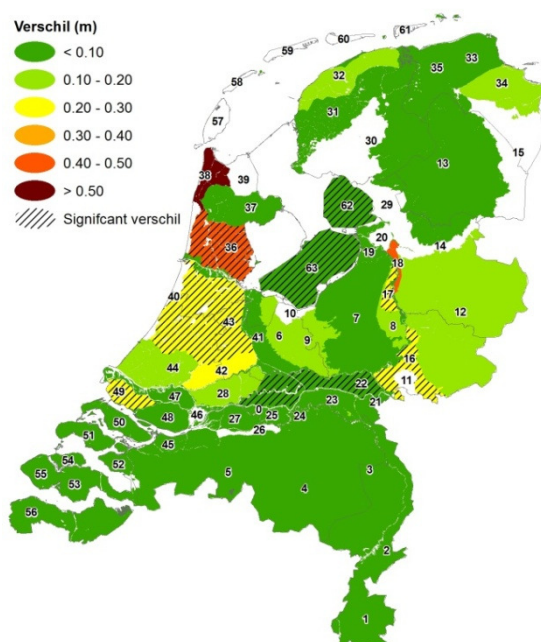


Afbeelding 6.5a: Het verschil tussen de gemiddelde buisdrainage-diepte van gras en maïs.

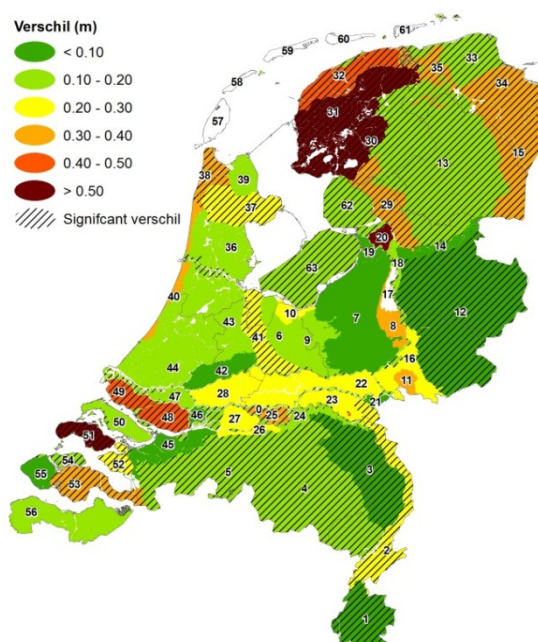


Afbeelding 6.5b: Het verschil tussen de gemiddelde buisdrainage-diepte van aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw.





**Afbeelding 6.5c: Het verschil tussen de gemiddelde buisdrainage-diepte van boomgaard en boomteelt.**



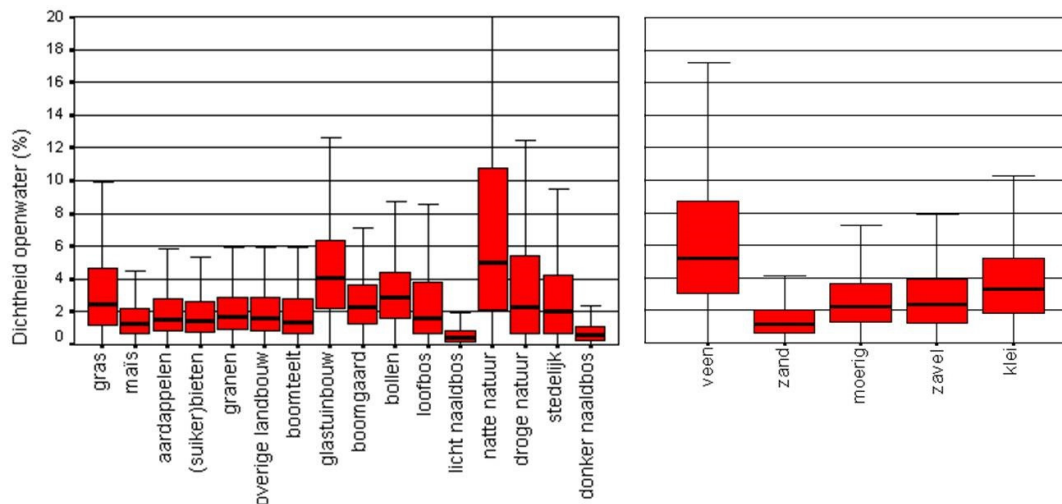
**Afbeelding 6.5d: Het verschil tussen de gemiddelde buisdrainage-diepte van droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos.**

In tabel 6.2 is het resultaat van de statistische toetsing van de buisdrainage-diepte weergegeven. Van de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklasse behoren is het verschil berekend en bepaald of het verschil significant is. De verschillen in diepte tussen de landgebruiksklassen van grondgebonden veeteelt, akkerbouw en meerjarige teelt is relatief klein (6 – 16 cm). Het gemiddeld verschil tussen de landgebruiksklassen van droge natuur is aanzienlijk groter, namelijk 25 cm. Opgemerkt is dat de regio's met grote verschillen voornamelijk voorkomen op de veen-, klei- en zavelgronden (Laag-Nederland). Verder is opvallend, dat ondanks het kleine diepte verschil tussen gras en maïs (grondgebonden veeteelt) er wel een significant verschil aanwezig is in de helft van het aantal regio's. Tussen de landgebruiksklassen boomteelt en boomgaard (meerjarige teelt) is in een relatief klein aantal regio's een significant verschil aangetroffen (13%).

#### *Dichtheid open water*

In afbeelding 6.6 is goed te zien dat de dichtheid van open water afneemt naarmate het bodemtype beter doorlatend is. Door de relatief grote verschillen tussen de bodemtypen en de relatief kleine verschillen tussen de landgebruiksklassen, lijkt de dichtheid van open water meer afhankelijk van het bodemtype dan van het landgebruik. De gemiddelde dichtheid van de secundaire waterlopen is het grootst op de klei- en veengronden (resp. ca. 4% en ca. 6% van het gridcel oppervlak) en het kleinst op de zandgronden (ca. 2% van het gridcel oppervlak). De verschillen tussen de landgebruiksklassen zijn veruit het grootst op de veengronden en het kleinst op de zandgronden. De dichtheid van open water is het kleinst

van de klassen licht- en donker naaldbos en de akkerbouwklassen. De dichtheid van open water is het grootst van de klassen glastuinbouw en natte natuur.

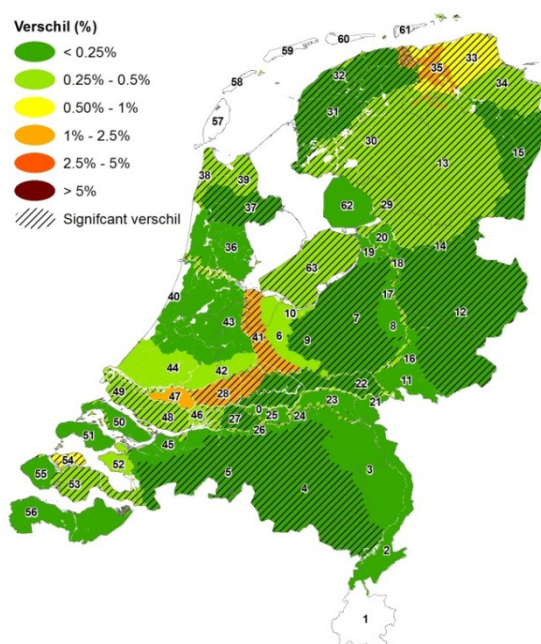


**Afbeelding 6.6:** Boxplots van de gemiddelde dichtheid open water per landgebruiksklasse (links) en per bodemtype (rechts). De dichtheid is gebaseerd op de waterlopen van het primaire-, secundaire- en tertiaire watersysteem.

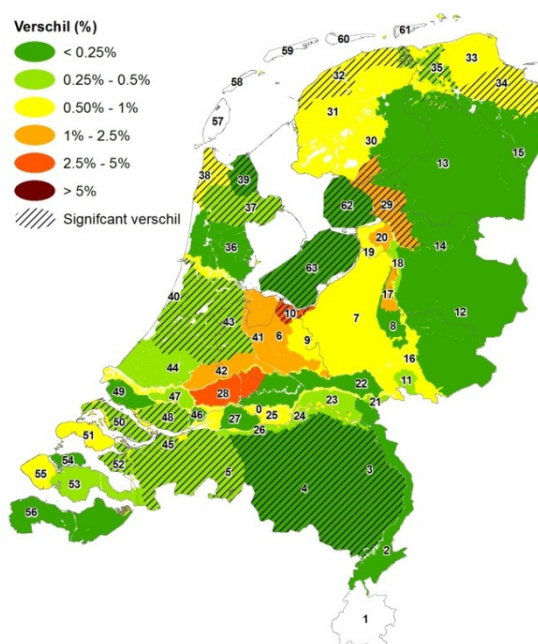
In tabel 6.3 is het resultaat van de statistische toetsing van de dichtheid van open water weergegeven. Van de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklasse behoren is het verschil berekend en bepaald of het verschil significant is. De relatief kleine verschillen in de dichtheid van open water tussen de landgebruiksklassen is terug te zien in tabel 6.3 Het gemiddeld verschil tussen de landgebruiksklassen varieert tussen de 0,3% en 0,6%. De verschillen tussen de landgebruiksklassen van droge natuur zijn groter (1%). Het aantal regio's met een significant verschil tussen de landgebruiksklassen is groot van de klassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw en droge natuur (28%-53%).

**Tabel 6.3:** Gemiddeld, minimaal en maximaal verschil van alle regio's en het resultaat van de statistische toetsing.

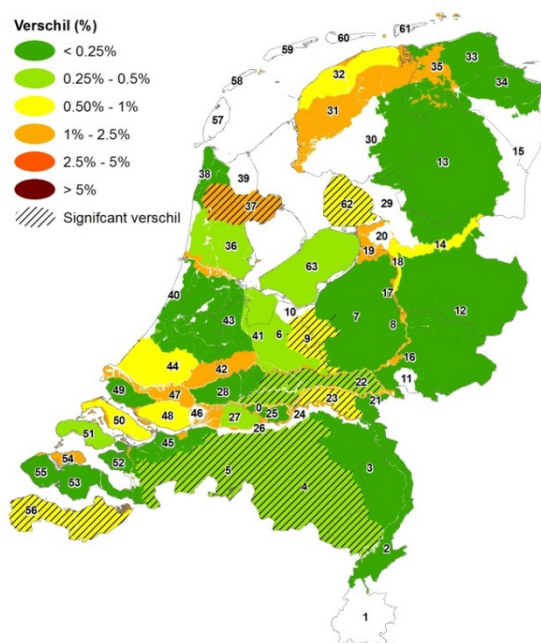
RS-Landgebruiksklasse	Verschil per WH-regio (%)			Aantal regio's met een significant verschil
	Gemiddeld	Min.	Max.	
Grondgebonden veeteelt	0.3	<0.01	1.8	44%
Akkerbouw	0.6	<0.01	3.4	28%
Meerjarige teelt	0.5	<0.01	1.9	13%
Droge natuur	1.0	<0.01	3.5	53%



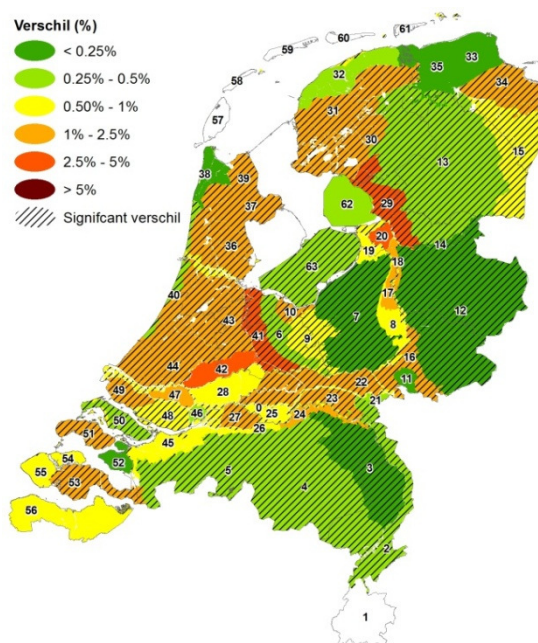
**Afbeelding 6.7a:** Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid van gras en maïs.



**Afbeelding 6.7b:** Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid van aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw.



**Afbeelding 6.7c:** Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid van boomgaard en boomteelt.

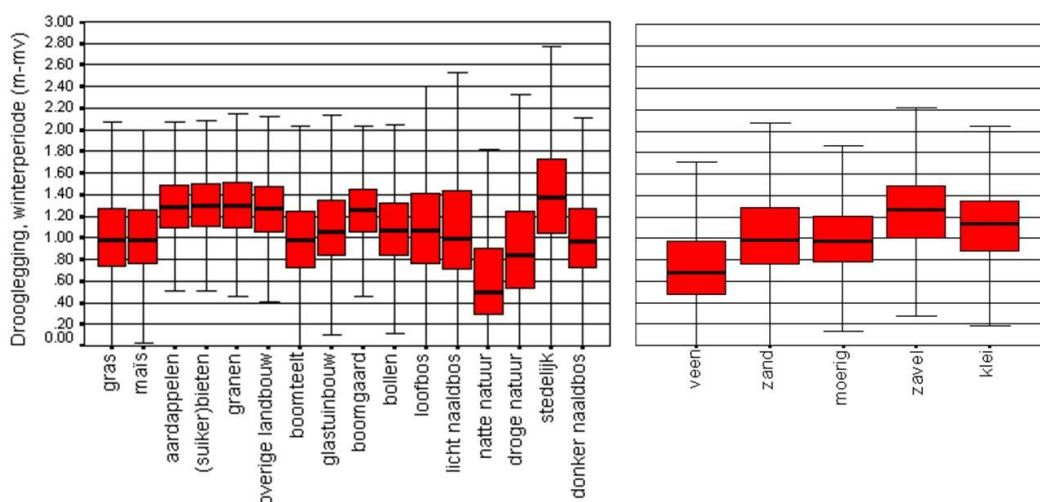


**Afbeelding 6.7d:** Het verschil tussen de gemiddelde dichtheid van droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos.

### *Drooglegging*

In afbeelding 6.8 is de gemiddelde drooglegging in de winterperiode weergegeven. De drooglegging in de zomerperiode is sterk vergelijkbaar met die van de winterperiode en is daarom niet afgebeeld. Vergelijkbaar met het beeld van de buisdrainage-diepte is de

ontwateringsdiepte op de veengronden gering, ondanks dat de doorlatendheid van veengronden slecht is. Dit heeft te maken met het beleid om bodemdaling van veengronden tegen te gaan en een diepe ontwatering van veengronden niet gewenst is (V&W, 1997). De gemiddelde drooglegging is het diepst op de zand- en zavelgronden. De verschillen tussen de landgebruiksklassen zijn het grootst op de veengronden en het kleinst op de kleigronden. De akkerbouwgronden en het stedelijk gebied hebben een diepe drooglegging. De drooglegging voor de klassen natte- en droge natuur is gering.



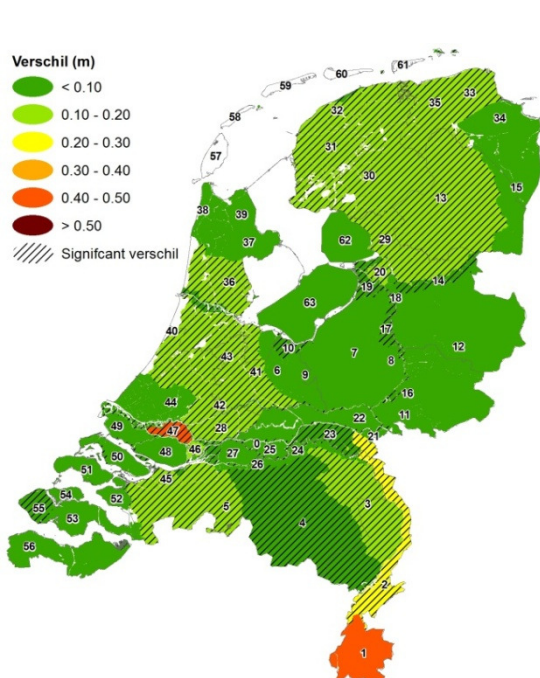
**Afbeelding 6.8: Boxplots van de gemiddelde drooglegging per landgebruiksklasse (links) en per bodemtype (rechts). Het gemiddelde is gebaseerd op de drooglegging van waterlopen van het primaire-, secundaire- en tertiaire watersysteem.**

**Tabel 6.4: Gemiddeld, minimaal en maximaal verschil van alle regio's en het resultaat van de statistische toetsing.**

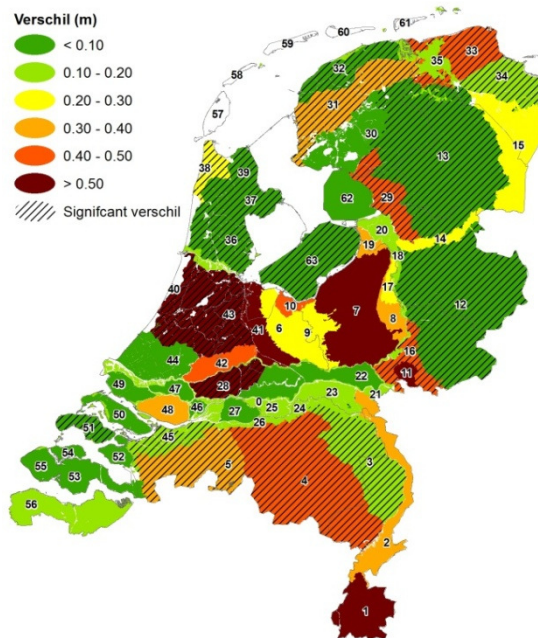
Landgebruiksklasse	Verschil per WH-regio (in meters)						Aantal regio's met een significant verschil
	Gemiddeld		Min.		Max.		
	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	
Grondgebonden veeteelt	0.08	0.09	<0.01	<0.01	0.47	0.55	Op basis van de winterdrooglegging 41%
Akkerbouw	0.25	0.25	0.02	0.01	1.85	1.85	31%
Meerjarige teelt	0.17	0.18	<0.01	<0.01	1.56	1.56	11%
Droge natuur	0.89	0.90	0.01	0.09	8.83	8.82	59%

In tabel 6.4 is het resultaat van de statistische toetsing van de drooglegging weergegeven. Van de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklasse behoren is het verschil berekend en bepaald of het verschil significant is. Opgemerkt is dat ondanks de relatief kleine verschillen tussen gras en maïs, de verschillen tussen deze twee klassen in 41 % van de WH-regio's significant gebleken. Het verschil in de gemiddelde drooglegging

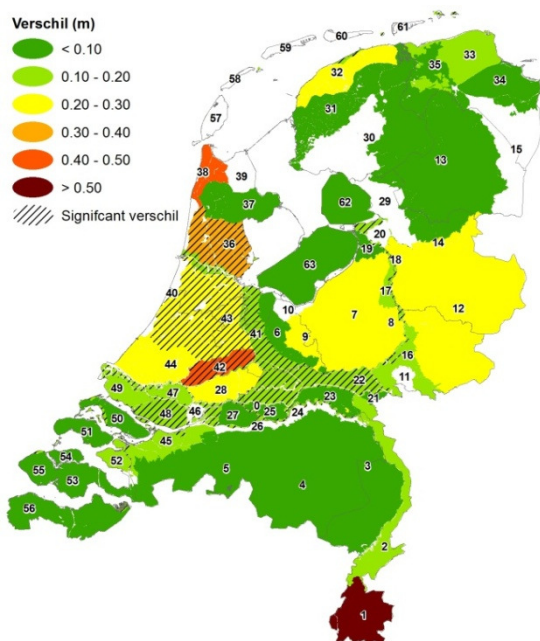
tussen boomteelt en boomgaard is in relatief klein aantal regio's significant gebleken (11%).



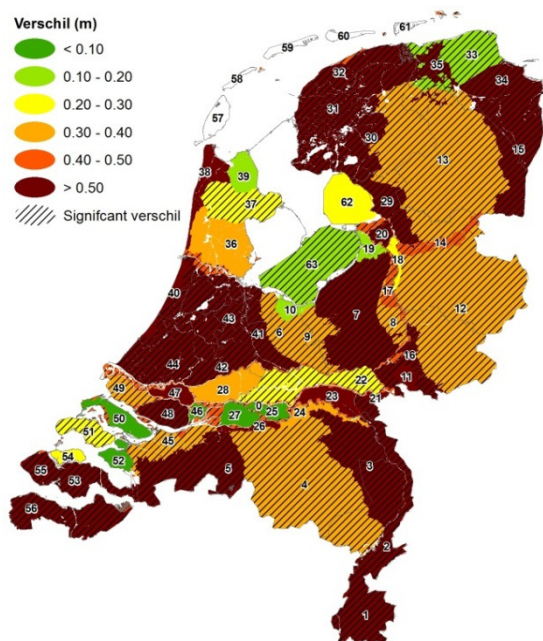
Afbeelding 6.9a: Het verschil tussen de gemiddelde drooglegging van gras en maïs.



Afbeelding 6.9b: Het verschil tussen de gemiddelde drooglegging van aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw.



Afbeelding 6.9c: Het verschil tussen de gemiddelde drooglegging van boomgaard en boomteelt.



Afbeelding 6.9d: Het verschil tussen de gemiddelde drooglegging van droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos.

### *Conclusie*

Vooraf aan de analyse van de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen in de huidige situatie zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd en hieronder beantwoord.

*Wat zijn de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen kijkend naar de verdamping en het waterbeheer?*

- Uit de analyse blijkt duidelijk dat het landgebruik een relatie heeft met de verdamping en het gevoerde waterbeheer. Gelijk aan bijvoorbeeld het onderzoek van Batelaan et al (2007) is de verdamping veel meer afhankelijk van het landgebruik dan van andere factoren zoals het bodemtype. Dat het landgebruik indirect invloed heeft op het waterbeheer is terug te zien in de resultaten, waaruit blijkt dat het waterbeheer niet alleen afhankelijk is van het landgebruik, maar ook van andere factoren.
- De spreiding van de waarden van de akkerbouwklassen is relatief klein in vergelijking met de andere landgebruiksklassen, ongeacht het bodemtype. Dit wijst er op dat van de akkerbouwklassen de verdamping, buisdrainage-diepte, dichtheid open water en de drooglegging minder afhankelijk zijn van andere factoren zoals het bodemtype.
- Gemiddeld genomen zijn de grootste verschillen tussen de landgebruiksklassen aanwezig op bodemtypen die karakteristiek zijn voor Laag-Nederland. Dit geldt in het bijzonder voor veengronden. De verwachting is dat landgebruikveranderingen in Laag-Nederland mogelijk meer effect op de hydrologie hebben dan landgebruikveranderingen op de zandgronden van Hoog-Nederland.

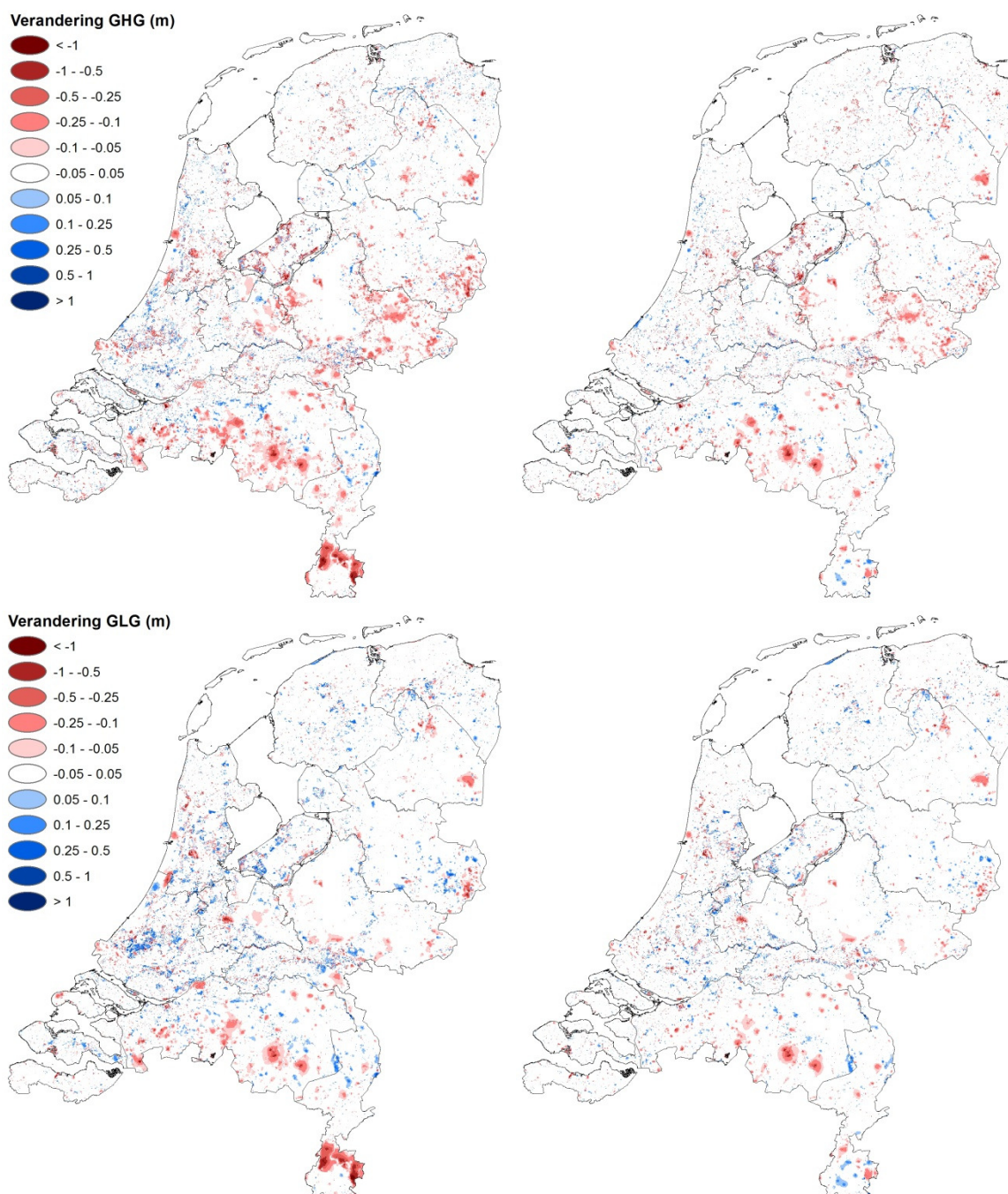
*Welke keuze is op basis van de hydrologische verschillen het meest geschikt bij de vertaling van de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur naar de NHI-landgebruiksklassen?*

- Op basis van de statistische toetsing is het verschil tussen gras en maïs (gemiddeld 52% van de regio's), aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw (gemiddeld 42% van de regio's), boomteelt en boomgaard (gemiddeld 23% van de regio's) en droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos (gemiddeld 60% van de regio's) in een groot aantal WH-regio's significant gebleken. Met name van de verdamping is het aantal regio's met een significant verschil tussen de landgebruiksklassen groot. Voor het omzetten van de RS-landgebruiksklassen is vanwege de forse hydrologische verschillen gekozen om het RS-landgebruikbestand te verfijnen (optie B).

Wat is de gemiddelde waarde van het drainageniveau en drainageweerstand van waterlopen en buisdrainage per landgebruiksklasse en regio?

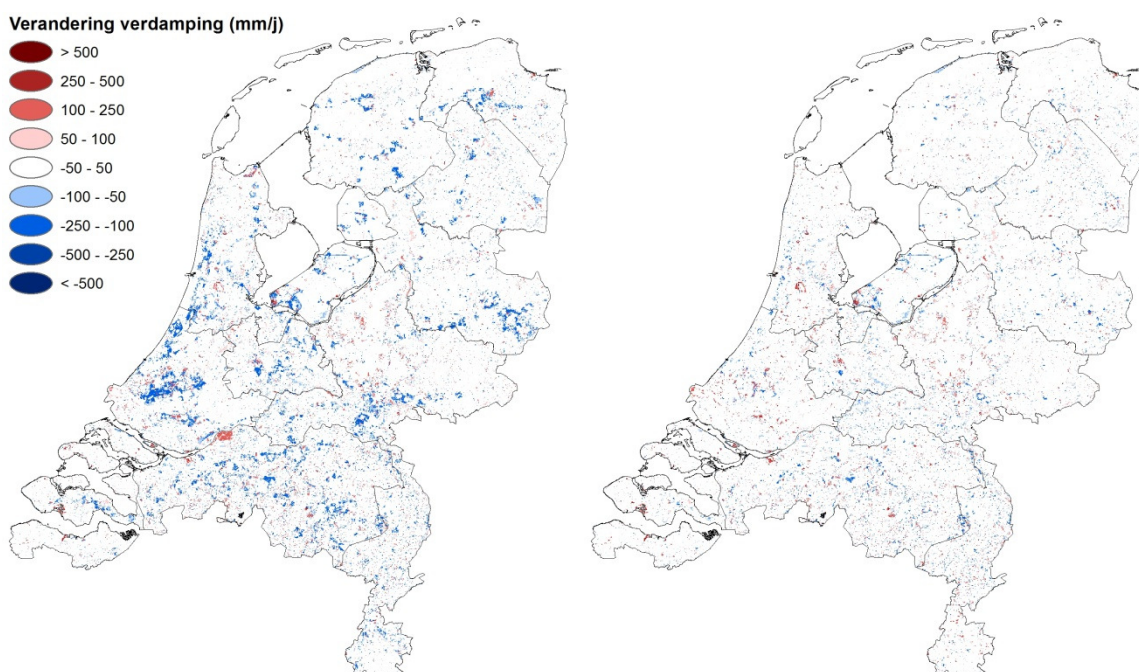
Van elke landgebruiksklasse is een gemiddelde waarde berekend van een aantal NHI-parameters. Het resultaat is als tabel opgenomen als bijlage 3c. De tabel is gebruikt om modelparameters in het NHI aan te passen op basis van het toekomstig landgebruik.

## 6.2 Hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik



Afbeelding 6.10: Verandering van de GHG (boven) en de GLG (onder) in 2040 in scenario GE (links) en RC (rechts). De rode en blauw kleur is respectievelijk een verlaging en verhoging van de GHG en GLG.

Om de effecten te zien zijn de verschillen tussen de toekomstige situatie en de huidige situatie bepaald en ruimtelijk in afbeelding 6.10 en 6.11 weergegeven. In de afbeelding is te zien dat in de lage delen van Nederland (Laag-Nederland) de gebieden met verdroging en vernatting dicht bij elkaar liggen. Op de hoge zandgronden (Hoog-Nederland) is voornamelijk een verlaging te zien van de GHG en GLG. Voor beide scenario's vallen de effecten van de GHG en GLG voornamelijk in de klasse 5 tot 10 cm. Het invloedsgebied van landgebruikveranderingen op hoge zandgronden is groter dan in de lage delen van Nederland. In afbeelding 6.11 is met name een afname van de jaarlijkse verdamping te zien in scenario GE. In scenario RC is het oppervlak met een toename en afname van de verdamping ongeveer even groot. Voor beide scenario's komen de effecten met name voor in de klasse 50 tot 100 mm.

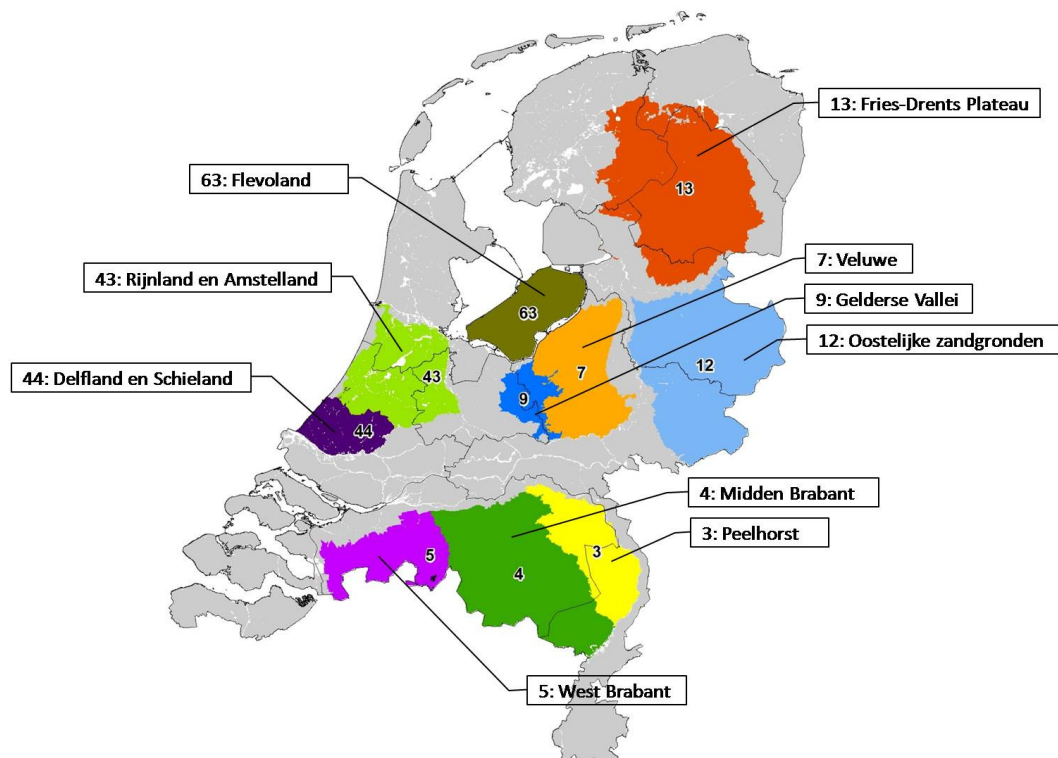


**Afbeelding 6.11: Verandering van de verdamping in 2040 in scenario GE (links) en RC (rechts). De rode en blauw kleur is respectievelijk een toename en afname van de verdamping.**

Per WH-regio is de gemiddelde verandering van de GHG, GLG en van de verdamping berekend. De resultaten zijn als tabel in bijlage 5a opgenomen. De regio's waarin het oppervlak van de grondwaterstandverandering het grootst is zijn weergegeven in afbeelding 6.12. Hierbij zijn de veranderingen gelijk of kleiner dan 5 cm buiten beschouwing gelaten. Regio 1 (Limburg) is hierbij niet beschouwd, omdat in deze regio geen aanpassingen van waterbeheerparameters zijn gedaan. Wel is opgemerkt, dat door verdampingsverandering de effecten in deze regio groot zijn. De uitgevoerde analyses zijn gebaseerd op de resultaten van deze 10 regio's. In tabel 6.5 is een overzicht van de resultaten weergegeven. Voor beide scenario's ligt de gemiddelde verandering van de GHG en GLG in deze tien regio's tussen de -0,02 m en -0,09 m. De verdamping wordt in het scenario GE op jaarbasis gemiddeld kleiner (-54 mm/jaar) en in het RC scenario op



jaarbasis gemiddeld groter (+29 mm/jaar). De verdampingsverandering van scenario GE en RC ten opzichte van de verdamping op jaarbasis in het referentiescenario (506 mm op jaarbasis) is respectievelijk 11% en 6%. Dit geeft een orde grootte aan van de verdampingsverandering ten opzichte van de gemiddelde jaarlijkse verdamping berekend op basis van het referentiescenario.

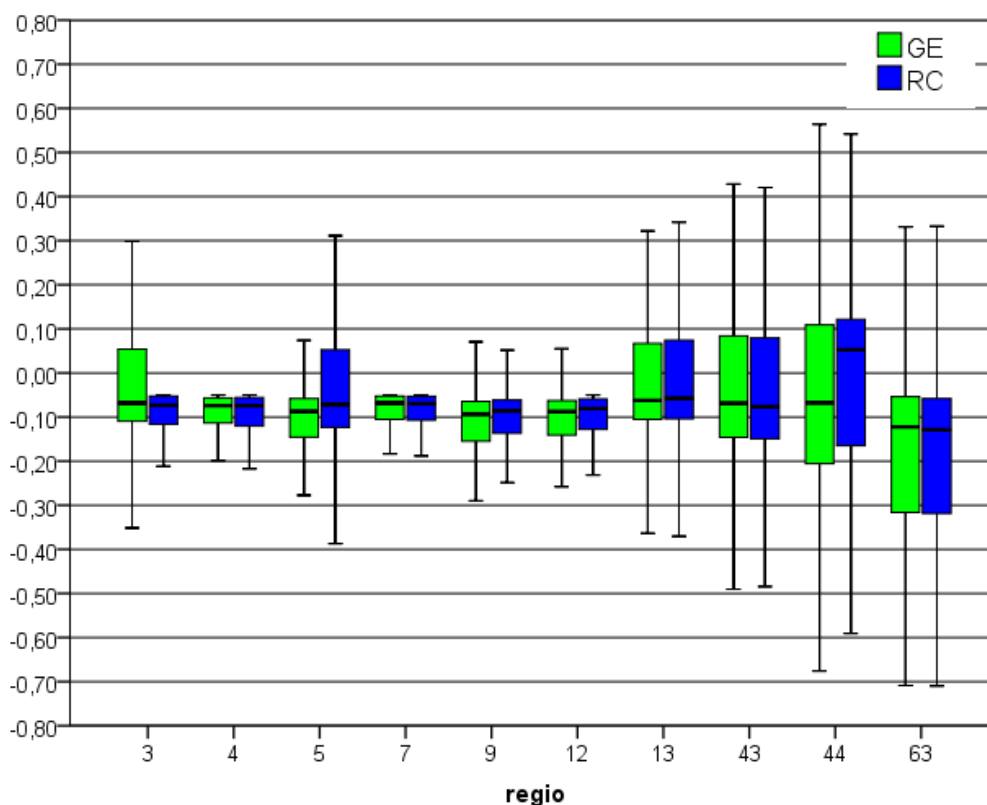


Afbeelding 6.12: Waterhuishoudkundige regio's waar de grootste grondwaterstandveranderingen plaatsvinden in scenario GE en RC.

Tabel 6.5: Gemiddelde, minimale en maximale verandering op basis van de 10 WH-regio's.

Landgebruik scenario =>	GHG (m)		GLG (m)		Verdamping (mm/jaar)	
	GE	RC	GE	RC	GE	RC
Regio 3: Peelhorst	-0.06	-0.07	+0.01	-0.01	-33	-16
Regio 4: Midden Brabant	-0.09	-0.09	-0.06	-0.08	-48	+11
Regio 5: West Brabant	-0.10	-0.07	-0.08	-0.07	-53	+7
Regio 7: Veluwe	-0.06	-0.06	-0.05	-0.06	+42	+67
Regio 9: Gelderse vallei	-0.12	-0.10	-0.03	-0.06	-69	+100
Regio 12: Oostelijk zandgronden	-0.11	-0.10	-0.03	-0.04	-75	+8
Regio 13: Fries-Drents Plateau	-0.04	-0.03	-0.03	-0.04	-64	+10
Regio 43: Rijnland en Amstelland	-0.05	-0.06	-0.01	-0.02	-71	+57
Regio 44: Delfland en Schieland	-0.07	-0.04	+0.04	-0.09	-96	+68
Regio 63: Flevoland	-0.18	-0.19	+0.02	-0.01	-71	-19
Minimaal	-0.18	-0.19	-0.08	-0.09	-96	-19
Maximaal	-0.04	-0.03	+0.04	-0.01	+42	+100
Gemiddelde	-0.09	-0.08	-0.02	-0.05	-54	+29

Per WH-regio zijn de gemiddelde veranderingen van de GHG, GLG en verdamping gering. De effecten van landgebruikveranderingen zijn met name lokaal groot. Wel zijn er regionale verschillen. Lokaal kunnen verschillen in de GHG en GLG voorkomen van ca. 80 cm en van de verdamping op jaarbasis ca. 500 mm. Opgemerkt is dat de spreiding van de GHG en GLG in regio's met een relatief groot maaiveldverloop (Hoog-Nederland) veel kleiner is dan in regio's met een klein maaiveldverloop (Laag-Nederland). Ter illustratie is de grafiek van de GHG (de GLG is hiermee vergelijkbaar) als afbeelding 6.13 weergegeven. Een aanvullende berekening (scenario GE\_ms) zonder aanpassingen van waterbeheerparameters laat vergelijkbare resultaten zien (bijlage 5b). Een mogelijke verklaring voor dit beeld is dat in Laag-Nederland de grondwaterstand ondiep is en direct beïnvloed wordt door aanpassingen van het waterbeheer en de verdamping. De grondwaterstand op de hoge zandgronden wordt met name beïnvloed door veranderingen van neerslag en verdamping over een langere periode. Het invloedsgebied van veranderingen is op de zandgronden wel groter. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in bodemeigenschappen en doordat in Laag-Nederland de effecten door gereguleerd waterbeheer worden begrensd.

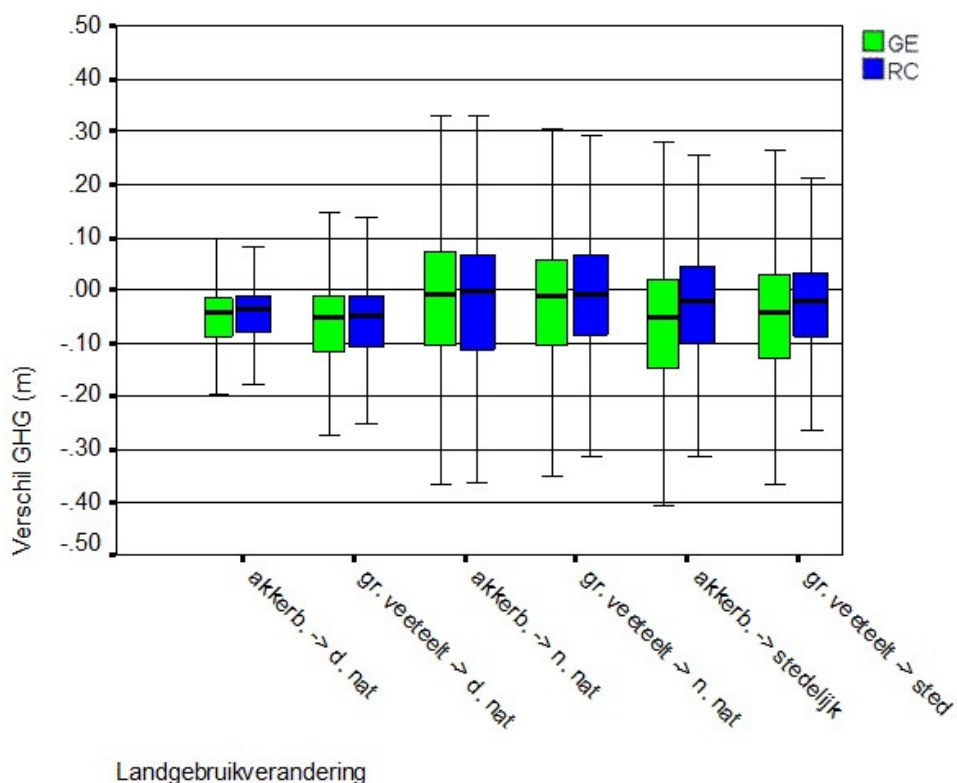


Afbeelding 6.13: De verandering van de GHG in de 10 geselecteerde regio's.

#### *De invloed van de landgebruikveranderingen op de hydrologie*

De grootste landgebruikverschuivingen vinden plaats van grondgebonden veeteelt en akkerbouw naar droge natuur, natte natuur en stedelijk. Van de veranderende gridcellen

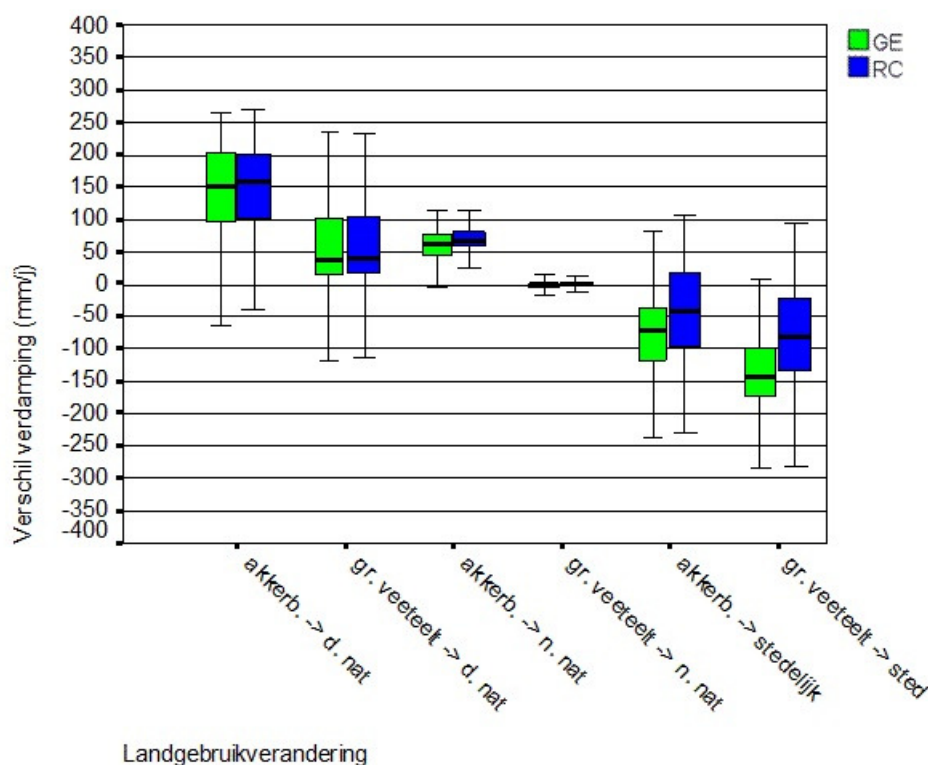
van deze zes landgebruikverschuivingen is per WH-regio de verandering van de GHG, GLG en verdamping geanalyseerd. De verschillen tussen het type landgebruikverandering zijn niet duidelijk terug te zien in de grondwaterstandverandering (afbeelding 6.14). Er zijn zowel verhogingen en verlagingen van de GHG en GLG mogelijk door de landgebruikverandering van grondgebonden veeteelt en akkerbouw naar droge natuur, natte natuur en stedelijk gebied. In afbeelding 6.14 is alleen het effect op de GHG weergegeven, het effect op de GLG is hiermee vergelijkbaar. Lokaal zijn er echter wel verschillen zichtbaar tussen het type landgebruikverandering. Het merendeel van de veranderingen van de GHG en GLG (de duidelijk zichtbare effecten in afbeelding 6.10) worden veroorzaakt door de landgebruikverandering naar natte natuur en stedelijk gebied. De veranderingen in West-Nederland (regio 43 en 44) worden naast de verandering naar stedelijk gebied en natte natuur, daar ook veroorzaakt door een verschuiving naar glastuinbouw (verlaging van de GHG en een verhoging van de GLG). Een extreme verlaging of verhoging van de GHG en GLG vindt plaats waar kale grond plaats maakt voor een andere landgebruikklasse en waar een landgebruikklasse verandert naar glastuinbouw.



**Afbeelding 6.14:** De verandering van de GHG in de 10 geselecteerde regio's, van de grootste landgebruikverschuivingen; van grondgebonden veeteelt (gr. veeteelt) en akkerbouw (akkerb.) naar droge natuur (d. nat), natte natuur (n. nat) en stedelijk gebied (sted.).

Sterker zichtbaar zijn de effect-verschillen van het type landgebruikverandering op de jaarlijkse verdamping (afbeelding 6.15). De verandering van grondgebonden veeteelt en

akkerbouw naar natuur zorgt voor de grootste verdampingstoename en door de verandering naar stedelijk gebied neemt de verdamping het sterkst af. Een extreme afname of toename van de verdamping vindt plaats door de verandering van kale grond naar een andere landgebruiksklasse (toename van de verdamping) en waar een landgebruiksklasse verandert naar stedelijk gebied (afname van de verdamping).

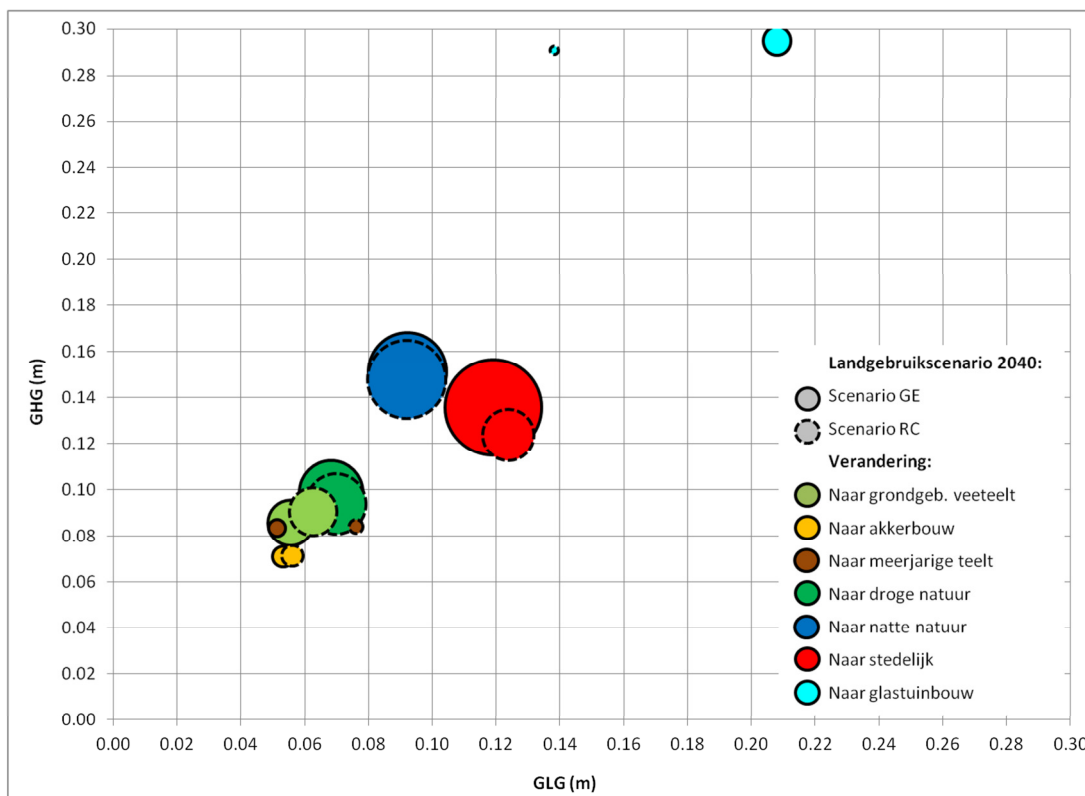


Afbeelding 6.15: De verandering van de verdamping in de 10 geselecteerde regio's, van de grootste landgebruikverschuivingen; van grondgebonden veeteelt (gr. veeteelt) en akkerbouw (akkerb.) naar droge natuur (d. nat), natte natuur (n. nat) en stedelijk gebied (sted.).

#### Vergelijking van het hydrologische effect tussen landgebruik scenario's GE en RC

Voor de vergelijking tussen beide landgebruik scenario's is de absolute gemiddelde verandering bepaald (afbeelding 6.16). Het gemiddelde is berekend van alleen de veranderende gridcellen. De grootte van de bollen geeft het oppervlak (aantal gridcellen) van de verandering van de GHG en GLG weer, waarbij de verandering groter is dan 5 cm. De verlaging of verhoging van de GHG en GLG in scenario's GE en RC zijn vergelijkbaar met elkaar. Alleen het oppervlak van de effecten is groter van scenario GE dan scenario RC, omdat in scenario GE de verschuivingen van het landgebruik omvangrijker is. Dit geldt in bijzonder voor de grootte van oppervlak van de verandering van de GHG en GLG door het verschil in groei van het stedelijk gebied. Ook voor de verdamping geldt dat de absolute gemiddelde verandering tussen beide scenario's gering is (niet getoond). Hierbij moet wel worden opgemerkt, dat het verdampingsverschil tussen scenario GE en RC in een aantal regio's wel groot is (tabel 6.5). Dit kan worden verklaard doordat in een aantal regio's de

ontwikkeling van landgebruikklasse tussen beide scenario's verschillend is en de verdamping sterk afhankelijk is van het landgebruik.



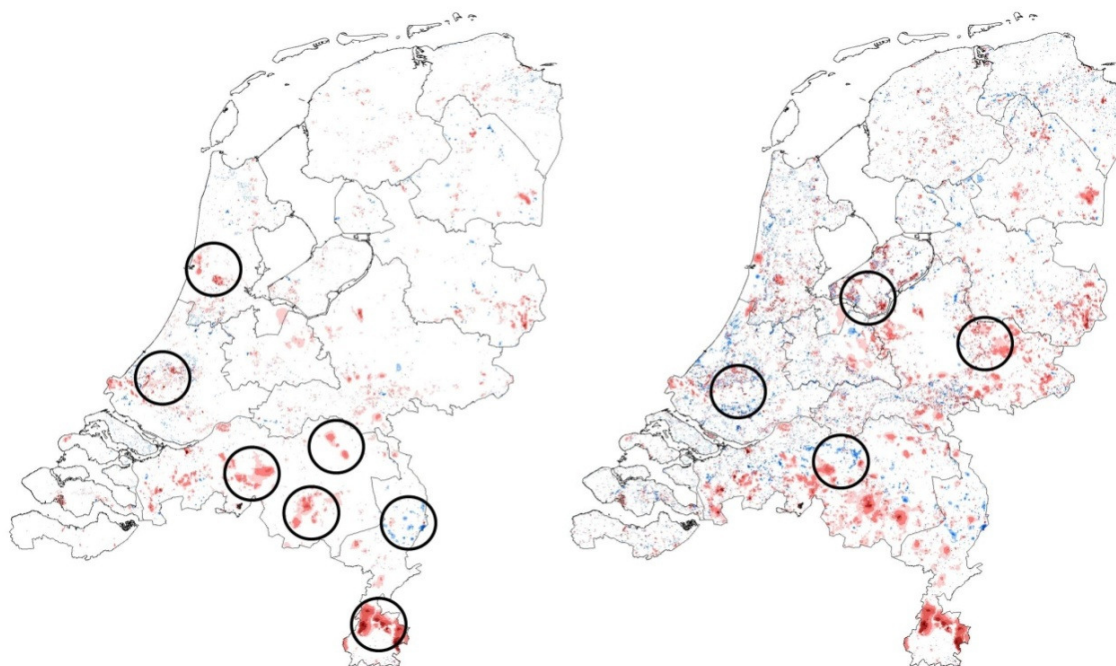
**Afbeelding 6.16: Absolute gemiddelde verandering van de GHG en GLG in de 10 geselecteerde regio's. De grootte van de bol vertegenwoordigt het oppervlak van de grondwaterstandverandering groter dan 5 cm.**

### *Vergelijking van de primaire- en secundaire effecten als gevolg van landgebruiksveranderingen*

Op basis van landgebruik scenario GE zijn twee modelberekeningen gemaakt om de verschillen zichtbaar te maken tussen het primair effect en het secundair effect op de grondwaterstand. In afbeelding 6.17 is links het effect weergegeven van scenario GE\_ms waarin geen aanpassingen zijn gedaan aan waterbeheerparameters. In dit scenario wordt het effect bepaald door verdampingsverandering als gevolg van landgebruikverandering. Rechts in afbeelding 6.17 is het secundair effect weergegeven van landgebruikverandering door het aanpassen van waterbeheerparameters aansluitend op het nieuwe landgebruik. Een aantal opvallende effecten zijn omcirkeld. Het gaat in de omcirkelde gebieden voornamelijk om veranderingen van de GHG en GLG (de GLG is niet getoond) waarbij kale grond verdwijnt ten behoeve van stedelijk gebied of droge natuur en in West-Nederland ook ten behoeve van glastuinbouw (regio 43 en 44). De verandering naar natte natuur heeft een groter effect op de GLG dan op de GHG, waarbij verlaging van de GLG plaatsvindt.

In afbeelding 6.17 zijn rechts de effecten weergegeven van scenario GE waarin wel aanpassingen zijn gedaan aan waterbeheerparameters. Door aanpassing van waterbeheerparameters wordt het effect sterker. Hiervan zijn een aantal opvallende veranderingen van de GHG omcirkeld. Binnen de omcirkelde gebieden vinden een tweetal opvallende processen plaats:

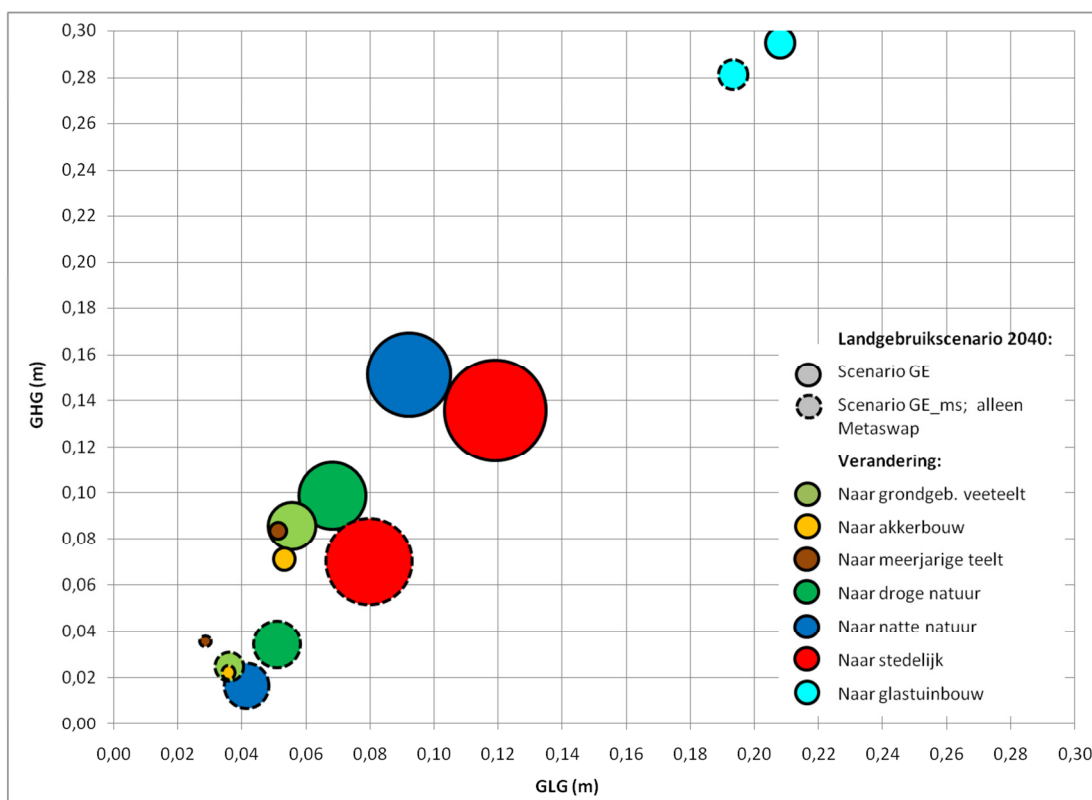
- Door het aanpassen van waterbeheerparameters wordt het effect versterkt;
- Door het aanpassen van waterbeheerparameters wordt het tegenovergestelde effect bereikt dan doorgaans als effect voor een landgebruik functie gewenst is. Dit effect is met name zichtbaar bij een deel van de gridcellen die naar natte natuur en stedelijk gebied veranderen. Door het vergroten van de afstand van waterlopen (verlagen van de conductance/doorlaatvermogen) bij de landgebruikverandering naar stedelijk gebied vindt vernatting plaats en door het verkleinen van de afstand van waterlopen (verhogen van de conductance/doorlaatvermogen) bij de landgebruikverandering naar natte natuur vindt verdroging plaats.



**Afbeelding 6.17: Verandering van de GHG in 2040 in scenario GE. Links de primaire effecten (scenario GE\_ms) en rechts de secundaire effecten (scenario GE).**

Het verschil tussen het primaire en secundaire effect is ook op basis van de absolute gemiddelde verandering beschouwd (afbeelding 6.18). Het gemiddelde is berekend van alleen de veranderende gridcellen. De grootte van de bollen geeft het oppervlak (aantal gridcellen) van de verandering van de GHG en GLG weer, waarbij de verandering groter is dan 5 cm. Er zijn duidelijk verschillen zichtbaar tussen het primaire- en secundaire effect op de GHG en GLG als gevolg van landgebruikverandering. In de afbeelding is het proces waarbij aanpassing van de waterbeheerparameters het effect versterken zichtbaar. Door aanpassing van waterbeheerparameters is het effect op de GHG en GLG groter dan het

effect door verdampingverandering. Op basis van de absolute gemiddelde verandering van de GHG en GLG is het effect-verschil tussen het primaire- en secundaire effect maximaal 13 cm. Het oppervlak van het effect op de GHG en GLG is door het aanpassen van waterbeheerparameters gemiddeld 4 maal groter dan het oppervlak van het effect op de GHG en GLG door verdampingsverandering.



**Afbeelding 6.18: Absolute gemiddelde verandering van de GHG en GLG in de 10 geselecteerde regio's. De grootte van de bol vertegenwoordigt het oppervlak van de grondwaterstandverandering groter dan 5 cm.**

### Conclusie

Vooraf aan de analyse van de hydrologische verschillen tussen de landgebruiksklassen in de toekomstige situatie zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd en hieronder beantwoord.

*Wat is de invloed van het landgebruik in 2040 op de hydrologie kijkend naar de verdamping en de grondwaterstand?*

- De effecten op de GHG, GLG en de verdamping als gevolg van landgebruikveranderingen zijn met name lokaal groot. Op regionale schaal zijn de effecten gering.
- Op basis van de berekening met een droog jaar (1/10 jaar) ligt voor beide scenario's de gemiddelde verandering van de GHG en GLG tussen de -0,02 m en -0,09 m. De

verdamping wordt op jaarbasis gemiddeld kleiner (-54 mm/jaar) en in het RC scenario op jaarbasis gemiddeld groter (+29 mm/jaar).

- Lokaal kunnen verschillen van de GHG en GLG voorkomen tot 80 cm en van de verdamping tot 500 mm.
- In Laag-Nederland liggen de gebieden met verdroging en vernatting dicht bij elkaar. Het effect op de GHG en GLG is in Laag-Nederland extremer dan in Hoog-Nederland. Een mogelijk verklaring hiervoor is dat in Laag-Nederland de grondwaterstand ondiep is en direct beïnvloed wordt door aanpassingen aan het waterbeheer en de verdamping.
- Op de hoge zandgronden is voornamelijk een verlaging te zien van de GHG en GLG. Het invloedsgebied van de effecten is in Hoog-Nederland groter dan in Laag-Nederland. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in bodemeigenschappen en mogelijk doordat in Laag-Nederland de effecten door gereguleerd waterbeheer worden begrensd.
- De grootste lokale effecten vinden plaats waar kale grond plaats maakt voor een andere landgebruikklasse en waar een landgebruikklasse verandert naar glastuinbouw of stedelijk gebied.

*Wat is het verschil in het effect op de verdamping en de grondwaterstand tussen scenario's GE en RC*

- De verschillen van de GHG en GLG tussen scenario GE en RC zijn gering. Alleen het oppervlak van de effecten is groter in scenario GE dan in scenario RC. Dit kan worden verklaard doordat in scenario GE de verschuivingen van het landgebruik omvangrijker zijn dan in scenario RC. De verschillen van de verdamping tussen scenario GE en RC zijn in een aantal WH-regio's groot. Dit kan worden verklaard doordat in een aantal regio's de ontwikkeling van landgebruikklasse tussen beide scenario's verschillend is en de verdamping sterk afhankelijk is van het landgebruik.

*Wat is het verschil tussen het primaire effect en het secundaire effect?*

- Er zijn duidelijk verschillen aanwezig tussen de directe invloed en indirecte invloed van landgebruikveranderingen op de GHG en GLG. Het aanpassen van het waterbeheer aansluitend op het 'nieuwe' landgebruik hebben een groter effect op de GHG en GLG (secundaire effect) dan door alleen verdampingsveranderingen (primaire effect). Dit verschil is met name aanwezig in het oppervlak van het effect op de grondwaterstand, die ca. 4 maal groter wordt door aanpassing van waterbeheerparameters ten opzichte van alleen verdampingsverandering.

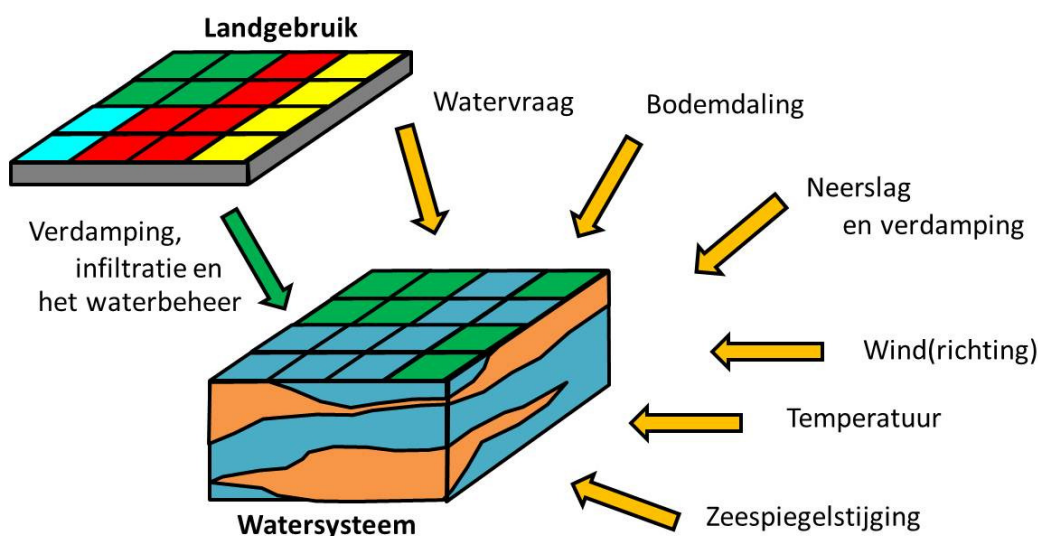


## 7 OVERIGE VERANDERINGEN IN DE TOEKOMST

Om een indicatie te krijgen hoe de hydrologische effecten als gevolg van landgebruiksverandering zich verhouden ten opzichte van de effecten als gevolg van andere toekomstige ontwikkelingen zoals klimaatverandering, bodemdaling en zeespiegelstijging, zijn de resultaten uit dit onderzoek vergeleken met de resultaten van de studie naar knelpunten in de zoetwatervoorziening van Nederland (Deltares, 2012).

### 7.1 Klimaatverandering en bodemdaling

In de afgelopen decennia zijn er diverse studies geweest en modellen ontwikkeld die een bandbreedte schetsen van toekomstige ontwikkelingen. De studies en modellen maken het mogelijk om diverse milieuvraagstukken te onderzoeken, waaronder het waterbeheer. Het wateraanbod en de beschikbaarheid van zoetwater zijn belangrijke vraagstukken voor het Nederlandse waterbeheer en opgenomen in het Deltaprogramma. Het Deltaprogramma is een nationaal programma voor de 21<sup>e</sup> eeuw. In het Deltaprogramma Zoetwater zijn de knelpunten en maatregelen verkend om de waterveiligheid en zoetwatervoorziening op orde te houden rekening houdend met klimatologische en maatschappelijke ontwikkelingen.

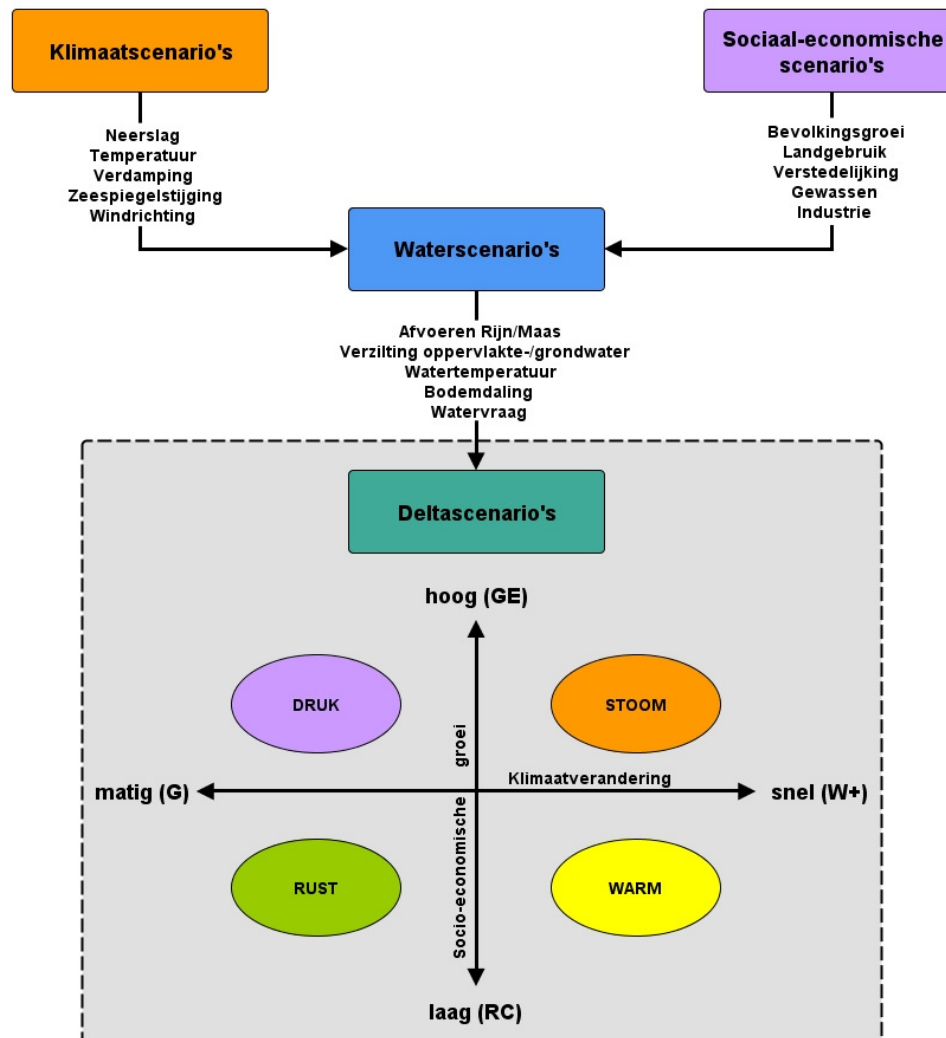


**Afbeelding 7.1:** Met de pijlen worden de ontwikkelingen aangegeven die het watersysteem beïnvloeden. De groene pijl geeft het effect weer dat in dit onderzoek is onderzocht.

In het kader van het Deltaprogramma heeft de ontwikkeling van het Deltamodel plaatsgevonden. Het Deltamodel is een modelinstrumentarium waarin verschillende effectmodellen aan elkaar zijn gekoppeld. Met het Deltamodel zijn afgelopen jaren verkennende analyses gedaan op basis van scenario's van toekomstige ontwikkelingen zoals sociaaleconomische ontwikkelingen, klimaatverandering en bodemdaling (afbeelding 7.1). Omdat in het Deltamodel eveneens gewerkt is met het NHI en de landgebruik scenario's

van de Ruimtescanner, kan indicatief een vergelijking worden gemaakt tussen de resultaten.

## 7.2 Hydrologische effecten berekend met het Deltamodel



Afbeelding 7.2: Vertaling van toekomstige ontwikkelingen naar de vier Deltascenario's (gebaseerd op Kwadijk, 2010 en Bruggeman et al, 2013).

Voor het Deltaprogramma zijn vier Deltascenario's ontwikkeld, die in alle deelprogramma's worden gebruikt. De opbouw van de scenario's is in afbeelding 7.2 weergegeven. Met het Deltamodel zijn de twee uiterste scenario's voor klimaatverandering (G en W+) gecombineerd met de twee uiterste scenario's voor sociaaleconomische verandering (RC en GE) om de bandbreedte van mogelijke veranderingen te verkennen. In de rapportage van Bruggeman et al (2013) zijn de Deltascenario's uitgebreid beschreven. In tabel 7.1 zijn enkele karakteristieken beschreven van de twee gecombineerde scenario's.

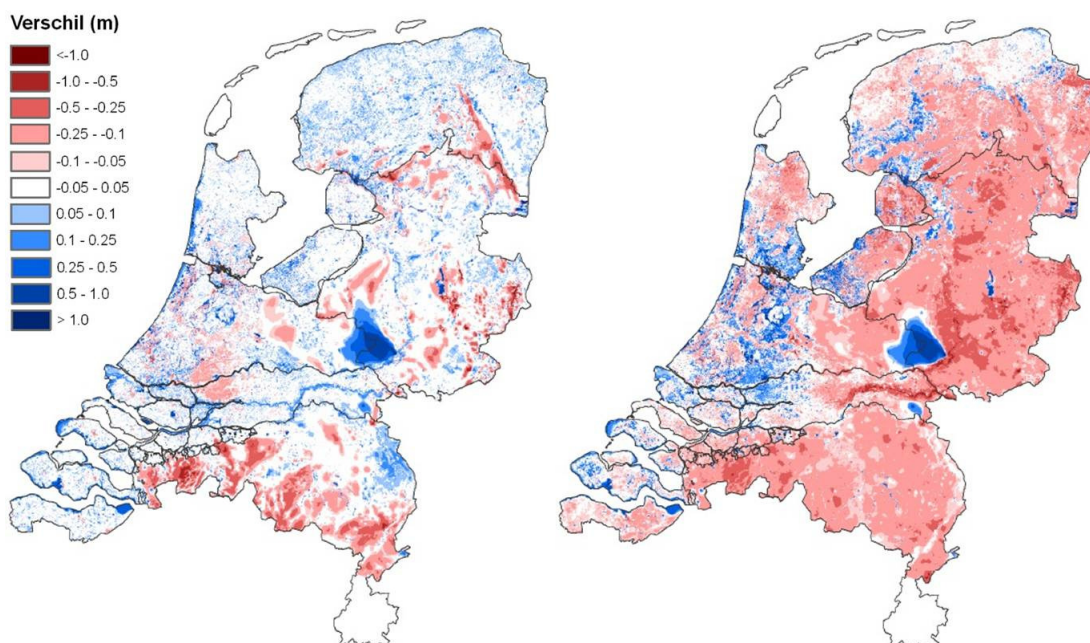
Tabel 7.1: Enkele karakteristieken van Nederland voor het jaar 2050 (Bruggeman et al, 2013).

Indicator	Huidig	G/GE (druk)	W+/RC (warm)
Bevolkingsgroei	16 miljoen inwoners	+25 %	-7 %
Verstedelijking	20 % areaal stedelijk	+15 %	+5 %
Landbouw	59 % areaal landbouw	-14 %	-5 %
Natuur en recreatie	18 % areaal natuur	+22 %	+6 %
Stijging zeespiegel	-	+15 cm	+35 cm
Neerslag zomer*	-	+3 %	-19 %
Neerslag winter*	-	+4 %	+14 %
Verdamping zomer**	-	+3 %	+15 %
Verdamping winter**	-	+1 %	+3 %
Bodemdaling Laag-Nederland***	-	1 cm tot 100 cm (enkele gebieden meer dan 100 cm)	

\* Onder "winter" wordt hier verstaan december, januari en februari, "zomer" staat gelijk aan juni, juli en augustus.

\*\* Verdamping op basis van KNMI-cijfers (KNMI, 2007).

\*\*\* Op basis van figuur 2.7 (bodemdaling) uit de knelpuntenanalyse van Deltares (2012).



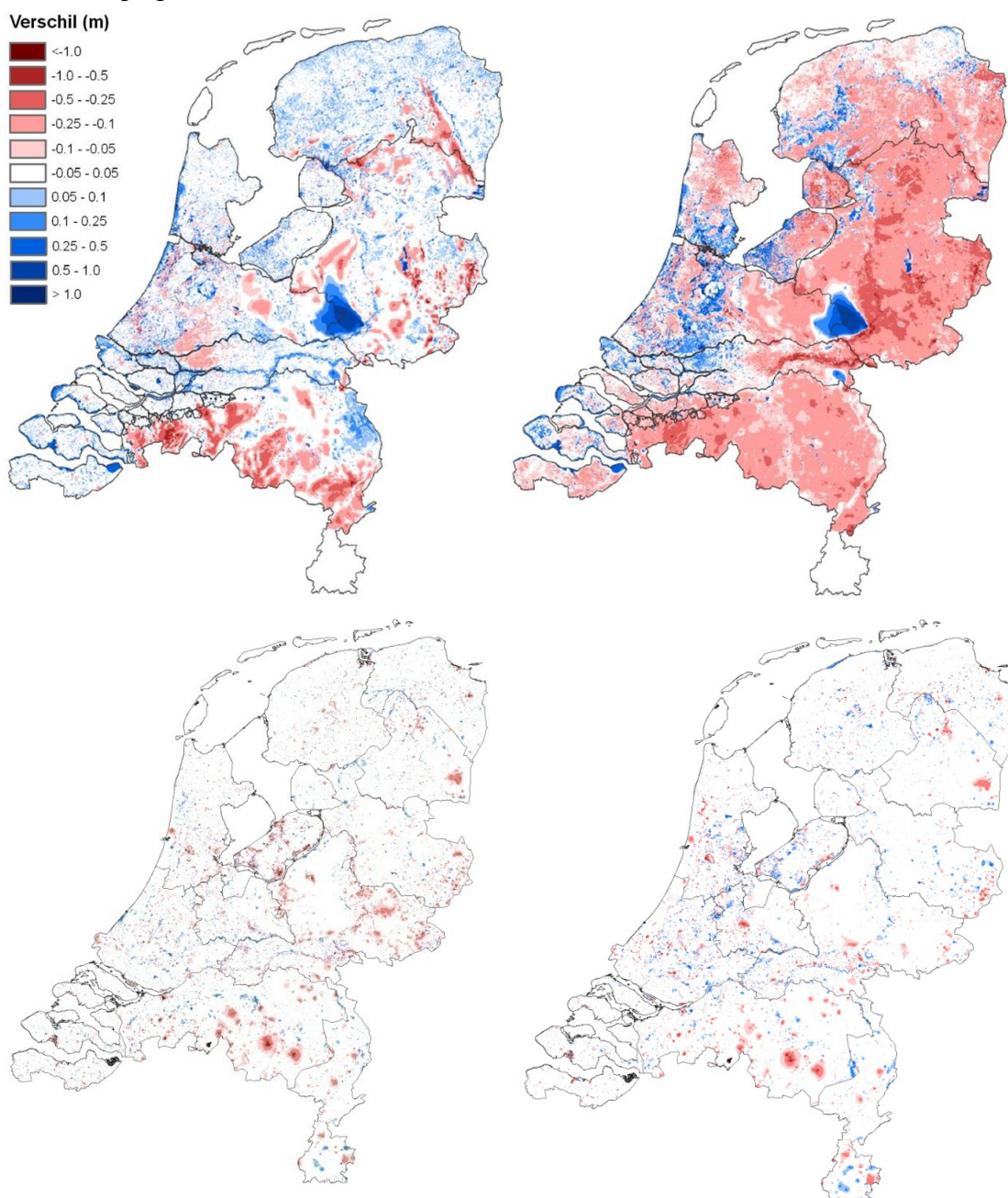
Afbeelding 7.3: Verandering van de GHG (links) en GLG (rechts) door klimaatverandering bij scenario W+/RC in 2050 (Deltares, 2012).

In afbeelding 7.3 is het effect van scenario W+/RC op de grondwaterstand weergegeven. Op basis van de beschrijving in de rapportage van Deltares (2012) zijn de resultaten hieronder kort samengevat. Hierbij zijn alleen de effecten van het Deltascenario W+/RC beschouwd. In het Deltascenario W+/RC daalt de GLG voor het merendeel van Nederland. In Laag-Nederland komen ook verhogingen van de GLG voor. In Laag-Nederland komen zowel verhoging als verlagingen voor van de GHG. In Hoog-Nederland is er vooral een daling van de GHG. De verandering van de GHG en GLG is ca. 10 cm in Laag-Nederland. In Hoog-Nederland is de verandering van de GHG en GLG enkele decimeters tot een

meter op de zandgronden. Het verschil van de grondwaterstandverandering tussen Laag- en Hoog-Nederland is in de studie verklaard door verschillen in neerslagoverschot. In Laag-Nederland wordt de grondwaterstand bepaald op één moment en in Hoog-Nederland door het jaarlijkse neerslagoverschot, dat in het W+ scenario groter wordt.

### 7.3 Klimaatverandering vs. landgebruikverandering

#### *Toekomstige grondwaterstand*



Afbeelding 7.4: Verandering van de GHG en de GLG in Deltascenario W+/RC (boven, links; respectievelijk rechts) en de verandering van de GHG en de GLG in landgebruik scenario RC (onder, links; respectievelijk rechts).

In afbeelding 7.4 is het effect op de GHG en GLG op basis van scenario RC vergeleken met het Deltascenario W+/RC. Duidelijk te zien is dat de omvang van de effecten van alleen landgebruikveranderingen veel geringer zijn in vergelijking met het Deltascenario waarin ook klimaatverandering en bodemdaling zijn meegenomen. Met name het effect op de zandgronden is veel groter als gevolg van gecombineerde veranderingen dan van landgebruikverandering alleen. Gesteld kan worden dat klimaatverandering en bodemdaling een veel grotere invloed hebben op de GHG en GLG dan alleen landgebruikverandering.

#### *Toekomstige verdamping en neerslagtekort*

In klimaatscenario W+ wordt verwacht dat de verdamping in 2050 15% groter is en de zomerneerslag met 19% afneemt. De verwachte toename van verdamping in klimaatscenario G is 3% en gelijk aan de toename aan zomerneerslag. In dit onderzoek is de totale jaarsom berekend en niet de verdamping in de zomermaanden, waardoor niet direct een vergelijking is te maken tussen de effecten op de verdamping als gevolg van landgebruikveranderingen en de effecten als gevolg van klimaatverandering. Ervan uitgaande dat de verdamping hoofdzakelijk in het groeiseizoen plaatsvindt (april t/m september) zal de berekende verdamping op basis van de landgebruik scenario's grotendeels op deze zomermaanden gebaseerd zijn. Voor scenario GE en RC is respectievelijk een verdampingsverschil berekend van -54 mm/jaar en +29 mm/jaar. Dit is respectievelijk 11% en 6% van de totale verdamping op jaarbasis in het referentiescenario (gemiddeld 506 mm/jaar). Dit valt binnen de range van de verwachte verdampingsverandering op basis van de klimaatscenario's (1% - 15%).

De verdamping is in combinatie met neerslag een belangrijk parameter voor het bepalen van de (toekomstige) watervraag. Met betrekking tot landgebruikverandering geldt dit met name voor de watervraag ten behoeve van beregening, omdat de watervraag vanuit de beregeningsbehoefte in het NHI berekend wordt op basis van neerslag en verdamping gegeven het landgebruik (gewassen) en het oppervlak hiervan (Deltares, 2012). Wanneer de neerslag achterblijft bij de verdamping, kan dit leiden tot vochttekort in de bodem met schade aan gewassen als mogelijk gevolg. Dit wordt het neerslagtekort genoemd. Verwacht mag worden dat de beregeningsgift en daarmee de watervraag groter wordt naarmate het neerslagtekort groter wordt. Omdat de verdampingsverandering als gevolg van landgebruikveranderingen een vergelijkbare range heeft als de range van verdampingsverandering als gevolg van klimaatverandering, kan indicatief worden gesteld dat niet alleen klimaatverandering effect heeft op de watervraag, maar dat ook landgebruikverandering mogelijk een substantieel effect heeft op de toekomstige watervraag. De veranderende watervraag door landgebruikverandering zal zich met name laten gelden bij de beregening van vegetatie ten behoeve van akkerbouw, natuur en groen in het stedelijk gebied om tekorten in de wortelzone van de bodem aan te vullen.

## 8 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

Dit onderzoek toont aan dat een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI goed mogelijk is. Om de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner geschikt te maken als invoer voor het NHI zijn wel een aantal omzettingen nodig, waarbij een aantal keuzes moeten worden gemaakt. Het omzetten brengt een aantal onzekerheden met zich mee, maar ook kansen om landgebruik scenario's te gebruiken voor watervraagstukken. De onzekerheden en kansen zijn in dit hoofdstuk beschreven en opgesplitst in vier thema's:

- **Ruimtelijke resolutie:** De ruimtelijke resolutie gaat over de gedetailleerdheid van de gebruikte landgebruikbestanden (grootte van gridcellen).
- **Thematische resolutie:** De thematische resolutie gaat over de groepering en vereenvoudiging van landgebruikclassen ten behoeve van de uitgevoerde analyses en berekeningen.
- **Temporele resolutie:** De temporele resolutie gaat over de ontwikkeling van het landgebruik en het waterbeheer.
- **Functionele resolutie:** De functionele resolutie gaat over de gehanteerde werkwijze in dit onderzoek en de toegevoegde waarde van een combinatie van landgebruik scenario's met klimaat scenario's.

### 8.1 Ruimtelijke resolutie

Het NHI rekent met gridbestanden met een resolutie van 250 bij 250 meter. Om basisbestanden geschikt te maken als invoer voor het NHI vindt er zo nodig opschaling plaats. Bij opschaling is informatie vereenvoudigd en verdwijnen in het NHI de scherpe overgangen van bronbestanden zoals bodemtypen, waterlopen en de maaiveldhoogte. Dit geldt ook voor het landgebruikbestand. Voor de omzetting van het RS-landgebruikbestand naar een NHI-landgebruikbestand vindt een opschaling van gridcellen plaats van 100 bij 100 meter naar 250 bij 250 meter. Door toepassing van een meerderheidsregel kan eenvoudig de onderliggende dominante landgebruikklasse worden bepaald. Om een oververtegenwoordiging van een dominant landgebruikklasse te voorkomen is in het NHI een tool beschikbaar die gebruik maakt van de randvoorwaarde dat de verdeling in landgebruik binnen een gemeente voor het opgeschaalde grid gelijk moet zijn aan het oorspronkelijk fijne grid. Bij opschalen moet wel rekening gehouden worden met lokale onnauwkeurigheden door het verdwijnen van scherpe overgangen van landgebruikclassen en het verdwijnen van kleine of smalle elementen die voorkomen in het originele grid, zoals kleine waterlopen, infrastructuur en groen in het stedelijk gebied. Uit de resultaten blijkt dat de verschillen per gemeente tussen de oorspronkelijke en het opgeschaalde grid zeer klein zijn (<3%).

## 8.2 Thematische resolutie

### *Vertaling van RS-landgebruiksklassen*

Een aantal klassen in het RS-landgebruikbestand kunnen niet één op één worden vertaald naar de landgebruiksklassen die in het NHI gebruikt worden. Dit heeft te maken met het bronbestand wat ten grondslag ligt aan de opbouw van het RS-landgebruikbestand en het NHI-landgebruikbestand. Het NHI gebruikt een landgebruikbestand die gebaseerd is op het Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN) en het RS-landgebruikbestand is gebaseerd op het Bestand Bodem Gebruik (BBG). Het LGN is gericht op het beschrijven van het landgebruik in het landelijk gebied, terwijl het BBG gericht is op het beschrijven van het bebouwd gebied. De RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur zijn uitgebreider beschreven in het NHI-landgebruikbestand. Andersom zijn de RS-landgebruiksklassen bedrijventerrein, zeehaven, luchthaven, spoorlijnen, wegen, wonen-stedelijk, wonen-groen stedelijk en wonen-landelijk in het NHI-landgebruikbestand samengevoegd tot één klasse, namelijk de klasse stedelijk. Om het RS-landgebruikbestand geschikt te maken als invoer voor het NHI zijn vertaalkeuzes gemaakt. Hierbij is getracht de eigenschappen van de landgebruik functie te behouden, zoals die oorspronkelijk in de Ruimtescanner bedoeld is. Om een vertaalkeuze te maken is een analyse uitgevoerd waarmee is onderzocht of er verschillen zijn tussen de landgebruiksklassen van het gevoerde waterbeheer en de verdamping. Uit de analyse van het huidig landgebruik blijkt dat de verschillen van verdamping en het waterbeheer significant zijn tussen de NHI-landgebruiksklassen die in het RS-landgebruikbestand zijn samengevoegd (bijvoorbeeld tussen de klassen gras en maïs). Dit geeft aan dat voor het referentiescenario (huidige situatie) het belangrijk is om de klassen van het RS-landgebruikbestand te verfijnen. Dit geldt in het bijzonder voor de klasse droge natuur, omdat er met name van de verdamping grote verschillen berekend zijn tussen de klassen droge natuur, loofbos, licht- en donker naaldbos. Uit de analyse op basis van het toekomstig landgebruik blijkt ook dat het uit hydrologische oogpunt interessant is om onderscheid te maken in de RS-landgebruiksklasse droge natuur, omdat er een toename plaatsvindt van het areaal droge natuur en het oppervlak van de effecten groot is. Van de klassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw en meerjarig teelt is verfijning niet relevant, omdat de toename van deze klassen in de toekomstscenario's beperkt is of afneemt.

### *Verhardingsgraad*

Een dominante ontwikkeling van de landgebruik scenario's is de groei van het stedelijk gebied, ofwel de verandering in de verhouding tussen het verhard- en onverhard oppervlak. De verhouding tussen verhard- en onverhard oppervlak is belangrijk in hydrologische studies (Van de Ven, 1989; Dekkers et al, 2005; Haase, 2009; Poelmans, 2010). Het voordeel van het gebruik van het RS-landgebruikbestand in het NHI is dat het bebouwd gebied in het RS-landgebruikbestand uitgebreider beschreven is dan het originele NHI-landgebruikbestand. Op basis van het RS-landgebruikbestand kan onderscheid

gemaakt worden in de verhardingsgraad. Hiermee kan onderscheid worden gemaakt in de dichtheid van bestaande stedelijke kernen, maar ook in de dichtheid van toekomstig stedelijke ontwikkelingen. Momenteel worden veel woonwijken gerealiseerd waarbij ook veel groen en water aanwezig, maar er vindt ook veel stedelijk inbreiding plaats. Door deze verschillende ontwikkelingen zal de verhardingsgraad per stad en zelfs per woonwijk variëren. Een voorbeeld van het berekenen van de verhardingsgraad per landgebruikklasse is gegeven in paragraaf 5.2.

#### *Toekomstige landgebruiklassen*

Het is niet ondenkbaar dat in de toekomst nieuwe functies ontstaan door ingrijpende maatschappelijke keuzes als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling. Een ontwikkeling zou kunnen zijn dat bijvoorbeeld de akkerbouwteelt in veenlandschappen zich richt op andere teeltvormen zoals de teelt van energiegewassen (biomassa), rietteelt of het voeren van agrarisch natuurbeheer (Schaeffer en Hanje, 2006).

Voor de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI wordt met betrekking tot de thematische resolutie aanbevolen om;

- te onderzoeken of met de Ruimtescanner de klassen droge natuur kan worden verfijnd;
- het onderscheid in urbane landgebruiklassen te behouden om daarmee de verhardingsgraad te bepalen. Recentelijk is in het NHI (versie 3.0) een functionaliteit beschikbaar gekomen waarmee eenvoudig de verhardingsgraad per gridcel kan worden opgegeven;
- het proces te vereenvoudigen, om een extern landgebruik scenario te vertalen naar een landgebruikbestand dat geschikt is als invoer voor het NHI. Hieraan is reeds invulling gegeven. Met een recentelijk beschikbaar gekomen functionaliteit in het NHI (versie 3.0) is het met een omzettingstabel mogelijk om de landgebruiklassen van een extern landgebruikbestand om te zetten naar geschikte klassen die in het NHI gebruikt worden.

### **8.3 Temporele resolutie**

#### *Het detailniveau van het veranderend landgebruik*

Sociaaleconomische ontwikkelingen zijn zowel op de korte als lange termijn sterk dynamisch, waardoor landgebruik ontwikkelingen onzeker zijn (Bruggeman et al, 2013). Vanwege de hoog dynamische sociaaleconomische ontwikkeling ligt de grens van de landgebruik scenario's momenteel op 2040 en is het aantal landgebruiklassen beperkt tot 23 klassen (VU et al, 2010). Zoals beschreven in paragraaf 8.3 zijn de RS-landgebruiklassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur met bepaalde voorwaarden vervangen door de gewenste klassen van het NHI-landgebruikbestand. Voor de toekomstscenario's wordt daardoor meer detailniveau toegevoegd dan oorspronkelijk met een bepaalde betrouwbaarheid is berekend met de



Ruimtescanner. Een hogere complexiteit van het landgebruikbestand, betekent ook een hogere onzekerheid.

#### *De bandbreedte van landgebruikverandering*

Het verschil in ontwikkeling van het landgebruik tussen scenario GE en RC komt niet terug in het verschil in de gemiddelde verandering van de GLG en GHG per regio. Het belangrijkste verschil in de effecten op de GHG en GLG tussen scenario GE en RC is het oppervlak van de effecten. Het oppervlak met een verandering van de grondwaterstand is in scenario GE groter dan in scenario RC. Dit kan worden verklaard doordat in scenario GE de verschuivingen van het landgebruik omvangrijker zijn dan in scenario RC. Met name de ontwikkeling van het stedelijk gebied is een belangrijk verschil tussen beide scenario's. De regionale verdampingsverandering tussen scenario GE en RC zijn in een aantal WH-regio's wel groot. Dit kan worden verklaard doordat in een aantal regio's de verdeling van het landgebruik van beide scenario's verschillend is en de verdamping sterk afhankelijk is van het landgebruik. Gesteld kan worden dat voor hydrologische vraagstukken het gebruik van beide scenario's belangrijk zijn voor de verkenning van de verdampingsverandering en daarmee de toekomstige watervraag die hieraan gerelateerd is. Voor het bepalen van de gemiddelde grondwaterstandverandering als gevolg van landgebruikverandering is het gebruik van beide landgebruik scenario's niet noodzakelijk, maar wel als de ruimtelijke spreiding van de effecten en de lokale effecten belangrijk zijn.

#### *De ontwikkeling van het waterbeheer*

In dit onderzoek is duidelijk geworden dat er verschillen zijn in het gevoerde waterbeheer tussen de landgebruikclassen en dat het effect op de grondwaterstand groter is door het aanpassen van het waterbeheer dan door verdampingsveranderingen. Op basis hiervan kan worden gesteld dat het aanpassen van waterbeheerparameters aansluitend op het landgebruik aandacht verdient. Het aanpassen van waterbeheerparameters die aansluiten op het toekomstig landgebruik is echter complex gebleken. De moeilijkheid hierin is om te bepalen welke parameterwaarde het nieuwe landgebruik krijgt, mede door de onzekerheid over hoe het waterbeheer zich in de toekomst ontwikkelt. Net als andere scenario's is de ontwikkeling van het waterbeheer op lange termijn onzeker, omdat de koers afhankelijk is van maatschappelijke keuzes en ontwikkelingen. Kijkend naar afgelopen decennia is het waterbeheer in Nederland veranderd van een eenzijdige benadering gericht op het verbeteren van de ontwatering en afwatering tot een meer integrale vorm van waterbeheer waarbij wordt uitgegaan van de samenhang in het hele watersysteem (oppervlakte- en grondwater) met bijhorende functies (V&W, 2000). Het is niet ondenkbaar dat bestaande landgebruik functies in de toekomst een andere vorm van waterbeheer hebben. In de studie van Schaeffer en Hanje (2006) is bijvoorbeeld voor het veenlandschap in Friesland een visie neergelegd waarbij de landbouw, natuur en het stedelijk gebied in de toekomst een meer waterrijk karakter krijgen. In deze gebieden wordt ingezet op hogere en meer flexibele waterpeilen, gebaseerd op het principe waarbij water een meer ordende functie krijgt.

In dit onderzoek zijn aanpassingen gedaan aan de drainageniveaus en weerstanden van buisdrainage en waterlopen. De aanpassing van deze waterbeheerparameters is gebaseerd op het voortzetten van het huidige waterbeheerbeleid. Het huidige waterbeheer wordt voornamelijk gevoerd volgens het principe "peil volgt functie", terwijl met de komst van het rapport "Waterbeheer voor de 21e eeuw" (V&W, 2000) de visie van het waterbeheerbeleid meer gericht is op het principe "functie volgt peil". Al blijkt uit de praktijk, dat het gekozen principe van het gevoerde waterbeheer afhankelijk is van de wensen en mogelijkheden in een gebied.

**Tabel 8.1: Principes voor de ontwikkeling van het waterbeheer.**

Beheren en keren / peil volgt functie	Het waterbeheer is gericht op het beheren en keren van water. Het landgebruik wordt gebruikt als ordende principe. Dit betekent veel kleinschalige peilgebieden met technische ingrepen en voorzieningen in het watersysteem om het water te beheersen.
Anticiperen en meebewegen / functie volgt peil	Dit is het anticiperen en meebewegen met water waarbij water als ordende principe wordt gebruikt. Dit betekent veel grootschalige peilgebieden met meer natuurlijk peilbeheer, weinig technische ingrepen en meer ruimte voor water.



**Afbeelding 8.1:** Links is het principe "beheren en keren van water" afgebeeld (DLG, 2006) en rechts is een voorbeeld gegeven van landgebruik functies in een waterrijke omgeving, volgens het principe "anticiperen en meebewegen met water" (Kwakernaak en Dauvellier, 2007).

Voor het uitvoeren van hydrologische berekeningen op basis van toekomstige ontwikkelingen, zou het interessant zijn om voor het waterbeheer verschillende scenario's te schetsen die aansluiten op klimatologische en sociaaleconomische ontwikkelingen. In tabel 8.1 zijn twee strategieën genoemd, die de koers bepalen van het lokale en regionale waterbeheer op hoofdlijnen. Op basis van waterbeheer scenario's kunnen uitgangspunten voor de ontwikkeling van het toekomstig waterbeheer worden opgesteld, waarmee onder andere slootpeilen en de toepassing van buisdrainage van percelen in het NHI kunnen worden aangepast. Aandachtspunt hierbij is dat het niet waarschijnlijk is dat in de toekomst consequent één van de twee principes wordt toegepast, omdat aanpassingen in het

watersysteem niet eenvoudig zijn door tegenstrijdige belangen van landgebruik functies en de hoge ruimtedruk in Nederland.

Voor de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI wordt met betrekking tot de temporele resolutie aanbevolen om;

- scenario's van het toekomstig waterbeheer te schetsen die aansluiten op klimatologische en sociaaleconomische ontwikkelingen:

Het principe "anticiperen en meebewegen met water" sluit bijvoorbeeld goed aan bij het landgebruik scenario RC, waarbij landgebruik functies een meer waterrijk karakter krijgen. Het principe "beheren en keren" past weer beter bij het landgebruik scenario GE, waarbij het waterbeheer vergelijkbaar is met het huidig gevoerde waterbeheer.

#### 8.4 Functionele resolutie

##### *Het aanpassen van NHI-parameters*

Op basis van landgebruik scenario's zijn modelparameters van het NHI aangepast. De parameters die betrekking hebben op de onverzadigde zone (Metaswap) worden in het NHI automatisch aangepast door een combinatie van het landgebruikbestand en kennistabellen. Het gaat hier om hydrologische relaties die ook in de toekomst onveranderd zullen blijven. Voor het aanpassen van waterbeheerparameters is in dit onderzoek een GIS-model gemaakt om de invoerbestanden van het NHI aan te passen. Aan de gridcellen waarvan het landgebruik verandert is een nieuwe parameterwaarde toegekend. Deze parameterwaarde is de gemiddelde waarde van dezelfde landgebruikklasse in de betreffende regio waar de landgebruikverandering plaatsvindt. Om de gemiddelde waarde te bepalen is een berekening uitgevoerd op basis van het NHI-landgebruikbestand en de aan te passen NHI-parameters. Om extreme veranderingen van waterbeheerparameters te voorkomen is het gemiddelde van elke landgebruikklasse berekend per waterhuishoudkundige regio (WH-regio). Niet onderzocht is of de berekende gemiddelde waarde representatief is voor regio's met een groot oppervlak, waarbij gebiedskenmerken zoals het maaiveld reliëf, ondergrond, grond- en oppervlakteregime minder homogeen verdeeld zijn. Extreme veranderingen aan waterbeheerparameters is ook voorkomen door aanpassingen van het slootpeil en de buisdrainage-diepte te begrenzen op een verandering van maximaal 1 meter. Voor de drainageweerstand van waterlopen en buisdrainage is geen grens voor verandering gebruikt. Niet onderzocht is of het begrenzen van de verandering van de drainageweerstand betere resultaten oplevert.

Modelparameters met betrekking tot de doorspoeling van oppervlaktewater en onttrekkingen ten behoeve van industrie en drinkwater zijn in dit onderzoek niet aangepast. De locatie en capaciteit kan in het modelonderdeel DM en Modflow worden gedefinieerd. Beide aspecten zijn niet alleen afhankelijk van veranderend landgebruik, maar ook van

ontwikkelingen zoals de watervraag, waterverdeling, waterkwaliteit en de doorspoel- en onttrekkingscapaciteit. Voor aanpassing van deze twee aspecten is een verdergaande analyse noodzakelijk dan in dit onderzoek haalbaar is. Al is deze problematiek wel interessant omdat veranderingen van doorspoelings- en onttrekkingshoeveelheden wel hun weerslag hebben op de hydrologie, zowel op de waterkwantiteit als waterkwaliteit (Stuurman et al, 2007, Deltares, 2012).

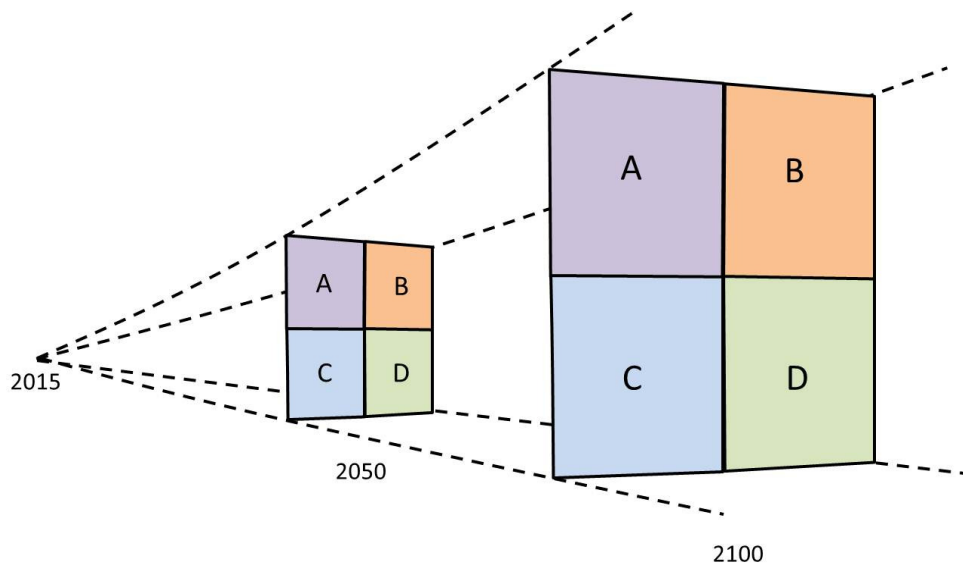
#### *Gebruik van landgebruik scenario's voor hydrologische studies voor lange termijn verkenningen*

In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen de effecten van landgebruik scenario's en de effecten op basis van scenario's waarin landgebruikverandering, klimaatverandering en bodemdaling zijn gecombineerd (Deltares, 2012). Op regionale en landelijke schaal kan worden geconcludeerd dat de effecten op de GHG en GLG verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de effecten van gecombineerde scenario's. Wel is geconstateerd dat de verdampingsverandering die sterk gerelateerd is aan het landgebruik een substantiële invloed kan hebben op de toekomstige regionale watervraag vanuit akkerbouw, natuur en het stedelijk gebied. Desalniettemin zullen de effecten op de grondwaterstand als gevolg van landgebruikverandering belangrijker worden naar mate de lokale effecten meer aandacht krijgen, bijvoorbeeld voor berekeningen van schade als gevolg van zetting.

Benadrukt wordt dat het hier om de vergelijking gaat tussen landgebruikveranderingen als gevolg van socio-economische ontwikkelingen. Socio-economische ontwikkelingen leiden mede tot veranderingen in de vraag naar drinkwater, industriële watervraag, koelwatervraag en eisen aan de waterkwaliteit. Afhankelijk van het scenario heeft de veranderende watervraag door deze ontwikkelingen een mogelijk groter effect op het (grond)watersysteem dan de afnemende waterbeschikbaarheid door klimaatverandering. Hetzelfde geldt voor veranderende rivierafvoeren die mede worden beïnvloed door socio-economische ontwikkelingen (Deltares, 2012).

#### *Scenario's en onzekerheden*

Opgemerkt moet worden dat ongeacht de ruimtelijke, thematische, temporele en functionele onzekerheden alle scenario's een bepaalde mate van onzekerheid hebben. Daarom worden ze in een bepaalde bandbreedte geplaatst om uitersten van mogelijke ontwikkelingen te verkennen. Wel geldt, zoals in afbeelding 8.2 is geïllustreerd, dat hoe verder in toekomst wordt gekeken, des te groter de bandbreedte van onzekerheid. Tot slot een interessante uitspraak in de rapportage van Deltares (2013) over het gebruik van scenario's: "*Scenario's zijn altijd plausibel, in de zin dat ze voorstelbaar zijn, maar we kunnen niet weten of ze ooit werkelijkheid worden.*"



**Afbeelding 8.2: Toename bandbreedte van scenario's in de toekomst.**

Voor de koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI wordt met betrekking tot de functionele resolutie aanbevolen om;

- te onderzoeken of de berekende gemiddelde waarden van waterbeheerparameters op basis van de huidige situatie representatief zijn voor de regio's die in dit onderzoek gebruikt zijn. Mogelijk leveren kleinere ruimtelijke eenheden betere resultaten op;
- randvoorwaarden vast te leggen om waterbeheerparameters op een systematische en consequente manier in een hydrologisch model aan te passen aansluitend op het toekomstig landgebruik;
- het proces te vereenvoudigen, om waterbeheerparameters aan te passen die sterk gerelateerd zijn aan het landgebruik. Hieraan is al deels invulling gegeven door de mogelijkheid om buisdrainage-parameters aan te passen. Met een recentelijk beschikbaar gekomen functionaliteit in het NHI (versie 3.0) is het mogelijk om op basis van het landgebruik scenario de diepte en drainageweerstand van buisdrainage aan te passen voor de landgebruiksklassen stedelijk gebied, boomteelt, bollen en natuur.

## 9 CONCLUSIE

In dit onderzoek is de koppeling tussen het landgebruik model de Ruimtescanner en het hydrologische model het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium onderzocht. Beide modellen worden momenteel ingezet voor landelijke studies, waaronder voor watervraagstukken in het Deltaprogramma. Op basis van de koppeling is het effect van landgebruikverandering op de GHG, GLG en verdamping berekend.

Het doel van dit onderzoek is tweeledig. Het eerste doel is om te bepalen of de Ruimtescanner geschikt is om te koppelen aan het NHI. Het tweede doel is om met een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI de invloed van veranderd landgebruik op de hydrologie te kwantificeren.

De hoofdvraag van het onderzoek is: *“Hoe groot is de invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie?”*

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn de volgende subonderzoeksvragen op basis van literatuurstudie en kwantitatieve analyses beantwoord:

### 1) Wat is de relatie tussen het landgebruik en de hydrologie?

Uit de literatuur en de kwantitatieve analyse is gebleken dat het landgebruik een sterke relatie heeft met de hydrologie. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de directe en indirecte invloed van het landgebruik op de hydrologie:

- **Directe invloed:** Met de directe invloed wordt bedoeld de invloed van het landgebruik op de verdamping en de verhardingsgraad en daarmee de netto neerslag die het grondwater bereikt. Uit de uitgevoerde literatuurstudie en analyse op basis van de huidige situatie blijkt, dat er van de verdamping duidelijke hydrologische verschillen zijn tussen de landgebruikklassen. Het landgebruik heeft een sterkere relatie met verdamping dan bijvoorbeeld het bodemtype.  
De hoeveelheid neerslag die het grondwater bereikt is ook afhankelijk van de verhardingsgraad van de ondergrond. In gebieden met een hoge verhardingsgraad zoals het stedelijk gebied, stroomt veel neerslag oppervlakkig af naar het oppervlaktewater en is de grondwateraanvulling beperkt. De verdamping en verhardingsgraad zijn belangrijk voor de interactie tussen het grondwatersysteem, vegetatie en atmosfeer.
- **Indirecte invloed:** Met de indirecte invloed wordt bedoeld de invloed van het landgebruik op het gevoerde waterbeheer. Elk type landgebruik stelt andere eisen aan het waterbeheer. Waterbeheeraspecten die een belangrijke relatie hebben met het landgebruik zijn peilbeheer, buisdrainage, beregening en doorspoeling. Het waterbeheer is belangrijk voor de interactie tussen het oppervlaktewater- en grondwatersysteem.

## 2) Op welke manier kan de Ruimtescanner gekoppeld worden aan het NHI en welke onzekerheden en kansen brengen dit met zich mee?

Een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI is goed mogelijk. Om de landgebruik scenario's van de Ruimtescanner geschikt te maken als invoer voor het NHI, zijn wel een aantal omzettingen nodig. Het omzetten brengt een aantal onzekerheden met zich mee, maar biedt ook kansen om landgebruik scenario's te gebruiken voor toekomstige watervraagstukken. De conclusies met betrekking tot onzekerheden en kansen zijn opgesplitst in drie thema's:

### Ruimtelijke resolutie:

- Voor de omzetting van het RS-landgebruikbestand naar een NHI-landgebruikbestand vindt opschaling van gridcellen plaats van 100 bij 100 meter naar 250 bij 250 meter. Op lokaal niveau verdwijnen door het opschalen kleine of smalle elementen die voorkomen in het originele grid. Uit de analyses blijkt dat de verschillen op regionaal niveau tussen het oorspronkelijk en opgeschaalde grid klein zijn (<3%).

### Thematische resolutie:

- Een aantal van de 23 RS-landgebruikclassen komen niet één op één overeen met de NHI-landgebruikclassen. Dit zijn de klassen: recreatie, droge natuur, akkerbouw, grondgebonden veeteelt, intensieve veeteelt, meerjarige teelt en de klassen van het stedelijk gebied. Voor deze klassen zijn meerdere keuzemogelijkheden aanwezig.
- Voor de RS-landgebruikklasse droge natuur is het vanuit hydrologisch oogpunt interessant om onderscheid te maken tussen de klassen droge natuur, loofbos en naaldbos.
- De Ruimtescanner maakt onderscheid in diverse vormen van stedelijk gebied. Dit biedt de mogelijkheid om voor hydrologische berekeningen onderscheid te maken in de verhardingsgraad van stedelijke landgebruikclassen.

### Temporele resolutie:

- Door de gehanteerde methodiek in dit onderzoek wordt er meer detailniveau toegevoegd aan de RS-landgebruikclassen grondgebonden veeteelt, akkerbouw, meerjarige teelt en droge natuur dan oorspronkelijk door de Ruimtescanner met een bepaalde betrouwbaarheid is berekend. Een hogere complexiteit door een gedetailleerde beschrijving van de landgebruikclassen, betekent ook een hogere onzekerheid.
- In de toekomstscenario's wordt uitgegaan van bestaande functies van het landgebruik. Het is niet ondenkbaar dat in de toekomst functies verdwijnen en nieuwe functies van het landgebruik ontstaan door ingrijpende maatschappelijke keuzes als gevolg van klimaatverandering en bodemdaling.
- In dit onderzoek zijn op basis van de landgebruik scenario's, met bepaalde voorwaarden, aanpassingen gedaan aan waterbeheerparameters. Het aanpassen van waterbeheerparameters aansluitend op het nieuwe landgebruik verdient aandacht,

omdat het aanpassen van waterbeheerparameters een sterk effect hebben op de grondwaterstand. Daarbij is onzeker wat de koers is van het waterbeheerbeleid op lange termijn. Deze is net als andere scenario's afhankelijk van maatschappelijke keuzes en ontwikkelingen. Voor het waterbeheer op lokaal niveau ontbreekt een bandbreedte over hoe het waterbeheer zich ontwikkelt.

### **3) Wat is de invloed van het landgebruik in 2040 op de hydrologie kijkend naar de verdamping en de grondwaterstand?**

Met het NHI zijn de hydrologische effecten van het toekomstig landgebruik onderzocht. Het uitgangspunt van de berekeningen zijn het met de Ruimtescanner gesimuleerde referentiescenario (2006) en de landgebruik scenario's van 2040, scenario's GE en RC. Op basis van de berekening met het NHI wordt het volgende geconcludeerd:

#### **Lokale effecten en regionale effecten:**

- De effecten op de GHG, GLG en verdamping als gevolg van landgebruikveranderingen zijn met name lokaal groot. Op regionale schaal zijn de effecten gering.
- Op basis van de berekening met een droog jaar (1/10 jaar) ligt voor beide scenario's de gemiddelde verandering van de GHG en GLG tussen de -0,02 m en -0,09 m. De verdamping wordt op jaarbasis gemiddeld kleiner (-54 mm/jaar) en in het RC scenario op jaarbasis gemiddeld groter (+29 mm/jaar).
- Lokaal kunnen verschillen van de GHG en GLG voorkomen tot 80 cm en van de verdamping tot 500 mm.

#### **Laag-Nederland en Hoog-Nederland:**

- In Laag-Nederland liggen de gebieden met verdroging en vernatting dicht bij elkaar. Op de hoge zandgronden is voornamelijk een verlaging te zien van de GHG en GLG. Het effect op de GHG en GLG is in Laag-Nederland extremer dan in Hoog-Nederland. Een mogelijke verklaring voor dit beeld is dat in Laag-Nederland de grondwaterstand ondiep is en direct beïnvloed wordt door aanpassingen van het waterbeheer en verdampingsveranderingen.
- Het invloedsgebied van de effecten is in Hoog-Nederland groter dan in Laag-Nederland. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in bodemeigenschappen en doordat in Laag-Nederland de effecten door gereguleerd waterbeheer worden begrensd.

#### **Landgebruikverandering:**

- De grootste effecten vinden plaats waar kale grond plaats maakt voor een andere landgebruikklasse en waar een landgebruikklasse verandert naar glastuinbouw of stedelijk gebied.

#### **Landgebruik scenario GE en RC:**

- De verschillen van de GHG en GLG tussen scenario GE en RC zijn gering. Alleen het oppervlak van de effecten is groter in scenario GE dan in scenario RC. Dit kan worden



verklaard doordat in scenario GE de verschuivingen van het landgebruik omvangrijker zijn dan in scenario RC.

- De verschillen van de verdamping tussen scenario GE en RC zijn in een aantal WH-regio's groot. Dit kan worden verklaard doordat in een aantal regio's de ontwikkeling van landgebruikklasse tussen beide scenario's verschillend is en de verdamping sterk afhankelijk is van het landgebruik.

#### **Primaire effecten en secundaire effecten:**

- Er zijn duidelijk verschillen aanwezig tussen de directe invloed en indirecte invloed van landgebruikveranderingen op de GHG en GLG. Het aanpassen van het waterbeheer aansluitend op het 'nieuwe' landgebruik hebben een sterker effect op de GHG en GLG (secundaire effect) dan door alleen verdampingsveranderingen (primaire effect). Dit verschil is met name aanwezig in het oppervlak van het effect op de grondwaterstand, die groter wordt door aanpassing van waterbeheerparameters ten opzichte van alleen verdampingsverandering.

#### **4) Hoe verhoudt de invloed van landgebruik scenario's zich tot de invloed van overige toekomstige ontwikkelingen?**

De hydrologische effecten als gevolg van landgebruikveranderingen zijn met name lokaal vergelijkbaar met andere toekomstige ontwikkelingen. Op regionale en landelijke schaal kan worden geconcludeerd dat de effecten op de GHG en GLG verwaarloosbaar zijn in vergelijking met de effecten van gecombineerde scenario's met klimaatverandering en bodemdaling. Wel is geconstateerd dat de verdampingsverandering als gevolg van landgebruikverandering, en daarmee de invloed op de regionale watervraag vanuit akkerbouw, natuur en het stedelijk gebied, vergelijkbaar is met de effecten als gevolg van klimaatverandering.

#### **5) Hoe groot is de invloed van het veranderend landgebruik op de hydrologie?**

Concluderend kan worden gesteld dat een koppeling tussen de Ruimtescanner en het NHI goed mogelijk is en daarmee het effect van veranderend landgebruik op de hydrologie kan worden bepaald.

De resultaten uit dit onderzoek tonen aan dat de effecten op de GHG, GLG verdamping als gevolg van landgebruikveranderingen, die voor 2040 zijn voorspeld, met name lokaal groot zijn. Op regionale schaal zijn de effecten gering. In vergelijking met de effecten van gecombineerde toekomstscenario's met klimaatverandering en bodemdaling zijn de effecten van landgebruikverandering op de GHG en GLG op lokale schaal vergelijkbaar en op regionale schaal verwaarloosbaar. Voor de verdamping geldt, dat de lokale en regionale verdampingsverandering als gevolg van landgebruikverandering, vergelijkbaar zijn met de verdampingsverandering als gevolg van klimaatverandering.

## LITERATUURLIJST

Alterra (2006) Grondsoortenkaart van Nederland, versie 2006. WUR - Alterra, Wageningen. [Online] beschikbaar via: <http://www.wageningenur.nl/nl/show/Grondsoortenkaart.htm>.

Baarda, D.B. en de Goede, M. P. M. (2001) Basisboek Methoden en Technieken. Een handleiding voor het opzetten en uitvoeren van onderzoek. Derde druk. Wolters-Noordhoff, Groningen/Houten.

Batelaan, O. en de Smedt, F. (2001) Wetspass: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modelling. In: Gehrels, H. et al (Red.). Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics 269, p. 11-17. IAHS, Wallingford.

Batelaan, O., de Smedt F. en Triest, L. (2003) Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping. Groundwater modelling and impact analysis of land-use change. Journal of Hydrology 275 (2003), p. 86-108. Elsevier.

Batelaan, O. en De Smedt, F. (2007) GIS-based recharge estimation by coupling surface-subsurface water balances. Journal of Hydrology 337 (3-4), p 337-355. Elsevier.

Bosch, J.M. en Hewlett, J.D. (1982) A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Journal of Hydrology 55 (1-4), p. 3-23. Elsevier.

Borsboom- van Beurden, J.A.M., de Regt, W. en Schotten, C.G.J. (2002) Land Use Scanner: the continuous cycle of application. Evaluation and improvement of land use modelling. Gepresenteerd op het 42e congres van de European Regional Science Association, 27-31 augustus. Dortmund, Duitsland.

Borsboom- van Beurden, J.A.M., Boersma, W.T., Bouwman, A.A., Crommentuijn, L.E.M., Dekkers, J.E.C. en Koomen, E. (2005) Ruimtelijke Beelden: Visualisatie van een veranderd Nederland in 2030. RIVM-rapport 550016003. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.

Borsboom- van Beurden, J.A.M., Bakema, A. en Tijbosch, H. (2007) A land-use modelling system for environmental impact assessment. Recent applications of the LUMOS toolbox. In: Koomen et al (eds.). Modelling land-use change. Progress and applications. p. 281-296. Springer, Dordrecht.

Brown, A.E., Zhang, L., McMahon, T.A., Western, A.W. en Vertessy, R.A. (2005) A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. Journal of Hydrology 310, p 28-61. Elsevier.

Bruggeman, W., Dammers, E., van den Born, G.J., Rijken, B., van Bommel, B., Bouwman, A., Nabielek, K., Beersma, J., van den Hurk, B., Polman, N., Linderhof, V., Folmer, C., Huizinga, F., Hommes S. en te Linde, A. (2013) Deltascenario's voor 2050 en 2100. Nadere uitwerking 2012-2013. Deltares, Utrecht.

CPB, MNP en RPB (2006) Welvaart en leefomgeving. Een scenariostudie voor Nederland in 2040. Janssen et al (projectleiding en redactie). Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau en Ruimtelijk Planbureau. RIVM, Den Haag.

CBS (2010) Historie bodemgebruik vanaf 1899. [Online] beschikbaar via: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=37105&D1=0-1,5,9,13,18-20,23&D2=0&D3=67,72,77,82,87,92,97,100,I&HDR=T&STB=G1,G2&CHARTTYPE=1&VW=T>.

Daalhuizen, F., van Dam, F., Piek, M. en Sorel, N. (2008) Plattelandsontwikkeling en de gevolgen voor het landschap. Planbureau voor de Leefomgeving/NAi Uitgevers. Den Haag/Rotterdam.

Dams, J., Woldeamlak, S.T., Batelaan, O. (2008) Predicting land-use change and its impact on the groundwater system of the Kleine Nete catchment (België). Hydrology and Earth System Sciences 12, p.1369-1385. AGU - Copernicus Publications.

Dekkers, J.E.C. en Koomen, E. (2005) Simulation of future land use for water management. Assessing the suitability of scenario-based modeling paper voor het 45e congres van de European Regional Science Association, 23-27 augustus. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Dekkers, J.E.C. en Koomen, E. (2007) Land-use simulation for water management: Application of the Land Use Scanner model in two large-scale scenario-studies. In Koomen et al (redactie). Modelling land-use change. Progress and applications. p 355-373. Springer, Dordrecht.

De Lange, W.J. (1996) Groundwater modelling of large domains with analytic elements. RIZA nota 96.028. RIZA, Lelystad.

Deltares (2012) Zoetwatervoorziening in Nederland, Aangescherpte landelijke knelpuntenanalyse in de 21e eeuw, tweede gecorrigeerde druk. Rapport nr. 1205970-000, Deltares, Utrecht.

Deltares (2013) Toepasbaarheid NHI voor het Deltaprogramma Zoetwater. Rapport nr. 1206107-000-BGS-0006. Deltares, Utrecht.

DLG (2006) Functie volgt peil, Investeren in een duurzame economische basis voor de westelijke veenweiden. In opdracht van Taakgroep FES Westelijke Veenweiden (LNV, V&W, VROM), Lifoka kopie en print BV.

EEA (2009) European Environment Agency: Fast Track Service Precursor on Land Monitoring. Degree of soil sealing 100 m. [Online] beschikbaar via: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing-100m-1>.

Gaast, J.W.J. van der, Massop, H.Th.L., Vroon, H.R.J. en Staritsky, I.G. (2006) Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Rapport nr. 1339. Alterra, Wageningen.

Haase, D. (2009) Effects of urbanisation on the water balance. A long-term trajectory. Environmental Impact Assessment Review 29, p. 211 - 219. Elsevier.

Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. en McDonald, M.G. (2000) MODFLOW-2000: The U.S. Geological Survey modular ground-water model. User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process. Rapport nr. 00-92. U.S. Geological Survey.

Hazeu, G.W. (2005) Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Rapport nr. 1213. Alterra, Wageningen.

Hooimeijer, F., Meyer, H. en Nienhuis, A. (2005) Atlas van de Nederlandse waterstad. SUN, Amsterdam.

Hurkmans, R.T.W.L., Terink, W., Uijlenhoet, R., Moors, E.J., Troch, P.A. en Verburg, P.H. (2009) Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin. Water Resources Research 45. AGU.

ICIS (2002) Memo droogtescenario's vertaald in modelinput. In opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA. [Online] beschikbaar via: [http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/gebruiksfuncties/werkwijzer/kennis\\_uit\\_de/map/a/autonome](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/gebruiksfuncties/werkwijzer/kennis_uit_de/map/a/autonome).

Klopstra, D., Versteeg, R. en Kroon, T. (2005) Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland. Eindrapport. RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck.

KNMI (2007) Klimaatscenario's van het KNMI. [Online] beschikbaar via: [http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html#Inhoud\\_2](http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/samenvatting/index.html#Inhoud_2).

KNMI (2013), Dagwaarden van het jaar 2003. KNMI-station De Bilt. [Online] beschikbaar via: <http://www.knmi.nl/klimatologie/>.

Koomen, E (2002) De Ruimtescanner verkend. Kwaliteitsaspecten van het informatiesysteem Ruimtescanner. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Koomen, E., Kuijpers- Linde, M. en Loonen, W. (2008a) Ruimtelijke verkenning Overijssel 2040. Geodan Next, Amsterdam.

Koomen, E., Loonen, W. en Hilferink, M. (2008b) Climate-change adaptations in land-use planning. A scenario-based approach. In Bernard et al (red.). The European Information Society. Taking Geoinformation Science One Step Further. p. 261–282. Springer, Berlin.

Kroes, J.G. en van Dam, J.C. (2003) SWAP version 3.0.3 Reference manual. Rapport nr. 773. Alterra, Wageningen.

Kwadijk, J. (2010) Presentatie gebruikersbijeenkomst Waterscenario's, 18 november 2010, Deltares, Utrecht.

Kwakernaak, C. en Dauvellier, P. (2007) Ruimte, water en klimaat in het Groene Hart. In H2O tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer nr. 22, p. 20 – 22.

Loonen, W., Koomen, E., Verburg, P. en Kuipers-Linde, M. (2006) Land Use MOdeling System (LUMOS). A Toolbox for Land Use Modeling. Definitie studie. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Loonen, W. en Koomen, E. (2009) Calibration and validation of the Land Use Scanner allocation algorithms. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.

MNP (2007) Nederland Later, Tweede duurzaamheidsverkenning, deel Fysieke leefomgeving Nederland, Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.

NHI (2008a) Modelrapportage Nationaal Hydrologisch Instrumentarium. Het hoofd rapport, deelrapporten en databestanden zijn [online] beschikbaar via: [www.nhi.nu](http://www.nhi.nu).

NHI (2008b) Modelrapportage NHI Deelrapport Landgebruik. December 2008. Deltares, Utrecht.

NHI (2008c) Modelrapportage NHI, Deelrapport Berekening. December 2008. Deltares, Utrecht.

NHI (2008d) Modelrapportage NHI, Deelrapport Freatische Lekweerstand. December 2008. Deltares, Utrecht.

NHI (2008e) Modelrapportage NHI, Deelrapport Buisdrainage. December 2008. Deltares, Utrecht.

NHI (2011) Beschrijving van de veranderingen en toetsing in NHI 2.2. Deltares, Utrecht.

NHI (2012) Presentatie NHI Peilen: Hoe worden regionale peilen verwerkt in het NHI, 26 april 2012. In Nieuwsbrief NHI, 24 april 2012. [Online] beschikbaar via: [http://www.nhi.nu/nieuwsbrief/NHI\\_Nieuwsbrief\\_april\\_2012.pdf](http://www.nhi.nu/nieuwsbrief/NHI_Nieuwsbrief_april_2012.pdf).

Nijs, T. de, Engelen, G., White, R., van Delden, H. en Uljee, I. (2001) De LeefOmgevingsVerkenner. Technische documentatie. Rapport nr. 408505 007. RIVM, Bilthoven.

Paulissen, M.P.C.P., Nijboer, R.C. en Verdonschot, P.F.M. (2007) Grondwater in perspectief. Een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland. Rapport. nr. 1447.71. Alterra, Wageningen.

PBL (2006) Intergraal Ruimtegebruik in Europa. [Online] beschikbaar via <http://www.ruimtemonitor.nl/kennisportaal>.

Poelmans, L (2010) Modelling urban expansion and its hydrological impacts. Proefschrift voorgedragen tot het behalen van de graad van Doctor in de Wetenschappen. Katholieke Universiteit Leuven, België.

RAND Europe, Spiekermann & Wegener, Bureau Louter (2005) The development of the TIGRIS XL model: a bottom-up approach to transport, land-use and the economy. In opdracht van AVV Rijkswaterstaat, Leiden.

Rijkswaterstaat (2007) Mest en oppervlaktewater. Een terugblik 1985-2005. Deelrapportage ten behoeve van de Evaluatie Meststoffenwet 2007. Rapport nr. 2007.002. RWS, RIZA.

Riedijk, A., Van Wilgenburg, R., Koomen, E. en Borsboom- van Beurden, J. (2007) Integrated scenarios of socio-economic change. SPINlab Research Memorandum SL-06, Vrije Universiteit, Amsterdam.

RIVM (2000) Nationale Milieuverkenning 2000-2030, RIVM, Bilthoven.

RIZA (2002), MONA, koppelingsconcept MOZART-NAGROM. Beschrijving van de modellentrein. Werkdocument. RIZA, Lelystad.

RIZA (2005) Berekeningen watertekortopgave en maatregelen watertekorten. Achtergrondrapportage berekeningen MOZART voor de Droogtestudie Nederland. RIZA, Lelystad.

Royal Haskoning (2004) Triwaco User's Manual. Final Report. 18 november 2004, Royal Haskoning, Nijmegen.

Saunders, M., Lewis, P. en Thornhill, A. (2006) Methoden en Technieken. Derde editie. Pearson Education Benelux BV.

Scanlon, B.R., Jolly, I., Sophocleous, M., Zhang, L. (2007) Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: quantity versus quality. Water Resources Research 43 (3). AGU.

Schaap, J. en Dik, P. (2007) MetaSWAP meet zich met SWAP. Simulatie van de onverzadigde zone voor regionale en nationale modellen. Stromingen 13 (3). Nederlandse Hydrologische Vereniging.

Schaeffer, M. en Hanje, A. (2006) Vernatuurlijking waterhuishouding Friesland, deelgebied Het Lage Midden. Afstudeerscriptie in het kader van de opleiding Milieukunde. Van Hall Larenstein, Leeuwarden.

Scholten, H.J., Van de Velde, R.J., Rietveld, P. en Hilferink, M. (1999) Spatial information infrastructure for scenario planning: The development of a Land Use Planner for Holland. In: Stillwell et al (red.). Geographical Information and Planning. p. 112-134. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New-York.

Scholten, H.J., van de Velde, R.J., Borsboom- van Beurden, J.A.M. (red) (2001) De RuimteScanner: Informatiesysteem voor de lange termijn verkenning van ruimtegebruik. Netherlands Geographical Studies 242, p. 40-53. KNAG/VU, Utrecht/Amsterdam.

Schotten, C.G.J., Goetgeluk, R., Hilferink, M., Rietveld, P. en Scholten, H.J. (2001) Residential construction, land use and the environment. Simulations for the Netherlands using a GIS-based land use model. Environmental modeling and assessment 6, p. 133-143.

Smidt, E.H. en Emke, M.J. (1991) FLUZO: a programme for vertical flow in the unsaturated zone applicable in regional groundwater flow models. Annales Geophysicae 6 (9), p. 470-471.

Stuurman, R., Baggelaar, P. en van Oostrom, N. (2007) Schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050, Rapport nr. 2007-U-R0225/B, TNO, Utrecht.

SPSS (2002) Basishandboek SPSS 11, Alphons de Vocht, Bijleveld Press, Utrecht.

TU Delft (2008) Waterbeheer. Dictaat CT3011. Technische Universiteit, Delft.

Vázquez-Suñé, E., Sanchez-Vila, X., and Carrera, J. (2005) Introductory review of specific factors influencing urban groundwater. An emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona (Spain). *Hydrogeology Journal* 13(3), p. 522–533.

Veldhuizen, A.A., van Bakel, P.J.T., Kroon, T., de Vries, F. en Massop, H.Th.L. (2008) Conceptualisatie en parametrisatie van landgebruik, bodem, berekening en buisdrainage in het NHI. *Stromingen* 14 (4). Nederlandse Hydrologische Vereniging.

Verburg, P.H. en Overmars, K.P. (2009) Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. *Landscape Ecology* 24 (9), p. 1167-1181.

Ven, F.H.M. van de (1989) Van neerslag tot rioolloop in vlak gebied. RWS, Lelystad.

VU (2002) Landgebruiksimulatie voor Droogtestudie, Vrije Universiteit, Amsterdam.

VU, PBL, Geodan, LEI (2010). Vrije Universiteit, Amsterdam. [Online] beschikbaar via:  
<http://www.ruimtevoorklimaat.nl/instrumenten/B-Ruimtescanner> en  
<http://www.feweb.vu.nl/gis/research/kkf/index.html>.

V&W, Ministerie van (1997) Vierde Nota Waterhuishouding. September 1997, Rijkswaterstaat, Den Haag.

V&W, Ministerie van (2000) Anders omgaan met water. Waterbeleid voor de 21e eeuw. December 2000, Rijkswaterstaat, Den Haag.

Waddell, P. (2002) Urbansim: Modeling Urban Development for Land Use. *Transportation and Environmental Planning. Journal of the American Planning Association* 68 (3), p. 297-314.

Wegner, L.H. (1981) Policy Analysis of Water Management for the Netherlands. *Water Distribution Model. PAWN* 11.

Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum (1988) Cultuurtechnisch Vademecum, Cultuurtechnische Vereniging, ongewijzigde herdrukken in 1991 en 1992 door de Vereniging voor Landinrichting.





WL-Delft Hydraulics (1995) MOZART gebruikershandleiding. Rapport 1606. Delft, maart 1995. Meest recente actualisatie, RIZA, december 2005.

**BIJLAGE 1**

**GEBRUIKTE DATABESTANDEN**

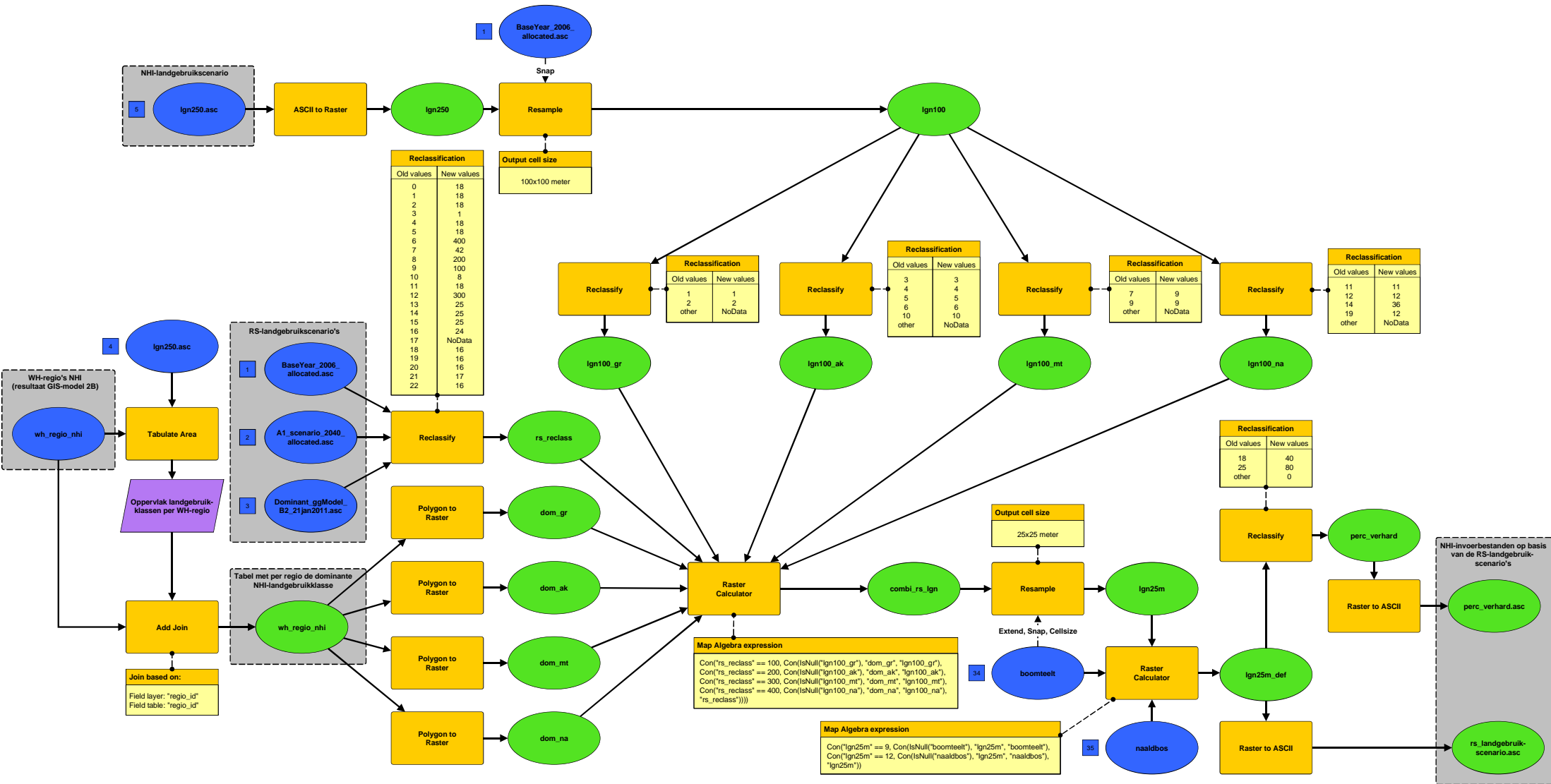
In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de gebruikte datasets. De nummers in de eerste kolom refereren naar de nummers in de GIS-modellen van bijlage 2a t/m 2c.

Nr.	Bestand	Beschrijving	Bron
1	BaseYear_2006_allocated	RS-landgebruik referentiescenario (2006)	Per mail (VU Unigis, Eric Koomen)
2	A1_scenario_2040_allocated	RS-landgebruikscenario 2040 GE (A1)	Per mail (VU Unigis, Eric Koomen)
3	Dominant_ggModel_B2_21jan2011	RS-landgebruikscenario 2040 RC (B2)	Per mail (VU Unigis, Eric Koomen)
4	lgn_250	Landgebruik	<a href="http://www.nhi.nu/bibliotheek.html">http://www.nhi.nu/bibliotheek.html</a> (v2.2)
5	ahn_f250	Maaiveldhoogte	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Ahn\ eindresultaat\
6	bodh_b_250	Diepte buisdrainage	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
7	cond_b_250	Doorlaatvermogen buisdrainage	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
9	bodh_sof_250	Hoogteniveau oppervlakkige afvoer	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
10	peil_p1w_250	Winterpeil primaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
11	peil_s1w_250	Winterpeil secundaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
12	peil_t1w_250	Winterpeil tertiaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
13	peil_p1z_250	Zomerpeil primaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
14	peil_s1z_250	Zomerpeil secundaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
15	peil_t1z_250	Zomerpeil tertiaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
16	bodh_p1w_250	Bodemhoogte primaire watergangen (winter)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
17	bodh_s1w_250	Bodemhoogte secundaire watergangen (winter)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
18	bodh_t1w_250	Bodemhoogte tertiaire watergangen (winter)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
19	bodh_p1z_250	Bodemhoogte primaire watergangen (zomer)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
20	bodh_s1z_250	Bodemhoogte secundaire watergangen (zomer)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
21	bodh_t1z_250	Bodemhoogte tertiaire watergangen (zomer)	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\
22	breedt_p_250	Totale breedte van primaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
23	breedt_s_250	Totale breedte van secundaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
24	breedt_t_250	Totale breedte van tertiaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
25	lengte_p_250	Totale lengte van primaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
26	lengte_s_250	Totale lengte van secundaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
27	lengte_t_250	Totale lengte van tertiaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\v026\brens\
28	cond_p_l0	Doorlaatvermogen primaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\aanvulling2\

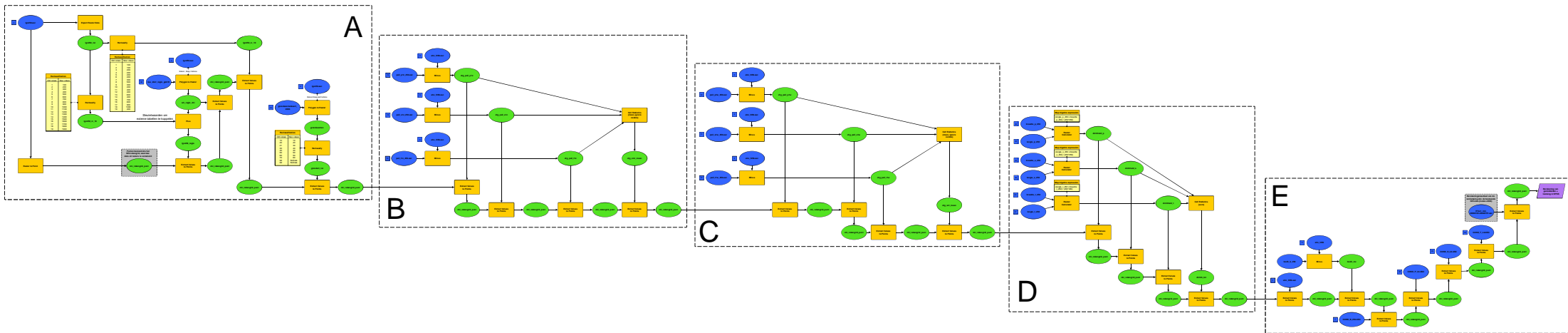
29	cond_s_l0	Doorlaatvermogen secundaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\aanvulling2\
30	cond_t_l0	Doorlaatvermogen tertiaire watergangen	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\Topsysteem\AML2py\NHI3.0\aanvulling2\
31	fact_svat.inp	Gewastabel met verdampingseigenschappen	NHI-server op S:\runs\model_v2.2.1\input\metaswap\version02\
32	lsw_distr_regio_geb10.shp	Waterhuishoudkundige districten NHI	Per mail (Deltares, Joachim Hunnink)
33	Grondsoorten_2006	Grondsoortenkaart van Nederland	Beschikbaar via website <a href="http://www.geodata.alterra.nl/Grondsoorten.htm">http://www.geodata.alterra.nl/Grondsoorten.htm</a>
34	boomteelt	Locaties van boomteelt op basis van data van TOP10Vector	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\metaSWAP\
35	naaldbos	RIVM Natuurkaart	NHI-server op p:\NHI-Data\Bewerkt\metaSWAP\
36	prepare_ds_metaswap.exe (versie van december/januari 2013)	Batch-procedure die invoerbestanden maakt voor MetaSWAP op basis van het ingevoerde landgebruikbestand.	NHI-server op p:\NHI-Activiteiten\2012\Deltascenarios\bewerkt\metaswap\

**BIJLAGE 2**  
**GIS-MODELLEN**

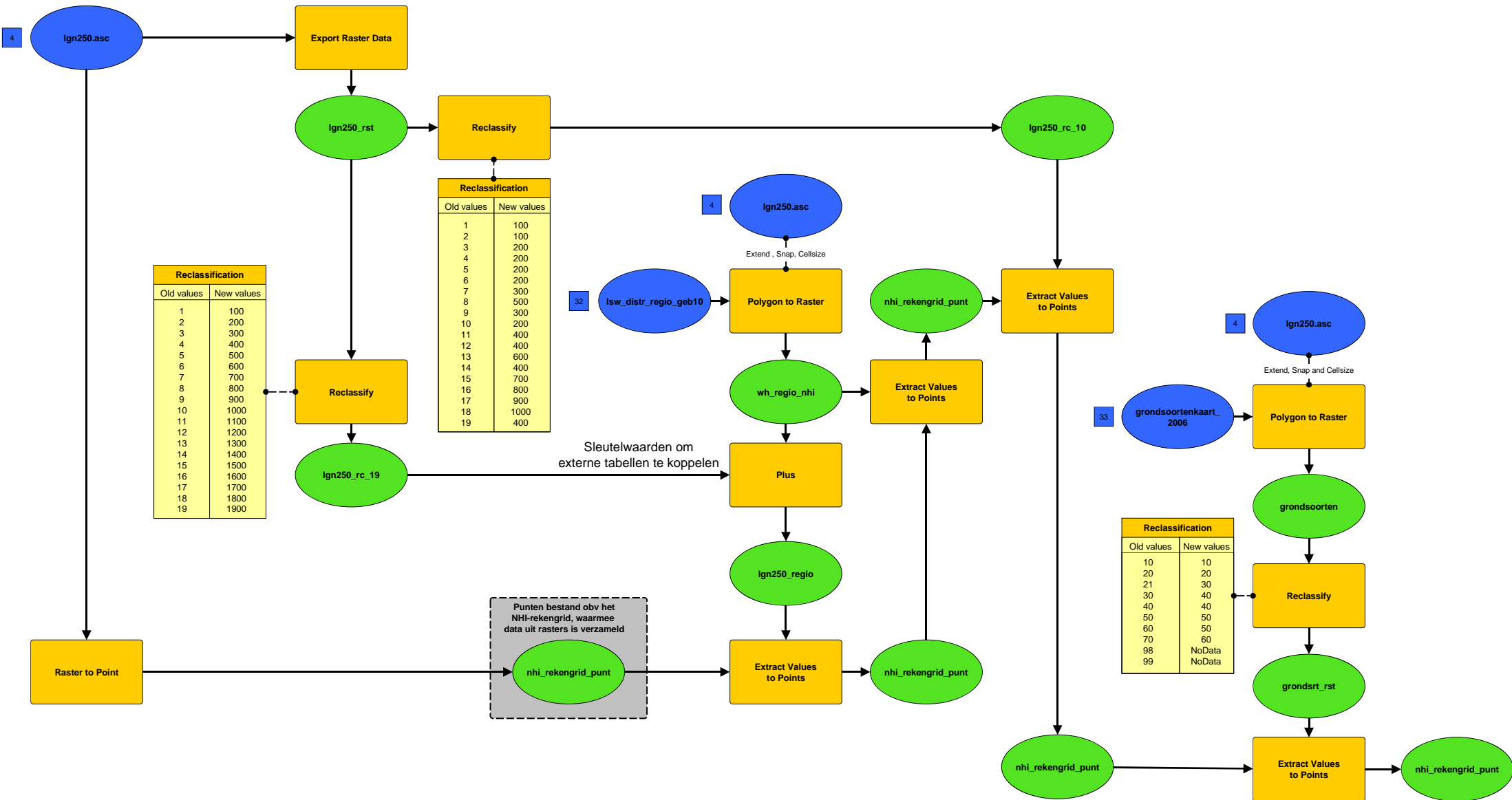
# Omzetten RS-landgebruikscenario



# Analyse NHI-parameters

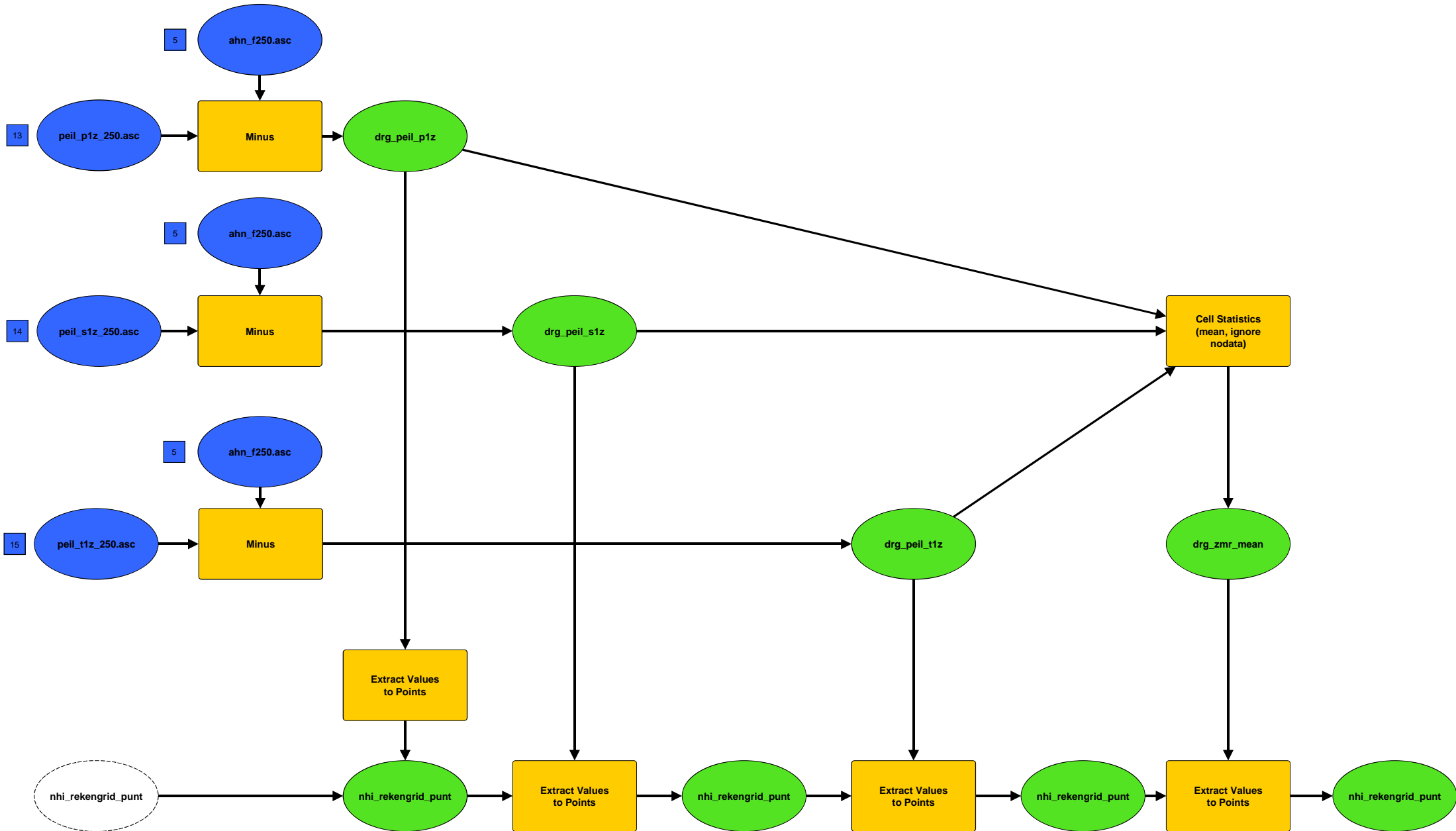


# Analyse NHI-parameters (A)

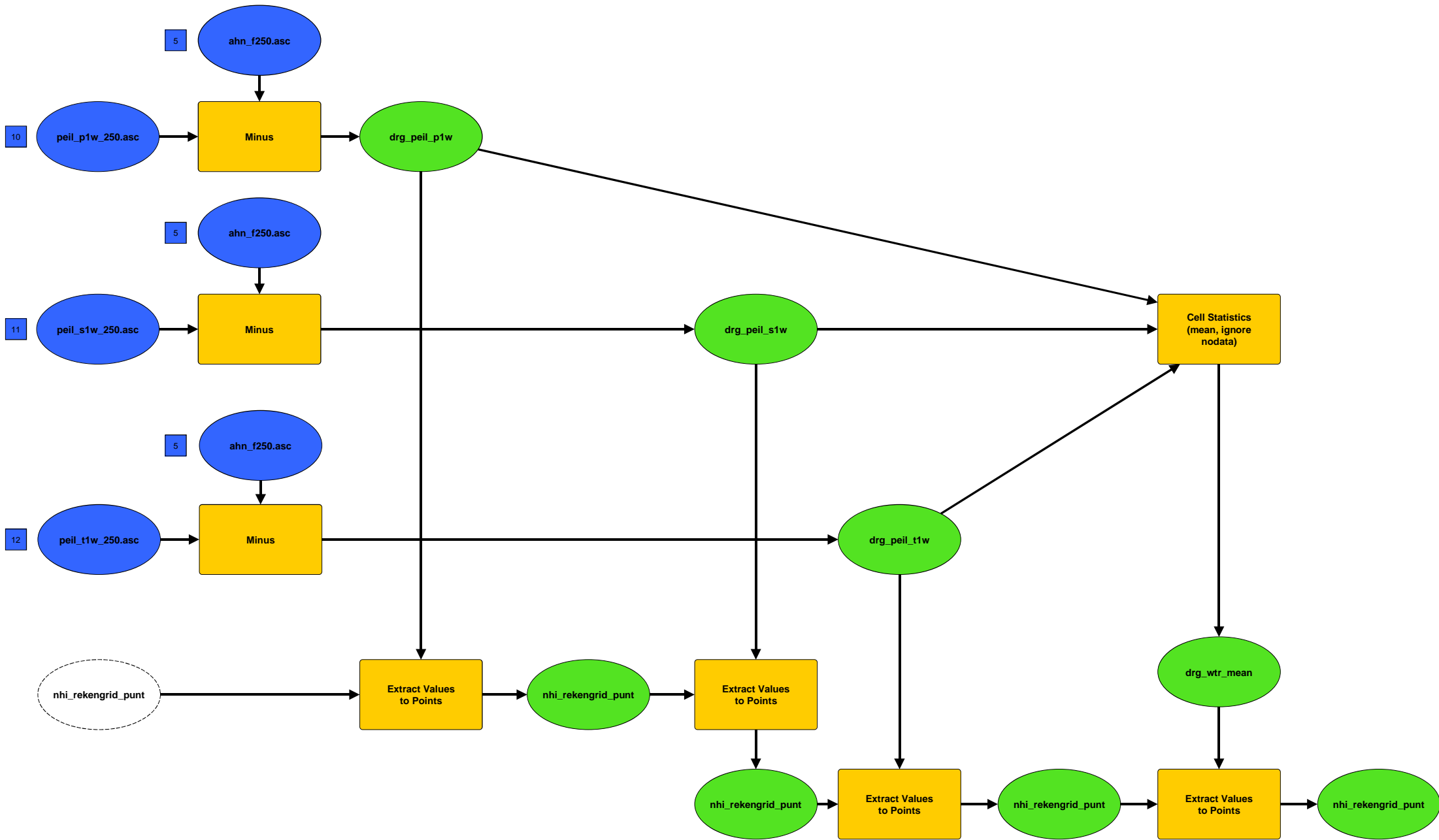




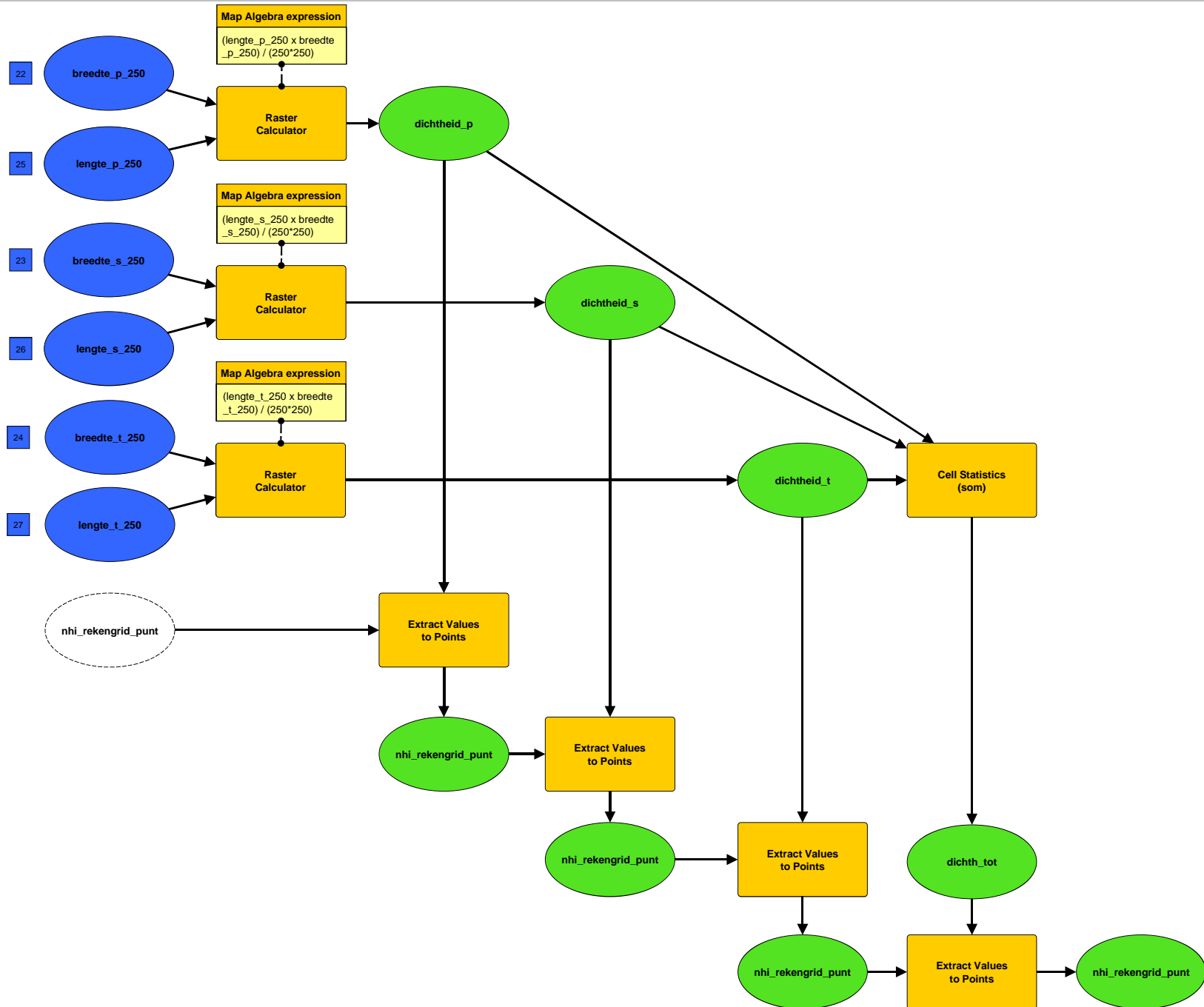
# Analyse NHI-parameters (B)



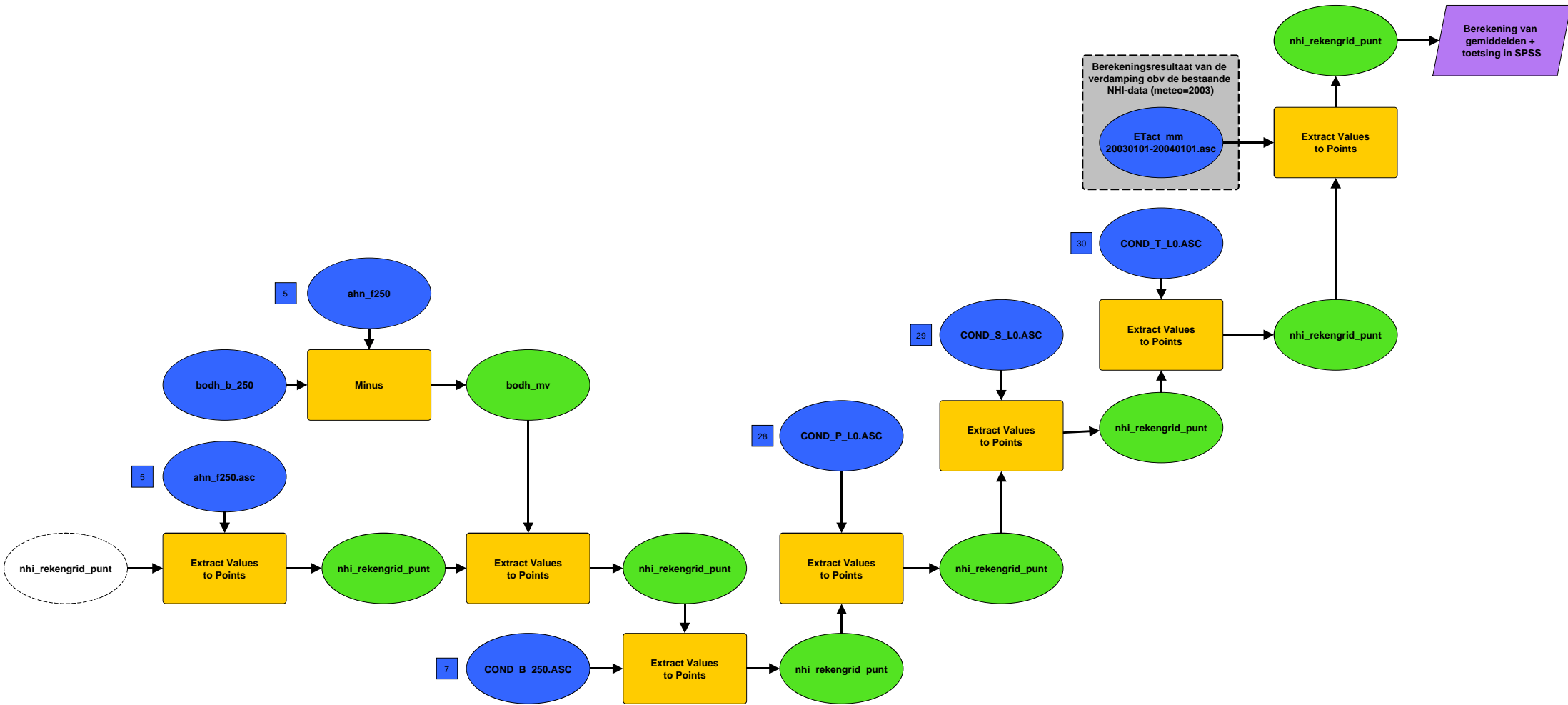
# Analyse NHI-parameters (C)



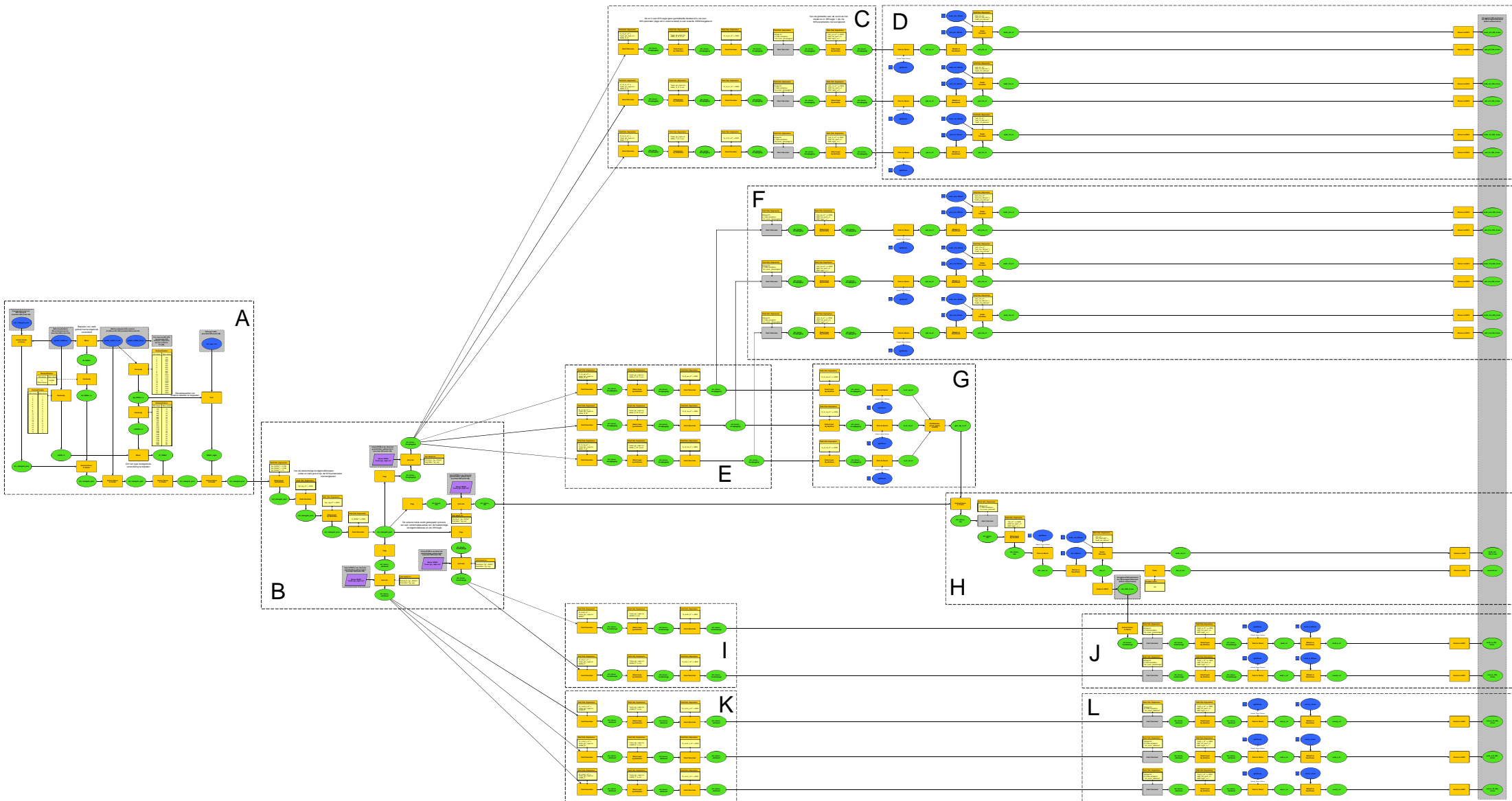
# Analyse NHI-parameters (D)



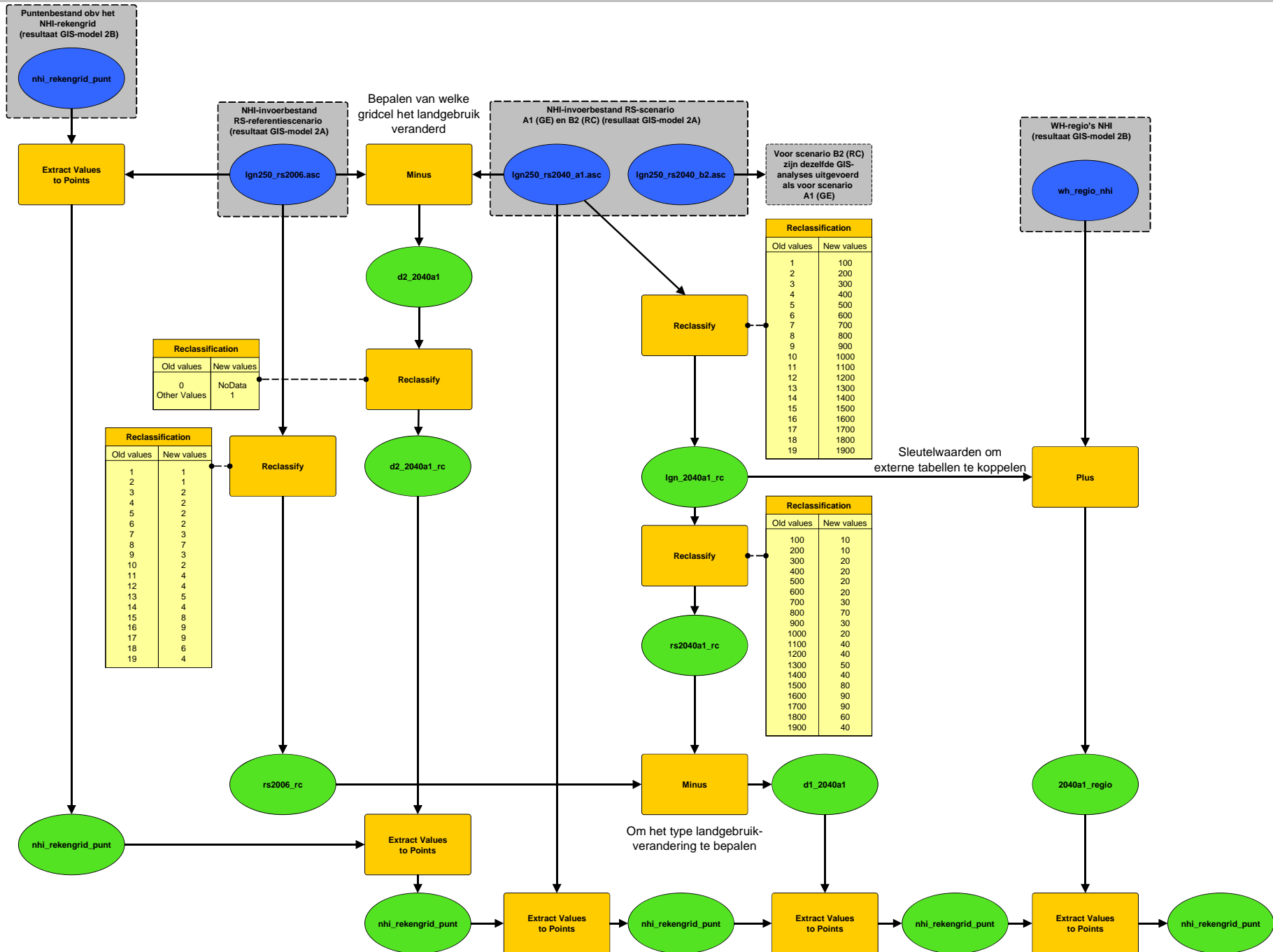
# Analyse NHI-parameters (E)



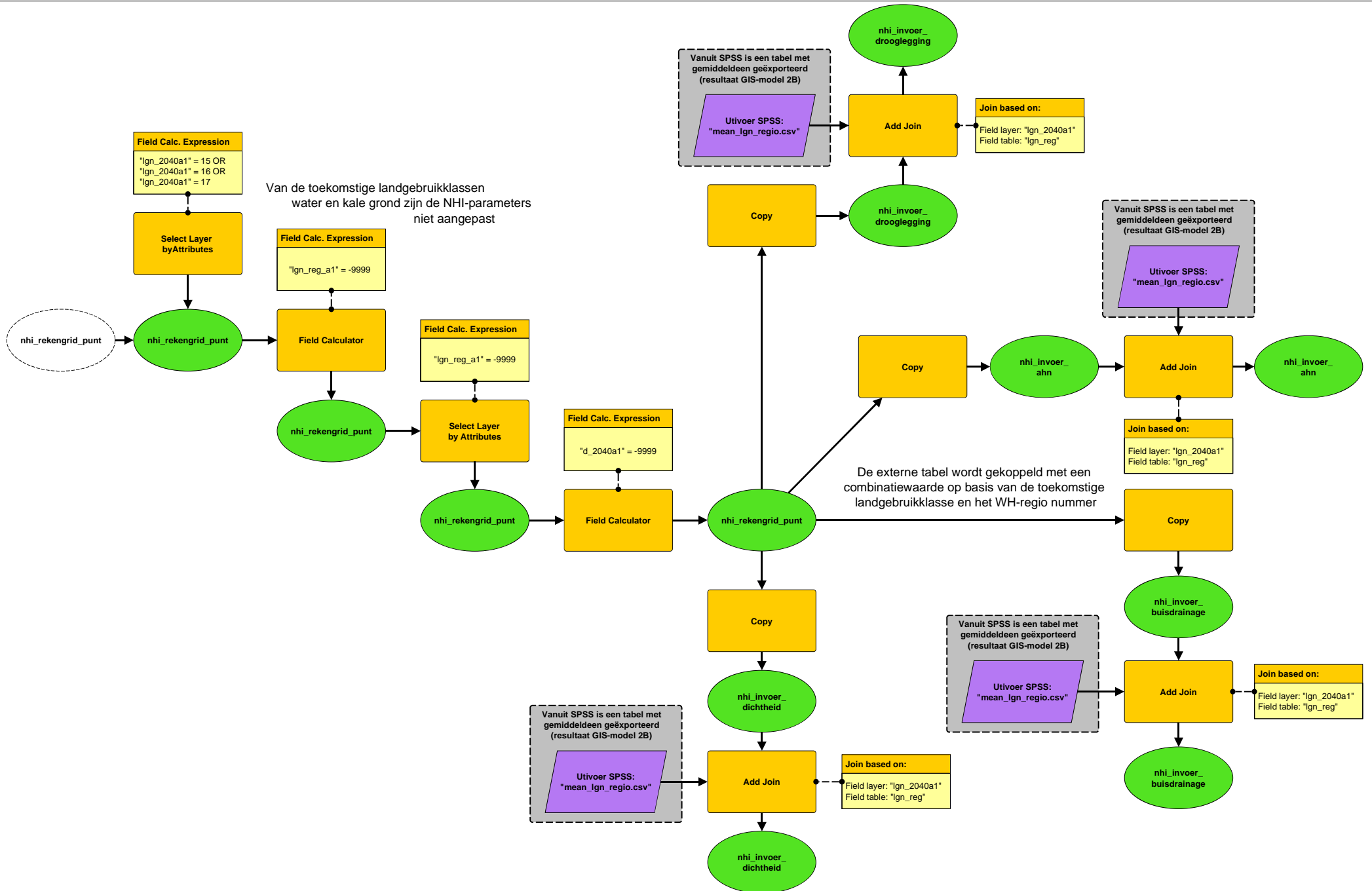
# Aanpassen NHI-parameters



# Aanpassen NHI-parameters (A)



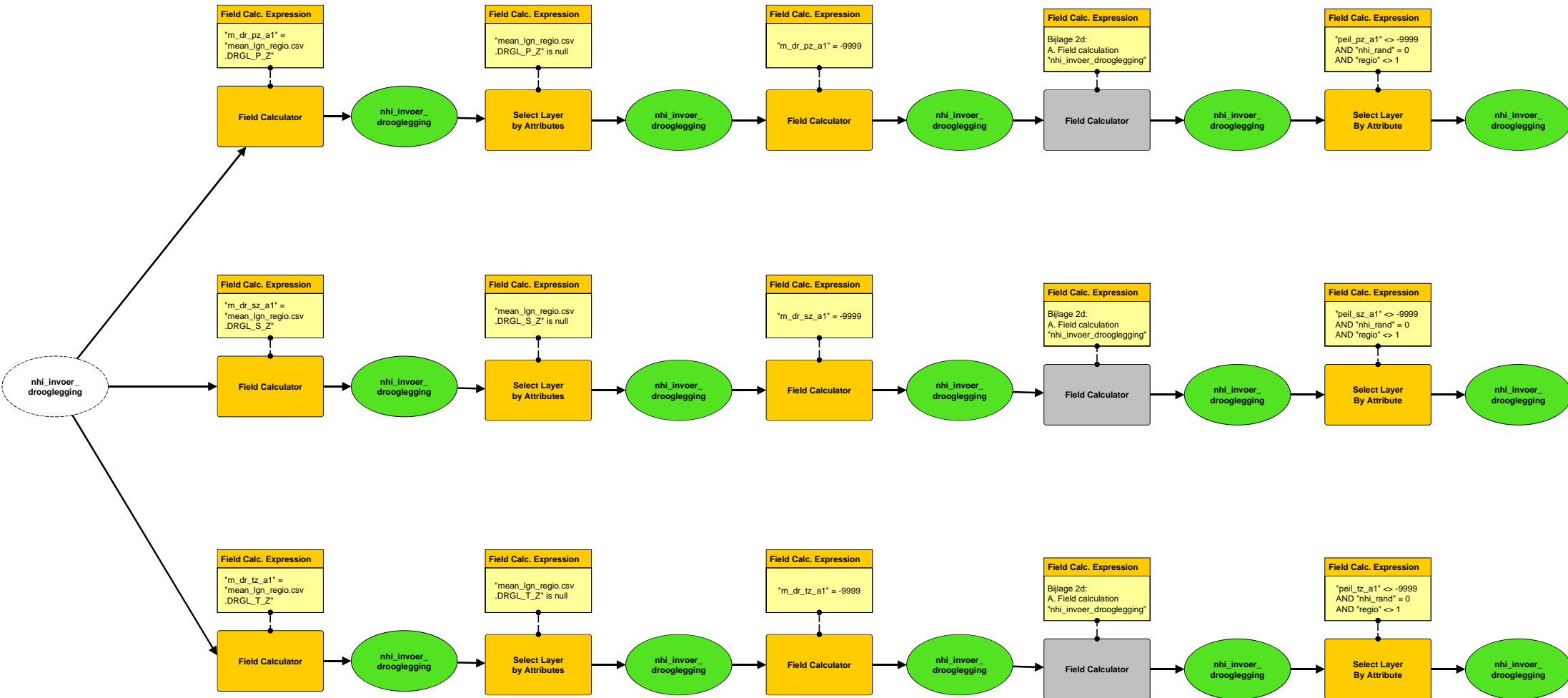
# Aanpassen NHI-parameters (B)



# Aanpassen NHI-parameters (C)

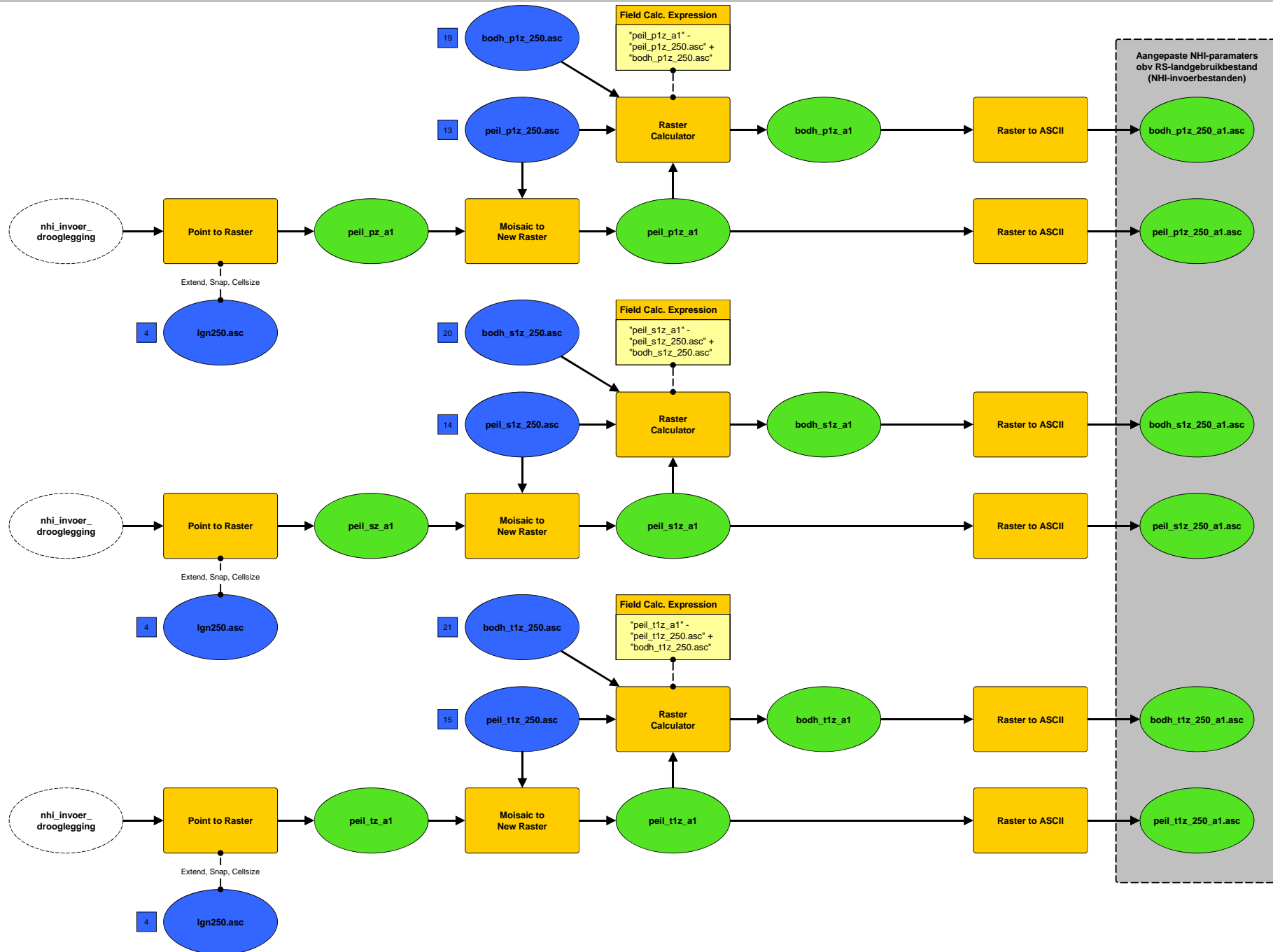
Als er in een WH-regio geen gemiddelde berekend is van een NHI-parameter (lege cel in externe tabel) is een waarde -9999 toegekend

Van de gridcellen aan de rand van het model en in WH-regio 1 zijn de NHI-parameters niet aangepast

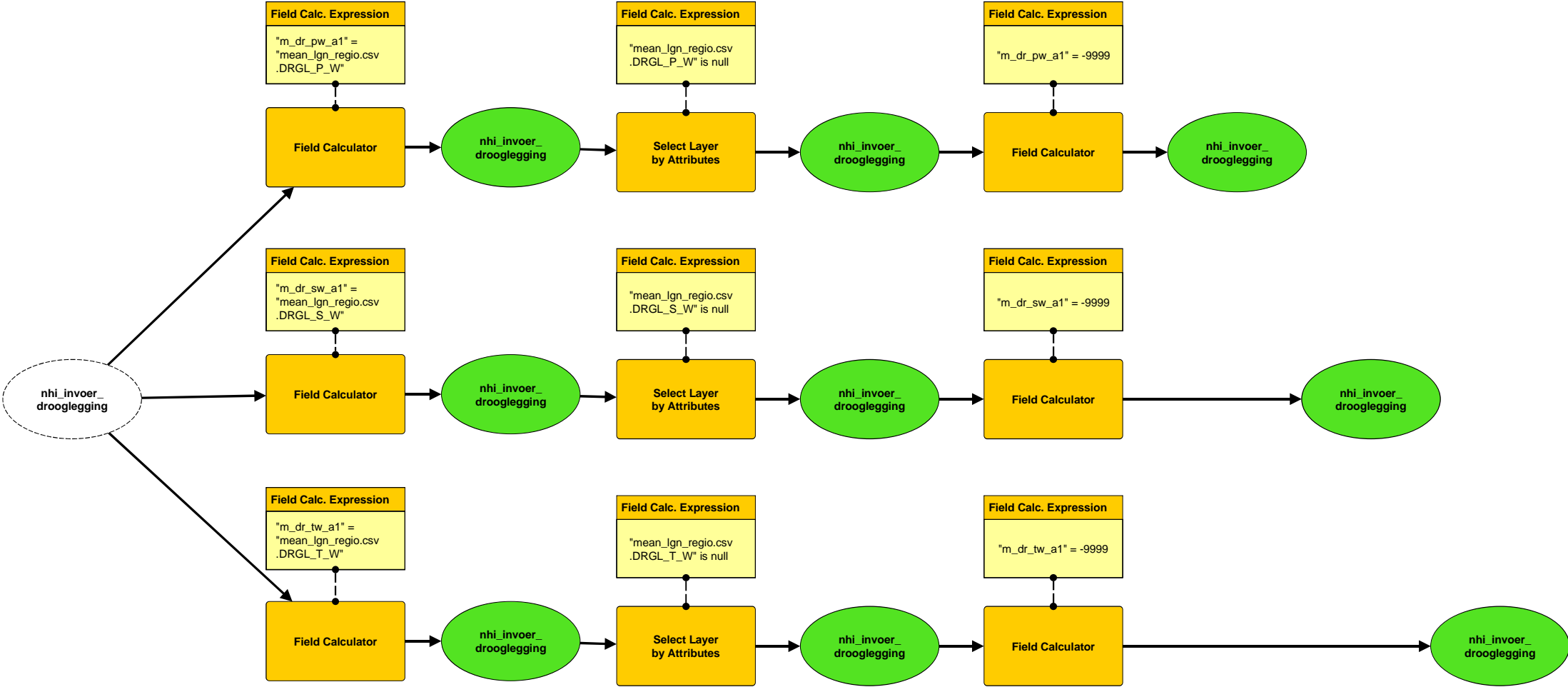




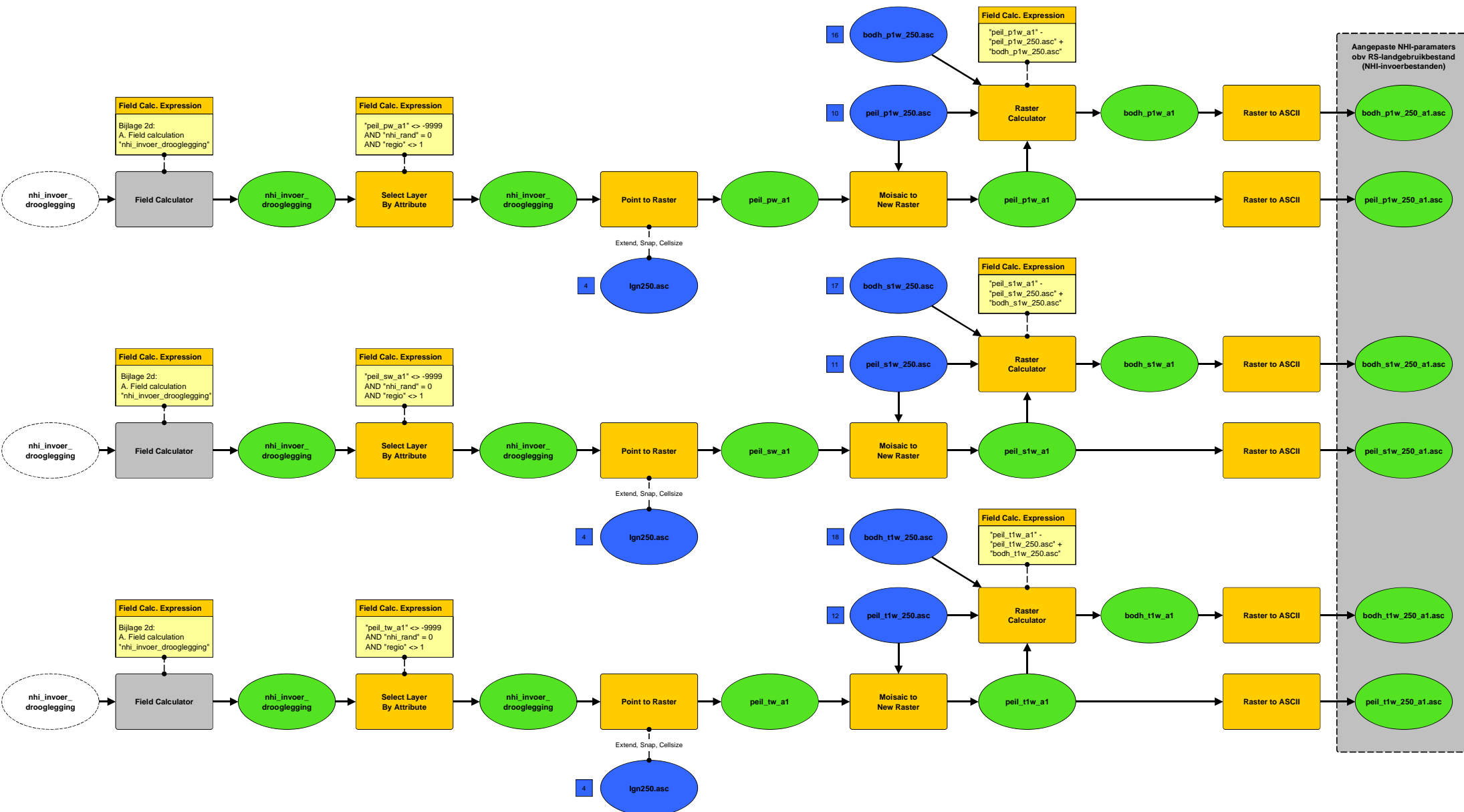
# Aanpassen NHI-parameters (D)



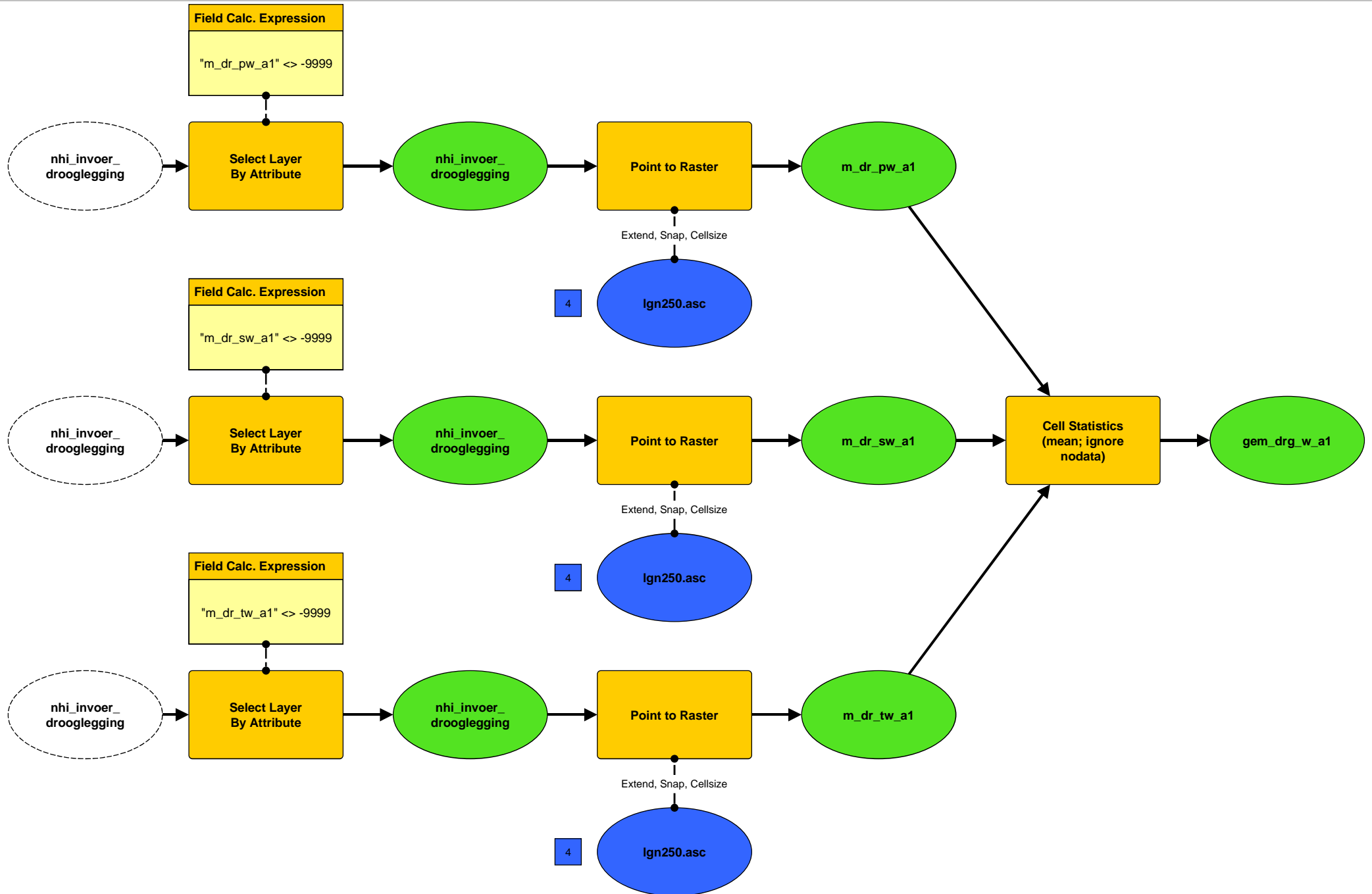
# Aanpassen NHI-parameters (E)



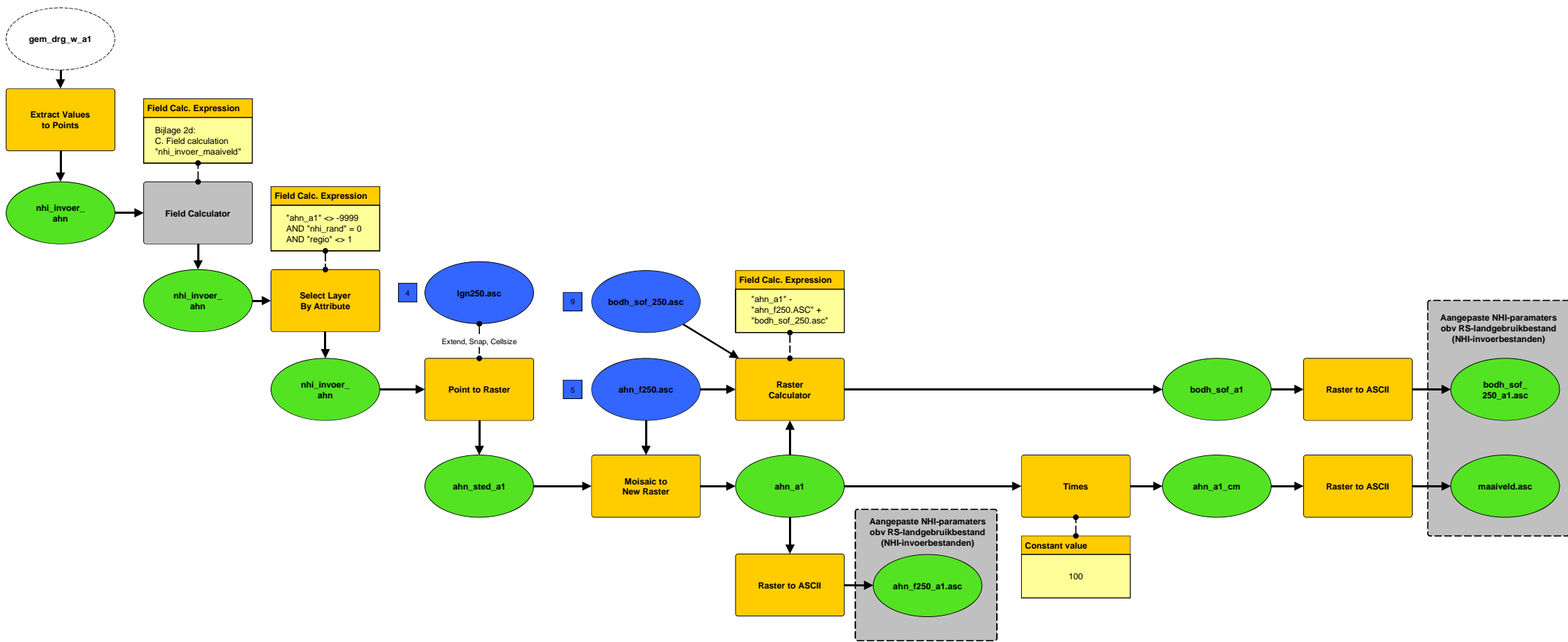
# Aanpassen NHI-parameters (F)



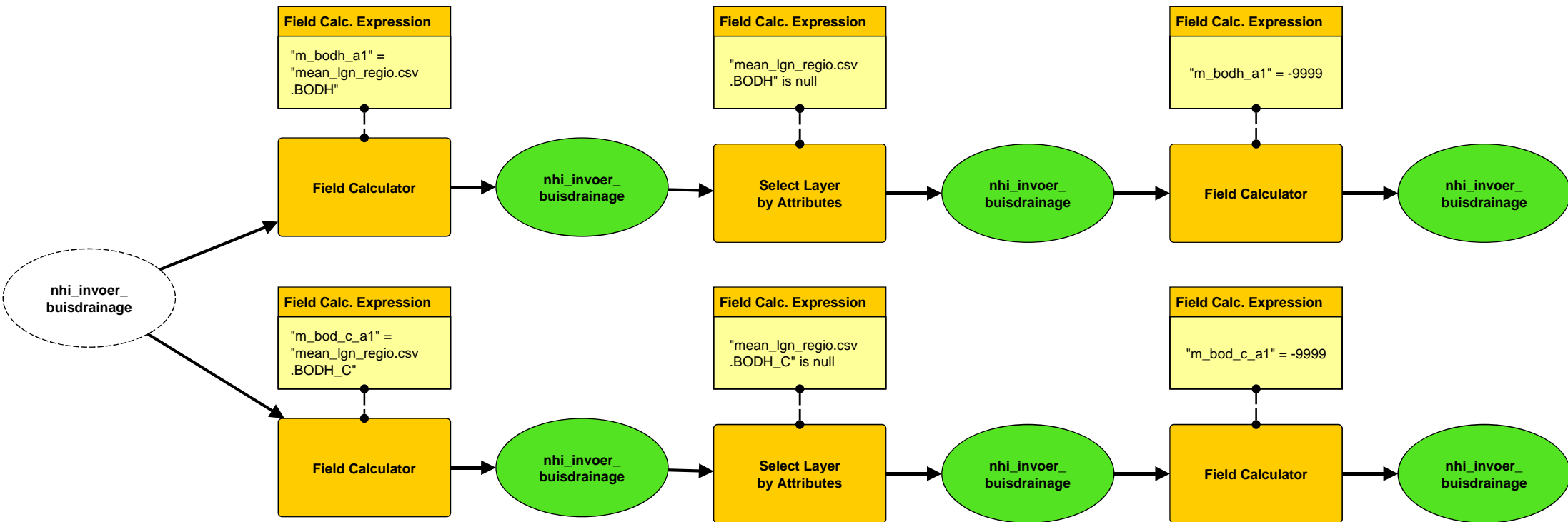
# Aanpassen NHI-parameters (G)



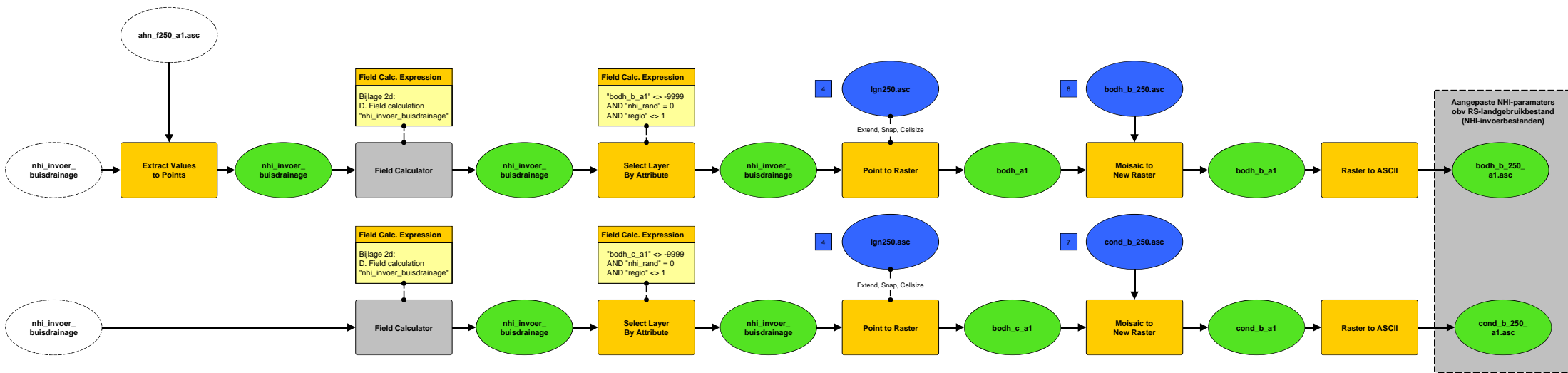
# Aanpassen NHI-parameters (H)



# Aanpassen NHI-parameters (I)



# Aanpassen NHI-parameters (J)

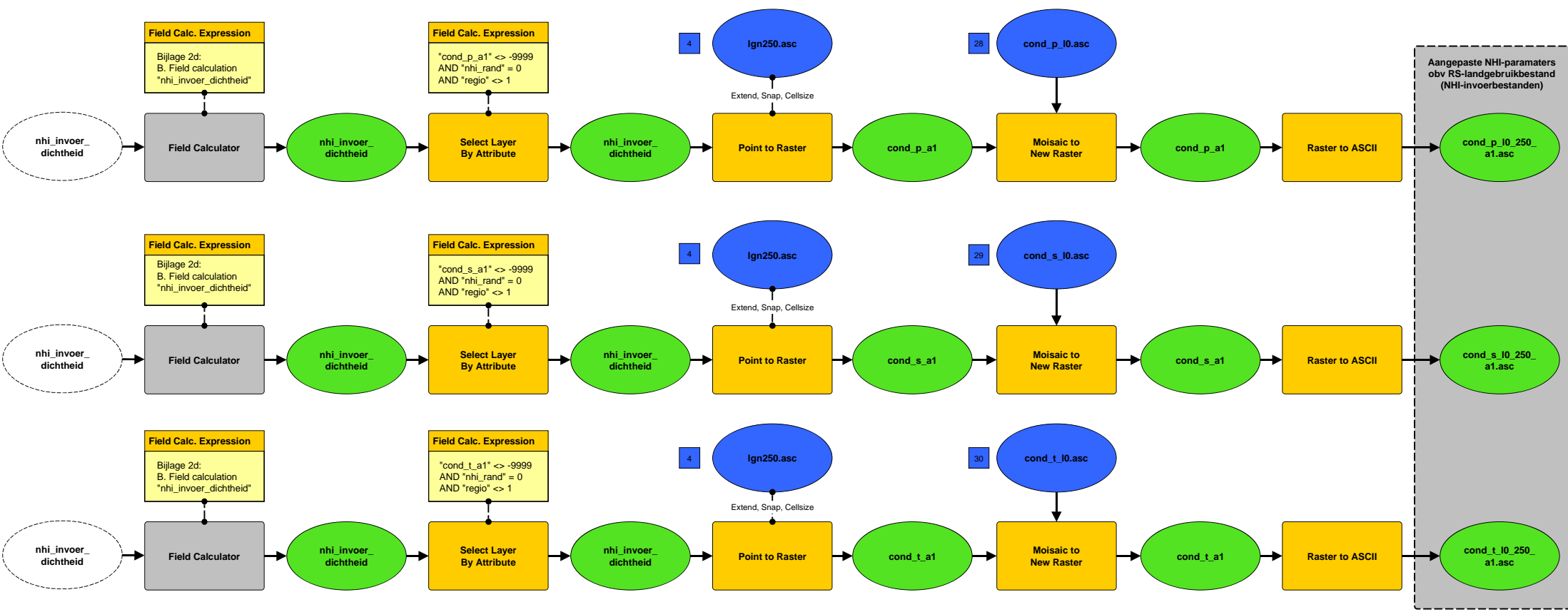


# Aanpassen NHI-parameters (K)





# Aanpassen NHI-parameters (L)



## Calculate fields using code blocks with Python

Op basis van het toekomstig landgebruikscenario zijn NHI-modelparameters aangepast. De hiervoor uitgevoerde GIS-analyses zijn als stroomschema's weergegeven in bijlage 2c. In de stroomschema's van bijlage 2c is voor het aanpassen van NHI-parameterwaarden gebruik gemaakt van de ArcGIS tool "field calculator" in ArcGIS. De stappen waarbij onderstaande code blocks (met Python) zijn gebruikt, zijn met een grijze kleur in de stroomschema's weergegeven.

### A. Field calculation shapebestand "nhi\_invoer\_drooglegging"

*Tabelinhoud shapebestand "nhi\_invoer\_drooglegging":*

[drgl_p_w] =	Huidige gemiddelde winter drooglegging primair watersysteem NHI (m-mv)
[drgl_p_z] =	Huidige gemiddelde zomer drooglegging primair watersysteem NHI (m-mv)
[drgl_s_w] =	Huidige gemiddelde winter drooglegging secundair watersysteem NHI (m-mv)
[drgl_s_z] =	Huidige gemiddelde zomer drooglegging secundair watersysteem NHI (m-mv)
[drgl_t_w] =	Huidige gemiddelde winter drooglegging tertiair watersysteem NHI (m-mv)
[drgl_t_z] =	Huidige gemiddelde zomer drooglegging tertiair watersysteem NHI (m-mv)
[ahn]	Huidige maaiveldhoogte NHI
[lgn_2040a1] =	Toekomstige landgebruikclassen
[d_2040a1] =	Verandering landgebruikklasse (0=geen verandering, 1=wel verandering)
[lgn_reg_a1] =	Combinatiewaarde obv toekomstige landgebruikklasse en WH-regioklasse (sleutelwaarde)
[m_dr_pw_a1] =	Gemiddelde winter drooglegging primair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_dr_pz_a1] =	Gemiddelde zomer drooglegging primair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_dr_sw_a1] =	Gemiddelde winter drooglegging secundair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_dr_sz_a1] =	Gemiddelde zomer drooglegging secundair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_dr_tw_a1] =	Gemiddelde winter drooglegging tertiair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_dr_tz_a1] =	Gemiddelde zomer drooglegging tertiair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[peil_pw_a1] =	<b>Toekomstig winterpeil primair watersysteem (m NAP)</b>
[peil_pz_a1] =	<b>Toekomstig zomerpeil primair watersysteem (m NAP)</b>
[peil_sw_a1] =	<b>Toekomstig winterpeil secundair watersysteem (m NAP)</b>
[peil_sz_a1] =	<b>Toekomstig zomerpeil secundair watersysteem (m NAP)</b>

**[peil\_tw\_a1] = Toekomstig winterpeil tertiair watersysteem (m NAP)**

**[peil\_tz\_a1] = Toekomstig zomerpeil tertiair watersysteem (m NAP)**

*Pre-logic Script Code (primairwatersysteem, winterperiode) =*

```
defPeil_new(d_2040a1, drgl_p_w, m_dr_pw_a1, lgn_2040a1, ahn):
if d_2040a1 == 1
    and m_dr_pw_a1 > -9999
        and drgl_p_w > -9999
            and -1 <= m_dr_pw_a1 - drgl_p_w <= 1
                and lgn_2040a1 <> 18:
    return ahn - m_dr_pw_a1
else:
    return -9999
```

*[peil\_pw\_a1]=*

```
Peil_new(!d_2040a1!, !drgl_p_w!, !m_dr_pw_a1!, !lgn_2040a1!,
!ahn!)
```

## **B. Field calculation shapebestand "nhi\_invoer\_dichtheid"**

*Tabelinhoud shapebestand "nhi\_invoer\_dichtheid":*

[cond_p] =	Huidige doorlaatvermogen primair watersysteem NHI (m <sup>2</sup> /dag)
[cond_s] =	Huidige doorlaatvermogen secundair watersysteem NHI (m <sup>2</sup> /dag)
[cond_t] =	Huidige doorlaatvermogen tertiair watersysteem NHI (m <sup>2</sup> /dag)
[lgn_2040a1] =	Toekomstige landgebruiksklassen
[d_2040a1] =	Verandering landgebruiksklasse (0=geen verandering, 1=wel verandering)
[lgn_reg_a1] =	Combinatiewaarde obv toekomstige landgebruiksklasse en WH-regioklasse (sleutelwaarde)
[m_cond_p_a1] =	Gemiddeld doorlaatvermogen buisdrainage primair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_cond_s_a1] =	Gemiddeld doorlaatvermogen buisdrainage secundair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
[m_cond_t_a1] =	Gemiddeld doorlaatvermogen buisdrainage tertiair watersysteem obv landgebruik en WH-regio
<b>[cond_p_a1] =</b>	<b>Toekomstig doorlaatvermogen primair watersysteem NHI (m<sup>2</sup>/dag)</b>
<b>[cond_s_a1] =</b>	<b>Toekomstig doorlaatvermogen secundair watersysteem NHI (m<sup>2</sup>/dag)</b>
<b>[cond_t_a1] =</b>	<b>Toekomstig doorlaatvermogen tertiair watersysteem NHI (m<sup>2</sup>/dag)</b>

*Pre-logic Script Code (primairwatersysteem, winterperiode) =*

```
defConduc_new(d_2040a1, m_con_p_a1, cond_p):  
if d_2040a1 == 1  
    and m_con_p_a1 > -9999  
        and cond_p > -9999:  
    return m_con_p_a1  
else:  
    return -9999
```

*[cond\_p\_a1]=*

```
Conduc_new(!d_2040a1!, !m_con_p_a1!, !cond_p!)
```

### **C. Field calculation shapebestand "nhi\_invoer\_maaiveld"**

*Tabelinhoud shapebestand "nhi\_invoer\_maaiveld":*

[gem_drgl_w] =	Huidige gemiddelde winter drooglegging NHI (gemiddelde van het primair- secundair- en tertiair watersysteem)
[gem_drgl_z] =	Huidige gemiddelde zomer drooglegging NHI (gemiddelde van het primair- secundair- en tertiair watersysteem)
[ahn] =	Huidige maaiveldhoogte NHI
[lgn_2040a1] =	Toekomstige landgebruikklassen
[d_2040a1] =	Verandering landgebruikklasse (0=geen verandering, 1=wel verandering)
[lgn_reg_a1] =	Combinatiewaarde obv toekomstige landgebruikklasse en WH-regioklasse (sleutelwaarde)
[gem_dw_a1] =	Gemiddelde winter drooglegging obv landgebruik en WH-regio (gemiddelde van het primair- secundair- en tertiair watersysteem)
<b>[ahn_a1] =</b>	<b>Toekomstige maaiveldhoogte</b>

*Pre-logic Script Code =*

```
defAhn_new(d_2040a1, ahn, gem_drgl_w, gem_dw_a1, lgn_2040a1):  
if d_2040a1 == 1  
    and lgn_2040a1 == 18  
        and gem_drgl_w > -9999  
            and gem_dw_a1 > -9999  
                and gem_dw_a1 > gem_drgl_w  
                    and gem_dw_a1 - gem_drgl_w <= 1:
```

```
        return ahn - gem_drgl_w + gem_dw_a1
else:
    return -9999
```

**[ahn\_a1] =**

```
Ahn_new(!d_2040a1!, !ahn!, !gem_drgl_w!, !gem_dw_a1!,
!lgn_2040a1!)
```

#### **D. Field calculation shapebestand "nhi\_invoer\_buisdrainage"**

*Tabelinhoud shapebestand "nhi\_invoer\_buisdrainage":*

[ahn] =	Huidige maaiveldhoogte NHI
[bodh] =	Huidige buisdrainagediepte NHI (m-mv)
[lgn_2040a1] =	Toekomstige landgebruikclassen
[d_2040a1] =	Verandering landgebruikklasse (0=geen verandering, 1=wel verandering)
[lgn_reg_a1] =	Combinatiewaarde obv toekomstige landgebruikklasse en WH-regioklasse (sleutelwaarde)
[m_bodh_a1] =	Gemiddelde buisdrainagediepteobv landgebruik en WH-regio
[ahn_a1] =	Toekomstige maaiveldhoogte
<b>bodh_b_a1=</b>	<b>Toekomstige buisdrainagediepte (m NAP)</b>

*Pre-logic Script Code =*

```
defBodhb_new(d_2040a1, m_bodh_a1, ahn_a1):
if d_2040a1 == 1
    and m_bodh_a1 > -9999
        and ahn_a1 > -9999:
        return ahn_a1 - m_bodh_a1
else:
    return -9999
```

**[bodh\_b\_a1] =**

```
Bodhb_new(!d_2040a1!, !m_bodh_a1!, !ahn_a1!)
```

*Tabelinhoud shapebestand "nhi\_invoer\_buisdrainage":*

[ahn] =	Huidige maaiveldhoogte NHI
[bodh_c] =	Huidig doorlaatvermogen buisdrainage NHI (m <sup>2</sup> /dag)
[bodh_b_a1] =	Toekomstige buisdrainagediepte (m NAP)
[lgn_2040a1] =	Toekomstige landgebruiksklassen
[d_2040a1] =	Verandering landgebruiksklasse (0=geen verandering, 1=wel verandering)
[lgn_reg_a1] =	Combinatiewaarde obv toekomstige landgebruiksklasse en WH-regioklasse (sleutelwaarde)
[m_bod_c_a1] =	Gemiddeld doorlaatvermogen buisdrainage obv landgebruik en WH-regio
<b>bodh_c_a1 =</b>	<b>Toekomstige doorlaatvermogen buisdrainage (m<sup>2</sup>/dag)</b>

*Pre-logic Script Code =*

```
defBodhc_new(d_2040a1, m_bod_c_a1, bodh_b_a1):  
if d_2040a1 == 1  
    and m_bod_c_a1 > -9999  
        and bodh_b_a1 > -9999:  
    return m_bod_c_a1  
else:  
    return -9999
```

*[bodh\_c\_a1]=*

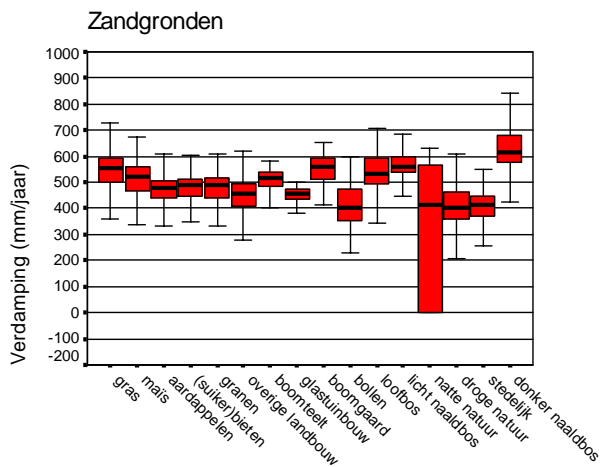
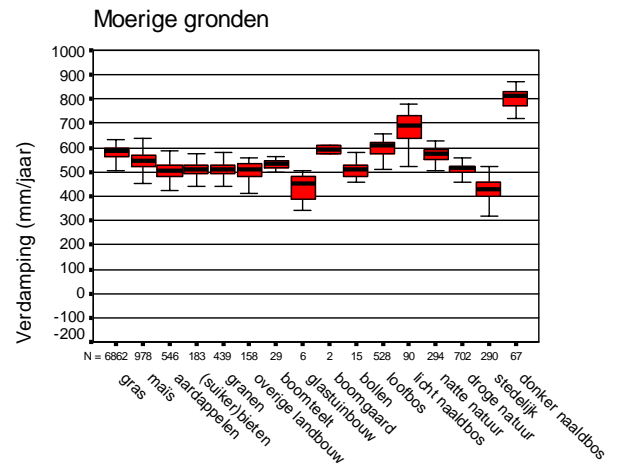
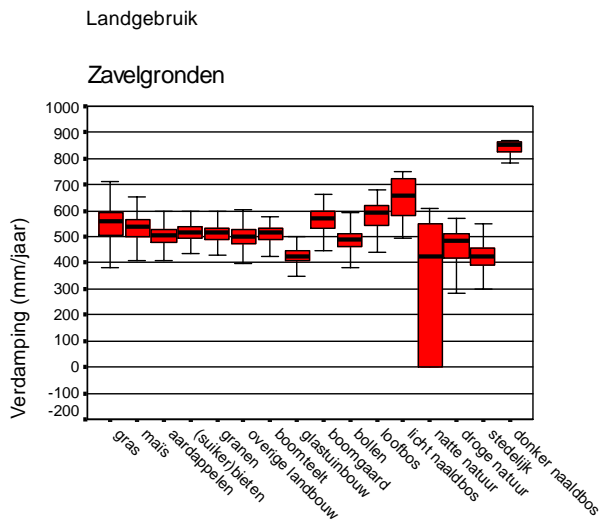
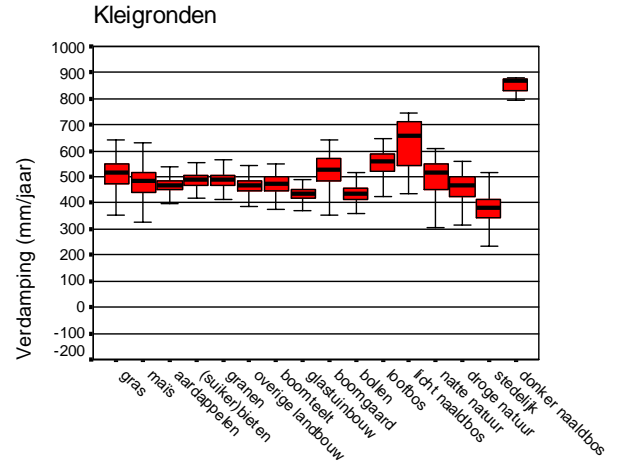
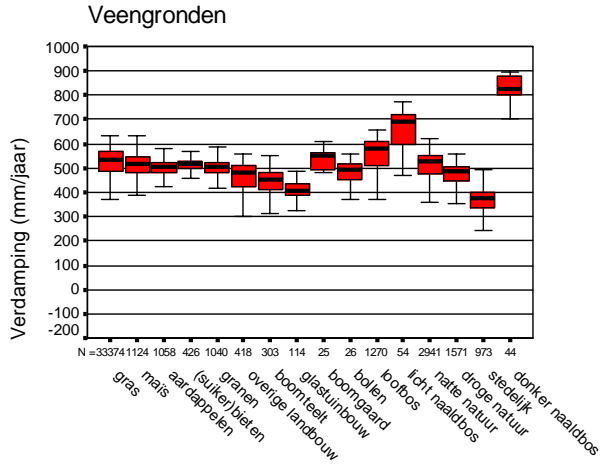
```
Bodhc_new(!d_2040a1!, !m_bod_c_a1!, !bodh_b_a1!)
```

## **BIJLAGE 3**

### **RESULTATEN VAN DE ANALYSE OP BASIS VAN HET HUIDIG LANDGEBRUIK**

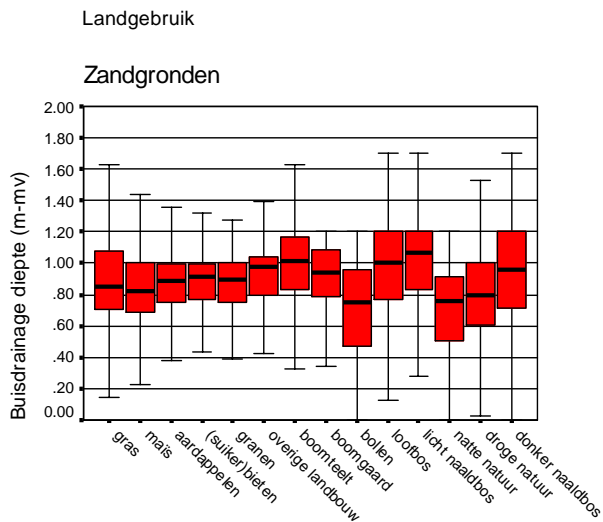
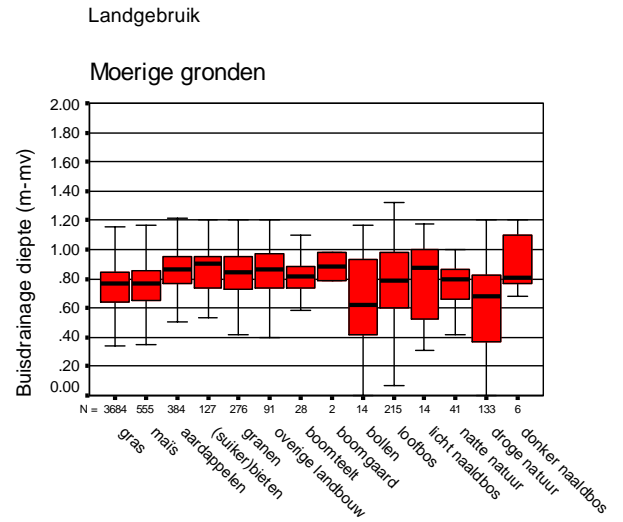
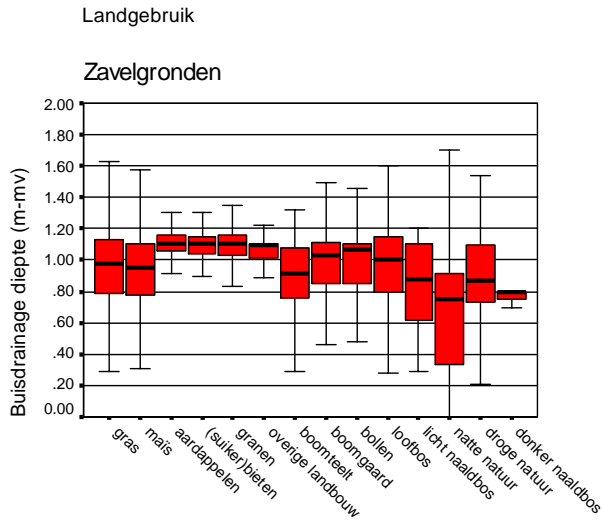
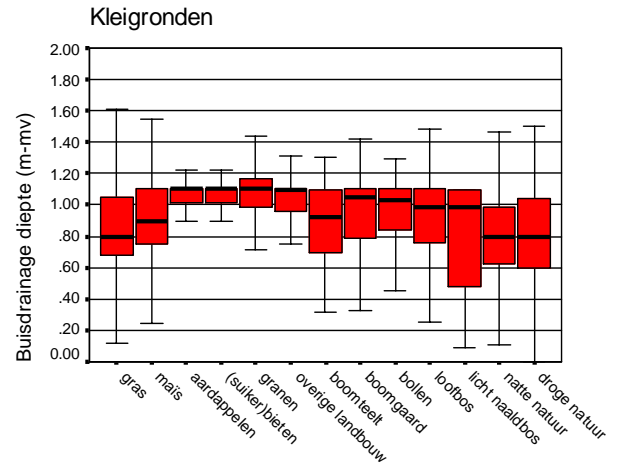
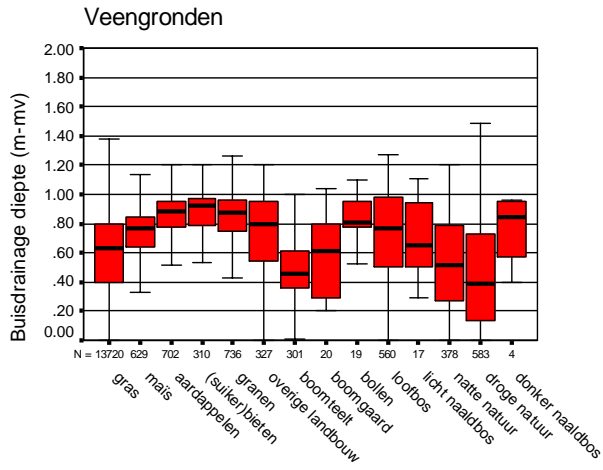
# Resultaat huidige situatie per bodemtype (boxplots)

## Actuele verdamping (millimeter per jaar)



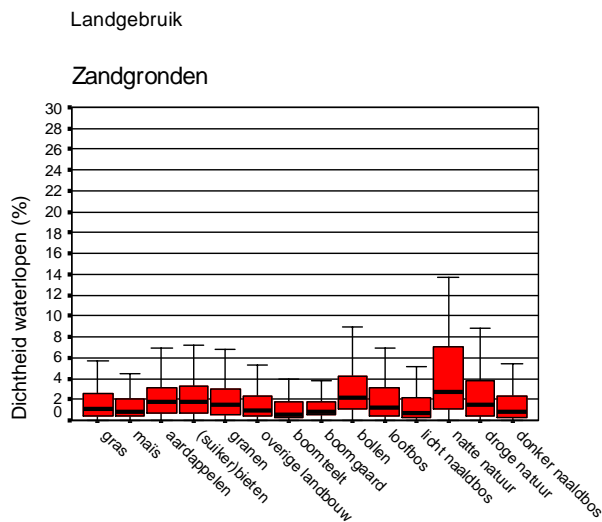
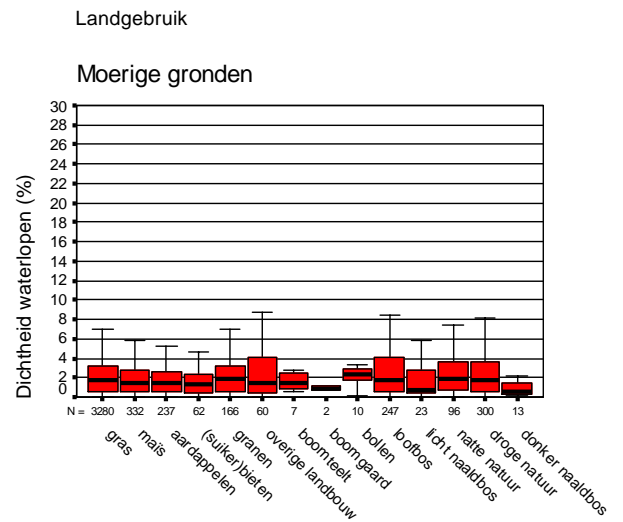
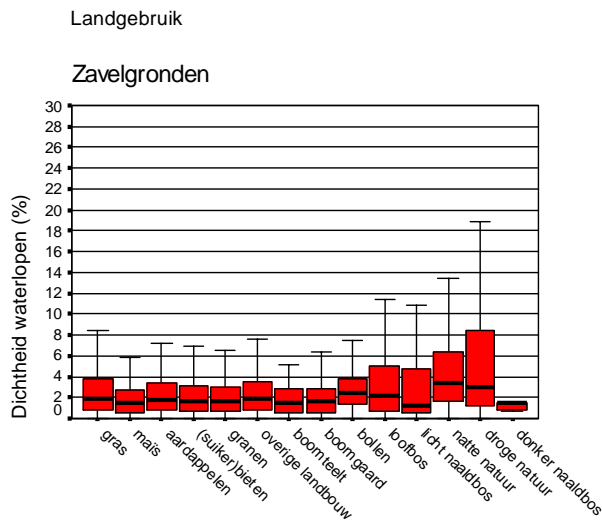
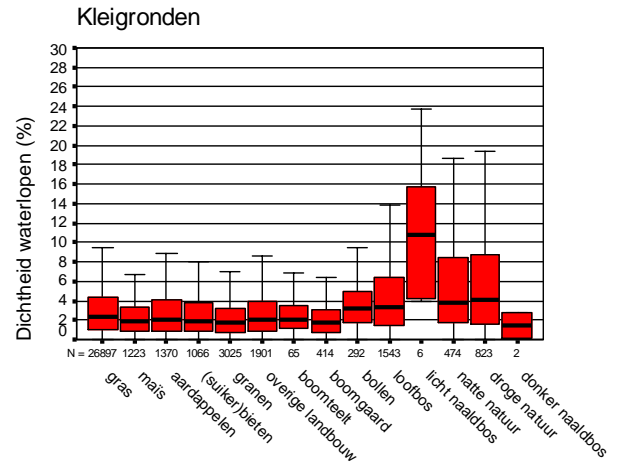
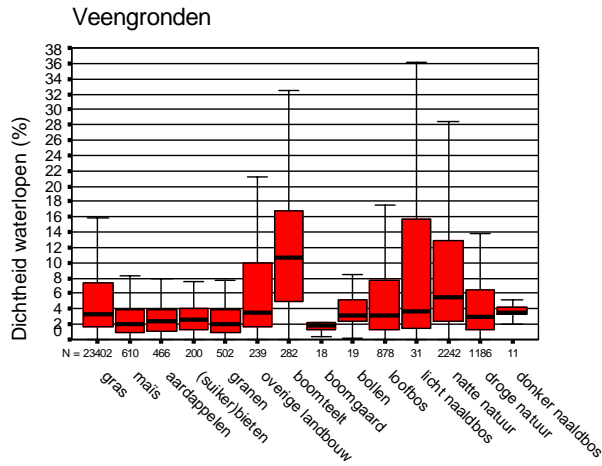


## Buisdrainagediepte (meter beneden maaiveld)



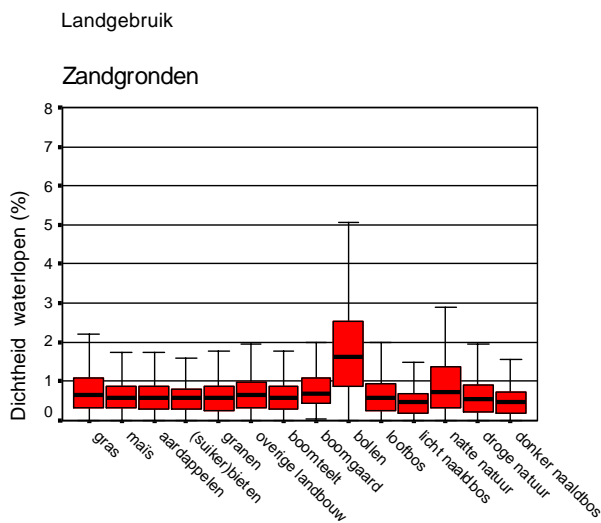
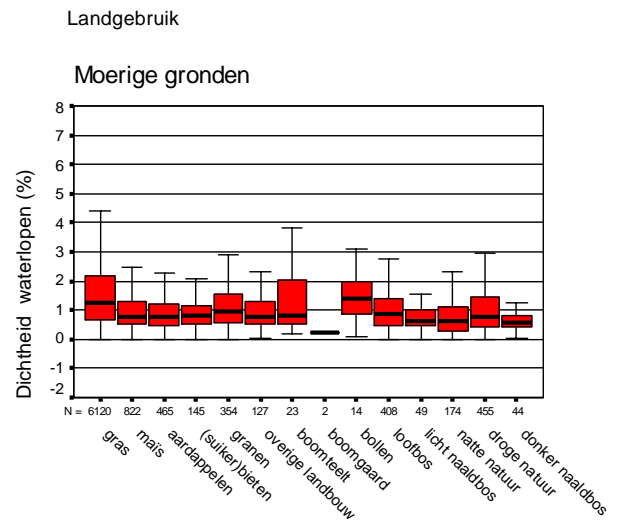
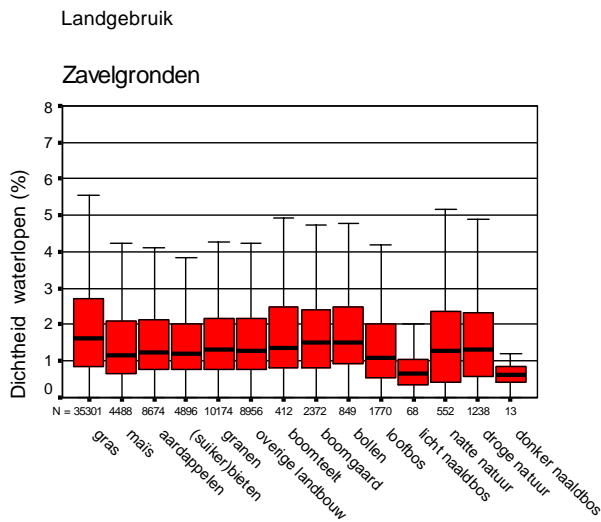
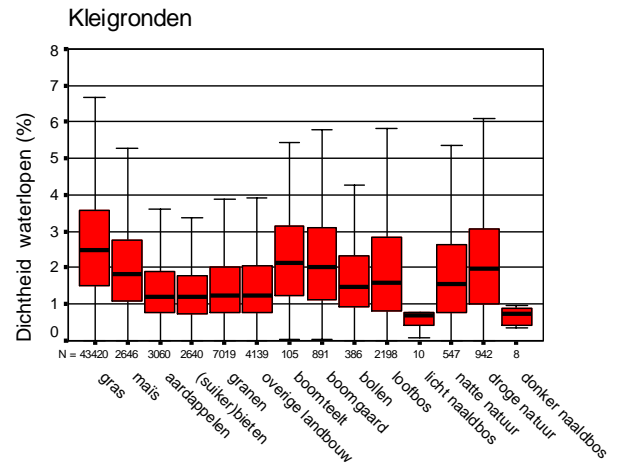
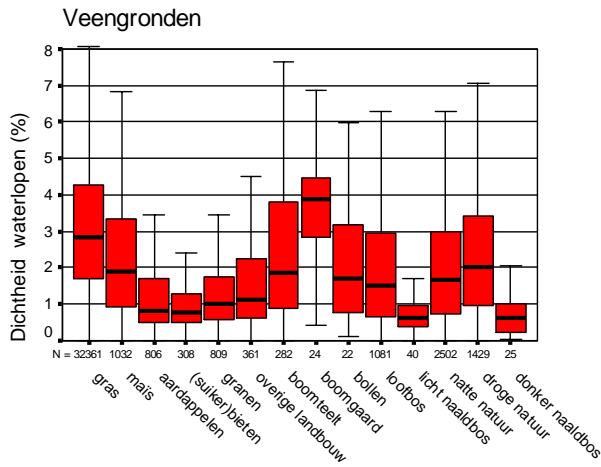
Landgebruik

## Dichtheid openwater (%) van het primair watersysteem



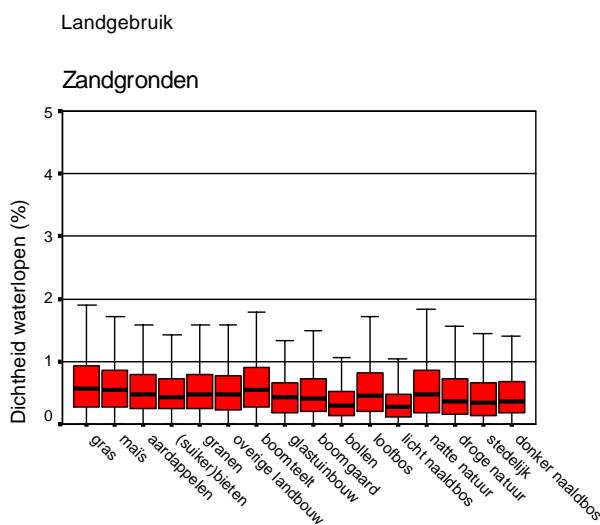
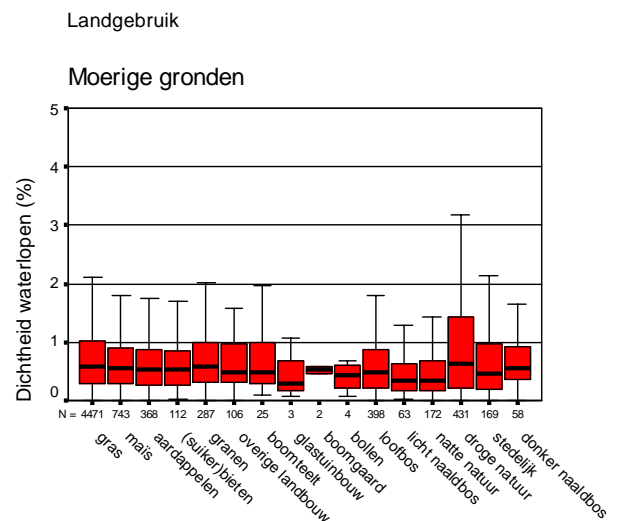
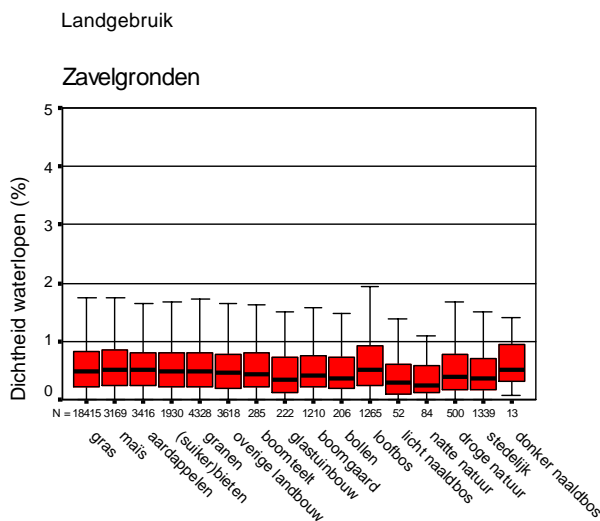
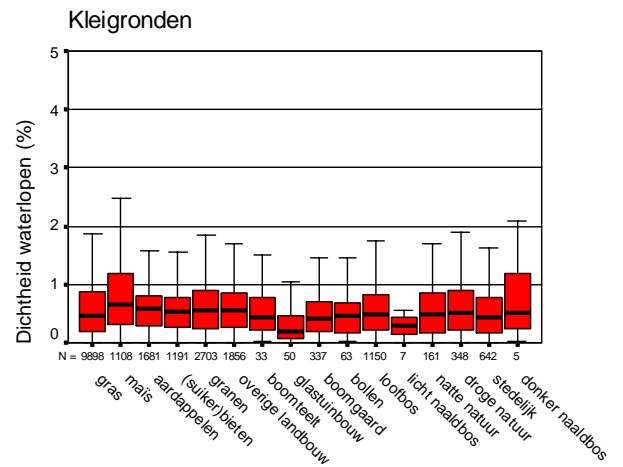
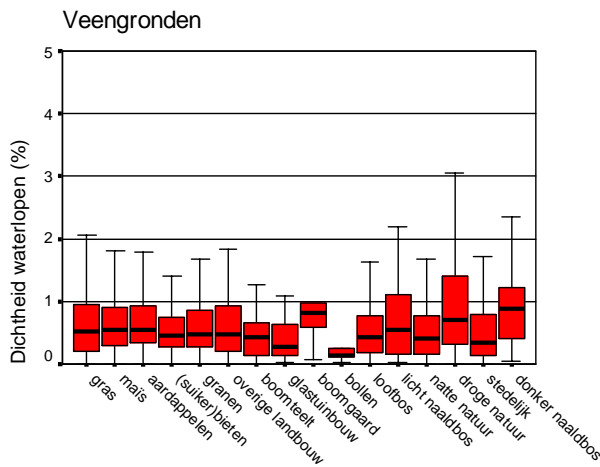
Landgebruik

## Dichtheid openwater (%) van het secundair watersysteem



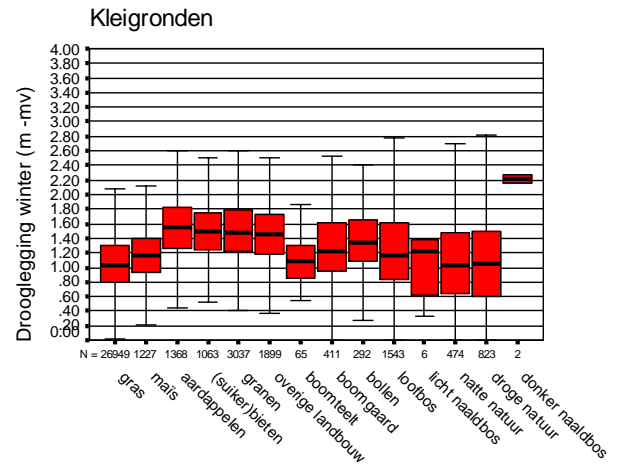
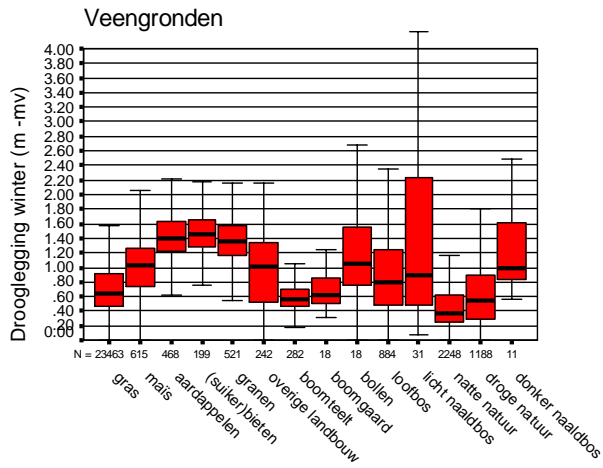
Landgebruik

## Dichtheid openwater (%) van het tertiair watersysteem



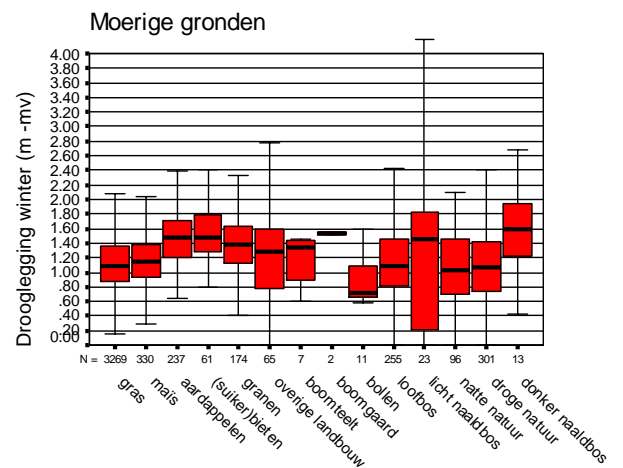
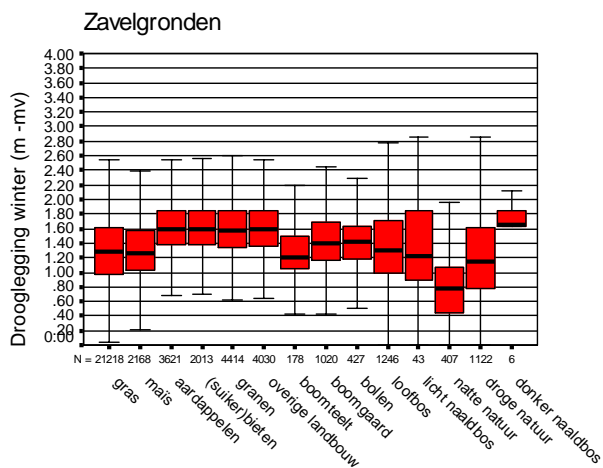
Landgebruik

## Winter drooglegging van het primair watersysteem



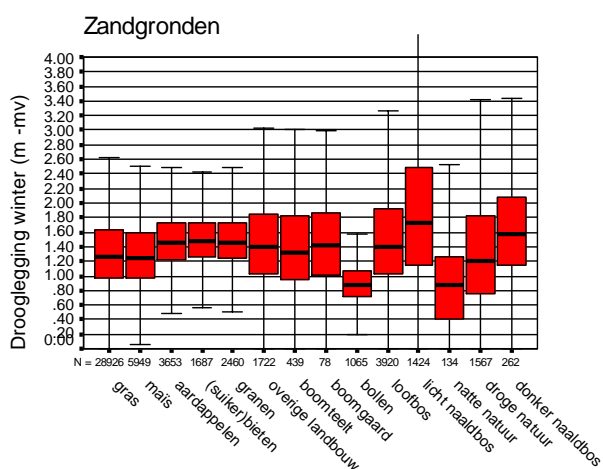
Landgebruik

Landgebruik



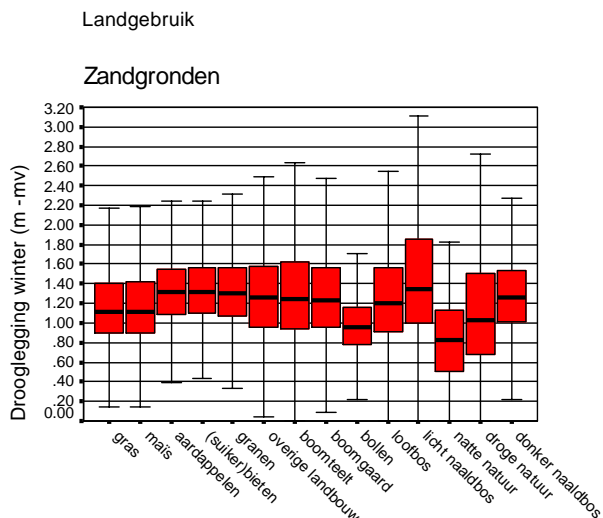
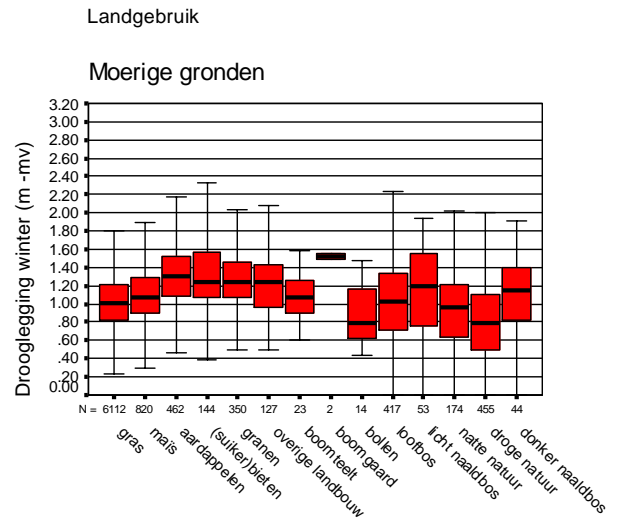
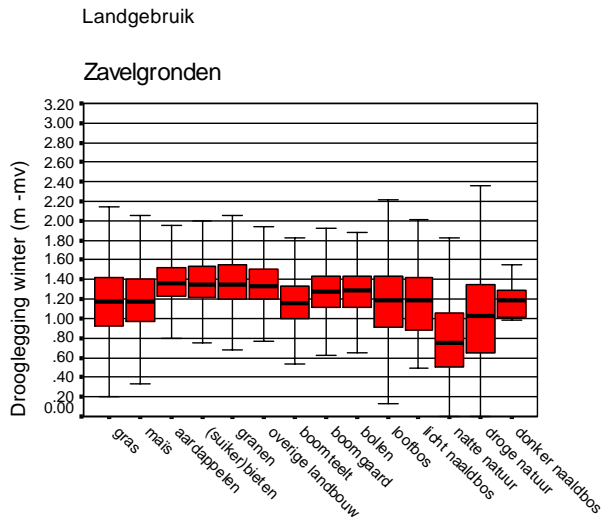
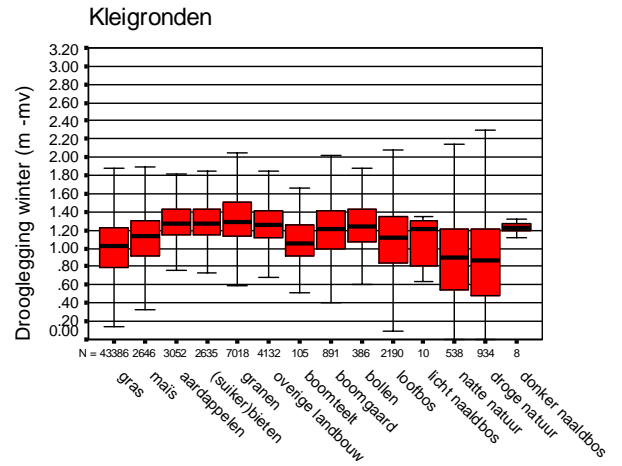
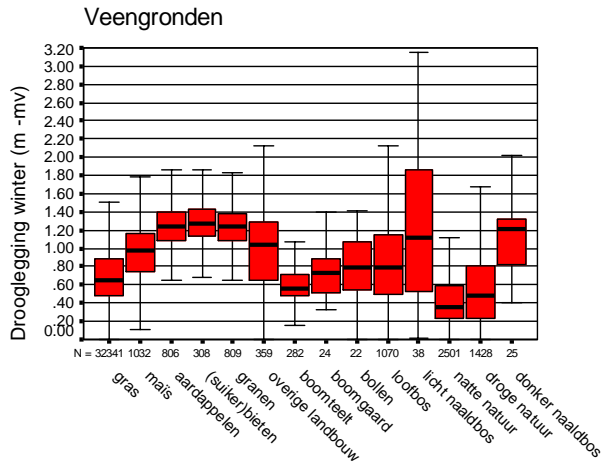
Landgebruik

Landgebruik

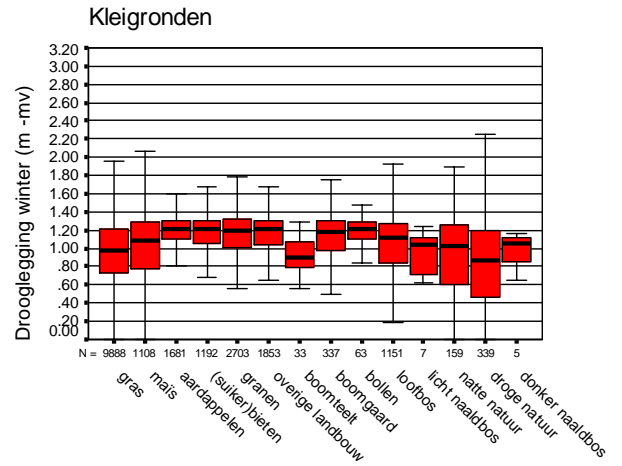
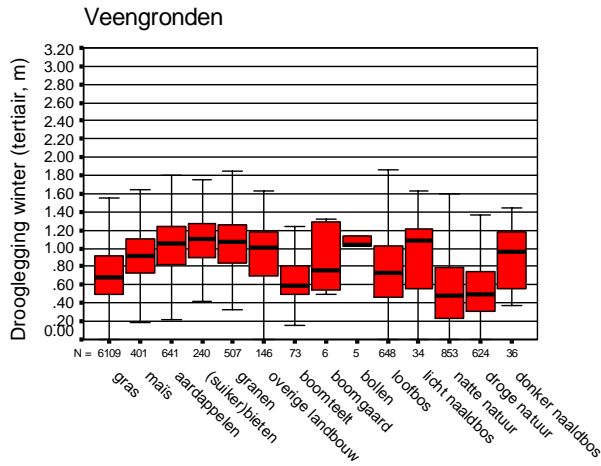


Landgebruik

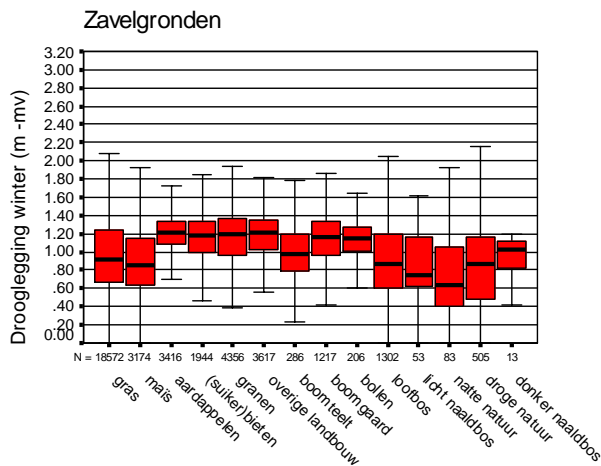
## Winter drooglegging van het secundair watersysteem



## Winter drooglegging van het tertiair watersysteem

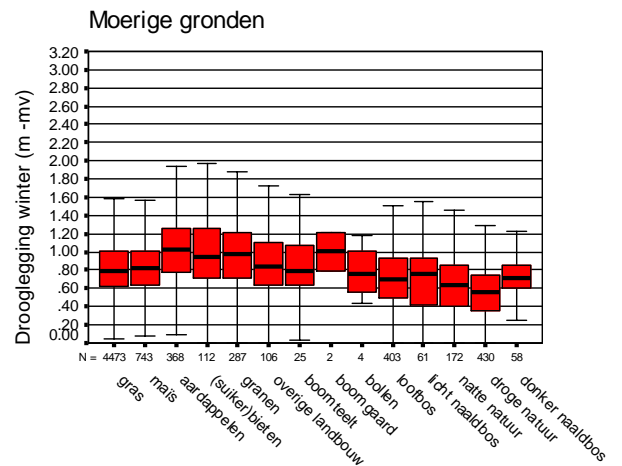


Landgebruik

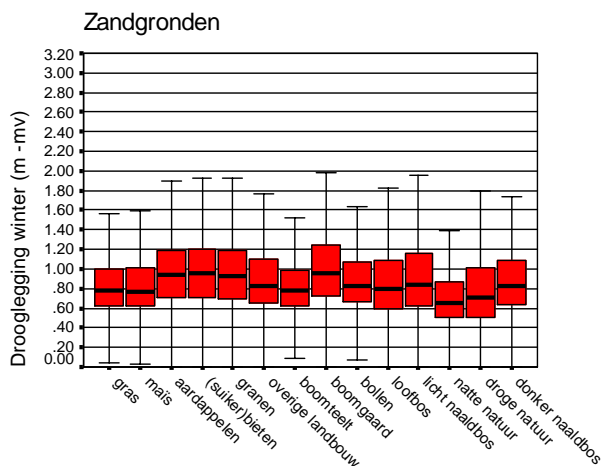


Landgebruik

Landgebruik



Landgebruik



Landgebruik

## Resultaat huidige situatie per bodemtype (tabellen)

### Gemiddelde actuele verdamping (millimeter per jaar)

Landgebruik	Klei	Moerig	Veen	Zand	Zavel	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Vershil (max-min)
Aardappelen	465	498	502	468	497	486	502	465	37
Bollen	437	478	477	404	482	456	482	404	78
Boomgaard	523	591	523	546	562	549	591	523	68
Boomteelt	474	525	444	506	509	492	525	444	80
Donker naaldbos	856	794	825	631	843	790	856	631	225
Droge natuur	445	464	469	346	444	434	469	346	123
Glastuinbouw	433	438	408	452	425	431	452	408	44
Granen	485	493	485	473	509	489	509	473	36
Gras	503	571	519	533	537	533	571	503	68
Licht naaldbos	635	648	627	567	632	622	648	567	82
Loofbos	542	572	553	535	571	555	572	535	36
Mais	479	543	508	509	527	513	543	479	65
Natte natuur	476	529	507	304	302	424	529	302	227
Overige landbouw	466	474	461	448	496	469	496	448	48
Stedelijk	377	424	370	403	421	399	424	370	54
(Suiker)bieten	483	506	509	474	511	497	511	474	37
<b>Gemiddelde</b>	<b>505</b>	<b>534</b>	<b>512</b>	<b>475</b>	<b>517</b>	<b>509</b>	<b>542</b>	<b>461</b>	<b>82</b>
<b>Minimum</b>	<b>377</b>	<b>424</b>	<b>370</b>	<b>304</b>	<b>302</b>	<b>399</b>	<b>424</b>	<b>302</b>	<b>36</b>
<b>Maximum</b>	<b>856</b>	<b>794</b>	<b>825</b>	<b>631</b>	<b>843</b>	<b>790</b>	<b>856</b>	<b>631</b>	<b>227</b>
<b>Vershil (max-min)</b>	<b>479</b>	<b>370</b>	<b>454</b>	<b>328</b>	<b>540</b>	<b>391</b>	<b>432</b>	<b>329</b>	<b>191</b>

### Gemiddelde buisdrainage-diepte (meter beneden maaiveld)

Landgebruik	Klei	Moerig	Veen	Zand	Zavel	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Vershil (max-min)
Aardappelen	1.05	0.85	0.86	0.85	1.11	0.94	1.11	0.85	0.26
Bollen	0.98	0.64	0.84	0.72	0.98	0.83	0.98	0.64	0.34
Boomgaard	0.94	0.89	0.58	0.90	0.97	0.86	0.97	0.58	0.40
Boomteelt	0.87	0.80	0.50	0.95	0.90	0.80	0.95	0.50	0.44
Donker naaldbos		0.89	0.76	0.89	0.76	0.83	0.89	0.76	0.13
Droge natuur	0.79	0.63	0.43	0.79	0.86	0.70	0.86	0.43	0.43
Glastuinbouw	0.90	0.83	0.57	0.93	0.89	0.83	0.93	0.57	0.36
Granen	1.07	0.82	0.85	0.86	1.09	0.94	1.09	0.82	0.27
Gras	0.84	0.75	0.61	0.86	0.94	0.80	0.94	0.61	0.33
Licht naaldbos	0.79	0.79	0.76	0.99	0.85	0.83	0.99	0.76	0.23
Loofbos	0.90	0.76	0.73	0.93	0.95	0.85	0.95	0.73	0.22
Mais	0.89	0.74	0.73	0.81	0.92	0.82	0.92	0.73	0.19
Natte natuur	0.77	0.75	0.52	0.72	0.64	0.68	0.77	0.52	0.25
Overige landbouw	1.03	0.84	0.74	0.89	1.06	0.91	1.06	0.74	0.32
Stedelijk	0.99	0.95	0.86	1.04	1.06	0.98	1.06	0.86	0.19
(Suiker)bieten	1.06	0.84	0.87	0.86	1.10	0.95	1.10	0.84	0.26
<b>Gemiddelde</b>	<b>0.93</b>	<b>0.80</b>	<b>0.70</b>	<b>0.87</b>	<b>0.94</b>	<b>0.85</b>	<b>0.97</b>	<b>0.68</b>	<b>0.29</b>



Minimum	0.77	0.63	0.43	0.72	0.64	0.68	0.77	0.43	0.13
Maximum	1.07	0.95	0.87	1.04	1.11	0.98	1.11	0.86	0.44
Vershil (max-min)	0.31	0.32	0.43	0.32	0.47	0.30	0.34	0.43	0.31

### Gemiddelde dichtheid open water (%), gebaseerd op het primair-, secundair- en tertiair watersysteem

Landgebruik	Klei	Moerig	Veen	Zand	Zavel	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Vershil (max-min)
Aardappelen	2.3%	2.1%	2.6%	1.7%	2.4%	2.2%	2.6%	1.7%	0.9%
Bollen	4.2%	3.4%	4.4%	3.3%	3.1%	3.7%	4.4%	3.1%	1.2%
Boomgaard	3.3%	1.7%	8.4%	1.5%	2.6%	3.5%	8.4%	1.5%	6.9%
Boomteelt	3.9%	2.3%	13.1%	1.3%	2.8%	4.7%	13.1%	1.3%	11.8%
Donker naaldbos	1.2%	1.4%	2.1%	0.9%	1.5%	1.4%	2.1%	0.9%	1.2%
Droge natuur	7.6%	3.2%	6.9%	2.1%	6.4%	5.2%	7.6%	2.1%	5.6%
Glastuinbouw	5.5%	7.1%	8.4%	2.6%	5.0%	5.7%	8.4%	2.6%	5.8%
Granen	2.3%	2.9%	3.2%	1.6%	2.5%	2.5%	3.2%	1.6%	1.7%
Gras	4.7%	3.2%	6.9%	1.7%	3.6%	4.0%	6.9%	1.7%	5.2%
Licht naaldbos	5.5%	1.6%	6.5%	0.8%	2.6%	3.4%	6.5%	0.8%	5.6%
Loofbos	4.8%	3.1%	6.3%	1.7%	3.9%	4.0%	6.3%	1.7%	4.6%
Mais	3.1%	2.1%	3.9%	1.3%	2.4%	2.6%	3.9%	1.3%	2.5%
Natte natuur	6.8%	2.3%	9.7%	4.8%	5.3%	5.8%	9.7%	2.3%	7.4%
Overige landbouw	2.5%	3.5%	5.4%	1.4%	2.6%	3.1%	5.4%	1.4%	4.0%
Stedelijk	4.6%	4.0%	6.3%	1.7%	3.6%	4.0%	6.3%	1.7%	4.6%
(Suiker)bieten	2.2%	2.3%	2.5%	1.6%	2.3%	2.1%	2.5%	1.6%	0.9%
<b>Gemiddelde</b>	<b>4.0%</b>	<b>2.9%</b>	<b>6.0%</b>	<b>1.9%</b>	<b>3.3%</b>	<b>3.6%</b>	<b>6.1%</b>	<b>1.7%</b>	<b>4.4%</b>
<b>Minimum</b>	<b>1.2%</b>	<b>1.4%</b>	<b>2.1%</b>	<b>0.8%</b>	<b>1.5%</b>	<b>1.4%</b>	<b>2.1%</b>	<b>0.8%</b>	<b>0.9%</b>
<b>Maximum</b>	<b>7.6%</b>	<b>7.1%</b>	<b>13.1%</b>	<b>4.8%</b>	<b>6.4%</b>	<b>5.8%</b>	<b>13.1%</b>	<b>3.1%</b>	<b>11.8%</b>
<b>Vershil (max-min)</b>	<b>6.4%</b>	<b>5.7%</b>	<b>11.0%</b>	<b>4.0%</b>	<b>4.8%</b>	<b>4.3%</b>	<b>11.0%</b>	<b>2.3%</b>	<b>10.9%</b>

### Gemiddelde winter drooglegging (meter beneden maaiveld), gebaseerd op het primair-, secundair-, en tertiair watersysteem

Landgebruik	Klei	Moerig	Veen	Zand	Zavel	Gemiddelde	Minimum	Maximum	Vershil (max-min)
Aardappelen	1.30	1.26	1.21	1.18	1.39	1.27	1.39	1.18	0.20
Bollen	1.27	0.86	0.99	0.96	1.27	1.07	1.27	0.86	0.41
Boomgaard	1.21	1.35	0.76	1.19	1.31	1.16	1.35	0.76	0.60
Boomteelt	1.08	1.01	0.69	1.07	1.16	1.00	1.16	0.69	0.47
Donker naaldbos	1.25	0.94	1.03	1.04	1.13	1.08	1.25	0.94	0.31
Droge natuur	0.95	0.77	0.58	1.14	1.12	0.92	1.14	0.58	0.56
Glastuinbouw	1.10	1.13	0.76	1.18	1.09	1.05	1.18	0.76	0.42
Granen	1.34	1.16	1.20	1.18	1.37	1.25	1.37	1.16	0.22
Gras	1.04	0.98	0.72	1.04	1.19	0.99	1.19	0.72	0.48
Licht naaldbos	1.24	1.10	1.20	1.24	1.48	1.25	1.48	1.10	0.39
Loofbos	1.15	0.97	0.86	1.25	1.22	1.09	1.25	0.86	0.39
Mais	1.12	1.00	0.97	1.01	1.15	1.05	1.15	0.97	0.18
Natte natuur	0.99	0.86	0.50	0.78	0.74	0.78	0.99	0.50	0.48
Overige landbouw	1.29	1.07	1.00	1.14	1.37	1.17	1.37	1.00	0.37

Stedelijk	1.36	1.34	1.12	1.31	1.48	1.32	1.48	1.12	0.36
(Suiker)bieten	1.31	1.24	1.28	1.19	1.38	1.28	1.38	1.19	0.19
Gemiddelde	1.19	1.06	0.93	1.12	1.24	1.11	1.28	0.90	0.38
Minimum	0.95	0.77	0.50	0.78	0.74	0.78	0.99	0.50	0.18
Maximum	1.36	1.35	1.28	1.31	1.48	1.32	1.48	1.19	0.60
Vershil (max-min)	0.41	0.58	0.77	0.53	0.74	0.54	0.49	0.69	0.42

## Hydrologische karakteristieken van het huidig landgebruik

Hieronder volgen de resultaten per regio. Per landgebruikklasse is een gemiddelde waarde bepaald van een aantal NHI-parameters. Deze tabel is gebruikt om modelparameters in het NHI aan te passen op basis van het toekomstig landgebruikbestand. De nieuwe landgebruikklasse in een gridcel heeft de waarde uit onderstaande tabel gekregen. De resultaten zijn alleen weergegeven van de 10 geselecteerde regio's waarop de analyses in deze scriptie gebaseerd zijn.

WH-regio	Landgebruik-klasse	Buisdrainage		Primair watersysteem				Secundair watersysteem				Tertiair watersysteem			
		Diepte	Doorlaat-vermogen	Dichtheid	Doorlaat-vermogen	Winter droog-legging	Zomer droog-legging	Dichtheid	Doorlaat-vermogen	Winter droog-legging	Zomer droog-legging	Dichtheid	Doorlaat-vermogen	Winter droog-legging	Zomer droog-legging
		(m-mv)	(m2/d)	(%)	(m2/d)	(m-mv)	(m-mv)	(%)	(m2/d)	(m-mv)	(m-mv)	(%)	(m2/d)	(m-mv)	(m-mv)
3	(Suiker)bieten	0,86	386	1,4%	131	1,39	1,32	0,6%	122	1,26	1,21	0,5%	119	1,00	0,97
	Aardappelen	0,83	388	1,3%	134	1,38	1,31	0,6%	118	1,19	1,14	0,5%	126	0,99	0,96
	Bollen	0,91	335	0,9%	105	1,43	1,32	0,4%	87	1,14	1,13	0,5%	126	0,95	0,95
	Boomgaard	0,94	569	1,2%	126	1,57	1,49	0,6%	121	1,38	1,35	0,5%	114	0,99	0,98
	Boomteelt	0,97	419	1,1%	107	1,56	1,51	0,5%	102	1,36	1,33	0,4%	104	0,96	0,95
	Donker naaldbos	0,95	181	1,1%	96	1,82	1,77	0,4%	93	1,10	1,09	0,3%	87	0,95	0,94
	Droge natuur	0,96	194	2,3%	225	1,75	1,72	0,6%	118	1,27	1,23	0,4%	112	1,22	1,19
	Glastuinbouw	0,97	330	2,3%	183	1,32	1,31	0,6%	112	1,25	1,24	0,4%	112	1,05	1,04
	Granen	0,90	291	1,3%	134	1,65	1,60	0,6%	135	1,34	1,29	0,4%	115	1,04	1,02
	Gras	0,92	306	2,1%	212	1,51	1,46	0,6%	131	1,28	1,24	0,5%	138	1,00	0,98
	Kale grond	0,94	333	21,7%	7967	2,73	2,74	0,4%	70	1,01	1,01	0,3%	80	1,64	1,63
	Licht naaldbos	1,04	119	2,0%	153	2,58	2,57	0,5%	97	1,67	1,65	0,3%	78	1,16	1,15
	Loofbos	0,99	216	2,2%	211	1,68	1,64	0,6%	129	1,33	1,30	0,5%	120	1,00	0,99
	Maïs	0,83	294	1,4%	161	1,30	1,20	0,6%	138	1,14	1,09	0,5%	143	0,97	0,93
Natte natuur	0,66	195	5,8%	402	1,08	1,08	0,9%	148	0,98	0,97	0,4%	94	0,70	0,68	
Overige	0,92	290	1,4%	135	1,64	1,55	0,5%	119	1,33	1,29	0,4%	120	1,03	1,00	

	landbouw														
	Stedelijk	1,08	502	1,5%	149	2,01	1,98	0,6%	126	1,60	1,58	0,4%	94	1,20	1,18
	Zoet water	0,83	127	34,5%	10625	1,00	1,03	0,7%	119	0,94	0,95	0,2%	64	0,60	0,58
4	(Suiker)bieten	0,86	369	1,3%	144	1,45	1,39	0,6%	100	1,34	1,33	0,5%	122	0,84	0,83
	Aardappelen	0,82	379	1,2%	135	1,30	1,25	0,6%	105	1,15	1,13	0,6%	139	0,81	0,80
	Bollen	0,97	282	1,8%	142	2,25	2,25	0,5%	89	1,62	1,58	0,4%	80	1,07	1,07
	Boomgaard	0,82	522	1,4%	213	1,21	1,18	1,1%	210	1,14	1,11	0,5%	129	0,89	0,87
	Boomteelt	0,87	487	1,1%	125	1,17	1,15	0,7%	115	1,15	1,14	0,6%	134	0,75	0,74
	Donker naaldbos	0,88	179	0,7%	99	1,55	1,55	0,6%	110	1,31	1,31	0,4%	101	0,85	0,85
	Droge natuur	0,83	240	3,4%	390	1,36	1,39	0,9%	171	1,17	1,18	0,4%	102	0,82	0,81
	Glastuinbouw	0,93	343	1,5%	170	1,47	1,40	0,8%	162	1,24	1,18	0,5%	123	1,13	1,08
	Granen	0,83	311	1,7%	203	1,57	1,51	0,8%	145	1,23	1,19	0,5%	131	0,89	0,87
	Gras	0,91	350	2,2%	253	1,39	1,36	0,8%	157	1,22	1,19	0,6%	152	0,87	0,85
	Kale grond	1,02	424	14,7%	3855	1,36	1,51	0,6%	74	1,62	1,62	0,3%	67	1,16	1,16
	Licht naaldbos	1,01	148	2,3%	192	2,06	2,11	0,5%	87	1,42	1,42	0,3%	74	0,98	0,98
	Loofbos	0,89	248	2,5%	292	1,23	1,23	0,9%	158	1,09	1,08	0,7%	168	0,75	0,74
	Maïs	0,81	278	1,7%	196	1,20	1,16	0,7%	129	1,13	1,10	0,6%	151	0,85	0,83
	Natte natuur	0,83	101	4,1%	733	1,02	1,13	0,8%	139	0,99	1,03	0,3%	75	0,71	0,72
	Overige landbouw	0,86	321	1,5%	180	1,30	1,27	0,7%	135	1,20	1,18	0,6%	133	0,83	0,81
	Stedelijk	1,11	542	2,0%	162	2,06	2,08	0,5%	92	1,74	1,74	0,3%	73	1,13	1,12
Zoet water	0,84	211	24,1%	8008	1,05	1,09	0,7%	147	1,01	1,01	0,3%	84	0,56	0,55	
5	(Suiker)bieten	0,86	572	1,0%	86	1,44	1,32	0,8%	99	1,46	1,39	0,5%	88	0,89	0,87
	Aardappelen	0,84	574	0,8%	89	1,39	1,30	0,8%	100	1,53	1,46	0,4%	68	0,78	0,77
	Bollen	0,91	584	0,5%	70	1,06	0,87	0,8%	93	1,83	1,76	0,4%	87	0,79	0,70
	Boomgaard	0,99	771	1,6%	74	1,55	1,50	1,0%	90	1,69	1,63	0,7%	84	1,23	1,18
	Boomteelt	1,03	642	1,7%	253	1,88	1,75	0,7%	84	1,69	1,65	0,8%	147	0,85	0,84
	Donker naaldbos	0,80	133					0,9%	105	1,65	1,74	0,4%	73	1,02	1,03

	Droge natuur	0,87	262	1,2%	79	2,64	2,66	0,7%	85	2,34	2,36	0,3%	56	0,96	0,96
	Glastuinbouw	1,01	385	2,7%	193	1,38	1,24	0,8%	118	1,51	1,46	0,6%	109	0,96	0,94
	Granen	0,85	557	1,0%	87	1,37	1,23	1,1%	140	1,47	1,37	0,6%	88	0,88	0,85
	Gras	0,93	401	1,3%	130	1,57	1,50	0,9%	140	1,58	1,53	0,6%	106	0,84	0,83
	Kale grond	1,11	353					1,0%	90	1,62	1,48	0,3%	49	0,81	0,81
	Licht naaldbos	0,95	131	0,5%	53	2,27	2,28	0,5%	57	2,24	2,25	0,3%	45	0,95	0,95
	Loofbos	0,95	239	1,1%	160	1,53	1,52	0,9%	138	1,64	1,65	0,5%	83	0,89	0,89
	Maïs	0,85	379	0,9%	105	1,53	1,44	0,8%	118	1,44	1,38	0,6%	106	0,77	0,76
	Natte natuur	0,16	393	1,4%	210	0,59	0,26	3,2%	417	0,43	0,25	0,2%	22	0,30	0,24
	Overige landbouw	0,92	515	0,8%	86	1,77	1,69	0,8%	98	1,73	1,68	0,6%	111	0,82	0,81
	Stedelijk	1,13	517	1,1%	126	2,00	1,98	0,7%	97	1,97	1,94	0,4%	89	1,01	1,00
	Zoet water	0,96	246	2,4%	188	1,53	1,53	1,0%	128	1,85	1,85	0,3%	48	0,86	0,86
7	(Suiker)bieten	1,15	187	0,3%	83	1,14	1,34	0,5%	127	1,24	1,25	0,8%	210	0,84	0,87
	Aardappelen	1,06	396	0,5%	160	1,98	1,98	0,7%	173	0,97	1,03	0,5%	144	0,65	0,66
	Bollen	1,14	319	0,1%	20	2,48	2,48	0,2%	43	1,68	1,69	0,4%	93	1,00	1,00
	Boomgaard	1,13	304					0,5%	130	0,87	0,87	0,7%	184	0,77	0,77
	Boomteelt	1,13	322	0,3%	84	1,32	1,51	0,5%	145	1,09	1,13	0,6%	161	0,67	0,67
	Donker naaldbos	1,17	86	0,5%	132	1,32	1,49	0,6%	186	2,11	2,14	0,4%	175	0,80	0,80
	Droge natuur	1,11	155	0,8%	126	1,41	1,55	0,7%	210	1,53	1,55	0,5%	165	0,86	0,87
	Glastuinbouw	1,13	312					0,3%	69	0,98	0,98	0,4%	99	0,43	0,43
	Granen	1,11	202	1,1%	237	2,13	2,45	0,7%	193	1,73	1,77	0,6%	182	0,78	0,79
	Gras	1,10	295	1,3%	240	1,34	1,54	0,9%	220	1,15	1,22	0,7%	187	0,71	0,72
	Kale grond	1,14	195	1,5%	162	2,25	2,31	0,2%	75	1,58	1,58	0,3%	108	1,20	1,21
	Licht naaldbos	1,16	122	0,8%	201	1,67	1,81	0,6%	192	2,25	2,27	0,4%	123	0,97	0,98
	Loofbos	1,14	229	1,7%	370	2,31	2,45	0,8%	235	2,01	2,04	0,5%	159	0,96	0,97
	Maïs	1,08	177	0,9%	171	1,35	1,55	0,7%	161	1,10	1,16	0,7%	185	0,70	0,70
	Natte natuur	0,99	6	2,0%	201	0,94	0,94	1,2%	252	1,03	1,11	0,0%	7	0,79	0,79
Overige	1,09	294	0,3%	71	1,64	1,67	0,8%	190	1,03	1,09	0,7%	190	0,82	0,83	

	landbouw														
	Stedelijk	1,12	519	1,3%	149	1,77	1,88	0,6%	131	1,36	1,39	0,3%	92	0,76	0,76
	Zoet water	1,05	248	3,4%	441	1,23	1,30	0,6%	182	1,03	1,04	0,4%	106	0,68	0,69
9	(Suiker)bieten	1,00	69	0,4%	107	1,61	1,61	1,0%	254	0,92	0,93	0,8%	220	0,54	0,55
	Aardappelen	1,17	252	0,3%	91	1,51	1,51	1,0%	244	0,96	0,96	0,5%	123	0,78	0,78
	Boomgaard	0,89	134					1,0%	151	0,88	1,07	1,5%	400	0,64	0,66
	Boomteelt	1,05	370	1,0%	187	1,23	1,42	0,5%	108	1,12	1,17	0,7%	185	0,66	0,66
	Donker naaldbos	1,27	87					0,5%	108	1,50	1,50	0,6%	173	0,86	0,86
	Droge natuur	1,16	141	1,6%	213	0,66	0,90	0,9%	224	1,18	1,39	1,1%	429	0,91	0,92
	Glastuinbouw	1,06	456					1,1%	300	1,08	1,12				
	Granen	1,02	422	0,3%	64	1,09	1,37	0,5%	113	1,13	1,23	0,9%	223	0,67	0,67
	Gras	1,05	362	1,5%	232	1,15	1,43	0,7%	163	1,02	1,12	0,9%	228	0,65	0,66
	Kale grond	1,13	220	0,4%	97	1,34	1,34	0,3%	74	1,02	1,02	0,3%	91	0,44	0,44
	Licht naaldbos	1,17	114					0,3%	76	1,26	1,26	0,4%	111	0,81	0,81
	Loofbos	1,12	345	1,6%	268	1,16	1,41	0,7%	165	1,12	1,21	0,7%	186	0,68	0,69
	Mais	1,06	156	1,3%	211	1,15	1,44	0,6%	140	1,01	1,10	0,9%	225	0,64	0,65
	Natte natuur	1,20	113	1,3%	233	0,88	1,27	1,2%	300	0,63	0,91	0,1%	26	0,59	0,59
	Overige landbouw	1,07	311	0,7%	128	1,36	1,61	0,5%	127	1,12	1,21	0,8%	202	0,74	0,74
	Stedelijk	1,12	515	1,9%	262	1,53	1,73	0,7%	138	1,18	1,21	0,5%	114	0,71	0,72
Zoet water	1,11	267	5,9%	584	1,49	1,92	0,8%	137	0,83	0,97	0,5%	107	0,48	0,50	
12	(Suiker)bieten	0,79	410	1,5%	168	1,38	1,25	0,7%	149	1,22	1,18	0,4%	104	0,82	0,81
	Aardappelen	0,79	334	1,3%	157	1,25	1,15	0,6%	128	1,20	1,14	0,5%	125	0,79	0,77
	Bollen	0,92	487	1,7%	197	1,91	1,77	0,6%	136	1,25	1,20	0,4%	89	0,85	0,84
	Boomgaard	0,71	278	0,3%	51	0,84	0,87	0,6%	91	1,05	1,07	0,5%	113	0,65	0,64
	Boomteelt	0,85	393	1,0%	129	1,32	1,29	0,6%	116	1,29	1,27	0,6%	141	0,79	0,78
	Donker naaldbos	0,75	180	1,3%	190	1,71	1,67	0,6%	120	1,32	1,30	0,5%	117	0,74	0,74
	Droge natuur	0,73	190	1,8%	173	1,41	1,35	0,7%	127	1,00	0,99	0,6%	132	0,78	0,78

	Glastuinbouw	0,80	327	2,9%	191	1,71	1,71	0,5%	56	1,13	1,13	0,3%	75	1,13	1,13
	Granen	0,76	293	1,6%	200	1,28	1,22	0,6%	121	1,15	1,12	0,5%	129	0,78	0,77
	Gras	0,77	302	1,8%	213	1,28	1,22	0,6%	119	1,18	1,15	0,6%	133	0,77	0,75
	Kale grond	0,84	127	9,7%	3055	1,16	1,13	0,4%	87	1,71	1,72	0,5%	121	0,87	0,87
	Licht naaldbos	0,83	135	1,6%	174	1,77	1,74	0,6%	100	1,27	1,26	0,4%	93	0,84	0,83
	Loofbos	0,79	225	1,8%	205	1,41	1,37	0,7%	128	1,28	1,26	0,5%	124	0,81	0,80
	Maïs	0,74	267	1,5%	191	1,26	1,19	0,6%	115	1,17	1,13	0,6%	132	0,77	0,75
	Natte natuur	0,67	676	3,7%	826	0,97	1,01	1,6%	408	0,88	0,89	0,4%	89	0,71	0,72
	Overige landbouw	0,77	302	2,0%	233	1,27	1,20	0,6%	114	1,16	1,11	0,5%	123	0,78	0,77
	Stedelijk	1,00	518	2,2%	239	1,83	1,80	0,6%	113	1,52	1,51	0,4%	93	0,92	0,91
	Zoet water	0,86	239	15,5%	5560	1,25	1,22	0,9%	202	1,03	1,02	0,3%	92	0,64	0,63
13	(Suiker)bieten	0,83	560	1,8%	104	1,50	1,31	0,7%	110	1,40	1,29	0,6%	115	0,96	0,93
	Aardappelen	0,81	467	2,0%	116	1,50	1,34	0,7%	115	1,36	1,27	0,7%	126	0,95	0,92
	Bollen	0,72	394	2,6%	157	1,28	1,17	0,8%	131	1,32	1,25	0,6%	128	0,89	0,87
	Boomgaard	0,79	371	1,2%	63	1,43	1,27	0,9%	134	1,33	1,23	0,9%	160	0,94	0,90
	Boomteelt	0,87	412	1,1%	89	1,38	1,27	0,8%	123	1,31	1,23	0,6%	125	0,91	0,90
	Donker naaldbos	0,77	133	2,0%	94	1,60	1,56	0,4%	59	1,29	1,28	0,5%	95	0,90	0,90
	Droge natuur	0,66	264	3,3%	189	1,18	1,12	0,9%	129	1,01	0,97	0,8%	173	0,68	0,67
	Glastuinbouw	0,82	311	2,5%	140	1,24	1,21	1,8%	259	0,74	0,66	0,4%	65	1,20	1,16
	Granen	0,82	479	2,0%	129	1,52	1,33	0,7%	119	1,39	1,29	0,6%	124	0,95	0,92
	Gras	0,76	331	2,2%	159	1,26	1,13	1,1%	176	1,13	1,05	0,8%	159	0,85	0,82
	Kale grond	0,93	171	16,9%	3176	2,27	2,14	0,8%	117	1,82	1,75	0,6%	121	1,27	1,24
	Licht naaldbos	0,83	167	2,8%	335	1,61	1,57	0,5%	68	1,36	1,33	0,4%	80	0,93	0,92
	Loofbos	0,82	209	2,6%	185	1,56	1,48	0,7%	106	1,32	1,28	0,6%	119	0,90	0,89
	Maïs	0,77	377	1,8%	129	1,41	1,24	0,8%	119	1,28	1,18	0,7%	145	0,90	0,87
	Natte natuur	0,63	217	6,2%	396	0,58	0,55	0,9%	108	0,56	0,55	1,1%	184	0,40	0,40
Overige landbouw	0,80	450	2,2%	150	1,39	1,22	0,7%	111	1,32	1,21	0,6%	126	0,95	0,92	

	Stedelijk	0,98	497	2,4%	131	1,73	1,65	0,7%	97	1,50	1,45	0,5%	96	1,04	1,03
	Zoet water	0,82	192	33,4%	10295	1,00	0,91	0,9%	161	0,86	0,79	0,5%	101	0,71	0,67
43	(Suiker)bieten	1,09	493	2,8%	56	1,40	1,26	1,4%	76	1,17	1,13	0,5%	27	0,88	0,87
	Aardappelen	1,09	487	2,5%	49	1,40	1,27	1,5%	70	1,18	1,14	0,5%	22	0,89	0,89
	Bollen	0,59	545	4,0%	715	0,70	0,68	1,2%	302	0,66	0,65	0,2%	76	0,67	0,66
	Boomgaard	0,77	451	4,4%	751	1,00	0,89	2,6%	434	0,97	0,88	0,4%	40	0,92	0,85
	Boomteelt	0,53	635	11,1%	264	0,70	0,68	2,5%	157	0,71	0,69	0,6%	32	0,70	0,68
	Droge natuur	0,86	123	10,6%	584	1,16	1,11	3,0%	205	0,78	0,73	0,4%	45	1,34	1,31
	Glastuinbouw	0,79	347	4,4%	179	1,02	0,97	2,1%	187	0,91	0,87	0,4%	47	0,81	0,78
	Granen	1,09	451	2,9%	66	1,41	1,28	1,4%	75	1,17	1,13	0,6%	27	0,92	0,92
	Gras	0,80	368	5,4%	246	0,93	0,87	3,1%	294	0,80	0,74	0,4%	46	0,77	0,73
	Kale grond	0,98	347	16,7%	3808	1,26	1,11	0,1%	7	1,17	1,17	0,1%	32	1,04	1,03
	Licht naaldbos	0,99	260	9,4%	462	5,70	5,69	1,4%	120	2,07	2,07	0,2%	8	0,12	0,12
	Loofbos	0,92	370	7,2%	491	1,52	1,49	1,5%	232	1,01	0,98	0,3%	62	0,87	0,85
	Maïs	0,85	349	2,6%	125	0,92	0,83	3,1%	284	0,91	0,84	0,4%	43	0,92	0,88
	Natte natuur	0,66	91	17,8%	736	0,21	0,21	2,4%	142	0,21	0,20	0,7%	37	0,28	0,28
	Overige landbouw	0,96	440	5,3%	207	1,12	1,04	1,7%	127	1,04	1,01	0,4%	43	0,85	0,84
	Stedelijk	1,03	500	3,7%	126	1,51	1,48	1,0%	93	1,14	1,13	0,3%	35	0,93	0,91
Zoet water	0,71	197	49,6%	18244	0,60	0,59	1,2%	118	0,73	0,71	0,3%	27	0,49	0,48	
44	(Suiker)bieten	1,04	531	2,4%	77	1,23	1,14	1,5%	126	1,04	1,01	0,3%	27	0,71	0,70
	Aardappelen	1,04	500	2,4%	82	1,30	1,22	1,7%	116	1,11	1,08	0,4%	25	0,92	0,91
	Boomgaard	1,09	454	1,2%	36	1,33	1,22	2,3%	261	1,16	1,12	0,2%	10	0,82	0,82
	Boomteelt	0,94	371	4,0%	213	1,08	1,04	1,8%	172	0,90	0,86	0,1%	37	0,58	0,58
	Droge natuur	0,74	107	5,5%	133	1,25	1,13	2,7%	162	1,56	1,47	0,7%	80	0,81	0,77
	Glastuinbouw	0,84	393	4,0%	286	1,06	1,01	1,9%	229	0,95	0,91	0,3%	29	0,89	0,85
	Granen	1,03	470	2,4%	90	1,31	1,25	1,7%	162	1,10	1,07	0,3%	32	0,77	0,76
	Gras	0,82	471	4,4%	199	1,15	1,09	2,8%	230	0,92	0,85	0,4%	38	0,82	0,77
Kale grond			3,4%	45	2,95	2,95	2,8%	117	1,48	1,48					



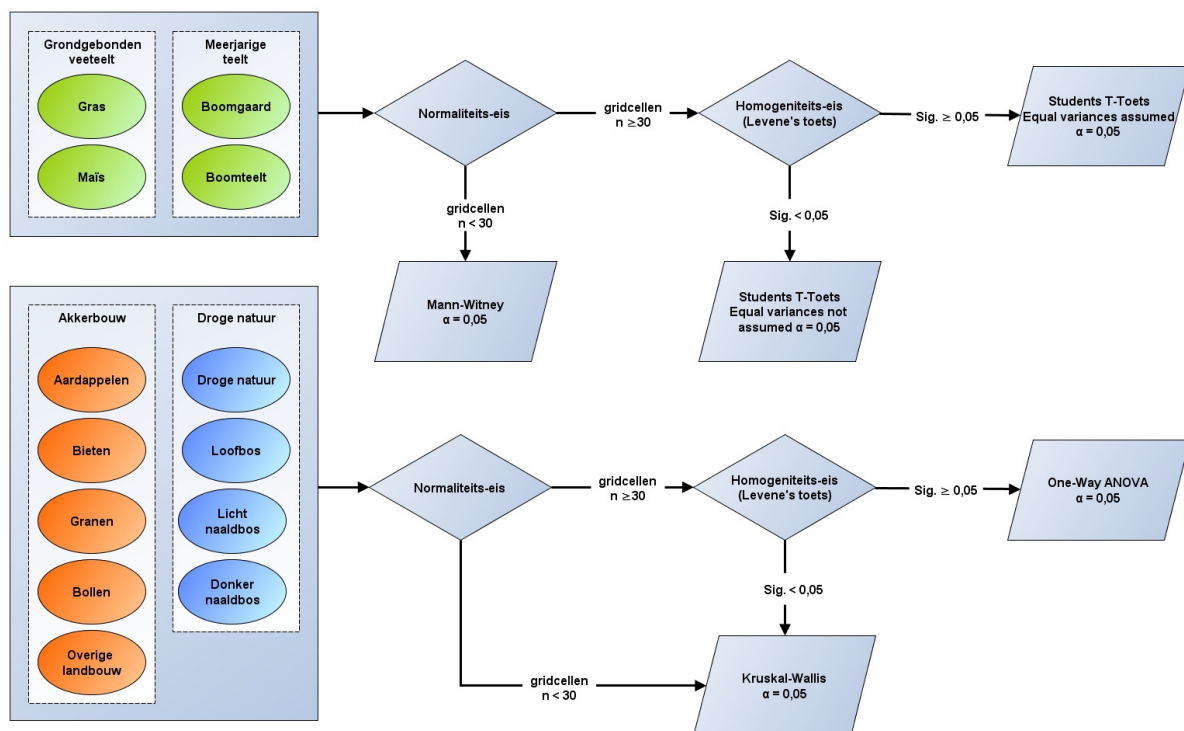
	Licht naaldbos	0,85	265	14,8%	484	1,45	1,41	0,8%	30	1,34	1,29	0,8%	53	0,69	0,69
	Loofbos	0,83	403	7,1%	405	1,42	1,39	2,0%	151	0,93	0,90	0,9%	72	0,75	0,73
	Mais	0,70	443	2,5%	79	1,00	0,86	3,1%	245	0,88	0,78	0,4%	35	0,54	0,54
	Natte natuur	0,34	95	10,5%	325	0,34	0,33	2,2%	99	0,34	0,34				
	Overige landbouw	0,98	475	2,8%	140	1,21	1,14	1,9%	171	1,06	1,03	0,5%	39	0,76	0,76
	Stedelijk	1,00	501	3,3%	113	1,54	1,52	1,0%	79	1,16	1,15	0,4%	27	0,99	0,97
	Zoet water	0,83	208	32,1%	8398	0,86	0,84	1,3%	117	0,80	0,77	0,4%	31	0,38	0,35
	Zout water	1,09	309	2,4%	303	0,74	0,74								
63	(Suiker)bieten	1,08	711	3,5%	132	1,74	1,73	0,9%	99	1,33	1,33	0,6%	77	1,21	1,21
	Aardappelen	1,07	663	4,1%	171	1,80	1,79	0,9%	105	1,32	1,32	0,7%	87	1,20	1,20
	Bollen	0,98	695	2,9%	114	1,64	1,62	1,1%	133	1,33	1,33	0,5%	70	1,23	1,23
	Boomgaard	1,11	810	2,4%	109	1,96	1,94	1,5%	230	1,43	1,43	0,5%	68	1,24	1,24
	Boomteelt	1,11	536	2,4%	76	1,56	1,56	1,2%	104	1,51	1,51	0,4%	36	1,34	1,34
	Donker naaldbos	0,95	60	2,5%	91	1,63	1,63	0,8%	74	1,40	1,40	0,6%	81	1,30	1,30
	Droge natuur	0,98	207	9,4%	708	1,57	1,45	1,1%	132	1,23	1,20	0,9%	130	1,07	1,06
	Glastuinbouw	1,17	352	3,6%	109	1,69	1,69	2,3%	158	1,41	1,41	0,4%	25	1,37	1,37
	Granen	1,08	668	3,6%	148	1,78	1,78	0,9%	106	1,33	1,33	0,7%	87	1,19	1,19
	Gras	1,03	554	5,7%	269	1,72	1,71	1,2%	148	1,32	1,32	0,8%	112	1,21	1,21
	Kale grond	1,12	424	13,2%	998	1,15	1,15	1,5%	109	1,24	1,24	0,6%	70	1,25	1,25
	Licht naaldbos	1,08	100	2,8%	99	1,84	1,84	0,8%	98	1,33	1,33	0,5%	69	1,17	1,17
	Loofbos	1,01	161	4,9%	252	1,69	1,69	1,1%	127	1,31	1,31	0,6%	82	1,20	1,20
	Mais	1,06	674	3,7%	138	1,76	1,75	0,9%	94	1,30	1,30	0,6%	85	1,22	1,22
	Natte natuur	0,80	134	11,8%	1530	0,88	0,84	1,0%	99	0,99	0,92	0,7%	94	0,99	0,93
	Overige landbouw	1,06	671	3,5%	144	1,65	1,66	1,0%	106	1,30	1,30	0,6%	86	1,20	1,20
	Stedelijk	1,13	503	4,3%	195	2,00	2,00	1,4%	167	1,46	1,46	0,6%	89	1,29	1,28
Zoet water	0,91	227	47,7%	18445	0,58	0,58	0,7%	116	0,78	0,78	0,4%	54	1,03	1,02	

## **BIJLAGE 4**

# **RESULTATEN TOETSING HYDROLOGISCHE VERSCHILLEN VAN HET HUIDIG LANDGEBRUIK**

## Toetsing van effectverschillen van het huidig landgebruik

Voor het toetsen van de verschillen tussen de NHI-landgebruiksklassen die tot dezelfde RS-landgebruiksklasse behoren is het programma SPSS (SPSS versie 11, 2002) gebruikt. Om in termen van de beschrijvende statistiek te blijven vormen de landgebruiksklassen met een gemeenschappelijk kenmerk de “populatie”. Deze populatie bestaat uit verschillende gridcellen (250 m bij 250 m) met per gridcel een parameterwaarde uit het NHI. De modelparameters zijn de variabelen.



Afbeelding 1. De gehanteerde procedure om te toetsen of de berekende verschillen van verdamping, buisdrainage-diepte, drooglegging en de dichtheid van waterlopen tussen de NHI-landgebruiksklassen significant zijn.

Voor de statistische toetsing is gekozen voor een 95%-betrouwbaarheidsinterval ( $\alpha=0,05$ ), met  $H_0=$  “De gemiddelden van de groepen zijn gelijk aan elkaar” ( $H_0: \mu_1=\mu_2$ ). Voor de uitvoering is gecontroleerd op homogeniteit (Levene’s toets) en normaliteit, waarbij voor de normaliteitseis is gekeken of het aantal gridcellen (populatiegrootte) voldoende groot is (minimaal 30 gridcellen).

De statistische toets is uitgevoerd voor de *verdamping* (mm/jaar), de *buisdrainage-diepte* (meter), de *winter- en zomerdrooglegging* (meter) van het secundaire watersysteem en de *dichtheid* van de waterlopen (%) van het secundaire watersysteem. Voor de RS-landgebruiksklassen grondgebonden veeteelt en meerjarige teelt is gebruik gemaakt van de t-toets (t-toets voor onafhankelijke steekproeven of Mann-Witney (afhankelijk van de het aantal gridcellen ofwel populatiegrootte), omdat deze ieder twee NHI-landgebruiksklassen (groepen)

bevatten. De RS-landgebruiksklassen akkerbouw en droge natuur hebben respectievelijk vijf en vier NHI-landgebruiksklassen en is de t-toets niet toepasbaar. Voor deze landgebruiksklassen is gebruik gemaakt van een enkelvoudige variantie-analyse One-Way ANOVA of Kruskal-Wallis (afhankelijk van homogeniteittoets en het aantal gridcellen ofwel populatiegrootte).

Hieronder volgen de resultaten van de statistische toets. Regio's 57 t/m 61 zijn momenteel nog niet geschematiseerd in het NHI en niet opgenomen in onderstaande tabellen.

## Resultaat statistische toets verdamping

Tabel 1.1. Grondgebonden veeteelt (vergelijking tussen grasland en maïs)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
1	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
2	ja	0.000	0.360	0.423	T-Toets	ja
3	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
4	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
5	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
6	ja	0.000	0.943	0.478	T-Toets	ja
7	ja	0.010	0.000	0.000	T-Toets	nee
8	ja	0.003	0.000	0.000	T-Toets	nee
9	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
10	nee	0.308	0.018	0.000	Mann-Whitney	nee
11	ja	0.386	0.000	0.000	T-Toets	nee
12	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
13	ja	0.001	0.000	0.000	T-Toets	nee
14	ja	0.002	0.000	0.000	T-Toets	nee
15	ja	0.000	0.046	0.036	T-Toets	nee
16	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
17	ja	0.570	0.000	0.000	T-Toets	nee
18	ja	0.000	0.002	0.057	T-Toets	nee
19	ja	0.936	0.190	0.000	T-Toets	ja
20	nee	0.391	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
21	ja	0.014	0.050	0.000	T-Toets	ja
22	ja	0.040	0.000	0.000	T-Toets	nee
23	ja	0.000	0.012	0.000	T-Toets	nee
24	ja	0.005	0.000	0.000	T-Toets	nee
25	ja	0.081	0.000	0.000	T-Toets	nee
26	ja	0.000	0.685	0.018	T-Toets	ja
27	ja	0.768	0.000	0.000	T-Toets	nee
28	ja	0.059	0.000	0.000	T-Toets	nee
29	ja	0.763	0.000	0.000	T-Toets	nee

30	ja	0.951	0.000	0.000	T-Toets	nee
31	ja	0.785	0.000	0.000	T-Toets	nee
32	ja	0.002	0.000	0.000	T-Toets	nee
33	ja	0.000	0.754	0.000	T-Toets	ja
34	ja	0.000	0.021	0.000	T-Toets	nee
35	ja	0.206	0.022	0.000	T-Toets	nee
36	ja	0.000	0.000	0.579	T-Toets	nee
37	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
38	ja	0.001	0.900	0.343	T-Toets	ja
39	ja	0.001	0.371	0.228	T-Toets	ja
41	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
42	ja	0.001	0.000	0.000	T-Toets	nee
43	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
44	ja	0.000	0.000	0.029	T-Toets	nee
45	ja	0.000	0.009	0.946	T-Toets	nee
46	nee	0.018	0.011	0.170	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.794	0.515	0.569	Mann-Whitney	ja
48	ja	0.002	0.036	0.087	T-Toets	nee
49	ja	0.000	0.000	0.103	T-Toets	nee
50	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
51	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
52	ja	0.000	0.082	0.021	T-Toets	ja
53	ja	0.000	0.000	0.006	T-Toets	nee
54	ja	0.000	0.002	0.073	T-Toets	nee
55	ja	0.000	0.206	0.003	T-Toets	ja
56	ja	0.000	0.000	0.662	T-Toets	nee
62	ja	0.000	0.002	0.243	T-Toets	nee
63	ja	0.000	0.000	0.110	T-Toets	nee

Tabel 1.2. Akkerbouw (vergelijking tussen aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.001	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
1	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
2	nee	0.575	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
3	ja	0.340	0.000	0.000	Anova	nee
4	ja	0.002	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.511	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.124	0.009	0.011	Kruskal-Wallis	nee
7	nee	0.711	0.052	0.003	Kruskal-Wallis	nee
8	nee	0.214	0.589	0.577	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.280	0.759	0.502	Kruskal-Wallis	ja
10	nee	0.094	0.933	0.826	Kruskal-Wallis	ja

11	nee	0.000	0.012	0.011	Kruskal-Wallis	nee
12	ja	0.171	0.006	0.000	Anova	nee
13	ja	0.035	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
14	nee	0.868	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
15	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
16	nee	0.065	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
17	nee	0.316	0.591	0.167	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	0.000	0.582	0.310	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.866	0.143	0.117	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.119	0.805	0.842	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.152	0.406	0.128	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
23	nee	0.233	0.012	0.013	Kruskal-Wallis	nee
24	nee	0.225	0.001	0.003	Kruskal-Wallis	nee
25	nee	0.398	0.083	0.091	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.286	0.466	0.259	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.109	0.011	0.005	Kruskal-Wallis	nee
28	nee	0.747	0.004	0.005	Kruskal-Wallis	nee
29	nee	0.000	0.000	0.005	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.276	0.196	0.165	Kruskal-Wallis	ja
31	nee	0.008	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
34	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.105	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
36	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
37	ja	0.659	0.000	0.000	Anova	nee
38	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
39	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
41	nee	0.156	0.150	0.117	Kruskal-Wallis	ja
42	nee	0.206	0.227	0.269	Kruskal-Wallis	ja
43	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.133	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
45	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	0.531	0.003	0.000	Kruskal-Wallis	nee
47	nee	0.127	0.522	0.403	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.174	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
50	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
51	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.008	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
53	nee	0.057	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
54	nee	0.711	0.012	0.006	Kruskal-Wallis	nee

55	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
56	nee	0.001	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
62	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
63	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee

**Tabel 1.3. Meerjarige teelt (vergelijking tussen boomteelt en boomgaard)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.675	0.000	0.013	Mann-Whitney	nee
1	nee	0.086	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
2	ja	0.949	0.000	0.000	T-Toets	nee
3	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
4	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
5	ja	0.005	0.000	0.000	T-Toets	nee
6	nee	0.021	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
7	nee	0.536	0.266	0.333	Mann-Whitney	ja
8	nee	0.343	0.084	0.282	Mann-Whitney	ja
9	nee	0.055	0.000	0.001	Mann-Whitney	nee
12	nee	0.001	0.005	0.000	Mann-Whitney	nee
13	nee	0.117	0.007	0.009	Mann-Whitney	nee
14	nee	0.000	0.000	0.275	Mann-Whitney	ja
16	nee	0.444	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
17	nee	0.320	0.002	0.001	Mann-Whitney	nee
18	nee	0.914	0.073	0.041	Mann-Whitney	nee
19	nee	0.056	0.179	0.083	Mann-Whitney	ja
21	nee	0.087	0.024	0.042	Mann-Whitney	nee
22	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
23	nee	0.886	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
24	nee	0.275	0.059	0.053	Mann-Whitney	ja
25	nee	0.427	0.004	0.006	Mann-Whitney	nee
27	nee	0.234	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
28	nee	0.122	0.016	0.018	Mann-Whitney	nee
31	nee	0.398	0.111	0.236	Mann-Whitney	ja
32	nee	0.000	0.000	0.165	Mann-Whitney	ja
33	nee	0.000	0.000	0.121	Mann-Whitney	ja
34	nee	0.009	0.126	0.194	Mann-Whitney	ja
35	nee	0.055	0.028	0.053	Mann-Whitney	ja
36	nee	0.942	0.018	0.034	Mann-Whitney	nee
37	nee	0.154	0.000	0.001	Mann-Whitney	nee
38	nee	0.000	0.000	0.317	Mann-Whitney	ja
41	nee	0.209	0.037	0.031	Mann-Whitney	nee
42	nee	0.607	0.189	0.179	Mann-Whitney	ja
43	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
44	nee	0.868	0.005	0.014	Mann-Whitney	nee

45	nee	0.303	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
47	nee	0.000	0.000	0.248	Mann-Whitney	ja
48	nee	0.970	0.000	0.004	Mann-Whitney	nee
49	nee	0.277	0.003	0.014	Mann-Whitney	nee
50	nee	0.241	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
51	nee	0.025	0.053	0.009	Mann-Whitney	nee
52	nee	0.080	0.004	0.013	Mann-Whitney	nee
53	nee	0.277	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
54	nee	0.000	0.000	0.097	Mann-Whitney	ja
55	nee	0.014	0.000	0.004	Mann-Whitney	nee
56	nee	0.202	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
62	nee	0.000	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
63	nee	0.000	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee

**Tabel 1.4. Droge natuur (vergelijking tussen droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
1	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
2	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
3	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
4	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
7	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
8	nee	0.009	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
9	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
10	nee	0.000	0.000	0.004	Kruskal-Wallis	nee
11	nee	0.225	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
12	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
13	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
14	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
15	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
16	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
17	nee	0.029	0.156	0.131	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	0.065	0.055	0.086	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.100	0.002	0.004	Kruskal-Wallis	nee
20	nee	0.019	0.000	0.015	Kruskal-Wallis	nee
21	nee	0.158	0.023	0.059	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.029	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
23	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
24	nee	0.378	0.000	0.001	Kruskal-Wallis	nee
25	nee	0.252	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
26	nee	0.796	0.002	0.007	Kruskal-Wallis	nee
27	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee



28	nee	0.045	0.000	0.003	Kruskal-Wallis	nee
29	nee	0.124	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.566	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
31	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.755	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.698	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
34	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.017	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
36	nee	0.001	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
37	nee	0.314	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
38	nee	0.054	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
39	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
40	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
41	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
42	nee	0.000	0.010	0.002	Kruskal-Wallis	nee
43	nee	0.001	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
45	nee	0.443	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	0.000	0.788	0.779	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.861	0.034	0.097	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.281	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
50	nee	0.398	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
51	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.363	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
53	nee	0.000	0.006	0.000	Kruskal-Wallis	nee
54	nee	0.622	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
55	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
56	nee	0.745	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
62	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
63	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee

## Resultaat statistische toets buisdrainage-diepte

Tabel 2.1. Grondgebonden veeteelt (vergelijking tussen grasland en maïs)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	ja	0.000	0.191	0.009	T-Toets	ja
1	ja	0.000	0.006	0.001	T-Toets	nee
2	ja	0.000	0.000	0.001	T-Toets	nee
3	ja	0.018	0.000	0.000	T-Toets	nee
4	ja	0.528	0.000	0.000	T-Toets	nee
5	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
6	ja	0.655	0.665	0.314	T-Toets	ja
7	ja	0.046	0.211	0.372	T-Toets	ja

8	ja	0.479	0.140	0.138	T-Toets	ja
9	ja	0.686	0.600	0.653	T-Toets	ja
10	nee	0.017	0.889	0.734	Mann-Whitney	ja
11	ja	0.581	0.162	0.249	T-Toets	ja
12	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
13	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
14	ja	0.000	0.004	0.005	T-Toets	nee
15	ja	0.078	0.000	0.000	T-Toets	nee
16	ja	0.159	0.237	0.088	T-Toets	ja
17	ja	0.026	0.001	0.004	T-Toets	nee
18	nee	0.762	0.061	0.074	Mann-Whitney	ja
19	nee	0.337	0.761	0.630	Mann-Whitney	ja
20	nee	0.003	0.189	0.300	Mann-Whitney	ja
21	nee	0.012	0.012	0.003	Mann-Whitney	nee
22	ja	0.000	0.043	0.054	T-Toets	nee
23	ja	0.013	0.000	0.000	T-Toets	nee
24	ja	0.004	0.004	0.000	T-Toets	nee
25	ja	0.152	0.121	0.248	T-Toets	ja
26	ja	0.288	0.002	0.000	T-Toets	nee
27	ja	0.031	0.000	0.000	T-Toets	nee
28	nee	0.250	0.000	0.001	Mann-Whitney	nee
29	ja	0.018	0.000	0.000	T-Toets	nee
30	ja	0.041	0.004	0.001	T-Toets	nee
31	ja	0.946	0.000	0.000	T-Toets	nee
32	ja	0.067	0.000	0.000	T-Toets	nee
33	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
34	ja	0.021	0.066	0.096	T-Toets	ja
35	ja	0.000	0.304	0.015	T-Toets	ja
36	ja	0.769	0.449	0.363	T-Toets	ja
37	ja	0.145	0.393	0.612	T-Toets	ja
38	ja	0.419	0.413	0.363	T-Toets	ja
39	ja	0.000	0.003	0.018	T-Toets	nee
41	ja	0.572	0.489	0.389	T-Toets	ja
42	nee	0.050	0.878	0.862	Mann-Whitney	ja
43	ja	0.000	0.024	0.188	T-Toets	nee
44	ja	0.751	0.055	0.041	T-Toets	ja
45	ja	0.036	0.000	0.000	T-Toets	nee
46	nee	0.565	0.782	0.461	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.258	0.013	0.018	Mann-Whitney	nee
48	ja	0.004	0.065	0.767	T-Toets	ja
49	ja	0.075	0.597	0.774	T-Toets	ja
50	ja	0.365	0.008	0.022	T-Toets	nee
51	ja	0.403	0.266	0.069	T-Toets	ja

52	ja	0.296	0.001	0.000	T-Toets	nee
53	ja	0.743	0.018	0.000	T-Toets	nee
54	ja	0.096	0.221	0.222	T-Toets	ja
55	ja	0.017	0.000	0.000	T-Toets	nee
56	ja	0.000	0.180	0.102	T-Toets	ja
62	ja	0.004	0.000	0.000	T-Toets	nee
63	ja	0.000	0.000	0.947	T-Toets	nee

**Tabel 2.2. Akkerbouw (vergelijking tussen aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.042	0.190	0.458	Kruskal-Wallis	ja
1	nee	0.002	0.074	0.157	Kruskal-Wallis	ja
2	nee	0.008	0.653	0.222	Kruskal-Wallis	ja
3	ja	0.190	0.000	0	Anova	nee
4	ja	0.000	0.017	0	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.041	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.396	0.062	0.11	Kruskal-Wallis	ja
7	nee	0.258	0.588	0.184	Kruskal-Wallis	ja
8	nee	0.461	0.813	0.88	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.454	0.478	0.672	Kruskal-Wallis	ja
10	nee	0.000	0.790	1	Kruskal-Wallis	ja
12	nee	0.084	0.175	0.091	Kruskal-Wallis	ja
13	ja	0.181	0.005	0	Anova	nee
14	nee	0.008	0.763	0.683	Kruskal-Wallis	ja
15	nee	0.770	0.236	0.126	Kruskal-Wallis	ja
16	nee	0.344	0.746	0.476	Kruskal-Wallis	ja
17	nee	0.113	0.868	0.893	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	0.000	0.000	0.157	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.309	0.543	0.564	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.575	0.894	0.843	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.887	0.967	0.959	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.145	0.340	0.287	Kruskal-Wallis	ja
23	nee	0.287	0.048	0.041	Kruskal-Wallis	nee
24	nee	0.241	0.621	0.379	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.602	0.774	0.816	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.336	0.446	0.354	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.775	0.370	0.331	Kruskal-Wallis	ja
28	nee	0.038	0.079	0.107	Kruskal-Wallis	ja
29	nee	0.000	0.082	0.496	Kruskal-Wallis	ja
30	nee	0.533	0.487	0.451	Kruskal-Wallis	ja
31	nee	0.091	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.214	0.067	0.055	Kruskal-Wallis	ja
33	nee	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee

34	nee	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.778	0.098	0.014	Kruskal-Wallis	nee
36	ja	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
37	ja	0.000	0.834	0	Kruskal-Wallis	nee
38	ja	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
39	ja	0.000	0.001	0	Kruskal-Wallis	nee
41	nee	0.306	0.365	0.257	Kruskal-Wallis	ja
42	nee	0.081	0.709	0.7	Kruskal-Wallis	ja
43	ja	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.001	0.012	0.042	Kruskal-Wallis	nee
45	nee	0.501	0.063	0.004	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	0.937	0.065	0.034	Kruskal-Wallis	nee
47	nee	0.114	0.004	0.013	Kruskal-Wallis	nee
48	nee	0.000	0.333	0.003	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.000	0.129	0.184	Kruskal-Wallis	ja
50	ja	0.000	0.010	0.03	Kruskal-Wallis	nee
51	nee	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.001	0.365	0.542	Kruskal-Wallis	ja
53	nee	0.006	0.472	0.216	Kruskal-Wallis	ja
54	nee	0.000	0.004	0.094	Kruskal-Wallis	ja
55	nee	0.079	0.731	0.546	Kruskal-Wallis	ja
56	nee	0.000	0.000	0.012	Kruskal-Wallis	nee
62	ja	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee
63	ja	0.000	0.000	0	Kruskal-Wallis	nee

Tabel 2.3. Meerjarige teelt (vergelijking tussen boomteelt en boomgaard)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.000	0.760	0.826	Mann-Whitney	ja
1	nee	0.000	0.142	0.080	Mann-Whitney	ja
2	ja	0.550	0.712	0.318	T-Toets	ja
3	ja	0.084	0.152	0.052	T-Toets	ja
4	ja	0.045	0.221	0.016	T-Toets	ja
5	ja	0.718	0.120	0.010	T-Toets	ja
6	nee	0.202	0.115	0.101	Mann-Whitney	ja
7	nee	0.669	0.991	0.764	Mann-Whitney	ja
8	nee	0.005	0.507	0.537	Mann-Whitney	ja
9	nee	0.435	0.032	0.106	Mann-Whitney	ja
12	nee	0.873	0.108	0.052	Mann-Whitney	ja
13	nee	0.059	0.213	0.440	Mann-Whitney	ja
16	nee	0.495	0.000	0.001	Mann-Whitney	nee
17	nee	0.003	0.000	0.000	Mann-Whitney	nee
18	nee	0.263	0.015	0.068	Mann-Whitney	ja
19	nee	0.478	0.790	0.564	Mann-Whitney	ja

21	nee	0.532	0.621	0.865	Mann-Whitney	ja
22	ja	0.835	0.000	0.000	T-Toets	nee
23	nee	0.006	0.340	0.294	Mann-Whitney	ja
24	nee	0.655	0.510	0.302	Mann-Whitney	ja
25	nee	0.295	0.094	0.137	Mann-Whitney	ja
27	nee	0.656	0.218	0.260	Mann-Whitney	ja
28	nee	0.793	0.195	0.177	Mann-Whitney	ja
31	nee	0.094	0.428	0.433	Mann-Whitney	ja
32	nee	0.000	0.469	0.355	Mann-Whitney	ja
33	nee	0.000	0.745	0.617	Mann-Whitney	ja
34	nee	0.904	0.190	0.223	Mann-Whitney	ja
35	nee	0.172	0.886	0.699	Mann-Whitney	ja
36	nee	0.427	0.000	0.003	Mann-Whitney	nee
37	nee	0.000	0.166	0.243	Mann-Whitney	ja
38	nee	0.000	0.000	0.317	Mann-Whitney	ja
41	nee	0.677	0.313	0.268	Mann-Whitney	ja
42	nee	0.387	0.108	0.084	Mann-Whitney	ja
43	ja	0.088	0.000	0.000	T-Toets	nee
44	nee	0.254	0.064	0.171	Mann-Whitney	ja
45	nee	0.327	0.592	0.568	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.000	0.683	0.435	Mann-Whitney	ja
48	nee	0.759	0.197	0.073	Mann-Whitney	ja
49	nee	0.000	0.086	0.025	Mann-Whitney	nee
50	nee	0.691	0.822	0.637	Mann-Whitney	ja
51	nee	0.086	0.703	0.739	Mann-Whitney	ja
52	nee	0.069	0.643	0.815	Mann-Whitney	ja
53	nee	0.259	0.575	0.832	Mann-Whitney	ja
54	nee	0.000	0.582	0.347	Mann-Whitney	ja
55	nee	0.134	0.343	0.584	Mann-Whitney	ja
56	nee	0.000	0.121	0.312	Mann-Whitney	ja
62	nee	0.000	0.270	0.018	Mann-Whitney	nee
63	nee	0.000	0.983	0.000	Mann-Whitney	nee

Tabel 2.4. Droge natuur (vergelijking tussen droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.877	0	1.37791E-05	Kruskal-Wallis	nee
1	nee	0.219	0.47	0.007	Kruskal-Wallis	nee
2	nee	0	0.001	0.025	Kruskal-Wallis	nee
3	nee	0.055	0.011	0	Kruskal-Wallis	nee
4	ja	0	0	0	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.325	0.298	0.015	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.005	0.026	0.132	Kruskal-Wallis	ja
7	ja	0.001	0.223	0.502	Kruskal-Wallis	ja

8	nee	0.006	0.489	0.419	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.006	0.067	0.061	Kruskal-Wallis	ja
10	nee	0.016	0.281	0.356	Kruskal-Wallis	ja
11	nee	-	0.254	0.245	Kruskal-Wallis	ja
12	ja	0.178	0.015	0.003	Anova	nee
13	ja	0.001	0	0	Kruskal-Wallis	nee
14	nee	0.409	0.884	0.658	Kruskal-Wallis	ja
15	nee	0.006	0	0	Kruskal-Wallis	nee
16	nee	0.477	0.397	0.451	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	0.788	0.658	0.736	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	-	0.458	0.384	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	-	0.096	0.165	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.558	0.987	0.48	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.174	0.148	0.064	Kruskal-Wallis	ja
23	nee	0.062	0.115	0.174	Kruskal-Wallis	ja
24	nee	0.098	0.116	0.14	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.041	0.006	0.025	Kruskal-Wallis	nee
26	nee	0.618	0.239	0.309	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.995	0.04	0.051	Kruskal-Wallis	ja
28	nee	0.133	0.314	0.41	Kruskal-Wallis	ja
29	nee	0.843	0.001	0.003	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.198	0	0	Kruskal-Wallis	nee
31	nee	0.316	0	0	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0	0	0	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.004	0	0	Kruskal-Wallis	nee
34	nee	0	0	0	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.003	0	0.001	Kruskal-Wallis	nee
36	nee	0.85	0.299	0.323	Kruskal-Wallis	ja
37	nee	-	0	0	Kruskal-Wallis	nee
38	nee	0.005	0.004	0.014	Kruskal-Wallis	nee
39	nee	0.089	0.373	0.779	Kruskal-Wallis	ja
40	nee	0.462	0.046	0.053	Kruskal-Wallis	ja
41	nee	0.124	0	0	Kruskal-Wallis	nee
42	nee	-	0.989	0.942	Kruskal-Wallis	ja
43	nee	0.201	0.295	0.404	Kruskal-Wallis	ja
44	nee	0.552	0.416	0.589	Kruskal-Wallis	ja
45	nee	0.05	0.662	0.484	Kruskal-Wallis	ja
46	nee	-	0.749	0.738	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.605	0.383	0.317	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.072	0	0	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.166	0	0	Kruskal-Wallis	nee
50	nee	0.275	0.807	0.494	Kruskal-Wallis	ja
51	nee	0.001	0	0	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.103	0.014	0.004	Kruskal-Wallis	nee

53	nee	0.002	0	0	Kruskal-Wallis	nee
54	nee	0.484	0.001	0.003	Kruskal-Wallis	nee
55	nee	0.466	0.211	0.304	Kruskal-Wallis	ja
56	nee	0.403	0.479	0.457	Kruskal-Wallis	ja
62	nee	0.409	0.121	0.029	Kruskal-Wallis	nee
63	nee	0.218	0.211	0.033	Kruskal-Wallis	nee

## Resultaat statistische toets dichtheid secundaire waterlopen

Tabel 3.1. Grondgebonden veeteelt (vergelijking tussen grasland en maïs)

Regio	n ≥ 30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	ja	0.000	0.000	0.006	T-Toets	nee
1	Parameter ontbreekt					
2	ja	0.154	0.133	0.023	T-Toets	ja
3	ja	0.303	0.349	0.135	T-Toets	ja
4	ja	0.000	0.000	0.007	T-Toets	nee
5	ja	0.000	0.000	0.793	T-Toets	nee
6	ja	0.028	0.094	0.514	T-Toets	ja
7	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
8	ja	0.257	0.900	0.626	T-Toets	ja
9	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
10	nee	0.191	0.153	0.222	Mann-Whitney	ja
11	ja	0.157	0.515	0.889	T-Toets	ja
12	ja	0.014	0.021	0.152	T-Toets	nee
13	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
14	ja	0.035	0.004	0.022	T-Toets	nee
15	ja	0.000	0.001	0.144	T-Toets	nee
16	ja	0.197	0.260	0.343	T-Toets	ja
17	ja	0.183	0.168	0.242	T-Toets	ja
18	ja	0.009	0.207	0.817	T-Toets	ja
19	ja	0.854	0.090	0.134	T-Toets	ja
20	nee	0.819	0.339	0.332	Mann-Whitney	ja
21	ja	0.051	0.217	0.577	T-Toets	ja
22	ja	0.000	0.028	0.219	T-Toets	nee
23	ja	0.510	0.065	0.038	T-Toets	ja
24	ja	0.832	0.464	0.423	T-Toets	ja
25	ja	0.394	0.241	0.185	T-Toets	ja
26	ja	0.007	0.630	0.214	T-Toets	ja
27	ja	0.029	0.005	0.041	T-Toets	nee
28	ja	0.132	0.000	0.000	T-Toets	nee
29	ja	0.738	0.000	0.000	T-Toets	nee
30	ja	0.041	0.000	0.000	T-Toets	nee
31	ja	0.642	0.014	0.008	T-Toets	nee
32	ja	0.523	0.001	0.003	T-Toets	nee

33	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
34	ja	0.001	0.000	0.000	T-Toets	nee
35	ja	0.008	0.000	0.000	T-Toets	nee
36	ja	0.123	0.624	0.596	T-Toets	ja
37	ja	0.000	0.009	0.087	T-Toets	nee
38	ja	0.094	0.026	0.016	T-Toets	nee
39	ja	0.000	0.001	0.019	T-Toets	nee
41	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
42	ja	0.004	0.050	0.098	T-Toets	ja
43	ja	0.000	0.969	0.506	T-Toets	ja
44	ja	0.000	0.113	0.081	T-Toets	ja
45	ja	0.000	0.147	0.504	T-Toets	ja
46	nee	0.385	0.409	0.302	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.128	0.065	0.050	Mann-Whitney	ja
48	ja	0.859	0.021	0.015	T-Toets	nee
49	ja	0.003	0.002	0.027	T-Toets	nee
50	ja	0.397	0.142	0.163	T-Toets	ja
51	ja	0.013	0.807	0.700	T-Toets	ja
52	ja	0.454	0.086	0.068	T-Toets	ja
53	ja	0.019	0.013	0.075	T-Toets	nee
54	nee	0.051	0.014	0.013	Mann-Whitney	nee
55	ja	0.077	0.060	0.075	T-Toets	ja
56	ja	0.001	0.053	0.356	T-Toets	ja
62	ja	0.341	0.360	0.272	T-Toets	ja
63	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee

Tabel 3.2. Akkerbouw (vergelijking tussen aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	μ1 = μ2
0	nee	0.254	0.391	0.203	Kruskal-Wallis	ja
1	Parameter onbreekt					
2	nee	0.039	0.755	0.949	Kruskal-Wallis	ja
3	ja	0.007	0.002	0.002	Kruskal-Wallis	nee
4	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.066	0.623	0.855	Kruskal-Wallis	ja
7	nee	0.101	0.387	0.180	Kruskal-Wallis	ja
8	nee	0.893	0.995	0.947	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.073	0.123	0.324	Kruskal-Wallis	ja
10	nee	0.058	0.001	0.029	Kruskal-Wallis	nee
11	nee	0.785	0.579	0.355	Kruskal-Wallis	ja
12	nee	0.836	0.840	0.629	Kruskal-Wallis	ja
13	ja	0.085	0.572	0.327	Anova	ja
14	nee	0.265	0.524	0.461	Kruskal-Wallis	ja
15	nee	0.001	0.159	0.486	Kruskal-Wallis	ja



16	nee	0.738	0.689	0.408	Kruskal-Wallis	ja
17	nee	0.012	0.182	0.432	Kruskal-Wallis	ja
18	nee		0.723	0.355	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.048	0.663	0.703	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.307	0.227	0.248	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.041	0.580	0.591	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.706	0.636	0.618	Kruskal-Wallis	ja
23	nee	0.139	0.119	0.231	Kruskal-Wallis	ja
24	nee	0.801	0.378	0.206	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.320	0.465	0.457	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.089	0.199	0.177	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.050	0.039	0.067	Kruskal-Wallis	ja
28	nee	0.023	0.070	0.052	Kruskal-Wallis	ja
29	nee	0.363	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.005	0.423	0.731	Kruskal-Wallis	ja
31	nee	0.081	0.337	0.500	Kruskal-Wallis	ja
32	nee	0.033	0.007	0.036	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.013	0.025	0.057	Kruskal-Wallis	ja
34	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.141	0.044	0.037	Kruskal-Wallis	nee
36	ja	0.000	0.279	0.117	Kruskal-Wallis	ja
37	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
38	ja	0.799	0.000	0.000	Anova	nee
39	ja	0.000	0.016	0.049	Kruskal-Wallis	nee
41	nee	0.608	0.338	0.164	Kruskal-Wallis	ja
42	nee	0.129	0.705	0.510	Kruskal-Wallis	ja
43	ja	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.001	0.021	0.071	Kruskal-Wallis	ja
45	nee	0.155	0.004	0.008	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	0.545	0.745	0.889	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.619	0.802	0.900	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.454	0.261	0.273	Kruskal-Wallis	ja
50	ja	0.009	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
51	nee	0.001	0.061	0.186	Kruskal-Wallis	ja
52	nee	0.371	0.007	0.002	Kruskal-Wallis	nee
53	nee	0.015	0.044	0.160	Kruskal-Wallis	ja
54	nee	0.211	0.417	0.450	Kruskal-Wallis	ja
55	nee	0.124	0.298	0.351	Kruskal-Wallis	ja
56	nee	0.003	0.063	0.271	Kruskal-Wallis	ja
62	ja	0.135	0.002	0.002	Anova	nee
63	ja	0.852	0.026	0.008	Anova	nee

Tabel 3.3. Meerjarige teelt (vergelijking tussen boomteelt en boomgaard)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu1 = \mu2$
0	nee	0.077	0.408	0.317	Mann-Whitney	ja
2	nee	0.955	0.748	0.716	Mann-Whitney	ja
3	ja	0.640	0.063	0.055	T-Toets	ja
4	ja	0.000	0.001	0.001	T-Toets	nee
5	ja	0.064	0.002	0.002	T-Toets	nee
6	nee	0.442	0.340	0.313	Mann-Whitney	ja
7	nee	0.000	0.858	0.959	Mann-Whitney	ja
8	nee	0.475	0.985	1.000	Mann-Whitney	ja
9	nee	0.314	0.010	0.036	Mann-Whitney	nee
12	nee	0.498	0.941	0.889	Mann-Whitney	ja
13	nee	0.284	0.567	0.674	Mann-Whitney	ja
14	nee	0.000	0.109	0.157	Mann-Whitney	ja
16	nee	0.463	0.856	1.000	Mann-Whitney	ja
17	nee	0.429	0.803	0.841	Mann-Whitney	ja
18	nee	0.145	0.407	0.439	Mann-Whitney	ja
19	nee	0.643	0.078	0.083	Mann-Whitney	ja
21	nee	0.715	0.835	1.000	Mann-Whitney	ja
22	ja	0.001	0.000	0.001	T-Toets	nee
23	nee	0.926	0.005	0.002	Mann-Whitney	nee
25	nee	0.250	0.833	0.982	Mann-Whitney	ja
27	nee	0.115	0.371	0.462	Mann-Whitney	ja
28	nee	0.185	0.859	0.672	Mann-Whitney	ja
31	nee	0.242	0.046	0.059	Mann-Whitney	ja
32	nee	0.000	0.340	0.355	Mann-Whitney	ja
33	nee	0.000	0.854	0.699	Mann-Whitney	ja
34	nee	0.366	0.962	0.768	Mann-Whitney	ja
35	nee	0.086	0.287	0.165	Mann-Whitney	ja
36	nee	0.203	0.350	0.394	Mann-Whitney	ja
37	nee	0.812	0.005	0.006	Mann-Whitney	nee
38	nee	0.000	0.000	0.317	Mann-Whitney	ja
41	nee	0.427	0.234	0.238	Mann-Whitney	ja
42	nee	0.874	0.294	0.414	Mann-Whitney	ja
43	ja	0.000	0.730	0.263	T-Toets	ja
44	nee	0.242	0.522	0.270	Mann-Whitney	ja
45	nee	0.140	0.605	0.995	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.000	0.248	0.193	Mann-Whitney	ja
48	nee	0.838	0.090	0.104	Mann-Whitney	ja
49	nee	0.887	0.841	0.941	Mann-Whitney	ja
50	nee	0.127	0.085	0.154	Mann-Whitney	ja

51	nee	0.302	0.367	0.157	Mann-Whitney	ja
52	nee	0.277	0.721	0.509	Mann-Whitney	ja
53	nee	0.326	0.699	0.846	Mann-Whitney	ja
54	nee	0.000	0.174	0.171	Mann-Whitney	ja
55	nee	0.270	0.951	0.717	Mann-Whitney	ja
56	nee	0.896	0.088	0.022	Mann-Whitney	nee
62	nee	0.876	0.001	0.001	Mann-Whitney	nee
63	nee	0.071	0.230	0.290	Mann-Whitney	ja

**Tabel 3.4. Droge natuur (vergelijking tussen droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.000	0.000	0.005	Kruskal-Wallis	nee
2	nee	0.001	0.470	0.000	Kruskal-Wallis	nee
3	nee	0.000	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
4	ja	0.000	0.011	0.000	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.064	0.298	0.040	Kruskal-Wallis	nee
7	nee	0.000	0.026	0.002	Kruskal-Wallis	nee
8	nee	0.297	0.223	0.064	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.021	0.489	0.000	Kruskal-Wallis	nee
10	nee	0.095	0.067	0.001	Kruskal-Wallis	nee
11	nee	-	0.281	0.170	Kruskal-Wallis	ja
12	ja	0.000	0.254	0.001	Kruskal-Wallis	nee
13	ja	0.000	0.015	0.000	Kruskal-Wallis	nee
14	ja	0.005	0.000	0.041	Kruskal-Wallis	nee
15	nee	0.000	0.884	0.000	Kruskal-Wallis	nee
16	nee	0.054	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
17	nee	0.154	0.397	0.201	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	0.258	0.658	0.113	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.115	0.458	0.092	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.226	0.096	0.065	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.946	0.987	0.515	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.301	0.148	0.019	Kruskal-Wallis	nee
23	nee	0.000	0.115	0.000	Kruskal-Wallis	nee
24	nee	0.216	0.116	0.287	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.990	0.006	0.094	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.736	0.239	0.187	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.005	0.040	0.000	Kruskal-Wallis	nee
28	nee	0.068	0.314	0.333	Kruskal-Wallis	ja
29	nee	0.020	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.001	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
31	nee	0.595	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.276	0.000	0.102	Kruskal-Wallis	ja

33	nee	0.964	0.000	0.308	Kruskal-Wallis	ja
34	nee	0.000	0.000	0.005	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.046	0.000	0.664	Kruskal-Wallis	ja
36	nee	0.000	0.299	0.000	Kruskal-Wallis	nee
37	nee	0.012	0.000	0.009	Kruskal-Wallis	nee
38	nee	0.198	0.004	0.929	Kruskal-Wallis	ja
39	nee	0.041	0.373	0.006	Kruskal-Wallis	nee
40	nee	0.032	0.046	0.005	Kruskal-Wallis	nee
41	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
42	nee	0.001	0.989	0.126	Kruskal-Wallis	ja
43	nee	0.000	0.295	0.000	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.352	0.416	0.002	Kruskal-Wallis	nee
45	nee	0.009	0.662	0.094	Kruskal-Wallis	ja
46	nee	-	0.749	0.428	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.036	0.383	0.237	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.552	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.008	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
50	nee	0.323	0.807	0.041	Kruskal-Wallis	nee
51	nee	0.005	0.000	0.002	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.851	0.014	0.975	Kruskal-Wallis	ja
53	nee	0.000	0.000	0.001	Kruskal-Wallis	nee
54	nee	0.083	0.001	0.375	Kruskal-Wallis	ja
55	nee	0.013	0.211	0.119	Kruskal-Wallis	ja
56	nee	0.000	0.479	0.570	Kruskal-Wallis	ja
62	ja	0.020	0.121	0.431	Kruskal-Wallis	ja
63	ja	0.000	0.211	0.001	Kruskal-Wallis	nee

## Resultaat statistische toets winterdrooglegging secundaire waterlopen

Tabel 4.1. Grondgebonden veeteelt (vergelijking tussen grasland en maïs)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	ja	0.008	0.010	0.000	T-Toets	nee
1	ja	0.071	0.445	0.879	T-Toets	ja
2	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
3	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
4	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
5	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
6	ja	0.069	0.303	0.300	T-Toets	ja
7	ja	0.016	0.077	0.894	T-Toets	ja
8	ja	0.695	0.814	0.245	T-Toets	ja
9	ja	0.231	0.673	0.189	T-Toets	ja
10	nee	0.373	0.120	0.020	Mann-Whitney	nee
11	ja	0.178	0.197	0.452	T-Toets	ja
12	ja	0.086	0.061	0.027	T-Toets	ja

13	ja	0.922	0.000	0.000	T-Toets	nee
14	ja	0.361	0.009	0.001	T-Toets	nee
15	ja	0.009	0.911	0.992	T-Toets	ja
16	ja	0.159	0.407	0.422	T-Toets	ja
17	ja	0.806	0.000	0.000	T-Toets	nee
18	ja	0.018	0.542	0.171	T-Toets	ja
19	ja	0.491	0.045	0.006	T-Toets	nee
20	nee	0.027	0.001	0.001	Mann-Whitney	nee
21	ja	0.557	0.575	0.752	T-Toets	ja
22	ja	0.005	0.486	0.018	T-Toets	ja
23	ja	0.003	0.000	0.000	T-Toets	nee
24	ja	0.000	0.724	0.520	T-Toets	ja
25	ja	0.158	0.458	0.796	T-Toets	ja
26	ja	0.001	0.363	0.642	T-Toets	ja
27	ja	0.785	0.070	0.030	T-Toets	ja
28	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
29	ja	0.331	0.000	0.000	T-Toets	nee
30	ja	0.115	0.000	0.000	T-Toets	nee
31	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
32	ja	0.015	0.000	0.000	T-Toets	nee
33	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
34	ja	0.003	0.948	0.376	T-Toets	ja
35	ja	0.071	0.009	0.005	T-Toets	nee
36	ja	0.116	0.000	0.000	T-Toets	nee
37	ja	0.918	0.994	0.508	T-Toets	ja
38	ja	0.046	0.522	0.239	T-Toets	ja
39	ja	0.021	0.099	0.231	T-Toets	ja
41	ja	0.010	0.000	0.000	T-Toets	nee
42	ja	0.311	0.000	0.000	T-Toets	nee
43	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
44	ja	0.043	0.375	0.626	T-Toets	ja
45	ja	0.000	0.000	0.000	T-Toets	nee
46	nee	0.244	0.585	0.495	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.694	0.172	0.032	Mann-Whitney	nee
48	ja	0.115	0.963	0.994	T-Toets	ja
49	ja	0.034	0.781	0.151	T-Toets	ja
50	ja	0.126	0.948	0.913	T-Toets	ja
51	ja	0.101	0.897	0.466	T-Toets	ja
52	ja	0.671	0.278	0.286	T-Toets	ja
53	ja	0.579	0.654	0.550	T-Toets	ja
54	nee	0.825	0.712	0.643	Mann-Whitney	ja
55	ja	0.008	0.001	0.019	T-Toets	nee
56	ja	0.001	0.050	0.055	T-Toets	ja
62	ja	0.357	0.433	0.105	T-Toets	ja
63	ja	0.000	0.162	0.131	T-Toets	ja

Tabel 4.2. Akkerbouw (vergelijking tussen aardappelen, bieten, granen, bollen en overige landbouw)

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.018	0.681	0.661	Kruskal-Wallis	ja
1	nee	0.081	0.167	0.144	Kruskal-Wallis	ja
2	nee	0.005	0.096	0.350	Kruskal-Wallis	ja
3	ja	0.000	0.001	0.013	Kruskal-Wallis	nee
4	nee	0.041	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
5	nee	0.060	0.002	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.302	0.536	0.523	Kruskal-Wallis	ja
7	nee	0.008	0.213	0.214	Kruskal-Wallis	ja
8	nee	0.897	0.104	0.075	Kruskal-Wallis	ja
9	nee	0.742	0.781	0.596	Kruskal-Wallis	ja
10	nee	0.051	0.069	0.118	Kruskal-Wallis	ja
11	nee	0.175	0.379	0.377	Kruskal-Wallis	ja
12	nee	0.088	0.378	0.005	Kruskal-Wallis	nee
13	ja	0.457	0.003	0.010	Anova	nee
14	nee	0.766	0.143	0.128	Kruskal-Wallis	ja
15	nee	0.731	0.793	0.523	Kruskal-Wallis	ja
16	nee	0.026	0.066	0.012	Kruskal-Wallis	nee
17	nee	0.000	0.013	0.205	Kruskal-Wallis	ja
18	nee	-	0.656	0.817	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.101	0.173	0.298	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.501	0.882	0.822	Kruskal-Wallis	ja
21	nee	0.588	0.385	0.266	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.760	0.319	0.367	Kruskal-Wallis	ja
23	nee	0.506	0.184	0.225	Kruskal-Wallis	ja
24	nee	0.130	0.313	0.264	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.755	0.93	0.969	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.820	0.386	0.683	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.383	0.325	0.454	Kruskal-Wallis	ja
28	nee	0.385	0.005	0.008	Kruskal-Wallis	nee
29	nee	0.007	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.752	0.94	0.807	Kruskal-Wallis	ja
31	nee	0.000	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.041	0.107	0.038	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.012	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
34	nee	0.124	0.068	0.021	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.129	0.436	0.387	Kruskal-Wallis	ja
36	ja	0.000	0.01	0.000	Kruskal-Wallis	nee
37	nee	0.003	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
38	ja	0.000	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
39	ja	0.390	0.007	0.018	Anova	nee
41	nee	0.090	0.059	0.107	Kruskal-Wallis	ja
42	nee	0.148	0.4	0.401	Kruskal-Wallis	ja
43	ja	0.000	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee

44	nee	0.030	0.092	0.200	Kruskal-Wallis	ja
45	nee	0.447	0.208	0.047	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	0.580	0.352	0.258	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.377	0.579	0.354	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.000	0.024	0.099	Kruskal-Wallis	ja
49	nee	0.827	0.807	0.828	Kruskal-Wallis	ja
50	ja	0.435	0.178	0.030	Anova	ja
51	nee	0.175	0	0.000	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.271	0.372	0.297	Kruskal-Wallis	ja
53	nee	0.337	0.755	0.679	Kruskal-Wallis	ja
54	nee	0.145	0.664	0.858	Kruskal-Wallis	ja
55	nee	0.106	0.094	0.075	Kruskal-Wallis	ja
56	nee	0.880	0.712	0.396	Kruskal-Wallis	ja
62	ja	0.319	0.66	0.298	Anova	ja
63	ja	0.005	0.012	0.013	Kruskal-Wallis	nee

**Tabel 4.3. Meerjarige teelt (vergelijking tussen boomteelt en boomgaard)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. T-Toets	Sig. Mann-Whitney	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.488	0.002	0.046	Mann-Whitney	nee
1	nee	0.083	0.442	0.835	Mann-Whitney	ja
2	nee	0.492	0.703	0.944	Mann-Whitney	ja
3	ja	0.356	0.896	0.273	T-Toets	ja
4	ja	0.154	0.964	0.478	T-Toets	ja
5	ja	0.711	0.999	0.897	T-Toets	ja
6	nee	0.731	0.657	0.491	Mann-Whitney	ja
7	nee	0.000	0.552	0.333	Mann-Whitney	ja
8	nee	0.033	0.473	0.197	Mann-Whitney	ja
9	nee	0.204	0.082	0.069	Mann-Whitney	ja
12	nee	0.711	0.224	0.298	Mann-Whitney	ja
13	nee	0.597	0.883	0.754	Mann-Whitney	ja
14	nee	0.000	0.321	0.157	Mann-Whitney	ja
16	nee	0.159	0.167	0.248	Mann-Whitney	ja
17	nee	0.027	0.477	0.279	Mann-Whitney	ja
18	nee	0.085	0.189	0.302	Mann-Whitney	ja
19	nee	0.029	0.490	0.564	Mann-Whitney	ja
21	nee	0.489	0.648	0.489	Mann-Whitney	ja
22	ja	0.086	0.000	0.000	T-Toets	nee
23	nee	0.004	0.748	0.200	Mann-Whitney	ja
25	nee	0.054	0.500	0.795	Mann-Whitney	ja
27	nee	0.835	0.690	0.939	Mann-Whitney	ja
28	nee	0.389	0.180	0.120	Mann-Whitney	ja
31	nee	0.174	0.834	0.480	Mann-Whitney	ja
32	nee	0.000	0.257	0.165	Mann-Whitney	ja
33	nee	0.000	0.415	0.439	Mann-Whitney	ja
34	nee	0.630	0.884	0.768	Mann-Whitney	ja
35	nee	0.169	0.827	1.000	Mann-Whitney	ja

36	nee	0.293	0.000	0.004	Mann-Whitney	nee
37	nee	0.054	0.688	0.579	Mann-Whitney	ja
38	nee	0.000	0.000	0.317	Mann-Whitney	ja
41	nee	0.499	0.069	0.025	Mann-Whitney	nee
42	nee	0.291	0.012	0.010	Mann-Whitney	nee
43	ja	0.261	0.000	0.000	T-Toets	nee
44	nee	0.005	0.131	0.102	Mann-Whitney	ja
45	nee	0.007	0.168	0.339	Mann-Whitney	ja
47	nee	0.000	0.484	0.435	Mann-Whitney	ja
48	nee	0.923	0.007	0.008	Mann-Whitney	nee
49	nee	0.421	0.109	0.233	Mann-Whitney	ja
50	nee	0.390	0.615	0.359	Mann-Whitney	ja
51	nee	0.428	0.762	0.934	Mann-Whitney	ja
52	nee	0.173	0.296	0.109	Mann-Whitney	ja
53	nee	0.112	0.417	0.689	Mann-Whitney	ja
54	nee	0.000	0.716	0.855	Mann-Whitney	ja
55	nee	0.141	0.639	0.672	Mann-Whitney	ja
56	nee	0.390	0.581	0.394	Mann-Whitney	ja
62	nee	0.001	0.452	0.769	Mann-Whitney	ja
63	nee	0.000	0.540	0.428	Mann-Whitney	ja

**Tabel 4.4. Droge natuur (vergelijking tussen droge natuur, loofbos, licht naaldbos en donker naaldbos)**

Regio	n ≥30	Sig. Levene	Sig. Anova	Sig. Kruskal-Wallis	Uitgevoerde toets	$\mu_1 = \mu_2$
0	nee	0.260	0.004	0.003	Kruskal-Wallis	nee
1	nee	0.000	0.007	0.000	Kruskal-Wallis	nee
2	nee	0.000	0.003	0.000	Kruskal-Wallis	nee
3	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
4	ja	0.604	0.000	0.000	Anova	nee
5	nee	0.000	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee
6	nee	0.644	0.364	0.028	Kruskal-Wallis	nee
7	nee	0.108	0.158	0.002	Kruskal-Wallis	nee
8	nee	0.359	0.261	0.038	Kruskal-Wallis	nee
9	nee	0.051	0.843	0.000	Kruskal-Wallis	nee
10	nee	0.000	0.261	0.702	Kruskal-Wallis	ja
11	nee	-	0.186	0.097	Kruskal-Wallis	ja
12	ja	0.010	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
13	ja	0.090	0.000	0.000	Anova	nee
14	ja	0.310	0.001	0.002	Anova	nee
15	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
16	nee	0.011	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
17	nee	0.274	0.000	0.028	Kruskal-Wallis	nee
18	nee	0.407	0.621	0.235	Kruskal-Wallis	ja
19	nee	0.117	0.189	0.325	Kruskal-Wallis	ja
20	nee	0.567	0.000	0.001	Kruskal-Wallis	nee
21	nee	0.006	0.052	0.065	Kruskal-Wallis	ja
22	nee	0.000	0.001	0.000	Kruskal-Wallis	nee



23	nee	0.014	0.031	0.075	Kruskal-Wallis	ja
24	nee	0.549	0.578	0.546	Kruskal-Wallis	ja
25	nee	0.004	0.494	0.860	Kruskal-Wallis	ja
26	nee	0.001	0.037	0.261	Kruskal-Wallis	ja
27	nee	0.004	0.862	0.616	Kruskal-Wallis	ja
28	nee	0.636	0.102	0.072	Kruskal-Wallis	ja
29	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
30	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
31	nee	0.128	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
32	nee	0.046	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
33	nee	0.000	0.004	0.013	Kruskal-Wallis	nee
34	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
35	nee	0.985	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
36	nee	0.000	0.175	0.222	Kruskal-Wallis	ja
37	nee	0.887	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
38	nee	0.000	0.001	0.050	Kruskal-Wallis	ja
39	nee	0.202	0.569	0.638	Kruskal-Wallis	ja
40	nee	0.071	0.218	0.258	Kruskal-Wallis	ja
41	nee	0.016	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
42	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
43	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
44	nee	0.000	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
45	nee	0.851	0.109	0.020	Kruskal-Wallis	nee
46	nee	-	0.940	0.692	Kruskal-Wallis	ja
47	nee	0.000	0.002	0.362	Kruskal-Wallis	ja
48	nee	0.001	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
49	nee	0.016	0.002	0.000	Kruskal-Wallis	nee
50	nee	0.068	0.780	0.108	Kruskal-Wallis	ja
51	nee	0.274	0.019	0.000	Kruskal-Wallis	nee
52	nee	0.475	0.808	0.396	Kruskal-Wallis	ja
53	nee	0.451	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
54	nee	0.026	0.027	0.052	Kruskal-Wallis	ja
55	nee	0.880	0.000	0.000	Kruskal-Wallis	nee
56	nee	0.404	0.143	0.030	Kruskal-Wallis	nee
62	ja	0.000	0.007	0.192	Kruskal-Wallis	ja
63	ja	0.021	0.010	0.001	Kruskal-Wallis	nee

## **BIJLAGE 5**

### **RESULTATEN VAN DE ANALYSE OP BASIS VAN HET TOEKOMSTIG LANDGEBRUIK**

## Resultaat verandering GHG, GLG en verdamping per regio

Hieronder volgen de resultaten van de berekende verschillen tussen de toekomstscenario's (2040) en het referentiescenario (2006). Regio's 57 t/m 61 zijn momenteel nog niet geschematiseerd in het NHI en niet opgenomen in onderstaande tabellen.

### Resultaat landgebruikscenario GE\_ms

*Dit is het GE scenario waarin geen aanpassingen aan waterbeheerparameters zijn gedaan.*

WH-regio	Aantal gridcellen met verschil: - GHG/GLG > 5 cm - verdamping > 90 mm/jaar			Relatief verschil tussen toekomstig en huidig			Absoluut verschil tussen toekomstig en huidig		
	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping
0	1824	2185	1232	-0,15	-0,12	+79	+0,16	+0,17	+162
1	4247	4630	588	-0,29	-0,29	-61	+0,29	+0,30	+155
2	1360	1194	791	-0,03	-0,04	-26	+0,10	+0,10	+148
3	1320	1136	1415	-0,02	+0,01	-29	+0,09	+0,08	+148
4	5743	4152	4588	-0,09	-0,09	-42	+0,10	+0,10	+149
5	3628	2940	1773	-0,10	-0,08	-42	+0,11	+0,10	+157
6	862	494	425	-0,06	-0,06	-88	+0,06	+0,06	+139
7	1258	1332	1583	-0,09	-0,08	+46	+0,10	+0,08	+142
8	88	110	184	-0,06	-0,02	-51	+0,08	+0,08	+138
9	622	525	411	-0,08	-0,06	-51	+0,08	+0,09	+140
10	68	33	107	-0,07	+0,02	-99	+0,07	+0,08	+135
11	163	101	200	-0,07	-0,02	-60	+0,07	+0,07	+138
12	2854	2856	2332	-0,08	-0,06	-65	+0,11	+0,12	+142
13	2153	2523	1937	-0,05	-0,04	-57	+0,10	+0,11	+140
14	54	65	243	+0,01	-0,01	+18	+0,07	+0,08	+139
15	518	611	433	-0,07	-0,06	+31	+0,10	+0,10	+146
16	387	395	392	-0,08	-0,08	-57	+0,08	+0,11	+140
17	20	85	60	-0,07	-0,07	+92	+0,09	+0,09	+122
18	7	39	25	+0,04	+0,05	-113	+0,11	+0,09	+137
19	34	105	76	-0,09	-0,07	-29	+0,09	+0,10	+147
20	28	54	53	+0,10	-0,10	+110	+0,12	+0,11	+146
21	29	64	17	-0,03	-0,03	-16	+0,10	+0,09	+131
22	843	930	925	-0,07	-0,03	-55	+0,10	+0,14	+153
23	395	180	475	-0,08	-0,01	-117	+0,08	+0,10	+148
24	90	123	130	-0,06	-0,08	-13	+0,09	+0,12	+149
25	189	163	167	+0,00	-0,06	-121	+0,11	+0,12	+159
26	81	137	181	-0,08	-0,02	-66	+0,08	+0,11	+144
27	70	198	130	-0,01	-0,00	-11	+0,09	+0,13	+148
28	47	412	108	-0,06	+0,03	-61	+0,07	+0,14	+139
29	84	79	211	-0,06	-0,01	-64	+0,07	+0,08	+134
30	376	759	471	-0,06	-0,00	-79	+0,08	+0,13	+140

31	248	656	419	-0,09	-0,10	-49	+0,09	+0,17	+148
32	200	282	211	-0,05	-0,09	-41	+0,09	+0,16	+149
33	228	314	150	-0,01	-0,07	-19	+0,08	+0,14	+139
34	934	564	511	-0,01	-0,05	-23	+0,09	+0,16	+146
35	70	191	68	-0,09	-0,01	-89	+0,09	+0,09	+135
36	582	1777	787	-0,07	-0,02	-77	+0,08	+0,15	+142
37	394	547	446	+0,00	-0,12	-25	+0,15	+0,18	+156
38	124	129	166	+0,06	-0,03	+15	+0,08	+0,13	+148
39	387	318	273	-0,02	-0,01	+33	+0,08	+0,13	+164
40	53	43	9	-0,07	-0,08	-51	+0,07	+0,08	+148
41	250	496	464	-0,05	+0,02	-92	+0,08	+0,11	+146
42	78	451	144	-0,07	+0,00	-62	+0,09	+0,13	+145
43	2131	3312	1803	-0,03	-0,05	-48	+0,13	+0,15	+139
44	2180	2449	2147	-0,11	-0,02	-81	+0,17	+0,20	+146
45	331	493	271	-0,07	-0,04	-39	+0,10	+0,13	+145
46	146	281	123	-0,07	+0,03	-51	+0,08	+0,14	+163
47	453	564	429	-0,08	-0,06	-40	+0,10	+0,19	+149
48	158	336	150	+0,03	-0,04	+30	+0,09	+0,15	+169
49	96	289	149	+0,12	-0,05	+24	+0,19	+0,13	+141
50	312	203	126	+0,06	-0,05	+14	+0,07	+0,13	+157
51	179	323	99	-0,07	-0,15	+182	+0,11	+0,16	+222
52	97	52	32	+0,07	-0,09	+99	+0,08	+0,17	+155
53	608	731	476	-0,11	-0,06	-46	+0,14	+0,14	+161
54	28	17	20	+0,03	-0,08	+40	+0,08	+0,11	+137
55	46	128	62	+0,00	-0,03	+123	+0,10	+0,12	+188
56	143	350	251	-0,08	-0,12	+68	+0,10	+0,17	+162
62	295	557	342	-0,02	+0,01	-81	+0,11	+0,11	+134
63	864	2169	1100	-0,07	+0,05	-62	+0,11	+0,15	+156

### Resultaat landgebruikscenario GE (A1)

WH-regio	Aantal gridcellen met verschil: - GHG/GLG > 5 cm - verdamping > 90 mm/jaar			Relatief verschil tussen toekomstig en huidig			Absoluut verschil tussen toekomstig en huidig		
	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping
0	4441	3939	1237	-0,15	-0,00	+76	+0,23	+0,22	+162
1	4242	4622	589	-0,29	-0,29	-61	+0,29	+0,30	+155
2	1814	1469	801	-0,04	-0,03	-26	+0,11	+0,10	+148
3	3176	2248	1452	-0,06	+0,01	-33	+0,11	+0,10	+148
4	14188	9786	4750	-0,09	-0,06	-48	+0,11	+0,10	+152
5	6015	4493	1846	-0,10	-0,08	-53	+0,15	+0,12	+160
6	1698	719	434	-0,05	-0,04	-91	+0,08	+0,07	+142
7	2320	1764	1607	-0,06	-0,05	+42	+0,11	+0,09	+142
8	911	337	195	-0,10	+0,04	-59	+0,12	+0,09	+139
9	2492	872	448	-0,12	-0,03	-69	+0,13	+0,08	+145

10	180	120	117	+0,03	+0,08	-115	+0,13	+0,11	+148
11	630	318	210	-0,15	-0,05	-60	+0,15	+0,08	+137
12	11658	5748	2463	-0,11	-0,03	-75	+0,13	+0,13	+146
13	5928	4295	2004	-0,04	-0,03	-64	+0,13	+0,12	+142
14	255	98	244	-0,07	-0,03	+17	+0,10	+0,09	+139
15	1753	1519	445	-0,10	-0,03	+21	+0,14	+0,12	+144
16	1525	1009	440	-0,09	-0,02	-68	+0,13	+0,11	+139
17	298	158	62	-0,13	+0,03	+84	+0,17	+0,11	+122
18	205	157	26	-0,10	-0,06	-121	+0,12	+0,12	+144
19	207	166	83	-0,06	-0,04	-53	+0,13	+0,11	+153
20	125	113	51	-0,04	-0,02	+101	+0,13	+0,11	+143
21	105	103	19	-0,10	-0,05	-26	+0,18	+0,11	+129
22	2108	2043	972	-0,05	-0,02	-63	+0,17	+0,17	+153
23	925	651	491	-0,12	+0,05	-123	+0,14	+0,13	+152
24	158	181	132	-0,04	-0,03	-15	+0,14	+0,13	+149
25	298	332	177	-0,05	-0,03	-127	+0,15	+0,17	+164
26	238	305	200	+0,04	+0,02	-84	+0,14	+0,13	+152
27	269	285	138	-0,02	-0,02	-20	+0,16	+0,17	+147
28	436	602	122	-0,02	+0,06	-74	+0,13	+0,17	+145
29	777	554	213	-0,02	+0,04	-79	+0,13	+0,10	+144
30	1311	1239	485	-0,15	+0,03	-80	+0,19	+0,14	+145
31	889	873	448	-0,08	-0,05	-52	+0,16	+0,16	+147
32	346	373	220	-0,05	-0,05	-50	+0,18	+0,17	+149
33	548	438	167	-0,00	-0,04	-40	+0,18	+0,16	+141
34	1472	1027	553	-0,07	-0,02	-38	+0,17	+0,17	+148
35	281	246	76	-0,11	+0,01	-102	+0,20	+0,11	+138
36	1807	2527	879	-0,06	-0,02	-93	+0,16	+0,19	+150
37	724	724	456	-0,07	-0,08	-34	+0,21	+0,18	+157
38	479	307	160	-0,03	-0,03	-2	+0,18	+0,16	+151
39	507	373	297	-0,04	+0,05	+21	+0,16	+0,16	+161
40	114	139	9	-0,09	-0,08	-51	+0,11	+0,09	+148
41	1087	1214	488	-0,07	+0,03	-109	+0,16	+0,15	+154
42	537	719	159	+0,02	-0,03	-77	+0,11	+0,17	+154
43	4542	4889	2092	-0,05	-0,01	-71	+0,18	+0,20	+146
44	2804	3076	2255	-0,07	+0,04	-96	+0,21	+0,23	+155
45	750	666	319	-0,03	+0,02	-56	+0,18	+0,15	+144
46	202	277	130	-0,09	+0,03	-57	+0,16	+0,15	+159
47	581	641	486	+0,09	-0,02	-60	+0,18	+0,22	+147
48	451	420	153	+0,04	-0,04	+28	+0,17	+0,18	+167
49	343	363	165	+0,03	-0,05	+12	+0,18	+0,17	+139
50	552	284	128	+0,03	+0,01	+14	+0,11	+0,14	+155
51	347	367	100	-0,11	-0,13	+176	+0,20	+0,16	+218
52	162	71	29	+0,01	-0,07	+102	+0,13	+0,15	+159
53	1220	1130	529	-0,07	+0,01	-57	+0,20	+0,14	+160

54	64	30	21	+0,01	-0,05	+33	+0,12	+0,11	+137
55	156	160	67	+0,02	-0,03	+99	+0,17	+0,13	+177
56	954	574	266	-0,10	-0,09	+52	+0,19	+0,17	+158
62	545	658	360	+0,01	+0,06	-85	+0,17	+0,11	+135
63	3525	2940	1188	-0,18	+0,02	-71	+0,27	+0,17	+158

### Resultaat landgebruikscenario RC (B2)

WH-regio	Aantal gridcellen met verschil: - GHG/GLG > 5 cm - verdamping > 90 mm/jaar			Relatief verschil tussen toekomstig en huidig			Absoluut verschil tussen toekomstig en huidig		
	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping	GHG	GLG	Verdamping
0	3696	3244	869	-0,14	+0,04	+95	+0,24	+0,23	+167
1	1673	2385	334	-0,03	-0,03	+79	+0,11	+0,11	+180
2	815	849	722	-0,01	-0,00	+13	+0,10	+0,08	+150
3	2255	1669	1118	-0,07	-0,01	-16	+0,12	+0,11	+146
4	8993	7037	2953	-0,09	-0,08	+11	+0,12	+0,11	+150
5	2917	2228	1127	-0,07	-0,07	+7	+0,15	+0,12	+156
6	237	69	237	-0,02	+0,04	-17	+0,11	+0,10	+130
7	1865	1348	1441	-0,06	-0,06	+67	+0,11	+0,09	+143
8	640	197	97	-0,09	+0,02	+15	+0,12	+0,09	+141
9	1442	476	168	-0,10	-0,06	+100	+0,12	+0,09	+166
10	63	48	19	-0,02	+0,09	-114	+0,12	+0,11	+165
11	86	27	89	-0,09	-0,06	+59	+0,10	+0,06	+135
12	8829	3896	1200	-0,10	-0,04	+8	+0,12	+0,12	+148
13	4573	3593	1197	-0,03	-0,04	+10	+0,13	+0,12	+151
14	237	101	238	-0,07	-0,05	+26	+0,10	+0,09	+152
15	1447	1356	374	-0,10	-0,02	+65	+0,14	+0,12	+174
16	1153	698	202	-0,09	-0,05	-5	+0,14	+0,11	+144
17	225	76	14	-0,12	+0,05	-7	+0,16	+0,13	+149
18	132	75	16	-0,10	+0,00	-100	+0,13	+0,12	+137
19	159	127	28	-0,08	-0,03	+213	+0,13	+0,11	+243
20	115	92	53	-0,07	+0,00	+127	+0,13	+0,11	+175
21	94	70	12	-0,11	-0,02	+37	+0,17	+0,11	+127
22	1425	1630	461	-0,02	-0,08	+30	+0,18	+0,19	+168
23	406	337	175	-0,11	-0,00	-40	+0,14	+0,13	+144
24	63	129	75	+0,03	-0,05	+71	+0,15	+0,13	+155
25	106	166	62	-0,07	-0,05	-69	+0,15	+0,18	+149
26	81	115	47	-0,12	-0,08	+198	+0,18	+0,15	+222
27	133	194	73	-0,05	-0,05	+39	+0,18	+0,19	+152
28	389	503	77	-0,01	+0,05	+78	+0,14	+0,17	+154
29	556	403	84	-0,01	+0,01	+60	+0,13	+0,11	+152
30	963	996	164	-0,14	+0,02	+60	+0,19	+0,16	+157
31	662	668	242	-0,06	-0,10	+37	+0,15	+0,17	+163
32	160	212	81	-0,05	-0,10	+107	+0,17	+0,20	+210

33	388	332	103	-0,01	-0,07	+71	+0,21	+0,17	+165
34	763	675	189	-0,17	-0,07	+58	+0,24	+0,19	+165
35	237	210	16	-0,10	-0,00	+42	+0,21	+0,11	+164
36	1363	2080	485	-0,06	-0,03	-1	+0,16	+0,19	+142
37	376	419	244	-0,12	-0,11	+75	+0,20	+0,19	+180
38	200	173	92	-0,02	-0,04	+56	+0,20	+0,19	+161
39	75	76	64	-0,13	-0,11	+143	+0,25	+0,21	+214
40	96	69	19	-0,06	-0,10	+70	+0,10	+0,10	+127
41	798	895	217	-0,05	+0,02	+8	+0,16	+0,16	+150
42	486	652	142	+0,02	-0,04	-42	+0,12	+0,17	+169
43	2446	3025	926	-0,06	-0,02	+57	+0,18	+0,20	+161
44	1177	1358	696	-0,04	-0,09	+68	+0,21	+0,23	+169
45	406	431	153	-0,04	-0,03	+65	+0,19	+0,17	+149
46	49	63	44	+0,02	-0,12	+103	+0,14	+0,21	+157
47	261	319	180	-0,00	-0,15	+145	+0,18	+0,25	+185
48	201	261	96	+0,03	-0,06	+83	+0,23	+0,22	+181
49	135	141	45	-0,02	-0,04	+98	+0,16	+0,15	+183
50	147	147	59	-0,03	-0,03	+99	+0,16	+0,15	+200
51	164	142	69	-0,13	-0,08	+143	+0,23	+0,16	+204
52	51	53	23	-0,13	-0,08	+168	+0,19	+0,15	+214
53	597	621	267	-0,07	-0,05	+43	+0,21	+0,15	+177
54	38	40	29	-0,00	-0,06	+77	+0,14	+0,10	+131
55	104	133	52	+0,09	-0,06	+203	+0,20	+0,14	+239
56	744	524	218	-0,13	-0,10	+103	+0,21	+0,17	+188
62	283	256	126	+0,06	+0,01	-5	+0,18	+0,14	+172
63	3086	2550	780	-0,19	-0,01	-19	+0,27	+0,16	+168

# Resultaat verandering GHG, GLG en verdamping per regio en landgebruiksklasse (rood= GE<sub>ms</sub>, groen= GE, blauw= RC)

