



Onderzoeksopdracht voor het
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Departement Leefmilieu en Infrastructuur
Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer
AMINAL, afdeling Water



Opbouw van een Vlaams Grondwatervoedingsmodel

Eindrapport

22 november 2004



Opdrachthouder:

Vrije Universiteit Brussel

Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde

ir. Y. Meyus, ir. D. Adyns, Drs. S.T. Woldeamlak, Drs. O. Batelaan
en Prof. dr. ir. F. De Smedt

Inhoudstabel

Inhoudstabel	2
Lijst met figuren	3
Lijst met tabellen	4
Lijst met symbolen en afkortingen	5
1 De ontwikkeling van het Vlaams Grondwater Model (VGM)	6
2 Opbouw van een Vlaams grondwatervoedingsmodel	9
3 Doelstellingen	10
4 Het WetSpass-model	11
4.1 Het model	11
4.2 Berekeningsprocedure	12
4.2.1 Begroeide bodem	13
4.2.2 Onbegroeide bodem	15
4.2.3 Open water	16
4.2.4 Verharde bodem	16
4.3 Modelparameters	17
4.3.1 Neerslag en potentiële verdamping	17
4.3.2 Windsnelheid en temperatuur	17
4.3.3 Topografie	17
4.3.4 Grondwaterdiepte	18
4.3.5 Bodemeigenschappen	21
4.3.6 Landgebruiktypes	22
4.3.7 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt	26
4.3.8 Bodemtexturen	27
4.4 De WetSpass- invoerbestanden	29
4.5 Schaling van grondwatervoeding	30
4.5.1 Ruimtelijke schaal van de gesimuleerde grondwatervoeding	30
4.5.2 Neerschaling	32
4.5.3 Opschaling	32
4.5.4 Tijdschaling	33
5 Grafische voorstelling van het studiegebied	36
6 Bespreking van de resultaten	41
6.1 Algemeen	41
6.2 Resultaten voor het volledige VGM-karteergebied	42
6.2.1 Invloed van de bodemtextuur	47
6.2.2 Invloed van het landgebruiktype	49
6.3 Resultaten voor Vlaanderen zonder het Brussels Hoofdstedelijk Gewest	54
6.3.1 Invloed van de bodemtextuur	55
6.3.2 Invloed van het landgebruiktype	57
7 Enkele bemerkingen	62
Referenties	63
Bijlage 1: Omzettingstabel Waalse naar Vlaamse landgebruiktypes	70
Bijlage 2: Omzettingstabel Nederlandse naar Vlaamse landgebruiktypes	71
Bijlage 3: Omzettingstabel Franse naar Vlaamse landgebruiktypes	72
Bijlage 4: Omzettingstabel Nederlandse naar Vlaamse bodemtexturen	73
Bijlage 5: Omzettingstabel Franse naar Vlaamse bodemtexturen	77
Bijlage 6: De bodemkaart van de Kuststreek	78

Lijst met figuren

Figuur 1 Overzicht van de VGM-Omgeving (AMINAL, afdeling Water, 2003)	6
Figuur 2 VGM-karteergebied	9
Figuur 3 Schematische voorstelling van het WetSpass-model met aanduiding van de verschillende componenten in de waterbalans	12
Figuur 4 Geschatte grondwaterdiepte in de zomer	19
Figuur 5 Geschatte grondwaterdiepte in de winter	20
Figuur 6 Bodemclassificatie van België, indeling van de bodemsoorten volgens de textuurdriehoek	28
Figuur 7 Het WetSpass-dialoogvenster	30
Figuur 8 Topografische hoogte	37
Figuur 9 Bodemhelling	38
Figuur 10 Bodemtextuur	39
Figuur 11 Landgebruiktype	40
Figuur 12 Berekende jaarlijkse grondwatervoeding	44
Figuur 13 Berekende grondwatervoeding in de zomer	45
Figuur 14 Berekende grondwatervoeding in de winter	46
Figuur 15 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)	48
Figuur 16 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)	49
Figuur 17 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)	50
Figuur 18 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)	52
Figuur 19 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)	56
Figuur 20 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)	57
Figuur 21 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)	59
Figuur 22 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)	60

Lijst met tabellen

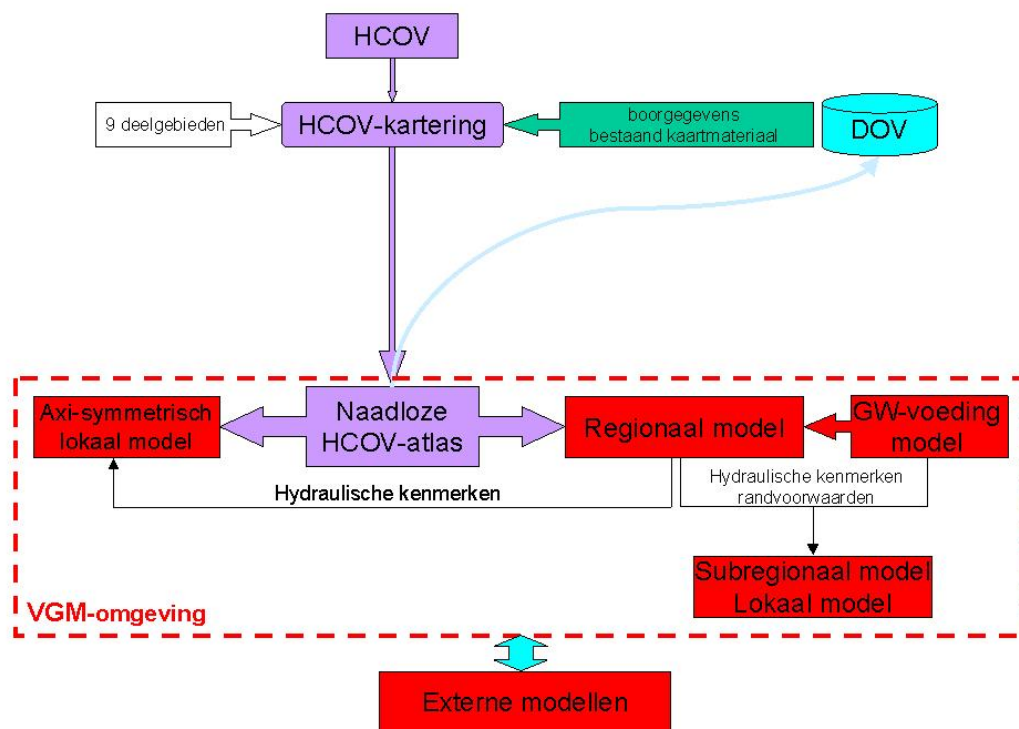
Tabel 1 Grondwaterdiepte in functie van de topografische hoogte	18
Tabel 2 Gebruikte bodemparameters per bodemtextuur	21
Tabel 3 Landgebruikparameters voor de zomer	24
Tabel 4 Landgebruikparameters voor de winter	25
Tabel 5 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij niet-verharde bodem, in functie van het landgebruiktype, de hellingsklasse en de bodemtextuur (zie Figuur 6)	26
Tabel 6 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij verharde bodem, in functie van het landgebruiktype en de hellingsklasse	27
Tabel 7 Negatieve waarden voor de grondwatervoeding in functie van enkele geselecteerde landgebruiktypes in de zomer	41
Tabel 8 Waterbalans voor het volledige VGM-karteergebied berekend met WetSpass	43
Tabel 9 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)	47
Tabel 10 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)	48
Tabel 11 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)	51
Tabel 12 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)	53
Tabel 13 Waterbalans voor Vlaanderen berekend met WetSpass	54
Tabel 14 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)	55
Tabel 15 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)	56
Tabel 16 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)	58
Tabel 17 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)	61

Lijst met symbolen en afkortingen

a_1 :	empirische factor afhankelijk van de bodemtextuur [-]
a_v :	begroeide bodemfractie [-]
a_s :	onbegroeide bodemfractie [-]
a_i :	verharde bodemfractie [-]
a_o :	open water fractie [-]
c :	vegetatiecoëfficiënt [-]
C :	oppervlakkige afvoercoëfficiënt [-]
C_E :	verdampingscoëfficiënt bij verharde bodem [-]
C_S :	oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij verharde bodem [-]
D :	invloedsdiepte van de verdamping van een onbegroeide bodem [L]
DOV:	Databank Ondergrond Vlaanderen
E :	reële verdamping bij verharde bodem [L]
E_0 :	potentiële verdamping van open water [L]
ET :	reële verdamping [L]
ET_0 :	potentiële verdamping van een vegetatieoppervlak [L]
f :	factor die rekening houdt met de vochttoestand in de wortelzone [-]
HCOV:	Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen
I :	interceptie door de vegetatie [L]
I_p :	interceptiepercentage [%]
K :	von Kármán constante
LAI:	Leaf Area Index (fractie bladeroppervlak per grondoppervlak) [-]
P :	totale neerslag [L]
r_a :	aërodynamische weerstand voor waterdamptransport [TL^{-1}]
r_{leaf} :	stomatale weerstand van het gewas [TL^{-1}]
r_s :	gewasweerstand [TL^{-1}]
R :	grondwatervoeding [L]
S :	oppervlakkige afvoer [L]
TAW:	Tweede Algemene Waterpassing
u_a :	windsnelheid gemeten op hoogte z_a [LT^{-1}]
W :	maximaal beschikbare water voor verdamping [L]
z_0 :	nulvlakverplaatsing [L]
z_1 :	de ruwheidslengte voor momentum transport [L]
z_2 :	de ruwheidslengte voor warmte- en damptransport [L]
γ :	psychometrische constante
Δ :	helling van de dampverzadigingscurve bij de heersende luchttemperatuur
θ :	vochtgehalte in de wortelzone [-]
θ_{fc} :	vochtgehalte in de wortelzone bij veldcapaciteit [-]
θ_{pwp} :	vochtgehalte in de wortelzone bij permanente verwelking [-]
θ_r :	residueel vochtgehalte in de bodem [-]

1 De ontwikkeling van het Vlaams Grondwater Model (VGM)¹

Het algemene doel van het VGM is een zo compleet mogelijk inzicht te verschaffen betreffende het grondwatersysteem van de Vlaamse ondergrond (AMINAL, afdeling Water, 2003). Het VGM zal een globale werkomgeving creëren waarbinnen alle mogelijke hydrogeologische gegevensverwerking en modelstudies kunnen worden gecoördineerd gekoppeld en geoptimaliseerd. Op deze wijze wordt een geïntegreerd instrument ter ondersteuning van het grondwaterbeleid ontwikkeld. Een algemeen overzicht van de VGM-omgeving zoals deze nu in ontwikkeling is wordt gegeven in (Figuur 1). Hieronder zal een korte historiek van de verschillende stappen in de ontwikkeling van het VGM gegeven worden. Stappen 1 t.e.m. 4 zijn reeds afgerond en de andere stappen zijn in ontwikkeling. Stap 5 betreft het huidige project.



Figuur 1 Overzicht van de VGM-Omgeving (AMINAL, afdeling Water, 2003)

¹ Tekst overgenomen uit Meyus et al., 2004b

STAP 1: ontwikkeling van het concept van het VGM

In deze fase is een basisarchitectuur van het VGM ontstaan (Meyus et al., 2000b). Het VGM is een omgeving waarin gebiedsdekkende verwerkte basisgegevens, zoals hydrogeologische opbouw, grondwatervoeding, hydraulische parameters, e.d. zich bevinden. Naast deze basisgegevens zal het VGM ook een aantal regionale modellen bevatten waarin de grondwaterstroming gebiedsdekkend berekend wordt. Daarnaast behoren een aantal afgeleide subregionale en lokale modellen tot de VGM omgeving.

De ontwikkeling van een set van gebiedsdekkende gebruiksklare basisgegevens is de belangrijkste peiler om op flexibele en doeltreffende wijze tot grondwatermodellering op verschillende schalen te kunnen overgaan.

STAP 2: ontwikkeling van de Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen (HCOV)

Eén van de eerste stappen in de echte ontwikkeling van het VGM was het opstellen van de HCOV. Een gebiedsdekkende hydrostratigrafische indeling van de Vlaamse ondergrond werd in samenspraak met alle betrokken instellingen opgesteld (Meyus et al., 2000a; Meyus et al., 2000c).

STAP 3: hydrogeologische detailstudie van de ondergrond van Vlaanderen

Voor elk van de HCOV-eenheden bepaald in STAP 2 werden kaarten opgesteld met het voorkomen, de diepte van de basis en de dikte van deze lagen. Het resultaat vormt een driedimensionale atlas van de hydrostratigrafische onderverdeling van de ondergrond in Vlaanderen (Meyus et al., 2004a).

STAP 4: ontwikkeling van een lokaal axi-symmetrisch grondwatermodel

Op de kartering uit STAP 3 is de ontwikkeling van het lokaal axi-symmetrisch grondwatermodel geënt. De geologische opbouw wordt automatisch uit de kartering afgeleid. Dit type model laat toe om de invloed van één enkele en een combinatie van grondwaterwinningen in te schatten en zal gebruikt worden bij de adviesverlening bij de vergunningaanvraag voor het winnen van grondwater (Lebbe en Vandenbohede, 2004).

STAP 5: ontwikkeling van een Vlaams Grondwatervoedingsmodel (huidig project)

In deze stap wordt de grondwatervoeding gemodelleerd met de WetSpass-code, ontwikkeld aan de Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde van de VUB (Batelaan en De Smedt, 2001). Hierbij wordt rekening gehouden met de topografie, de bodem, het landgebruik, de neerslag en de temperatuur. De gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding wordt met dit model met een rastergrootte van 50 bij 50 meter berekend.

STAP 6: ontwikkeling van regionale modellen

In deze stap worden een aantal regionale modellen opgesteld die moeten toelaten de impact van beleidsbeslissingen te voorspellen en te ondersteunen. In Vlaanderen worden zes verschillende grondwatersystemen onderscheiden. Elk systeem zal op regionale basis gemodelleerd worden.

Voor de Sokkel is reeds een regionaal model ontwikkeld (Walraevens en Van Camp, 2003), de andere modellen zijn in ontwikkeling. Het Centraal Vlaams Model wordt ontwikkeld binnen AMINAL, afdeling Water, terwijl het Centraal Kempisch Model, het Maasmodel en het Brulandkrijtmodel worden uitbesteed. Het complexe Kust- en Poldersysteem zal in een latere fase ontwikkeld worden.

STAP 7: ontwikkeling van subregionale en lokale grondwatermodellen

Ten behoeve van de visievorming rond landinrichtingsprojecten, waterwingebieden, grondwaterafhankelijke natuurgebieden, gewestplanwijzigingen, kan het noodzakelijk zijn grondwatermodellen op een gedetailleerder niveau te ontwikkelen dan de regionale modellen. Deze subregionale modellen kunnen ontwikkeld worden op basis van de resultaten van de regionale modellen.

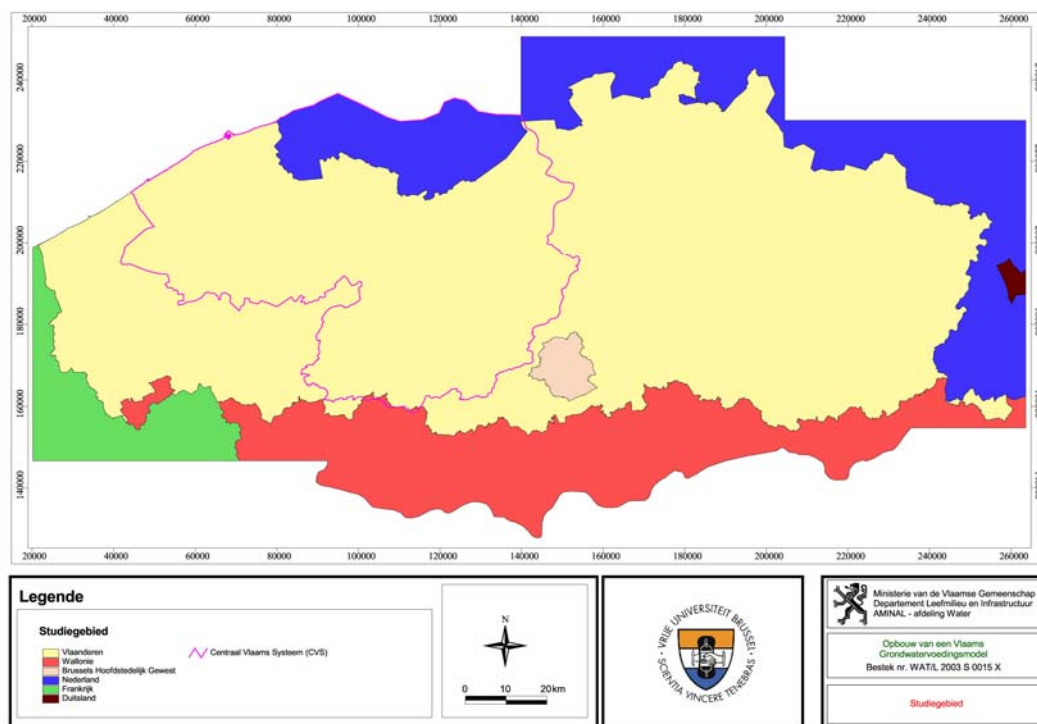
STAP 8: ontwikkeling van tijdsafhankelijke modellen

De modellen uit STAP 6 zijn stationaire modellen. Op termijn zal AMINAL, afdeling Water overgaan tot het niet-stationair modelleren van de grondwaterstroming. Dit vergt echter nog vergaande inspanning met betrekking tot gegevensverzameling (vnl. tijdsreeksen van opgepompte debieten).

2 Opbouw van een Vlaams grondwatervoedingsmodel

In het voorjaar 2000 werd het Concept van het Vlaams Grondwater Model (VGM) uitgewerkt in opdracht van AMINAL, afdeling Water (Meyus et al., 2000b). Hiermee werd een eerste stap gezet in het creëren van een instrument dat op uniforme wijze een adequate beschrijving kan weergeven van de diverse grondwatersystemen die voorkomen in de Vlaamse ondergrond. Het VGM zal de overheid de mogelijkheid bieden, om de gevolgen van bepaalde beleidsbeslissingen in te schatten en om een oplossing te zoeken voor bepaalde problemen betreffende het grondwater in Vlaanderen. Dit past trouwens in de Europese vraag naar een globaal geïntegreerd waterbeleid in Vlaanderen.

In een eerste fase werd de methodologie op het Centraal Vlaams grondwater-Systeem (CVS) uitgetest (Meyus et al., 2004b). Dit deelgebied is voornamelijk gesitueerd in de provincies Oost-Vlaanderen en West-Vlaanderen en Zeeuws-Vlaanderen in Nederland. In de tweede fase werd het totale VGM-karteergebied met een oppervlakte van 20.305 km² behandeld. Dit gebied komt overeen met Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, een stuk Wallonië, Frankrijk en Nederland en miniem deeltje van Duitsland (Figuur 2).



Figuur 2 VGM-karteergebied

3 Doelstellingen²

Grondwatervoeding is afhankelijk van verschillende factoren zoals topografie, bodemhelling, bodemtextuur, landgebruiktype, neerslag en evapotranspiratie. Een afname van de grondwatervoeding kan bijvoorbeeld de grondwatertafel laten dalen en aldus verdroging tot gevolg hebben. Vooral de verstedelijking en intensivering van de landbouw kunnen aansprakelijk worden gesteld voor de vermindering van de grondwatervoeding, doch het blijft zeer moeilijk om de juiste kwantitatieve gegevens te verkrijgen en aldus de juiste impact op het grondwatersysteem vast te stellen.

Het grondwatervoedingsmodel moet daarom volgende vragen kunnen beantwoorden:

1. Hoeveel bedraagt de grondwatervoeding en wat is de ruimtelijke verspreiding ervan in functie van de omgevingsfactoren zoals topografie, bodemtextuur en landgebruiktype?
2. In welke mate is de grondwatervoeding afhankelijk van hydrologische factoren, zoals neerslag en verdamping?
3. Wat zijn de belangrijkste factoren die de grondwatervoeding bevorderen of verminderen?

Het model dat gebruikt is voor de bepaling van de grondwatervoeding is WetSpass (Batelaan en De Smedt, 2001). Dit laat toe om de oppervlakkige afvoer, de evapotranspiratie en de grondwatervoeding te berekenen aan de hand van het landgebruiktype, de bodemtextuur, de topografische helling en klimatologische gegevens.

Meer in het bijzonder zal een analyse van de impact van het landgebruik toelaten deze landgebruiktypes te bepalen die gunstig of ongunstig zijn voor de grondwatervoeding op een kwantitatieve basis. Hierdoor wordt het ook mogelijk om voor elk landgebruiktype de relatieve bijdrage in de globale grondwatervoeding in te schatten.

Ook de invloed van de verschillen in bodemtextuur en topografische helling op de lokale grondwatervoeding worden in deze studie onderzocht. Er kan opgemerkt worden dat niet enkel de bovengenoemde parameters, maar ook hun onderlinge combinatie de lokale grondwatervoeding zal beïnvloeden.

Ook wordt er stilgestaan bij de problematiek van de ruimtelijke en tijdschaling van de invoer gegevens en de modelresultaten.

² Tekst overgenomen uit Meyus et al., 2004b

4 Het WetSpass-model³

4.1 Het model

WetSpass is een stationair, naar analogie met het niet-stationaire WetSpa (Wang et al., 1996; Batelaan et al., 1996; De Smedt et al., 1999a; De Smedt et al., 1999b; De Smedt et al., 2000), simulatiemodel voor water- en energietransport in bodem, plant en atmosfeer. Het kan ruimtelijke patronen voorspellen van oppervlakkige afvoer, verdamping en grondwatervoeding op een regionale schaal. Het is bijzonder geschikt voor studies naar de effecten van veranderingen in het landgebruik op de waterhuishouding in een bekken of regio en de daaruit voortvloeiende te nemen waterbeheeropties (Batelaan en De Smedt, 1996).

Het WetSpass-model heeft een flexibele structuur en is volledig als een AVENUE-toepassing geïntegreerd in het GIS ArcView (AVENUE is de 'object oriented' programmeertaal van ArcView), waardoor het zeer efficiënt en gebruiksvriendelijk is.

De werking van het model is als volgt. De kenmerken van een stroombekken of regio worden beschreven in een raster-GIS, zodat voor een regelmatig patroon van rastercellen de topografie, de bodemtextuur en landgebruiktype gekend zijn. De resolutie kan zeer klein zijn, hetgeen toelaat het gebied zeer gedetailleerd te beschrijven.

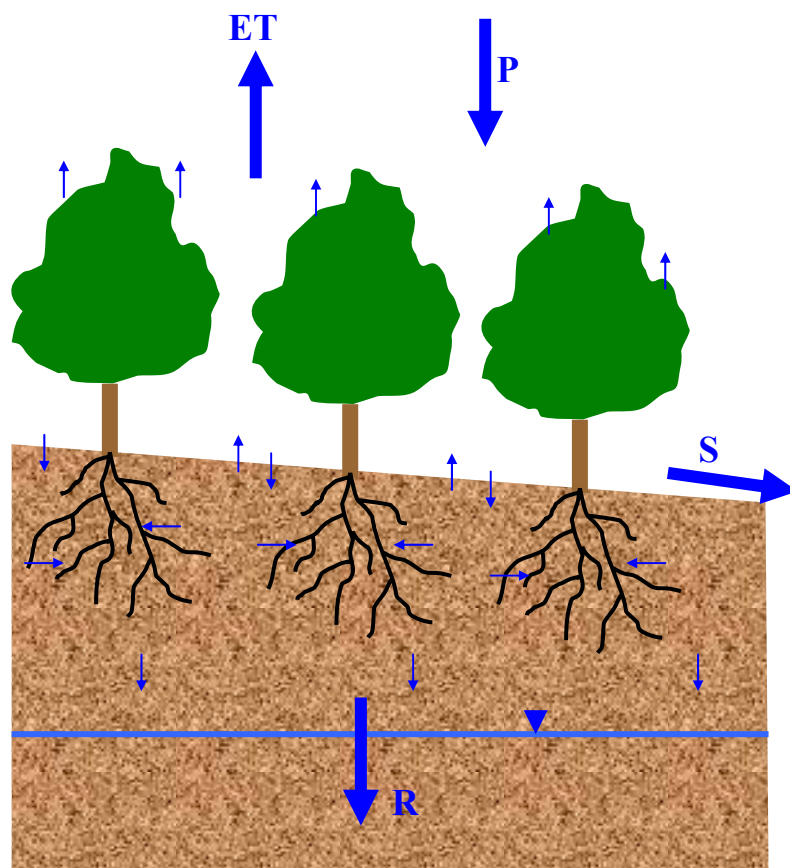
Er worden GIS-kaarten van neerslag en potentiële verdamping ingevoerd en het model berekent in elke rastercel de oppervlakkige afstroming, de reële verdamping en de infiltratie in functie van de bodembedekking, de interceptie, de evaporatie en de bodemvochttoestand.

Het model houdt rekening met de diverse landgebruiktypes. De digitale landgebruikgegevens zijn meestal afgeleid van satellietbeelden. Ook alle voorkomende bodemtexturen, overeenkomstig met de klassen van de Belgische bodemclassificatie kunnen ingebracht worden (Van Ranst en Sys, 2000). Er dienen geen modelparameters gekalibreerd te worden. Alle parameters werden reeds vastgelegd in het model, waarbij de waarden ervan uit de literatuur en voorgaande studies komen.

In het model wordt een bekken of regio opgedeeld in een regelmatig raster van rekencellen. Iedere cel kan op zijn beurt bestaan uit een begroeid, onbegroeid, verhard en open water gedeelte. Voor iedere rekencel wordt de waterbalans opgesteld, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 3. In deze studie wordt de waterbalans berekend voor een zomerseizoen van april tot en met september en een winterseizoen van oktober tot en met maart. De resultaten worden daarna gesommeerd om jaarlijkse gemiddelden te bekomen.

³ Tekst overgenomen uit Meyus et al., 2004b

Het WetSpass-model werd reeds met groot succes toegepast bij verschillende studies betreffende de hydrologische modellering van rivierbekkens (Batelaan en De Smedt, 1996; Asefa et al., 1999; Batelaan et al., 2000a; Batelaan et al., 2000b; Van Daele et al., 2000; Huybrechts et al., 2000; Batelaan en De Smedt, 2001; De Smedt en Batelaan, 2001; van Rossum et al., 2001; Batelaan et al., 2002a; Batelaan et al., 2002b; Batelaan et al., 2002c; Verbeiren et al., 2002a; Verbeiren et al., 2002b; Corluy et al., 2003; Verbeiren et al., 2003; Fourneau et al., 2003; Verbeiren et al., 2004; Batelaan en De Smedt, 2004).



Figuur 3 Schematische voorstelling van het WetSpass-model met aanduiding van de verschillende componenten in de waterbalans

4.2 Berekeningsprocedure

Afhankelijk van het landgebruiktype wordt iedere rekencel opgedeeld in een fractie begroeide of onbegroeide bodem, verhard oppervlak en open water. Voor elk van deze fracties afzonderlijk wordt de waterbalans en de grondwatervoeding berekend voor het zomer- en winterseizoen, waarna de resultaten gesommeerd worden om jaarlijkse gemiddelden te bekomen.

4.2.1 Begroeide bodem

De berekeningsprocedure voor een begroeide bodem is gebaseerd op de waterbalans gegeven door:

$$P = ET + S + R \quad (1)$$

met P de totale neerslag in het beschouwde seizoen [L], ET de reële verdamping bij een begroeide bodem (evapotranspiratie) [L], inclusief I de interceptie door de vegetatie [L], S de oppervlakkige afvoer [L] en R de grondwatervoeding [L].

De reële verdamping bij een begroeide bodem is afhankelijk van de potentiële verdamping van het vegetatieoppervlak ET_0 [L]. Om tot de potentiële verdamping van het vegetatieoppervlak te komen wordt de potentiële verdamping van open water E_0 [L] omgezet met behulp van de vegetatiecoëfficiënt c [-] (Knapp, 1985).

$$ET_0 = cE_0 \quad (2)$$

De potentiële verdamping van open water wordt berekend uitgaande van de klimatologische omstandigheden met de vergelijking van Penman (Penman, 1948). De vegetatiecoëfficiënt kan berekend worden als het quotiënt van de referentie vegetatietranspiratie, berekend met de Penman-Monteith vergelijking (Monteith, 1965), en de potentiële verdamping van open water.

$$c = \frac{1 + \frac{\gamma}{\Delta}}{1 + \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right) \frac{\gamma}{\Delta}} \quad (3)$$

met γ de temperatuursafhankelijke psychometrische constante en Δ de helling van de dampverzadigingscurve bij de heersende luchttemperatuur (de fractie γ/Δ wordt meestal aangeduid als Penmancoëfficiënt [-]), r_s de gewasweerstand [TL^{-1}] die gelijk is aan r_{leaf} gedeeld door LAI, met r_{leaf} de stomatale weerstand van het gewas [TL^{-1}] en LAI de bladoppervlakteindex [-] (leaf area index).

De aërodynamische weerstand voor waterdamptransport r_a [TL^{-1}] wordt berekend als volgt (Feddes en Lenselink, 1994):

$$r_a = \frac{1}{K^2 u_a} \left[\ln \left(\frac{z_a - z_0}{z_1} \right) \right] \left[\ln \left(\frac{z_a - z_0}{z_2} \right) \right] \quad (4)$$

met K de von Kármán constante ($\sim 0,41$), u_a de windsnelheid gemeten op hoogte $z_a = 2$ meter, z_0 de nulvlakverplaatsing [L], welke bij benadering gelijk is aan $2/3$ van h , waarbij h de vegetatiehoogte is [L], z_1 is de ruwheidslengte voor momentumtransport [L] (benaderd door $0,123 \cdot h$) en z_2 de ruwheidslengte [L] voor warmte- en damptransport (benaderd door $0,1 \cdot z_1$).

De reële verdamping bij een begroeide bodem omvat verdamping door interceptie door de vegetatie I [L]. In WetSpa wordt de interceptie begroot als een constant percentage van de neerslag, afhankelijk van het landgebruiktype en de begroeide bodemfractie. De reële verdamping bij een begroeide bodem is ook afhankelijk van de vochttoestand in de bodem en wordt berekend als:

$$ET = I + f \cdot ET_0 \quad (5)$$

met f [-] een functie, variërend tussen 0 en 1 en afhankelijk van het vochtgehalte in de wortelzone. Dingman (1994) bedacht voor f de volgende relatie:

$$f = \frac{\theta - \theta_{pwp}}{\theta_{fc} - \theta_{pwp}} \quad (6)$$

met θ het vochtgehalte in de wortelzone (volume water per volume grond) [-], θ_{pwp} het vochtgehalte in de wortelzone bij permanente verwelking [-] en θ_{fc} het vochtgehalte in de wortelzone bij veldcapaciteit [-].

Vermits WetSpass een stationaire situatie beschouwd is het niet mogelijk om het vochtgehalte in de wortelzone te berekenen op elk tijdstip, zodat in de plaats daarvan een methodologie wordt gebruikt steunend op de theorie beschreven in Vandewiele et al. (1993) en Xu (1992):

$$f = 1 - a_1^{W/ET_0} \quad (7)$$

met a_1 een empirische factor [-] afhankelijk van de bodemtextuur, ET_0 de potentiële verdamping van een vegetatieoppervlak [L] en W het maximaal beschikbare water voor verdamping [L].

$$W = P + n(\theta_{fc} - \theta_{pwp})D \quad (8)$$

met P de totale neerslag [L], n het aantal maanden in het beschouwde seizoen [-] en D de worteldiepte [L]. De tweede term in deze vergelijking geeft het maximaal beschikbare water dat aanwezig is in de bodem.

De oppervlakkige afvoer S wordt berekend als een fractie van de netto neerslag ($P - I$):

$$S = C(P - I) \quad (9)$$

met C de oppervlakkige afvoercoëfficiënt [-] afhankelijk van de bodemhelling, het landgebruiktype en de bodemtextuur (Smedema en Rycroft, 1988).

De grondwatervoeding kan vervolgens als restterm uit de waterbalans berekend worden:

$$R = P - ET - S \quad (10)$$

4.2.2 Onbegroeide bodem

Een gelijkaardige procedure wordt toegepast voor de onbegroeide bodemfractie, met dit verschil dat de potentiële verdamping van onbegroeide bodem gelijk wordt gesteld aan de potentiële verdamping van open water, zoals berekend met de vergelijking van Penman. Ook de interceptie door vegetatie vervalt bij onbegroeide bodem ($I = 0$). De berekening van het maximaal beschikbaar water voor verdamping gebeurt hier op volgende wijze:

$$W = P + (\theta_{fc} - \theta_r)D \quad (11)$$

met θ_r het residueel vochtgehalte in de bodem [-] en D de invloedsdiepte van de verdamping van een onbegroeide bodem [L].

4.2.3 Open water

Bij de berekening van de waterbalans voor open water wordt de verdamping gelijk gesteld aan de potentiële verdamping van open water E_0 , zoals berekend met de vergelijking van Penman en wordt de grondwatervoeding verwaarloosd. Als sluitterm van de waterbalans kan dan de oppervlakte afvoer berekend worden.

4.2.4 Verharde bodem

De waterbalans voor een verharde bodem kan vrij gespecificeerd worden door de gebruiker. Een exacte fysische beschrijving van de interceptie, oppervlakte afvoer, verdamping en mogelijk zelfs grondwatervoeding is zeer moeilijk, gezien de zeer grote verscheidenheid in verharde oppervlakken en hun hydrologische eigenschappen. De gebruiker moet daarom zelf deze processen begroten.

De oppervlakkige afvoer voor verharde bodem wordt bepaald als fractie van de neerslag:

$$S = C_s P \quad (12)$$

met C_s de oppervlakkige afvoercoëfficiënt voor verharde bodem, als functie van het landgebruiktype en de bodemhelling. De waarden van C_s zijn afkomstig uit Pilgrim en Cordery (1992), USDA-NRCS (1972) en Chow et al. (1988).

De reële verdamping (evaporatie) voor verharde bodem wordt bepaald als een fractie van de neerslag verminderd met de oppervlakkige afvoer:

$$E = C_E (P - S) \quad (13)$$

met C_E de verdampingscoëfficiënt afhankelijk van het beschouwde seizoen (0,95 in de zomer en 0,85 in de winter).

De berekende reële verdamping wordt verondersteld niet groter te zijn dan de potentiële verdamping van open water E_0 .

De grondwatervoeding voor verharde bodem kan vervolgens berekend worden uit de waterbalans:

$$R = P - E - S \quad (14)$$

4.3 Modelparameters

4.3.1 Neerslag en potentiële verdamping

Voor de neerslaggegevens en potentiële verdamping berekend met de Penman vergelijking wordt beroep gedaan op gegevens van het KMI. De gemiddelde jaarlijkse neerslag in België is goed gekend en contourkaarten worden gegeven door Dupriez en Sneyers (1978, 1979) en Sneyers en Vandiepenbeeck (1995). Hetzelfde geldt voor de potentiële evaporatie (Bultot en Dupriez, 1974; Bultot et al., 1983), waarvoor contourkaarten gegeven worden door Gellens-Meulenberghs en Gellens (1992). Deze kaarten bedekken een groot deel van het studiegebied. In de overblijvende gebieden werden de contourlijnen manueel verlengd.

De contourkaarten van neerslag en potentiële evaporatie voor gans België werden gescand en met behulp van traceringsmodules werden alle contourlijnen op deze kaarten gevectoriseerd. Daarna werden via interpolatie de vectorkaarten omgezet naar rasterkaarten met een resolutie van 20 bij 20 meter. De opdeling in waarden voor de zomer en winter gebeurde aan de hand van waarnemingen te Ukkel. De gemiddelde jaarlijkse neerslag te Ukkel bedraagt 780 mm, waarvan 400 mm valt in de zomer en 380 mm in de winter, zijnde respectievelijk 51% en 49%. Dezelfde fracties werden toegepast voor de neerslag op elke andere locatie. Voor de gemiddelde jaarlijkse potentiële verdamping te Ukkel is dit 656,5 mm in het totaal, waarvan 542,5 mm in de zomer en 114,0 mm in de winter, ofwel van respectievelijk 83% en 17%. Deze fracties werden eveneens verondersteld in elke andere locatie.

4.3.2 Windsnelheid en temperatuur

De windsnelheden voor het zomer- en winterseizoen zijn 3,84 m/s en 3,27 m/s, terwijl de temperaturen voor de zomer en de winter respectievelijk 5,0°C en 14,1°C zijn.

4.3.3 Topografie

Voor de topografische gegevens werd een Digitaal Terrein Model (DTM) van Vlaanderen gebruikt dat binnen de Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde werd gecreëerd op basis van de digitale topografische rastergegevens van het DTM niveau 2, met resolutie 50 bij 50 meter, van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI). Ook voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest werd dit DTM gebruikt.

Het DTM van Wallonië, Frankrijk en Duitsland werd overgenomen van het project “Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen” in opdracht van AMINAL, afdeling Water (Meyus et al., 2004a). De resolutie van 100 bij 100 meter van de originele rasterbestanden werd met behulp van ArcView omgezet naar 50 bij 50 meter.

Voor het Nederlandse deel werd het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) als basis gebruikt. Dit bestand heeft een resolutie van 25 bij 25 meter en werd verkregen bij de Meetkundige Dienst van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Ook deze resolutie werd met behulp van ArcView omgezet naar 50 bij 50 meter. De topografische hoogte is hier echter gegeven volgens het Nieuw Amsterdams Peil (NAP) en diende omgezet te worden naar TAW. Ook de Nederlandse Rijks Driehoeksmeting (RD) coördinaten werden omgezet naar Lambertcoördinaten met behulp van ArcGIS 8.3.

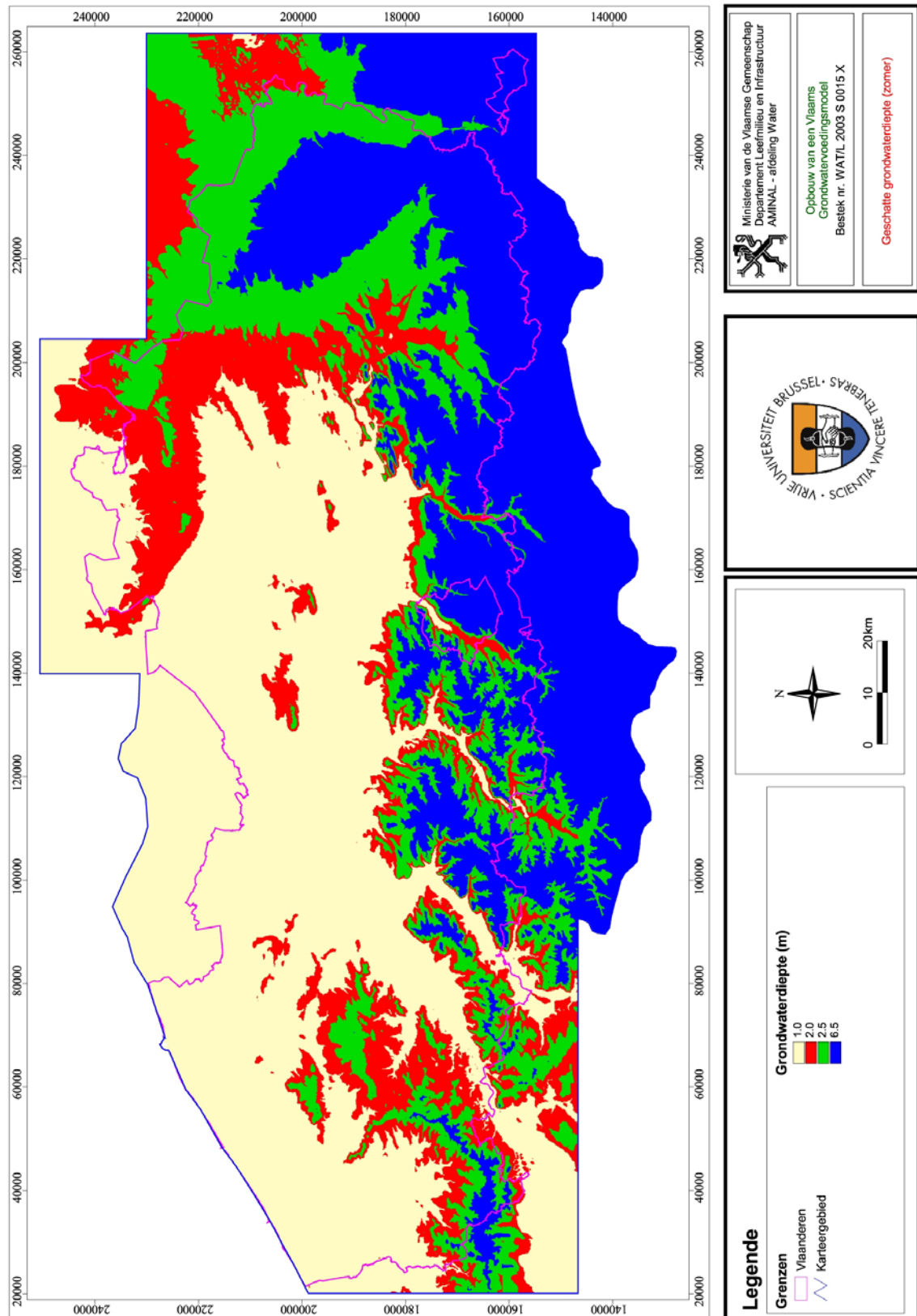
4.3.4 Grondwaterdiepte

Vermits er voorlopig onvoldoende informatie over het grondwaterpeil voorhanden is, werd voor deze studie een eerste ruwe schatting van de grondwaterdiepte gemaakt op basis van de topografie.

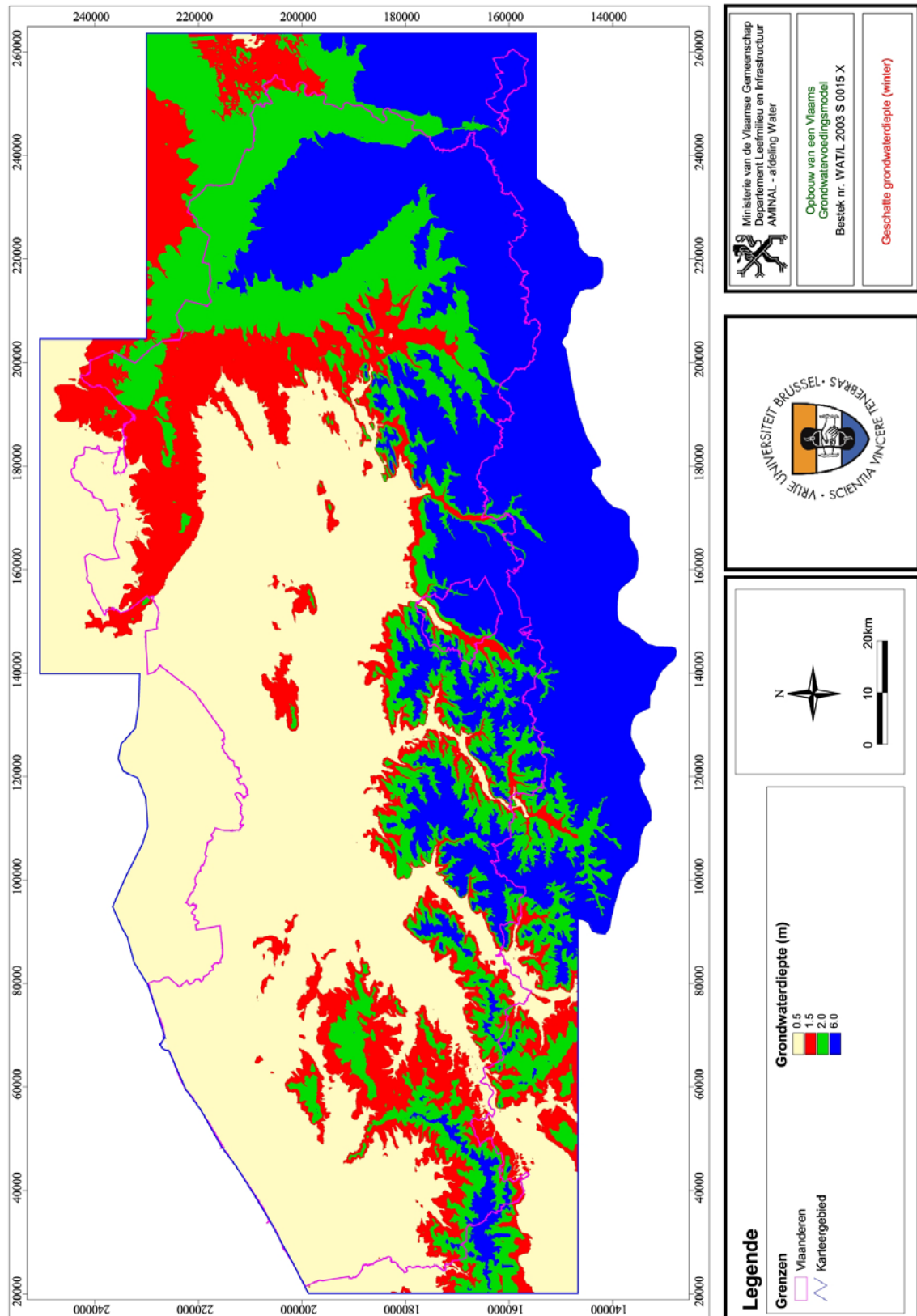
Uit de studies betreffende het stroomgebied van de Grote Nete (Batelaan et al., 2000a) en de Visbeek (Verbeiren et al., 2004) werd het gemiddeld grondwaterniveau in functie van de topografische hoogte bepaald (Tabel 1). Dit wordt gevisualiseerd in Figuur 4 en Figuur 5, respectievelijk voor de zomer en de winter.

Tabel 1 Grondwaterdiepte in functie van de topografische hoogte

Topografische hoogte (mTAW)	Grondwaterdiepte zomer (m)	Grondwaterdiepte winter (m)
<20	1,0	0,5
20-30	2,0	1,5
30-50	2,5	2,0
>50	6,5	6,0



h
 Figuur 4 Geschatte grondwaterdiepte in de zomer



Figuur 5 Geschatte grondwaterdiepte in de winter

4.3.5 Bodemeigenschappen

Bodemeigenschappen zijn belangrijk voor berekening van de waterbalans. Meer in het bijzonder zijn voor een WetSpass-modellering de volgende bodemparameters noodzakelijk:

1. θ_{fc} : het vochtgehalte in de wortelzone bij veldcapaciteit [-];
2. θ_{pwp} : het vochtgehalte in de wortelzone bij permanente verwelking [-];
3. θ_r : het residueel vochtgehalte in de bodem [-];
4. D : de invloedsdiepte voor de verdamping van een onbegroeide bodem [L];
5. a_1 : de bodemfactor voor berekening van de reële verdamping [-].

Omdat het onmogelijk is om voor elke specifieke bodemsoort deze parameters afzonderlijk te bepalen, worden standaard waarden gebruikt afhankelijk van de bodemtextuur. Tabel 2 geeft de waarde weer van de zand-, klei- en leemfracties, bepaald in het middelpunt van iedere textuurklasse (Soil Survey Staff, 1951; Cosby et al., 1984), en de overeenkomstige porositeit η [-] en verzadigde doorlatendheidscoëfficiënt K_s [LT-1] volgens Saxton et al. (1986) berekend met een bodemrekenmachine (<http://www.bsye.wsu.edu/saxton/soilwater/>). Het betreft hier zeven Vlaamse standaard bodemtexturen die gecorreleerd werden met de overeenkomstige Amerikaanse types (Soil Survey Staff, 1951).

Tabel 2 Gebruikte bodemparameters per bodemtextuur

Nummer	Bodemtextuur	Zand-fractie	Klei-fractie	Leem-fractie	θ_{fc}	θ_{pwp}	$\theta_{fc}-\theta_{pwp}$	θ_r	D (m)	a_1	η	K_s (cm/uur)
1	Zand (Z)	0,92	0,03	0,05	0,12	0,05	0,07	0,020	0,05	0,51	0,33	12,04
2	Lemig zand (S)	0,82	0,06	0,12	0,15	0,07	0,08	0,035	0,05	0,47	0,37	5,73
3	Licht zandleem (P)	0,58	0,10	0,32	0,21	0,09	0,12	0,041	0,05	0,44	0,42	2,64
4	Leem (A)	0,17	0,13	0,70	0,29	0,10	0,19	0,015	0,05	0,40	0,46	2,37
5	Zandleem (L)	0,10	0,10	0,80	0,25	0,12	0,13	0,027	0,05	0,37	0,45	3,36
9	Klei (E)	0,32	0,34	0,34	0,33	0,19	0,14	0,075	0,05	0,27	0,50	0,29
12	Zware klei (U)	0,22	0,58	0,20	0,46	0,33	0,13	0,090	0,05	0,21	0,54	0,18

Verder geeft Tabel 2 het vochtgehalte in de wortelzone bij veldcapaciteit θ_{fc} , het vochtgehalte in de wortelzone bij permanente verwelking θ_{pwp} , het beschikbaar water voor transpiratie $\theta_{fc}-\theta_{pwp}$, het residueel vochtgehalte in de bodem θ_r , de verdampingsdiepte D en de bodemfactor a_1 . De waarden voor θ_{fc} en θ_{pwp} werden overgenomen uit Saxton et al. (1986). De waarden voor θ_r komen uit Rawls et al. (1992). Voor D werd een waarde onafhankelijk van de bodemtextuur verondersteld ($D = 0,05$ m). De waarden voor de bodemfactor a_1 werden geïnterpreteerd uit gegevens afkomstig uit Van der Beken en Huybrechts (1990), Vandewiele et al. (1993) en Xu (1992).

4.3.6 Landgebruiktypes

De volgende parameters afhankelijk van het landgebruiktype zijn nodig voor een berekening met het WetSpa-model:

1. a_v : begroeide bodemfractie [-];
2. a_s : onbegroeide bodemfractie [-];
3. a_i : verharde bodemfractie [-];
4. a_o : open water fractie [-];
5. h : vegetatiehoogte [L];
6. r_{leaf} : stomatale weerstand van het gewas [TL^{-1}];
7. LAI: bladoppervlakteindex [-];
8. D : worteldiepte [L];
9. I_p : Interceptiepercentage [%];
10. C : oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij niet-verharde bodem [-].

De Vlaamse landgebruiktypes die beschouwd worden in het WetSpa-model zijn deze van het Bodembedekkings- en Bodemgebruiksbestand, (OC GIS-Vlaanderen 2001). Dit GIS-bestand, gebaseerd op satellietbeelden, heeft een resolutie van 15 bij 15 meter en bevat 24 geclassificeerde landgebruiktypes. Deze gegevens worden binnen ArcView herschaald naar het 50 bij 50 meter raster. Ook voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest werd deze gegevensbron gebruikt.

Voor de Waalse landgebruiktypes werd de cd “Occupation du sol de la région Wallonne” gebruikt. Deze kan verkregen worden bij het Direction générale de l’Aménagement du territoire, du Logement et du Patrimoine van het Waalse Gewest. Dit GIS-bestand heeft een resolutie van 20 bij 20 meter en bevat slechts 16 landgebruiktypes. Deze gegevens werden binnen ArcView herschaald naar het 50 bij 50 meter raster. De omzettingstabel van de Waalse naar de Vlaamse landgebruiktypes vindt men in Bijlage 1. Op te merken valt dat deze ruwere indeling leidt tot verlies aan informatie, daar bijvoorbeeld het type boomgaard in Wallonië niet wordt onderscheiden en omvat zit in “Culture saisonnière et autres”.

De Nederlandse landgebruiktypes werden verkregen uit het Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland (LGN3^{plus}) opgesteld door het Centrum voor Geo-informatie dat onderdeel uitmaakt van het Wageningen-Universiteit en Research centrum (<http://www.lgn.nl>). De omzettingstabel van de Nederlandse naar Vlaamse landgebruiktypes vindt men in Bijlage 2.

De Franse landgebruiktypes werden bekomen uit de Corine Land Cover (CLC90) gegevensbank van het European Environment Agency te Kopenhagen in Denemarken (<http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/metadetails.asp?id=571>). Dit GIS-bestand heeft een resolutie van 250 bij 250 meter en bevat 50 geclassificeerde landgebruiktypes. Deze gegevens werden binnen ArcView herschaald naar het 50 bij 50 meter raster. De omzettingstabel van de Franse naar Vlaamse landgebruiktypes vindt men in Bijlage 3.

Voor het minieme Duitse deel van het studiegebied werd binnen ArcView de nabijgelegen landgebruiktypes uitgemiddeld en overgenomen.

Voor elk van deze landgebruiktypes werd een verdeling vooropgesteld van de fracties begroeide [a_v], onbegroeide [a_s] en verharde bodem [a_i] en open water [a_o]. Deze gegevens vindt men terug in Tabel 3 voor het zomerseizoen en in Tabel 4 voor het winterseizoen. In deze tabellen worden ook de standaardwaarden gegeven voor de vegetatiehoogte, de stomatale weerstand van het gewas, de bladoppervlakteindex, het interceptiepercentage en de worteldiepte. Deze waarden werden afgeleid uit de vakliteratuur, zoals Calder (1979), Nonhebel (1987), Feddes en Lenselink (1994) en Grossman (1998).

In de laatste kolom van deze tabellen wordt het landgebruiktype gegeven dat gebruikt wordt om de oppervlakkige afvoercoëfficiënt te bepalen bij niet-verharde bodem, die afhankelijk is van de bodemhelling, de bodemtextuur en het landgebruiktype. Waarden voor deze afvoercoëfficiënt werden overgenomen uit Smedema en Rycroft (1988) en aangepast voor gebruik in het WetSpa-model.

Tabel 3 Landgebruikparameters voor de zomer

Nummer	Landgebruiktype	Begroeide bodemfractie a_v	Onbegroeide bodemfractie a_s	Verharde bodemfractie a_i	Open water fractie a_o	Vegetatiehoogte (m)	LAI Bladoppervlakteindex	Stomatale weerstand (s/m)	Interceptie (% van de neerslag)	Bewortelingsdiepte (m)	Landgebruiktype voor afvoercoëfficiënt
1	Kernstad bebouwing	0,2	0,0	0,8	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
2	Gesloten bebouwing	0,5	0,0	0,5	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
3	Industrie en handel	0,4	0,0	0,6	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
4	Infrastructuur	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
5	Zeehaven	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
6	Luchthaven	0,2	0,0	0,8	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
7	Ontginning	0,0	1,0	0,0	0,0	0,00	0	110	0	0,00	Kale bodem
10	Open bebouwing	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
21	Akkerbouw	0,8	0,2	0,0	0,0	0,60	4	180	15	0,40	Gewas
23	Weiland	1,0	0,0	0,0	0,0	0,20	2	100	10	0,30	Gras
27	Maïs en knolgewas	0,8	0,2	0,0	0,0	1,50	4	180	15	0,30	Gewas
28	Vochtig weiland	1,0	0,0	0,0	0,0	0,30	2	100	10	0,30	Gras
29	Boomgaard	0,8	0,2	0,0	0,0	3,00	6	150	25	0,80	Bos
31	Loofbos	1,0	0,0	0,0	0,0	18,0	5	250	25	2,00	Bos
32	Naaldbos	1,0	0,0	0,0	0,0	15,0	6	500	45	2,00	Bos
33	Gemengd bos	1,0	0,0	0,0	0,0	16,0	5	375	35	2,00	Bos
35	Heide	1,0	0,0	0,0	0,0	0,75	6	110	15	0,20	Gras
36	Struikgewas	1,0	0,0	0,0	0,0	2,00	6	110	15	0,60	Gras
37	Strand/duinen	0,3	0,7	0,0	0,0	1,00	2	110	15	0,50	Kale bodem
44	Slikke/schorre	0,4	0,2	0,0	0,4	0,50	2	110	10	0,30	Open water
52	Zoet water	0,0	0,0	0,0	1,0	0,00	0	110	0	0,00	Open water
54	Zout water	0,0	0,0	0,0	1,0	0,00	0	110	0	0,00	Open water
201	Autosnelweg	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
202	Gewestweg	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras

Tabel 4 Landgebruikparameters voor de winter

Nummer	Landgebruiktype	Begroei- bodemfractie a_v	Onbegroei- bodemfractie a_s	Verharde bodemfractie a_i	Open water fractie a_o	Vegetatiehoogte (m)	LAI Bladopp- vlakindex	Stomatale weerstand (s/m)	Interceptie (% van de neerslag)	Bewortelingsdiepte (m)	Landgebruiktype voor afvoercoëfficiënt
1	Kernstad bebouwing	0,2	0,0	0,8	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
2	Gesloten bebouwing	0,5	0,0	0,5	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
3	Industrie en handel	0,4	0,0	0,6	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
4	Infrastructuur	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
5	Zeehaven	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
6	Luchthaven	0,2	0,0	0,8	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
7	Ontginning	0,0	1,0	0,0	0,0	0,00	0	110	0	0,00	Kale bodem
10	Open bebouwing	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
21	Akkerbouw	0,0	1,0	0,0	0,0	0,00	0	180	0	0,00	Gewas
23	Weiland	1,0	0,0	0,0	0,0	0,20	2	100	10	0,30	Gras
27	Maïs en knolgewas	0,0	1,0	0,0	0,0	0,00	0	180	0	0,00	Gewas
28	Vochtig weiland	1,0	0,0	0,0	0,0	0,30	2	100	10	0,30	Gras
29	Boomgaard	0,2	0,8	0,0	0,0	3,00	0	200	10	0,80	Bos
31	Loofbos	0,2	0,8	0,0	0,0	18,0	0	250	10	2,00	Bos
32	Naaldbos	0,9	0,1	0,0	0,0	15,0	4,5	500	45	2,00	Bos
33	Gemengd bos	0,5	0,5	0,0	0,0	15,0	4,5	500	38	2,00	Bos
35	Heide	0,2	0,8	0,0	0,0	0,75	4	110	15	0,20	Gras
36	Struikgewas	0,2	0,8	0,0	0,0	2,00	0	110	5	0,60	Gras
37	Strand/duinen	0,3	0,7	0,0	0,0	1,00	2	110	15	0,50	Kale bodem
44	Slikke/schorre	0,4	0,2	0,0	0,4	0,50	2	110	10	0,30	Open water
52	Zoet water	0,0	0,0	0,0	1,0	0,00	0	110	0	0,00	Open water
54	Zout water	0,0	0,0	0,0	1,0	0,00	0	110	0	0,00	Open water
201	Autosnelweg	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras
202	Gewestweg	0,6	0,1	0,3	0,0	0,12	2	100	10	0,30	Gras

4.3.7 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt

Omdat het onmogelijk is om voor elke combinatie van bodemhelling, bodemtextuur en landgebruiktype een unieke afvoercoëfficiënt te bekomen, werden de combinaties beperkt tot een reeks van standaard mogelijkheden. Hierbij werd de bodemhelling opgedeeld in volgende klassen:

1. Vlak, kleiner dan 0,5%;
2. Licht hellend, tussen 0,5% en 5%;
3. Hellend, tussen 5% en 10%;
4. Sterk hellend, groter dan 10%.

De landgebruiktypes gebruikt om de oppervlakkige afvoercoëfficiënt te bepalen worden beperkt tot slechts vijf klassen: bos, gras, gewas, kale bodem en open water.

De waarden gebruikt in het WetSpa-model voor de oppervlakkige afvoercoëfficiënt C bij niet-verharde bodem, in functie van de weerhouden klassen van de bodemhelling, de bodemtextuur en het landgebruiktype worden weergegeven in Tabel 5. Deze waarden werden aangepast naar Smedena en Rycroft (1988). Voor het landgebruiktype “open water” werd de oppervlakkige afvoercoëfficiënt gelijk gesteld aan 1,00 voor alle bodemtexturen.

Tabel 5 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij niet-verharde bodem, in functie van het landgebruiktype, de hellingsklasse en de bodemtextuur (zie Figuur 6)

	Helling (%)	Bodemtextuur						
		Z	S	P	A	L	E	U
Bos	<0,5	0,05	0,08	0,10	0,13	0,10	0,18	0,25
	0,5-5	0,10	0,13	0,15	0,18	0,15	0,23	0,30
	5-10	0,15	0,18	0,20	0,23	0,20	0,28	0,35
	>10	0,20	0,23	0,25	0,28	0,25	0,33	0,40
Gras	<0,5	0,15	0,18	0,20	0,23	0,20	0,28	0,35
	0,5-5	0,20	0,23	0,25	0,28	0,25	0,33	0,40
	5-10	0,25	0,28	0,30	0,33	0,30	0,38	0,45
	>10	0,30	0,33	0,35	0,38	0,35	0,43	0,50
Gewas	<0,5	0,35	0,38	0,40	0,43	0,40	0,48	0,55
	0,5-5	0,40	0,43	0,45	0,48	0,45	0,53	0,60
	5-10	0,45	0,48	0,50	0,53	0,50	0,58	0,65
	>10	0,50	0,53	0,55	0,58	0,55	0,63	0,70
Kale bodem	<0,5	0,45	0,48	0,50	0,53	0,50	0,58	0,65
	0,5-5	0,48	0,53	0,55	0,58	0,55	0,63	0,70
	5-10	0,53	0,58	0,60	0,63	0,60	0,68	0,75
	>10	0,58	0,63	0,65	0,68	0,65	0,73	0,80

De oppervlakkige afvoercoëfficiënt voor verharde bodem, functie van het landgebruiktype en de bodemhelling wordt gegeven in Tabel 6. Deze waarden zijn overgenomen uit Pilgrim en Cordery (1992), USDA-NRCS (1972) en Chow et al. (1988).

Tabel 6 Oppervlakkige afvoercoëfficiënt bij verharde bodem, in functie van het landgebruiktype en de hellingsklasse

Landgebruiktype	<0,5%	0,5-5%	5-10%	>10%
Kernstad bebouwing	0,50	0,60	0,70	0,80
Gesloten bebouwing	0,40	0,50	0,60	0,70
Industrie en handel	0,30	0,40	0,50	0,60
Infrastructuur	0,30	0,40	0,50	0,60
Zeehaven	0,30	0,40	0,50	0,60
Luchthaven	0,50	0,60	0,70	0,80
Open bebouwing	0,30	0,40	0,50	0,60
Autosnelweg	0,30	0,40	0,50	0,60
Gewestweg	0,30	0,40	0,50	0,60

4.3.8 Bodemtexturen

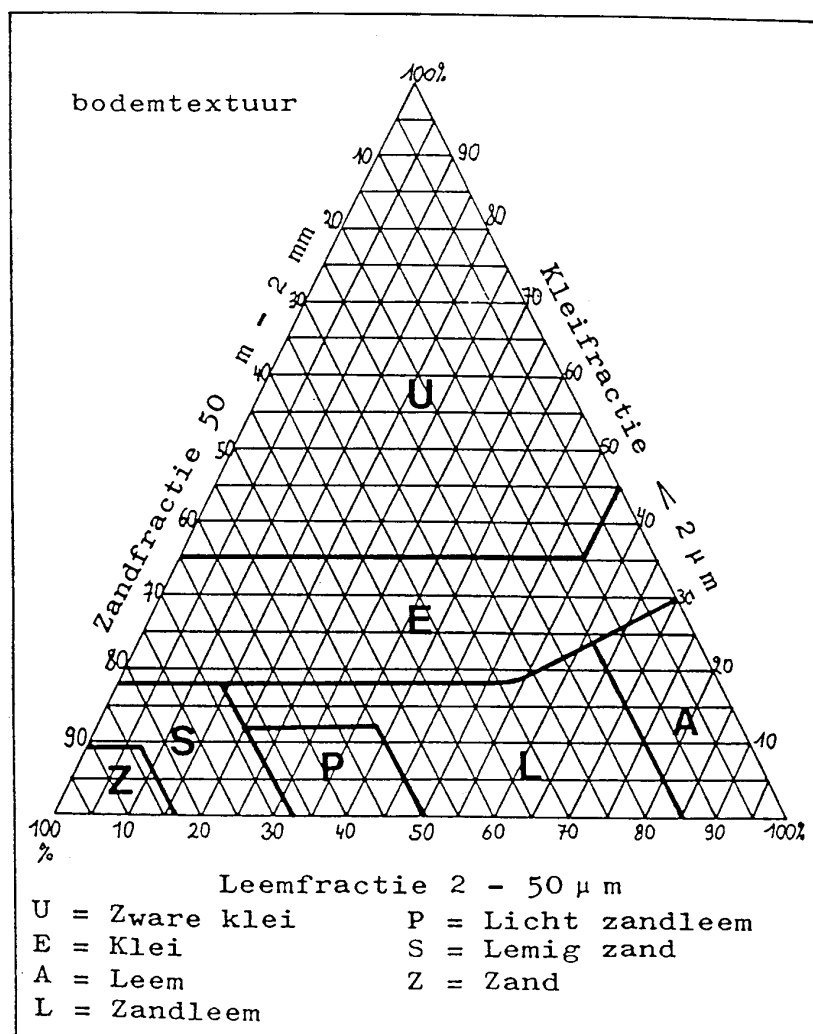
Voor de Vlaamse bodemtexturen werden de textuurklassen gehaald uit de codes die gegeven werden op de Digitale vectoriele versie van de Bodemkaart van Vlaanderen, uitgave 2001, op schaal 1/20.000, opgemaakt door het IWT (OC GIS-Vlaanderen 2001). Het betreft hier zeven Vlaamse standaard bodemtexturen (Figuur 6) die gecorreleerd werden met de overeenkomstige Amerikaanse types (Soil Survey Staff, 1951).

Voor sommige bodemtexturen was er geen duidelijke indicatie van de textuurklasse. Hier werd de textuur van de aangrenzende cellen overgenomen. Verder zijn er voor grote steden, zoals Gent bijvoorbeeld en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, geen bodemtexturen opgegeven. Aan deze gebieden werden bodemtexturen opgelegd die overeenkomen met deze in de nabije omgeving.

Het morfogenetisch classificatiesysteem van Vlaanderen kan niet toegepast worden in de Kuststreek, daar de bodems er geen profielontwikkeling vertonen. Het ontstaan van de Kustvlakte is voornamelijk een gevolg van de postglaciale stijgingen van het zeeniveau en van de transgressies die er het gevolg van zijn. Bijgevolg is de bodemkartering voor het gedeelte van de Kustvlakte in West-Vlaanderen gesteund op een classificatie, die rekening houdt met geomorfologische en lithostratigrafische criteria (Bijlage 6).

De Waalse bodemtexturen ,die gehaald werden van de cd “Données numériques du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie”, verkregen bij het Direction générale de l’agriculture van het Ministerie van het Waalse Gewest, worden op dezelfde manier als de Vlaamse bodemtexturen geclassificeerd.

Voor de Nederlandse bodemtexturen (de Vries en Denneboom, 1992; de Vries et al., 2003) gebeurde de bodemclassificatie op basis van de percentages klei, zand en leem (de Vries, 1999; Steur, 1991), gebruik makend van de textuurdriehoek gegeven in Figuur 6. De omzettingstabel van de Nederlandse naar Vlaamse bodemtexturen vindt men in Bijlage 4.



Figuur 6 Bodemclassificatie van België, indeling van de bodemsoorten volgens de textuurdriehoek

De Franse bodemtexturen werden bekomen uit de FAO Soil Map verkregen bij het European Environment Agency te Kopenhagen in Denemarken

(<http://dataservice.eea.eu.int/dataservice/metadetails.asp?id=196>). Op deze kaart worden de bodemtexturen onderverdeeld in vijf hoofdklasses. Deze gegevens werden binnen ArcView herschaald naar het 50 bij 50 meter raster. De omzettingstabel van de Franse naar Vlaamse bodemtexturen vindt men in Bijlage 5.

Voor het minieme Duitse deel van het studiegebied werd binnen ArcView de nabijgelegen bodemtexturen uitgemiddeld en overgenomen.

4.4 De WetSpass- invoerbestanden⁴

Het WetSpass-model vereist als invoergegevens een combinatie van rasters en attribuuttabellen (dbf-bestanden). De gebruikte rasterbestanden zijn:

1. Bodemtextuur;
2. Topografische hoogte;
3. Bodemhelling;
4. Landgebruiktype (zomer en winter);
5. Temperatuur (zomer en winter);
6. Neerslag (zomer en winter);
7. Potentiële evapotranspiratie (zomer en winter);
8. Windsnelheid (zomer en winter);
9. Grondwaterdiepte (zomer en winter).

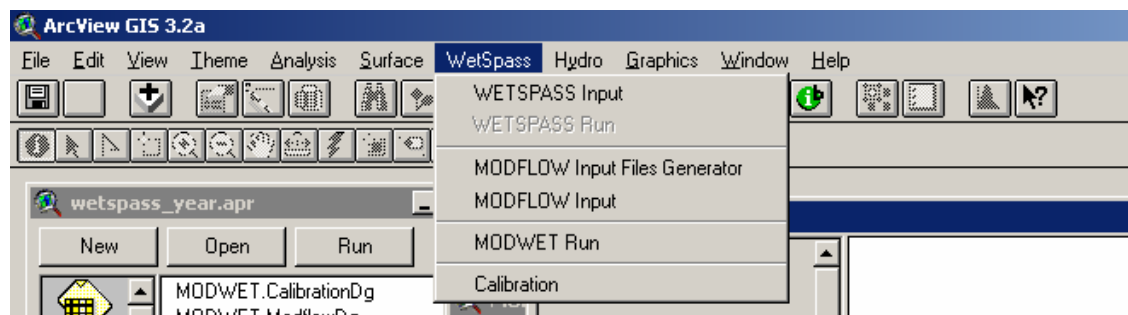
De gebruikte tabellen zijn:

1. Bodemparemeters;
2. Oppervlakkige afvoercoëfficiënten;
3. Landgebruikparemeters (zomer en winter).

De tabellen met de bodem- en landgebruikparemeters bevatten informatie over de respectievelijke rasterbestanden. De gebruikte tabellen met bodemparemeters, landgebruikparemeters (zomer en winter) en oppervlakkige afvoercoëfficiënten zijn voorgesteld in Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5 en Tabel 6. De waarden van de verschillende paremeters zijn nauwkeurig geselecteerd op basis van verschillende referenties uit de vakliteratuur.

⁴ Tekst overgenomen uit Meyus et al., 2004b

Om het model te laten runnen en gebruiksvriendelijker te maken, werd het uitgewerkt als een extensie van het GIS-programma ArcView, waarin dialoogvensters werden ontwikkeld zoals geïllustreerd wordt in Figuur 7.



Figuur 7 Het WetSpass-dialoogvenster

4.5 Schaling van grondwatervoeding

Inherent aan de modellering van hydrologische processen is de keuze voor een zekere ruimte en tijdschaal waarop de processen worden beschreven. In deze paragraaf wordt de relatie ruimte en tijdschaal voor de modellering van grondwatervoeding voor Vlaanderen behandeld. In eerste instantie wordt gekeken naar de keuze van de ruimtelijke schaal en mogelijkheden tot op- en neerschaling van de grondwatervoeding op de tweede plaats wordt de verfijning van de tijdsbasis van de berekende grondwatervoeding besproken. Voor een fundamentele behandeling van schalingsproblemen wordt verwezen naar Bierkens, (2000).

4.5.1 Ruimtelijke schaal van de gesimuleerde grondwatervoeding

De grondwatervoeding in dit project werd met behulp van de WetSpass software berekend met een ruimtelijke schaal, dat wil zeggen een opdeling in uniforme vierkante cellen van 50 bij 50 meter. De keuze voor 50 meter als schaal is vooral ingegeven door de resolutie van beschikbare gegevens en de mogelijkheid om met de huidige computers met deze resolutie de grondwatervoeding voor heel Vlaanderen te kunnen simuleren. Van de invoergegevens voor WetSpass zijn vooral het landgebruiktype en de bodemtextuur van belang. Voor Vlaanderen zijn de landgebruikgegevens afkomstig van OC-GIS Vlaanderen, die dit bestand produceerde op basis van LANDSAT beelden. Deze LANDSAT beelden hebben een resolutie van 30 bij 30 meter. Het gepubliceerde geclassificeerde landgebruikbestand heeft echter een resolutie van 20 bij 20 meter. Dit betekent dat bij het aanmaken van het landgebruikbestand door OC-GIS Vlaanderen een herschaling van 30 naar 20 meter is uitgevoerd.

Aangezien voor de simulatie met WetSpass de keuze was gemaakt voor een 50 meter resolutie, is het landgebruikbestand (met 20 meter resolutie) opgeschaald naar 50 meter. Hierbij is de voor categorieke waarden meest geschikte methodologie van de ‘dichtstbijzijnde buur’ gebruikt. Dit houdt in dat iedere cel in de opgeschaalde kaart (50 meter resolutie) de categorieke waarde krijgt van de dichtstbijzijnde cel in de oorspronkelijke 20 meter resolutie kaart. Het bepalen van de dichtstbijzijnde cel gebeurt binnen een GIS door het vergelijken van de afstand tussen het centrum van de 50 meter cel in de opgeschaalde kaart, tot de afstand van de centra van de 20 meter cellen in de op te schalen kaart, die overlappen met deze van de 50 meter cel. Dit is de standaard procedure in GIS voor opschaling van categorieke gegevens.

Voor het produceren van een 50 meter resolutie bodemtextuurbestand speelt het schaalprobleem veel minder een rol. Dit komt doordat de bodemtextuurgegevens door OC-GIS Vlaanderen geleverd werden als een polygonenbestand dat op de gewenste resolutie gerasteriseerd kan worden, hier dus 50 bij 50 meter. In de standaard ArcView rasterisatie krijgt een rastercel de waarde van de polygoon die zich bevindt in het centrum van de cel. Bij deze rasterisatie is vanzelfsprekend enig verlies van informatie. Aangezien de gemiddelde gekarteerde bodemtextuurpolygonen over het algemeen aanmerkelijk groter zijn dan 50 bij 50 meter blijft het verlies van informatie zeer beperkt.

De gebruikte topografie en het hieruit afgeleid hellingsbestand heeft een resolutie van 50 meter. De oorsprong van dit bestand zijn de contouren van de hoogtelijnen van de topografische kaart (NGI-DEM niveau II), schaal 1/50.000 de welke gerasteriseerd werden door het NGI. Neerslag, temperatuur, wind en potentiële verdampingskaarten zijn allen gemaakt op basis van gegevens verkregen bij het KMI. Karakteristiek voor deze gegevens is dat ze relatief weinig variëren in waarde over het studiegebied. Deze kaarten zijn voor gebruik in WetSpass aangemaakt op een resolutie van 50 bij 50 meter uitgaande van de contour- of puntgegevens. De gebruikte grondwaterdieptekaart is afgeleid van de topografie en bezit dus dezelfde ruimtelijk kenmerken.

4.5.2 Neerschaling

Wil men nu grondwatervoeding op een ruimtelijke schaal fijner dan de gebruikte 50 meter resolutie bepalen dan zijn er twee mogelijkheden:

1. Men herschaalt de resultaten van de 50 meter simulatie naar het fijnere raster.
2. Men herschaalt de invoerbestanden van WetSpass naar het fijnere raster en doet de simulatie van de grondwatervoeding opnieuw.

In de eerste mogelijkheid zou men de resultaten van het 50 meter raster kunnen interpoleren naar een fijner celverdeling. Deze methode wordt afgeraden daar men hiermee in feite het landgebruiktype en de bodemtextuur, als basisbestanden van de grondwatervoeding, interpoleert. Aangezien dit categorieke bestanden zijn kan men deze niet interpoleren. De berekende grondwatervoeding is een discontinue functie over het studiegebied en kan dus niet geïnterpoleerd worden tussen twee punten.

De tweede mogelijkheid is voor de verfijning van de resultaten een veel betere methode. Hier wordt eerst de invoer van WetSpass verfijnd om vervolgens via een nieuwe simulatie resultaten op een fijner raster te genereren. Bij het verfijnen van de invoer kan meer detailinformatie in de invoerbestanden opgenomen worden of kunnen de oorspronkelijke bestanden op een fijnere resolutie gerasteriseerd worden. Hierdoor ontstaan invoerbestanden die met een hoger detail de ruimtelijke fysische structuur beschrijven en waardoor het nieuwe resultaat meer detail zal bevatten.

4.5.3 Opschaling

Indien men de resultaten van de 50 bij 50 meter simulatie zou willen opschalen naar een grover raster dan wordt aangeraden de opschaling te doen op de resultaten en niet op de invoergegevens. De resultaten opschalen, door bijvoorbeeld een gemiddelde te berekenen van de onderliggende fijnere resultaten, heeft als voordeel dat de detailinformatie, gewogen naar oppervlakte, bijdraagt in de grondwatervoeding voor het grovere raster. Bijkomend kan men eventueel de standaarddeviatie van de grondwatervoeding per opgeschaalde rastercel, landgebruiktype of bodemtextuur bepalen, zodat men inzicht krijgt in de variatie van de grondwatervoeding per klasse in de opgeschaalde kaart.

De alternatieve methode, eerst de invoerbestanden voor WetSpass opschalen (vergroven) en vervolgens hersimuleren, is niet aan te raden daar men onnodig gekende detailinformatie verwaarloost.

4.5.4 Tijdschaling

Het WetSpass-model is ontworpen om de grondwatervoeding te simuleren met een tijdsresolutie van twee seizoenen (groei en niet-groei). De keuze voor seizoenen is gebaseerd op de eenvoudige beschikbaarheid van gegevens voor deze tijdschaal, het beperken van de rekentijd en fysische complexiteit van de berekeningen, het karakteristieke verschil in grondwatervoeding voor deze seizoenen en het veelvuldige gebruik van niet-tijdsafhankelijke regionale grondwaterstromingsmodellen.

Indien men echter de grondwatervoeding op een kleinere tijdschaal wil kennen kan men dit niet rechtstreeks met het WetSpass-model doen. Een alternatief model waarmee dit wel zou kunnen berekend worden is WetSpa. Eveneens kan men overwegen om de resultaten van de simulatie met WetSpass (per seizoen) te herverdelen (verfijnen) in de tijd. Hieronder worden vier mogelijkheden hiertoe beschreven.

De eerste mogelijkheid is om dit te doen volgens de neerslagverdeling per dag, per 10 dagen of per maand. Indien men de neerslag bijvoorbeeld per maand zou willen herverdelen dan zou de gesimuleerde ruimtelijke grondwatervoeding voor een bepaalde maand vermenigvuldigd moeten worden met een factor gelijk aan de neerslag van deze maand gedeeld door de totale neerslag over het seizoen. Op deze wijze kan men grondwatervoedingskaarten krijgen per maand. De te gebruiken (dag, 10 dagen, maand) factoren waarmee de seizoenale neerslag vermenigvuldigd moet worden kan eenvoudig in een rekenblad bepaald worden. Aanname bij deze methode is dat er geen noemenswaardige tijdsverschuiving mag zijn van de grondwatervoeding ten opzichte van de gebruikte periode van de neerslag. Anders gezegd, indien de gebruikte neerslag voor de bepaalde maand als grondwatervoeding dient voor één van de daarop volgende maanden (infiltratie en doorsijpelen van de onverzadigde zone duurt langer dan één maand), dan kan de neerslag van de beschouwde maand niet gebruikt worden om de grondwatervoeding van diezelfde maand te bepalen. In dit geval dient men over te stappen op een model met een kleinere tijdsresolutie.

Deze eerste methode is een eerder conservatieve aanpak. Men verkrijgt hierdoor enigszins een verdeling, maar aangezien de neerslag vrij constant is over het jaar, zal de grondwatervoeding ook weinig variëren per maand. Voor gebieden met diepere grondwaterstanden zal dit nagenoeg in overstemming zijn met het werkelijke verloop van de grondwatervoeding daar de diepe grondwaterstand zorgt voor een uitmiddeling van de subseizoenale fluctuatie van de infiltratie.

Een tweede mogelijkheid bestaat erin te herverdelen op basis van de potentiële verdamping. Hierbij wordt zoals in de eerste methode de grondwatervoeding (bijv. per maand) herverdeelt op basis van een gemeten tijdreeks van de potentiële verdamping. De zo te verkrijgen verdelingscoëfficiënten leveren een vrij sterke variatie op van de grondwatervoeding over het seizoen.

In de derde methode wordt eerst de totale verdamping, die berekend werd met het WetSpass-model, herverdeeld (bijv. op maandelijkse basis) aan de hand van een gemeten (of gemiddelde) potentiële evapotranspiratie (PET) tijdreeks. De som van de zes maanden WetSpass herverdeelde totale verdamping blijft hierbij gelijk aan de seizoenale gesimuleerde verdamping. Vervolgens wordt ook de WetSpass gesimuleerde oppervlakkige afvoer herverdeeld op basis van een maandelijkse tijdreeks van de neerslag.

Het is een redelijke aanname om de oppervlakkige afvoer te herverdelen op basis van de neerslag. Vervolgens verdeelt men de oorspronkelijke seizoenale neerslagkaart (die input was voor het WetSpass-model) ook in zes delen volgens wederom de gemeten maandelijkse neerslagtijdreeks. Nu kan de maandelijkse grondwatervoeding (R_i) berekend worden als het verschil van de herverdeelde neerslag minus de herverdeelde gesimuleerde WetSpass totale verdamping en minus de herverdeelde gesimuleerde WetSpass oppervlakkige afvoer:

$$R_i = p_i * (P - S) - pet_i * ET \quad (15)$$

met P de seizoenale neerslag, S de met het WetSpass-model gesimuleerde oppervlakkige afvoer, ET de met het WetSpass-model gesimuleerde totale verdamping. De maandelijkse fracties van de seizoenale neerslag (p_i , waarbij $\sum_{i=1}^6 p_i = 1$) en van de potentiële verdamping

(pet_i , waarbij $\sum_{i=1}^6 pet_i = 1$) moeten uit meetreeksen opgesteld worden.

De som van de berekende maandelijkse grondwatervoeding zal hierbij niet exact gelijk zijn aan, maar wel zeer dicht in de buurt liggen van, de oorspronkelijke door het WetSpass-model gesimuleerde winter en zomer grondwatervoeding. Nadeel van deze methode is dat het niet uit te sluiten is dat er negatieve grondwatervoedingen berekend worden als gevolg van maanden met een lage neerslag en een hoge potentiële verdamping.

Dit probleem kan in principe opgelost worden in de vierde methode. In deze methode wordt gewerkt met een bergingslaag (gekaracteriseerd door een bergingscapaciteit gelijk aan de veldcapaciteit vermenigvuldigd met de worteldiepte) van waaruit grondwatervoeding ontstaat. Initieel (na de zomer) is er geen grondwatervoeding maar gaat de netto neerslag (de welke berekend wordt als de R_i uit methode drie) opgeslagen worden in de berging tot dat de gecumuleerde voeding groter is als de bergingcapaciteit. Vanaf dat moment (maand) treedt grondwatervoeding op tot dat de netto neerslag negatief wordt. Op dat moment vermindert de hoeveelheid water in de berging met de absolute hoeveelheid van de negatieve nettoneerslag, de grondwatervoeding wordt hierdoor gereduceerd tot nul (dit zal vooral in de zomermaanden optreden).

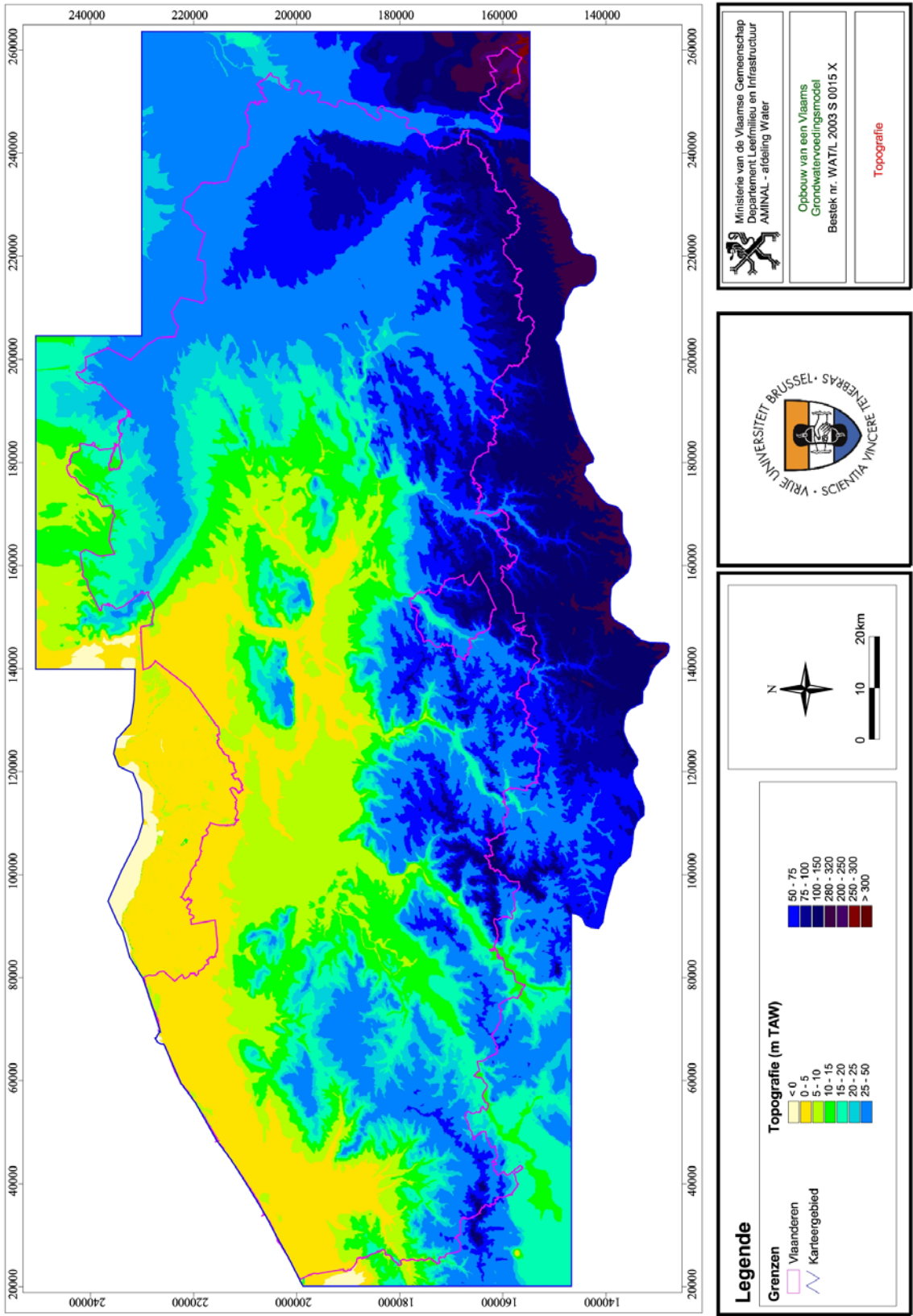
5 Grafische voorstelling van het studiegebied

Het studiegebied bevindt zich tussen de geografische X-Lambertcoördinaten 21.000 en 262.000 meter en de geografische Y-Lambertcoördinaten 128.000 en 250.000 meter. De topografische hoogte varieert van –6,73 meter TAW voor de kust van Zeeuws-Vlaanderen tot 321 meter TAW in het uiterste zuidoosten van het studiegebied (Wallonië). Het gemiddelde topografisch niveau is 39 meter TAW. Er is een langzame stijging van de topografie vanaf het noorden, met een felle stijging in het uiterste zuidoosten (Figuur 8).

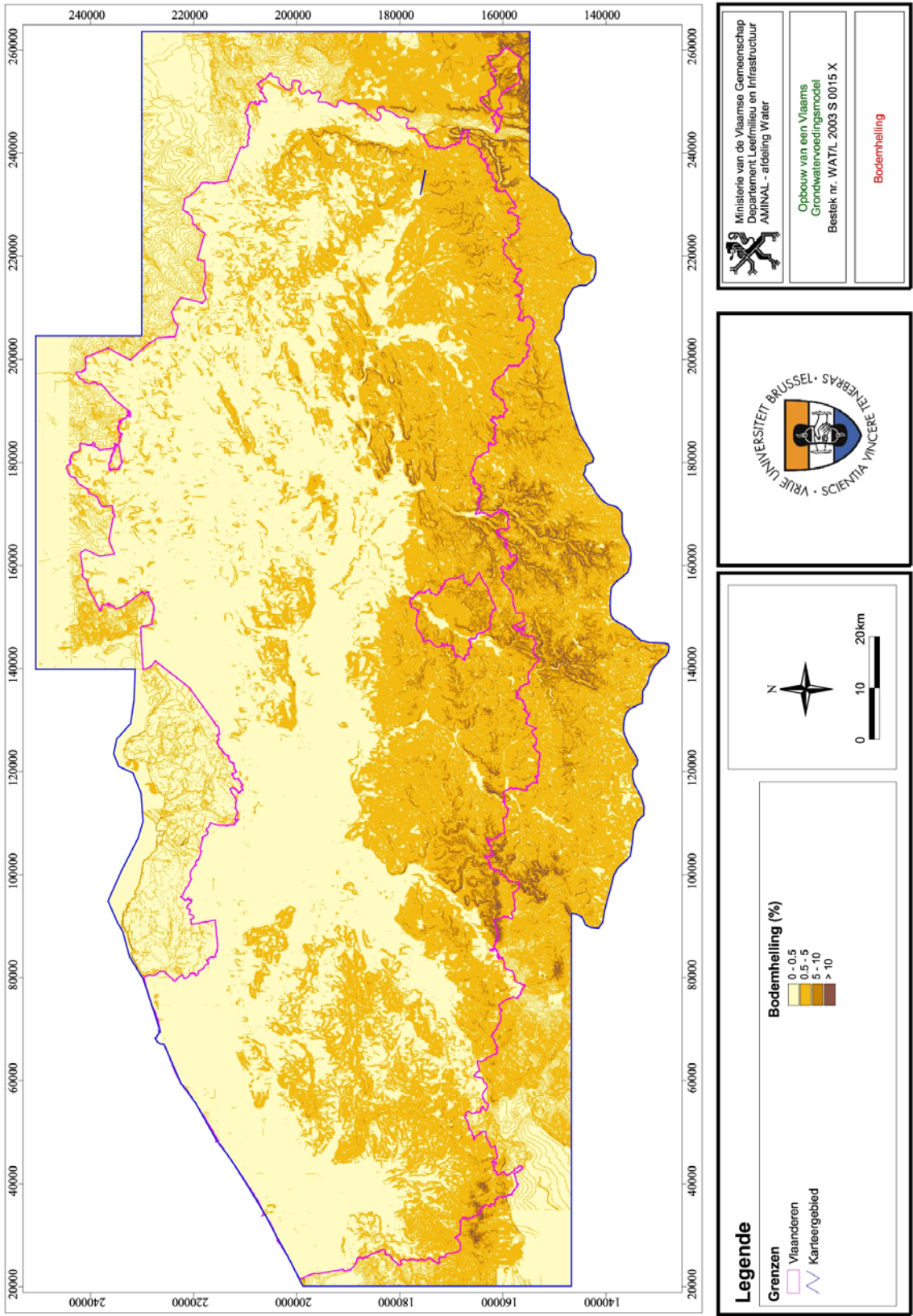
De bodemhelling varieert van 0 tot 113% (helling van 48 graden), met een gemiddelde van 1,29%, zoals geïllustreerd wordt in Figuur 9.

Zoals blijkt uit Figuur 10 komen in het studiegebied zeven bodemtexturen voor, zoet en zout water uitgezonderd. In het noorden van het studiegebied komen voornamelijk zand en lemig zand voor. In het zuidelijk gedeelte van het studiegebied komt veel leem voor. Het kustgebied wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van klei, terwijl in de polders (Zee- en Scheldepolders) voornamelijk zware klei voorkomt. De bodemtexturen die het meest voorkomen in het studiegebied zijn leem en zand, respectievelijk 27,8% en 22,2%, gevolgd door lemig zand (15,3%), zandleem (15,1%), licht zandleem (9,0%), klei (6,5%) en zware klei (1,9%). Zoet water en zout water nemen samen 2,2% van de oppervlakte in beslag.

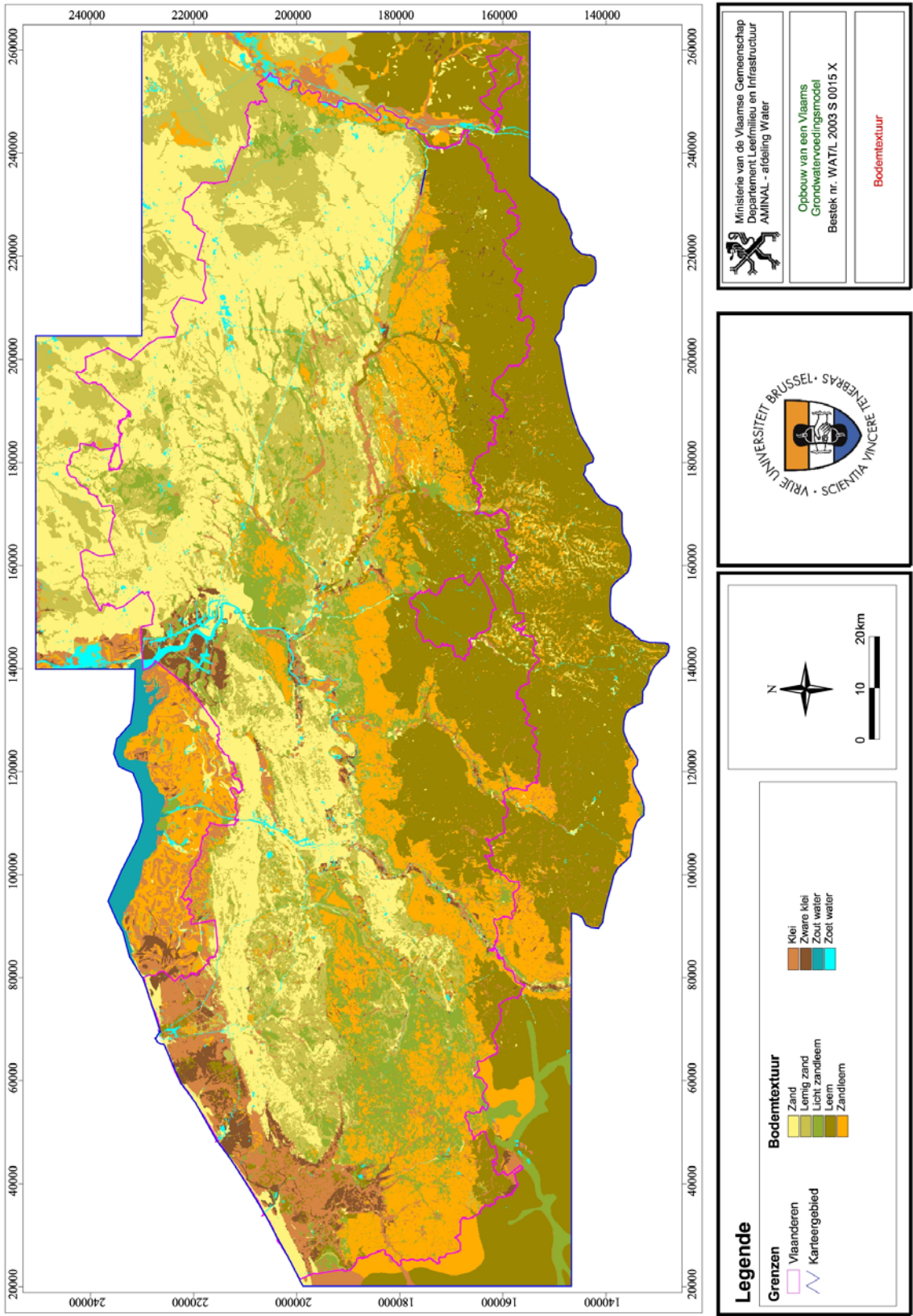
Zoals kan gezien worden op Figuur 11 maakt landbouwgebied meer dan de helft uit van het studiegebied. Het gebied bestaat uit akkerbouw (49,5%), weiland (19,0%), bebouwing (11,8%), bos en struikgewas (10,3%) en water (zoet en zout) (2,3%).



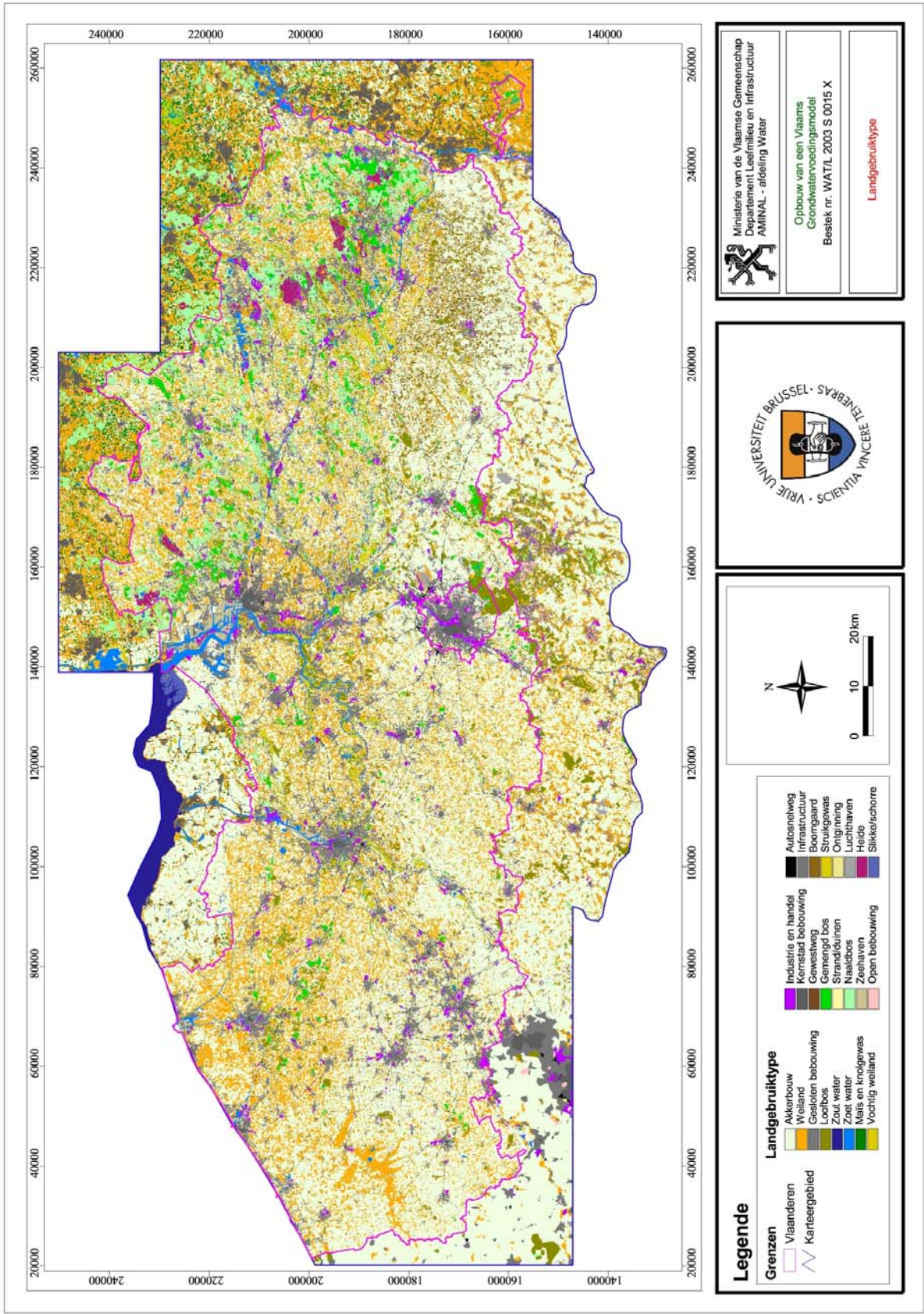
Figuur 8 Topografische hoogte



Figuur 9 Bodemhelling



Figuur 10 Bodemtextuur



Figuur 11 Landgebruiktype

6 Bespreking van de resultaten

6.1 Algemeen

De resultaten worden besproken voor het volledige VGM-karteergebied. Daarnaast wordt nog een overzicht gegeven van de resultaten waarbij het studiegebied wordt gelimiteerd tot Vlaanderen. Voor de toepassing van het WetSpaas-model op het studiegebied werd geopteerd voor een celgrootte van 50 bij 50 meter.

De resultaten van het WetSpaas-model bestaan uit een set rasterbestanden met waarden voor de grondwatervoeding, de reële verdamping (evapotranspiratie) en de oppervlakkige afvoer, met gemiddelde waarden voor de zomer, de winter en het volledige jaar. Voor elke berekende parameter, kan de gemiddelde waarde, samen met de minimale en maximale voorkomende waarde afgelezen worden in de opgestelde waterbalanstabellen (Tabel 8 en Tabel 13). De waterbalans werd uitgerekend teneinde de consistentie van het model met formule (10) na te gaan. De fout op de waterbalans is relatief klein en wordt voornamelijk veroorzaakt door afrondingsfouten in het model.

In het model wordt de grondwatervoeding berekend met formule (10). Negatieve waarden van de grondwatervoeding worden verkregen wanneer de som van de evapotranspiratie en de oppervlakkige afvoer groter is dan de neerslag. Vermits de oppervlakkige afvoer wordt berekend als een fractie van de neerslag, is deze steeds lager dan de neerslag. De evapotranspiratie wordt echter onafhankelijk van de neerslag berekend, en wanneer er genoeg water is (de wortels van de planten bevinden zich in de verzadigde bodemzone) kan de transpiratiecomponent van de evapotranspiratie aanzienlijk worden. Dit wordt duidelijk waargenomen door het feit dat negatieve waarden van de grondwatervoeding voornamelijk voorkomen in het zomerseizoen op plaatsen waar de potentiële open water evaporatie (E_0) ongeveer vier keer zoveel bedraagt als in het winterseizoen. De graad van negativiteit hangt af van de grootte van elke component in formule (10) zoals blijkt uit het voorbeeld van Tabel 7.

Tabel 7 Negatieve waarden voor de grondwatervoeding in functie van enkele geselecteerde landgebruiktypes in de zomer

Landgebruiktype	Bodemtextuur	P (mm)	E_0 (mm)	ET (mm)	S (mm)	R (mm)
Boomgaard	Klei	352	621	447	94	-189
Weiland	Klei	352	621	334	105	-87
Akkerbouw	Klei	352	621	199	169	-15

In deze studie werden de laagste negatieve waarden van de grondwatervoeding verkregen voor enkele cellen die als bodemtextuur klei en als landgebruiktype boomgaard hebben. Er dient echter vermeld te worden dat voor het merendeel van de boomgaardcellen positieve waarden van de grondwatervoeding verkregen worden. De redenen voor de lage negatieve waarden in het zomerseizoen voor de hierboven genoemde cellen zijn de volgende:

1. Er is een hoge reële verdamping van begroeide oppervlakten, vermits het grondwater in deze gebieden ongeveer op dezelfde hoogte als de wortels van de planten komt. Er vindt daarenboven een hoge interceptie door de vegetatie plaats, omdat boomgaarden een hoge bladoppervlakteindex hebben. Boomgaarden hebben slechts een begroeide oppervlakte van 80% (Tabel 3), zodat er nog een aanzienlijke evaporatie plaatsvindt van de onbegroeide bodem.
2. Er is relatief veel oppervlakkige afvoer vermits op deze plaatsen de bodemtextuur klei voorkomt.

Gedurende de winter verliezen de bomen hun bladeren en wordt 80% van de boomgaardoppervlakte onbegroeide bodem (Tabel 4). Vermits de bodemtextuur klei is zal de grondwatervoeding er laag zijn. Daardoor zal de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding plaatselijk negatief blijven.

Vermits deze berekeningen gemaakt werden met een eerste schatting van de grondwaterdiepte, zullen de waarden van de grondwatervoeding verfijnd kunnen worden met verdere runs van het WetSpa-model in combinatie met een grondwatermodel (bijv. MODFLOW).

6.2 Resultaten voor het volledige VGM-karteergebied

De resultaten van de WetSpa-modellering van het volledige VGM-karteergebied (Tabel 8) tonen een seizoensgebonden variatie aan. Het zomerseizoen wordt gekarakteriseerd door een hoge evapotranspiratie (94% van de neerslag) en 9% oppervlakkige afvoer, wat resulteert in een netto negatieve gemiddelde grondwatervoeding. In de winter blijft de oppervlakkige afvoer nagenoeg dezelfde (8%), maar de evapotranspiratie daalt tot 31% vanwege de lagere temperaturen. Hierdoor is er meer water beschikbaar voor de grondwatervoeding (61%). Hieruit blijkt dus dat het grootste deel van de grondwatervoeding optreedt gedurende de winter.

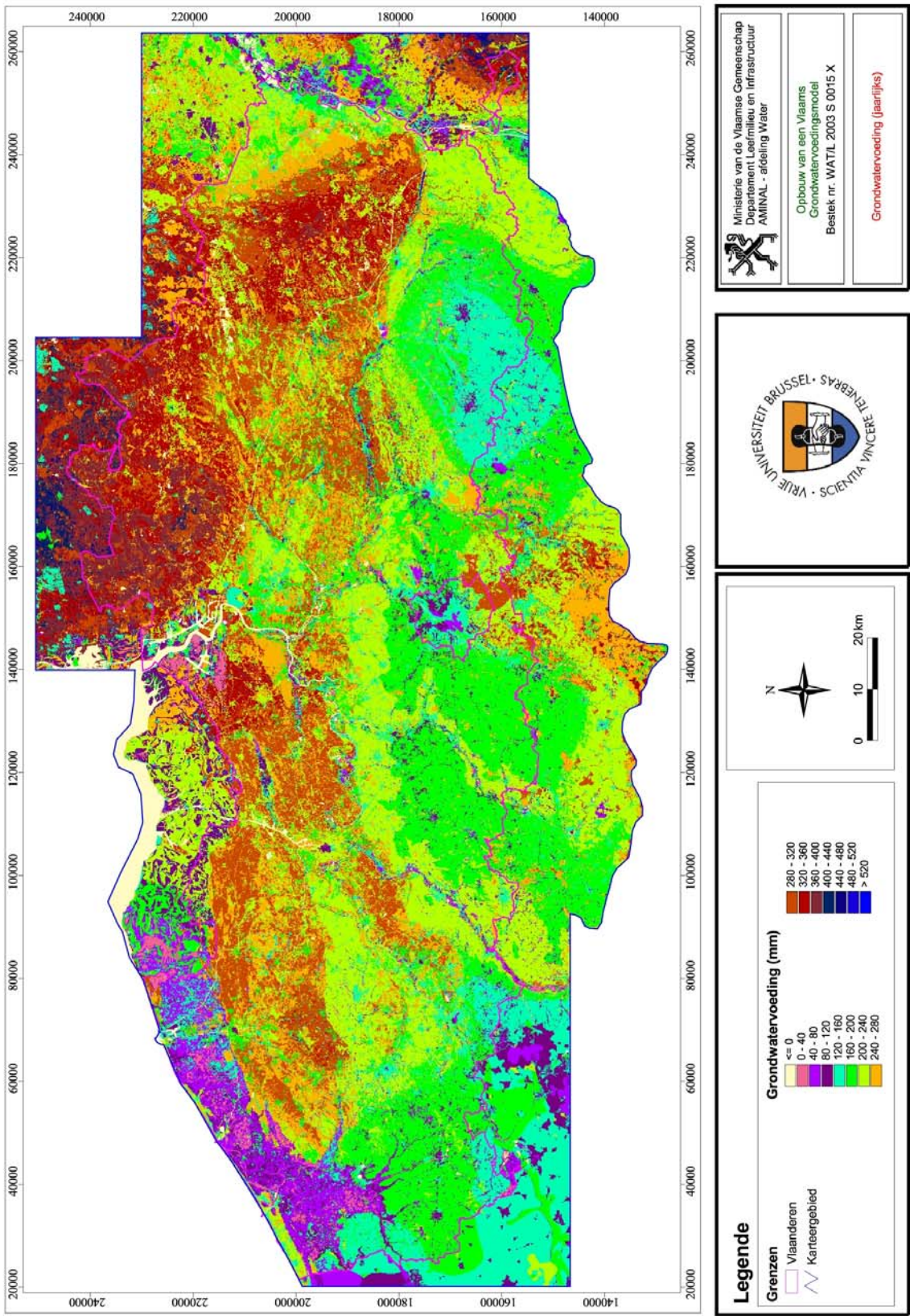
Tabel 8 Waterbalans voor het volledige VGM-karteergebied berekend met WetSpass

	Parameter	Min ¹	Max ¹	Gemiddeld ²	Std. Dev
Jaarlijks	Neerslag(P ; mm)	654,4	1008,2	759,7	47,6
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	204,8	757,7	482,2	57,3
	Grondwatervoeding (R ; mm)	-126,1	554,7	219,8	86,4
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	1,1	591,2	64,9	82,7
	Waterbalans				
	($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	-7,2	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	-1,0	-
Zomer	Neerslag(P ; mm)	335,6	517,0	389,6	24,4
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	102,9	626,0	366,8	56,8
	Grondwatervoeding (R ; mm)	-188,6	193,1	-7,0	48,4
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	0,0	304,4	35,6	38,5
	Waterbalans				-
	($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	-5,8	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	-1,5	-
Winter	Neerslag(P ; mm)	318,8	491,2	370,1	23,2
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	69,5	157,0	115,4	7,1
	Grondwatervoeding (R ; mm)	0,0	381,7	226,9	59,4
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	0,23	365,3	29,3	53,4
	Waterbalans				
	($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	-1,6	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	-0,4	-

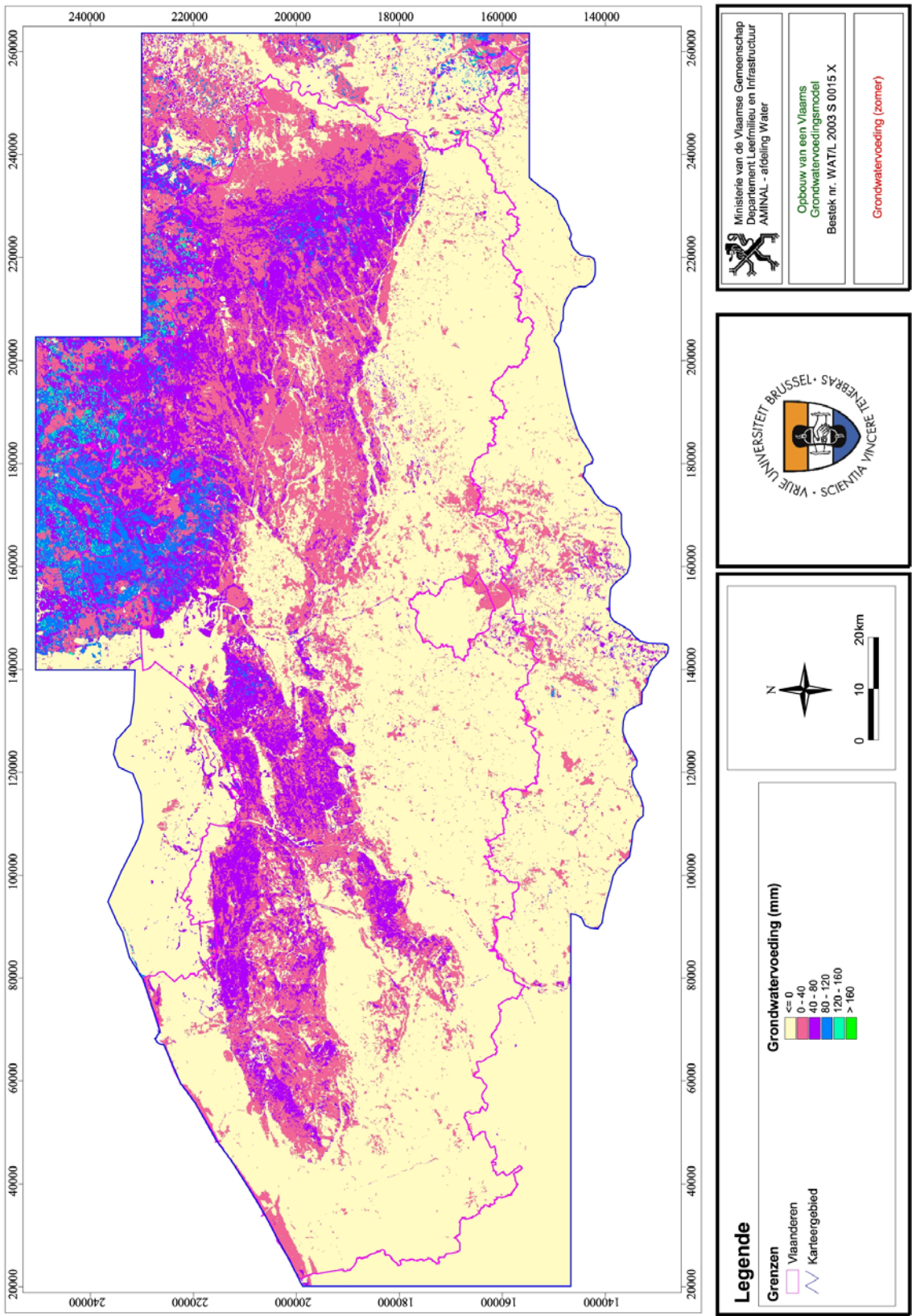
1. Volume per oppervlakte in de extreme rastercel

2. Totaal volume per oppervlakte van het volledige studiegebied

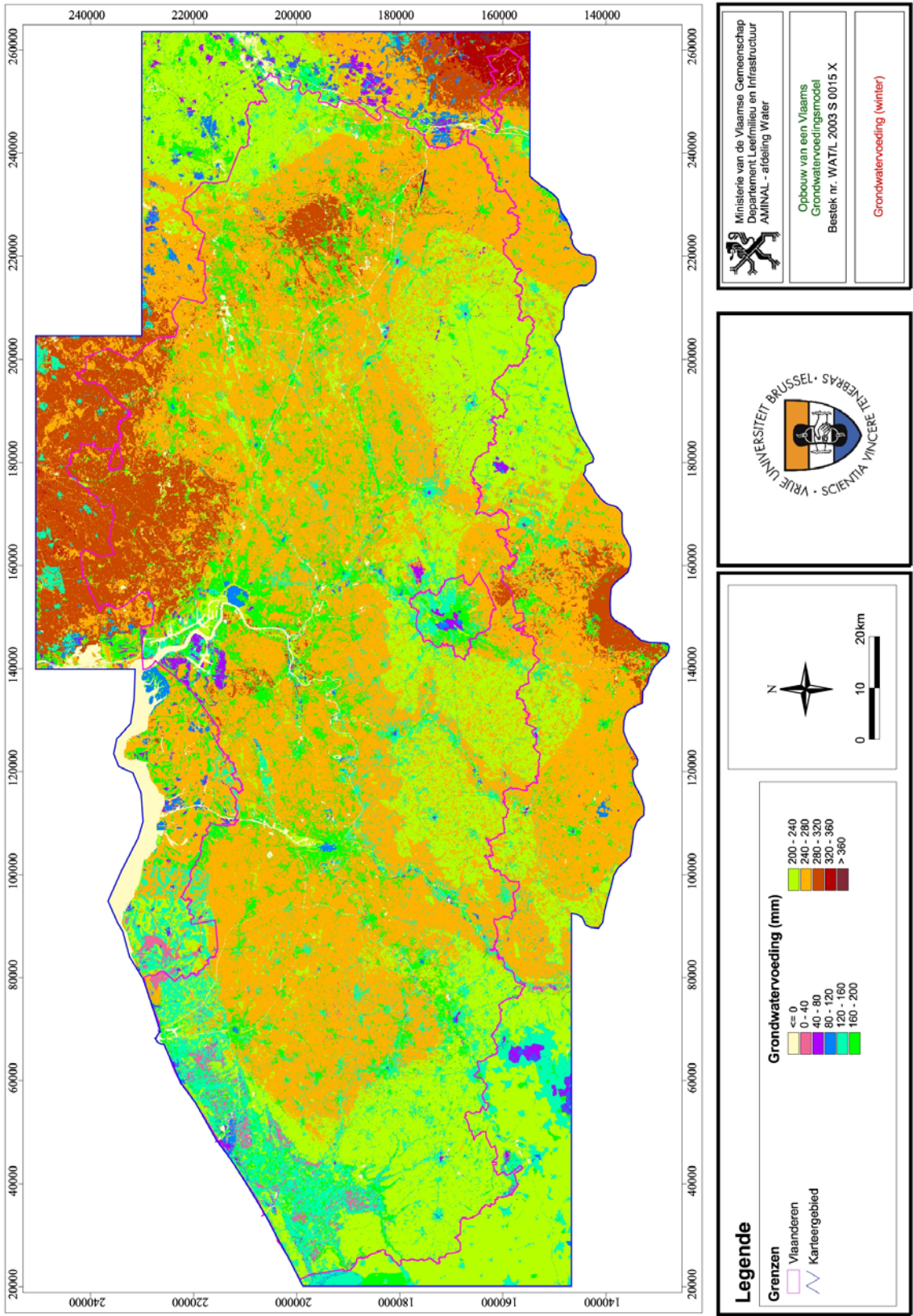
De jaarlijkse grondwatervoeding voor het VGM-karteergebied wordt gegeven in Figuur 12, terwijl Figuur 13 en Figuur 14 respectievelijk de waarden in de zomer en de winter visualiseren. De jaarlijkse grondwatervoeding vertoont een grote variatie met waarden tussen -126,1 en 554,7 mm. De gemiddelde waarde is 219,8 mm en de standaard afwijking 86,4 mm. De gemiddelde grondwatervoeding in de zomer is negatief met een waarde van -7,0 mm, terwijl deze in de winter 226,9 mm bedraagt.



Figuur 12 Berekende jaarlijkse grondwatervoeding



Figuur 13 Berekende grondwatervoeding in de zomer



Figuur 14 Berekende grondwatervoeding in de winter

Voor de verdere analyse van de grondwatervoeding werd voor elke bodemtextuur en landgebruiktype aanwezig in het VGM-karteergebied de grondwatervoeding apart berekend.

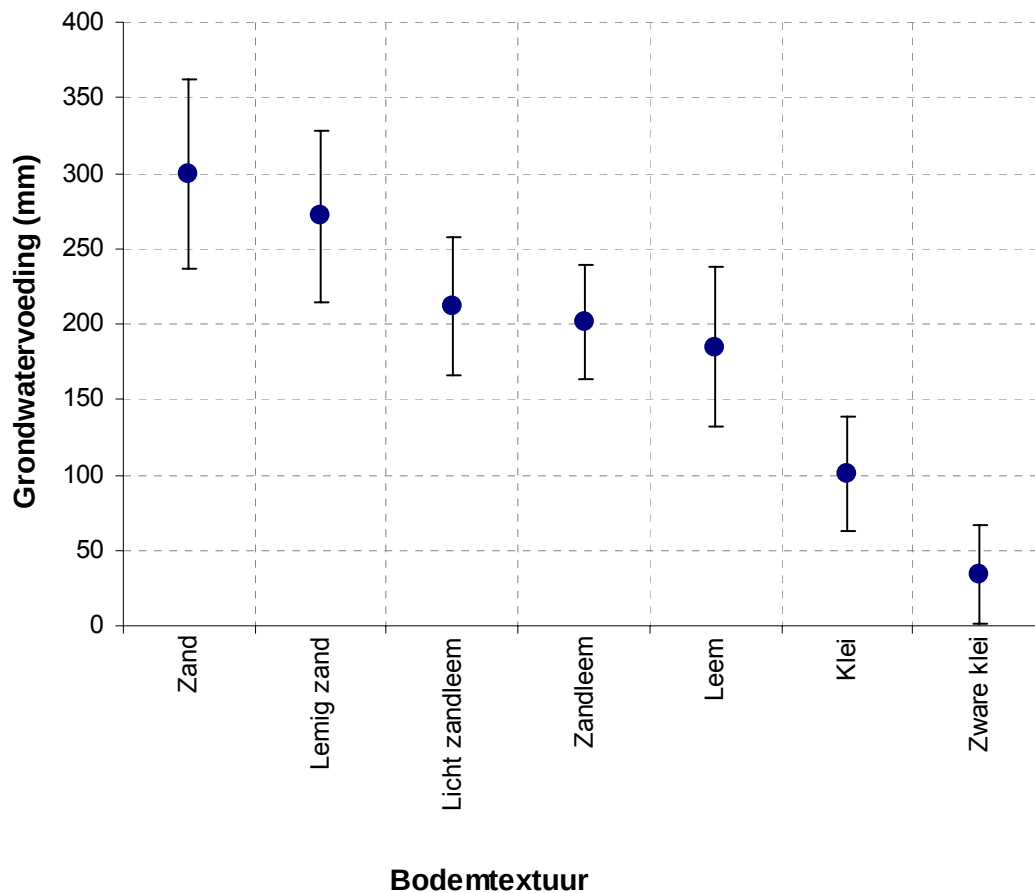
6.2.1 Invloed van de bodemtextuur

Tabel 9 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking weer in functie van de verschillende bodemtexturen aanwezig in het VGM-karteergebied. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 15. Hieruit blijkt dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van de bodemtextuur, vooral in het geval van zand- en kleigronden. Voor de lichte bodemsoorten, zijnde zand en lemig zand is er een bijna even hoge grondwatervoeding merkbaar. Voor de iets zwaardere bodems (licht zandleem, zandleem en leem) kan men opmerken dat de waarden van de grondwatervoeding ongeveer gelijk zijn, en zich tussenin de waarden van de zandige en de kleiige gronden bevinden. Voor klei daalt de grondwatervoeding zeer sterk, naar ongeveer de helft van de waarde van de intermediaire bodemtexturen, en voor zware klei wordt de grondwatervoeding bijzonder klein.

Tabel 9 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)

Bodemtextuur	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding (mm)	Standaard afwijking (mm)
Zand	4700,87	22,17	299,35	62,25
Lemig zand	3251,07	15,33	271,51	56,69
Licht zandleem	1906,98	8,99	211,68	45,70
Zandleem	3196,49	15,08	200,85	37,93
Leem	5887,41	27,77	184,66	53,26
Klei	1373,73	6,48	100,47	37,75
Zware klei	398,33	1,88	34,36	32,68
TOTAAL	20714,88	97,70*		

* De overblijvende 2,30% (486,82 km²) wordt ingenomen door water



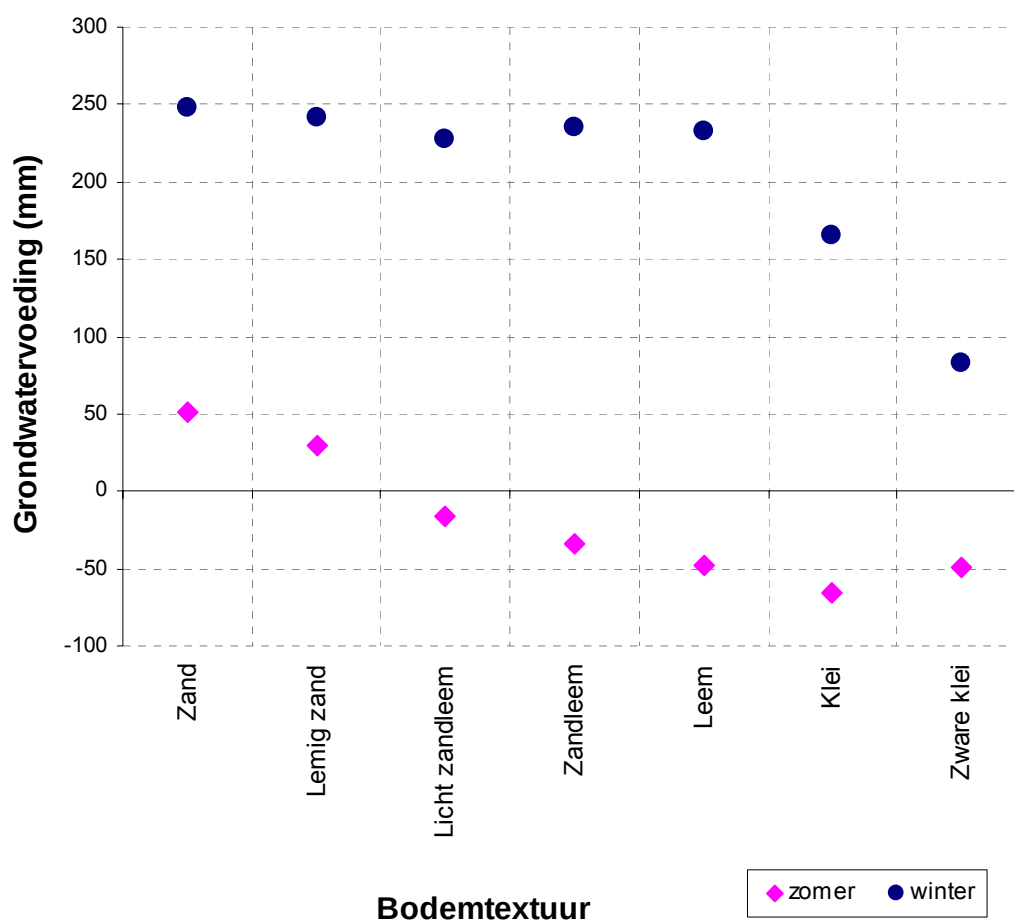
Figuur 15 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)

Tabel 10 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)

Bodemtextuur	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer (mm)	Gemiddelde grondwatervoeding in de winter (mm)
Zand	4700,87	22,17	51,55	247,80
Lemig zand	3251,07	15,33	29,33	242,17
Licht zandleem	1906,98	8,99	-16,03	227,71
Zandleem	3196,49	15,08	-34,38	235,23
Leem	5887,41	27,77	-47,51	232,17
Klei	1373,73	6,48	-65,20	165,67
Zware klei	398,33	1,88	-49,02	83,38
TOTAAL	20714,88	97,70*		

* De overblijvende 2,30% (486,82 km²) wordt ingenomen door water

Tabel 10 geeft de gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en in de winter weer in functie van de bodemtextuur. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 16.



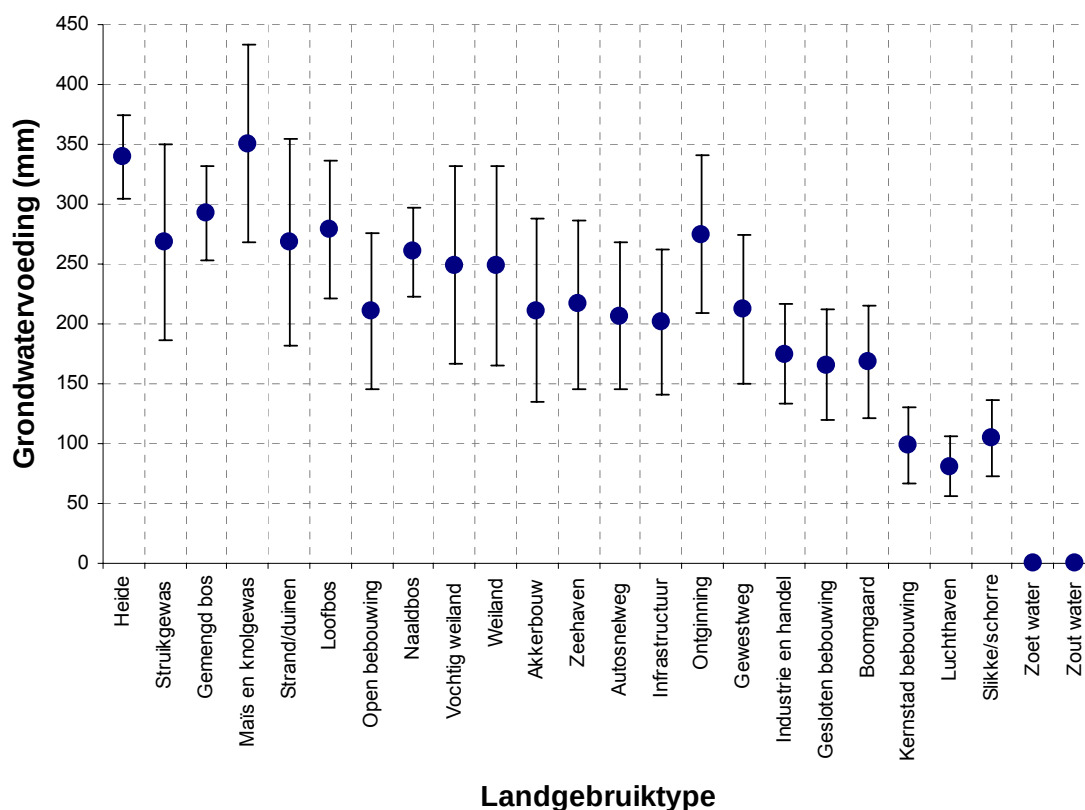
Figuur 16 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (VGM-karteergebied)

6.2.2 Invloed van het landgebruiktype

Tabel 11 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de verschillende landgebruiktypes in het VGM-karteergebied. Deze resultaten worden voorgesteld in Figuur 17. Hieruit blijkt zeer duidelijk dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van het landgebruik. In het bijzonder blijkt duidelijk de negatieve invloed van de bebouwing. Voor open water wordt in het WetSpass-model aangenomen dat de grondwatervoeding nul bedraagt.

De bebouwing is hoofdzakelijk verantwoordelijk voor een vermindering van de grondwatervoeding. Onder bebouwde gebieden worden de landgebruiktypes verstaan met geheel of gedeeltelijk ondoordringbare oppervlakken. Deze zones omvatten 14,23% van de oppervlakte van het VGM-karteergebied en komen wijd verspreid voor. Tot deze landgebruiktypes behoren: gesloten bebouwing (9,44%), kernstad bebouwing (1,63%), industrie en handel (1,14%), open bebouwing (0,70%), gewestweg (0,64%), zeehaven (0,21%), autosnelweg (0,20%), infrastructuur (0,14%) en luchthaven (0,13%).

De graad van ondoorlatendheid van het grondoppervlak is afhankelijk van het landgebruiktype. Zo worden er twee landgebruiktypes beschouwd met 80% ondoorlatend oppervlak, namelijk kernstad bebouwing en luchthaven, terwijl de overige bebouwde gebieden slechts voor een kleiner gedeelte uit ondoorlatend oppervlak bestaan met daarnaast een belangrijker gedeelte kale bodem en/of gras (industrie en handel, gesloten bebouwing, infrastructuur, zeehaven, open bebouwing, autosnelweg en gewestweg). Door het eerder slecht doorlatend karakter is de invloed van de bodemtextuur en de bodemhelling op de grondwatervoeding bij de bovengenoemde landgebruiktypes geringer.



Figuur 17 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)

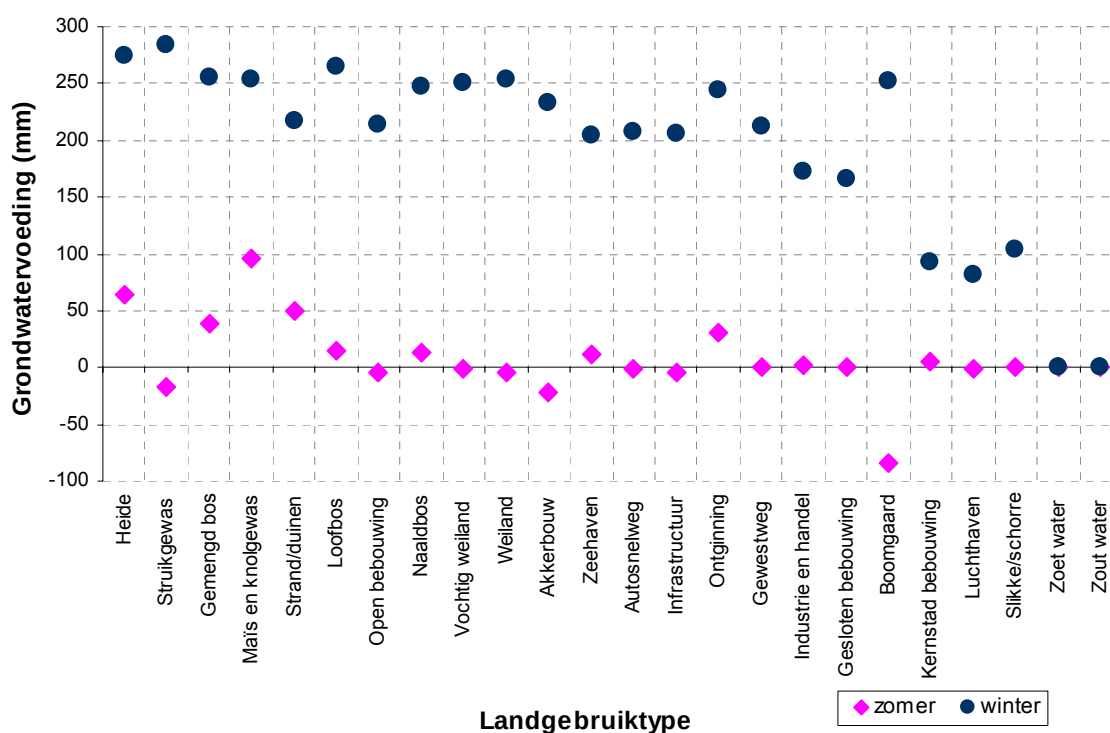
Tabel 11 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)

Landgebruiktype	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding (mm)	Standaard afwijking (mm)
Heide	93,75	0,44	339,27	34,89
Struikgewas	41,25	0,19	267,79	81,79
Gemengd bos	254,39	1,20	292,89	39,27
Maïs en knolgewas	290,93	1,37	350,67	82,59
Strand/duinen	5,59	0,03	267,72	86,34
Loofbos	1169,41	5,52	279,06	57,39
Open bebouwing	148,16	0,70	210,47	64,71
Naaldbos	726,92	3,43	260,23	37,44
Vochtig weiland	289,10	1,36	249,10	82,06
Weiland	4027,47	19,00	248,31	83,12
Akkerbouw	10497,93	49,51	211,25	76,37
Zeehaven	43,54	0,21	216,02	71,09
Autosnelweg	43,07	0,20	206,65	61,77
Infrastructuur	28,74	0,14	201,39	60,21
Ontginning	42,74	0,20	274,82	66,45
Gewestweg	135,78	0,64	212,45	61,91
Industrie en handel	241,05	1,14	174,79	41,20
Gesloten bebouwing	2000,80	9,44	165,71	46,39
Boomgaard	237,46	1,12	168,38	47,08
Kernstad bebouwing	346,62	1,63	98,56	31,84
Luchthaven	27,99	0,13	80,69	24,76
Slikke/schorre	22,20	0,10	104,69	32,31
Zoet water	306,68	1,45	0,00	0,00
Zout water	180,14	0,85	0,00	0,00
TOTAAL	21201,70	100,00		

Bosgebied (10,15%) omvat loofbos (5,52%), naaldbos (3,43%) en gemengd bos (1,20%). Het loofbos is typisch voor een natuurlijke toestand. Vooral voor loofbos is de invloed van de seizoenen merkbaar (Tabel 12), daar men door bladverlies in de winter een lagere reële verdamping verkrijgt (begroeide bodemfractie daalt van 1,0 tot 0,2 [Tabel 3 en Tabel 4]).

Het landelijk gebied omvat de landgebruiktypes akkerbouw (49,51%), maïs en knolgewas (1,37%), weiland (19,00%), vochtig weiland (1,36%) en boomgaard (1,12%). Landelijk gebied neemt aldus 72,36% van het totale oppervlak van het VGM-karteergebied in. Deze gebieden kunnen zowel een positieve als negatieve invloed op de grondwatervoeding hebben. Voor akkerbouw, maïs en knolgewas en in mindere mate voor boomgaard, is er een duidelijke invloed van de seizoenen. Er wordt verondersteld dat deze gronden in de winter nagenoeg onbegroeid zijn, waardoor er een verhoogde oppervlakkige afvoer mogelijk is, doch waardoor ook de reële verdamping sterk verminderd. Het zomerseizoen wordt gekenmerkt door een hogere reële verdamping, waardoor er minder grondwatervoeding is. Vooral bij boomgaard vallen de lagere waarden voor de grondwatervoeding op (zie eerdere bespreking). Bij weiland en vochtig weiland wordt er in de winter nog steeds begroeiing beschouwd, zodat er sprake blijft van hogere reële verdamping en lagere oppervlakkige afvoer.

Tabel 12 geeft de gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en in de winter weer in functie van het landgebruiktype. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 18.



Figuur 18 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)

Tabel 12 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (VGM-karteergebied)

Landgebruiktype	Oppervlakte	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding (zomer) (mm)	Gemiddelde grondwatervoeding (winter) (mm)
Heide	93,75	0,44	66,95	278,53
Struikgewas	41,25	0,19	3,31	293,06
Gemengd bos	254,39	1,20	38,57	255,64
Maïs en knolgewas	290,93	1,37	67,91	222,13
Strand/duinen	5,59	0,03	57,81	219,61
Loofbos	1169,41	5,52	13,40	261,32
Open bebouwing	148,16	0,70	36,01	234,55
Naaldbos	726,92	3,43	14,42	249,48
Vochtig weiland	289,10	1,36	-1,35	250,47
Weiland	4027,47	19,00	-3,16	246,65
Akkerbouw	10497,93	49,51	-11,97	233,57
Zeehaven	43,54	0,21	10,91	205,13
Autosnelweg	43,07	0,20	4,98	209,90
Infrastructuur	28,74	0,14	4,47	205,63
Ontginning	42,74	0,20	0,00	208,05
Gewestweg	135,78	0,64	1,33	206,40
Industrie en handel	241,05	1,14	9,73	175,60
Gesloten bebouwing	2000,80	9,44	8,13	168,62
Boomgaard	237,46	1,12	-86,56	249,75
Kernstad bebouwing	346,62	1,63	12,75	93,84
Luchthaven	27,99	0,13	6,21	84,24
Slikke/schorre	22,20	0,10	0,00	7,63
Zoet water	306,68	1,45	0,00	0,00
Zout water	180,14	0,85	0,00	0,00
TOTAAL	21201,70	100,00		

6.3 Resultaten voor Vlaanderen zonder het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

De resultaten van de WetSpass-modellering van Vlaanderen (Tabel 13) vertonen nagenoeg dezelfde seizoensgebonden variatie als deze van het volledige VGM-karteergebied. Het zomerseizoen wordt gekarakteriseerd door een hoge evapotranspiratie (93% van de neerslag) en 9% oppervlakkige afvoer, wat resulteert in een netto negatieve gemiddelde grondwatervoeding. In de winter blijft de oppervlakkige afvoer nagenoeg dezelfde (7%), maar de evapotranspiratie daalt tot 31% vanwege de lagere temperaturen. Hierdoor is er meer water beschikbaar voor de grondwatervoeding (61%). Hieruit blijkt dus dat het grootste deel van de grondwatervoeding optreedt gedurende de winter.

Tabel 13 Waterbalans voor Vlaanderen berekend met WetSpass

	Parameter	Min ¹	Max ¹	Gemiddeld ²	Std. Dev
Jaarlijks	Neerslag(P ; mm)	674,0	997,2	755,5	38,4
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	250,4	757,7	476,4	49,9
	Grondwatervoeding (R ; mm)	-126,1	500,5	222,2	82,5
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	1,1	518,6	59,4	77,0
	Waterbalans ($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	-2,5	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	-0,3	-
Zomer	Neerslag(P ; mm)	345,6	511,4	387,5	19,7
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	141,6	626,0	361,1	49,9
	Grondwatervoeding (R ; mm)	-188,6	141,4	-4,5	47,4
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	0,0	250,6	33,3	36,3
	Waterbalans ($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	-2,4	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	-0,7	-
Winter	Neerslag(P ; mm)	328,4	485,8	368,1	18,7
	Evapotranspiratie (ET ; mm)	91,0	157,0	115,2	6,9
	Grondwatervoeding (R ; mm)	0,0	379,9	226,7	53,2
	Oppervlakkige afvoer (S ; mm)	0,24	365,1	26,1	47,2
	Waterbalans ($WB = P - ET - R - S$; mm)	-	-	0,1	-
	Fout op waterbalans (WB/P ; %)	-	-	0,0	-

1. Volume per oppervlakte in de extreme rastercel

2. Totaal volume per oppervlakte van het volledige studiegebied

De jaarlijkse grondwatervoeding vertoont een grote variatie met waarden tussen -126,1 en 500,5 mm. De gemiddelde waarde is 222,2 mm en de standaard afwijking 82,5 mm. De gemiddelde grondwatervoeding in de zomer is negatief met een waarde van -4,5 mm, terwijl deze in de winter 226,7 mm bedraagt.

Voor de verdere analyse van de grondwatervoeding werd voor elke bodemtextuur en landgebruiktype aanwezig in Vlaanderen de grondwatervoeding apart berekend.

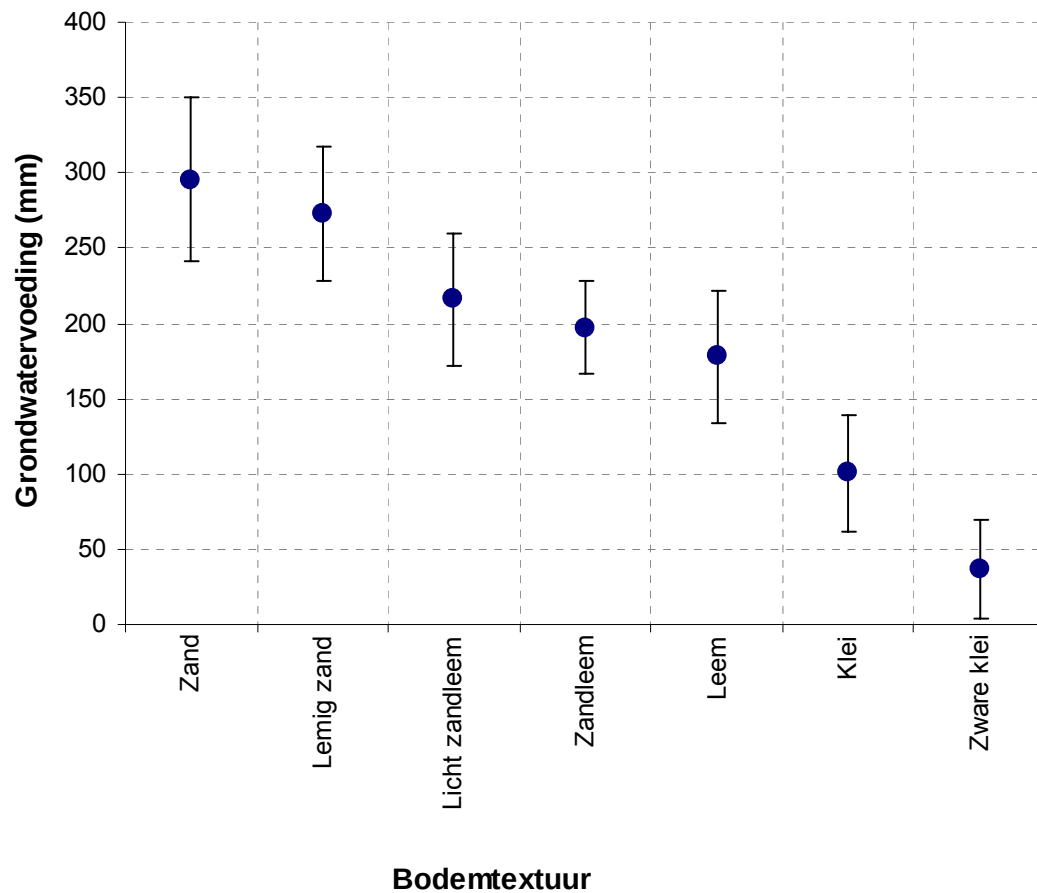
6.3.1 Invloed van de bodemtextuur

Tabel 14 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking weer in functie van de verschillende bodemtexturen aanwezig in Vlaanderen. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 19. Hieruit blijkt dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van de bodemtextuur, vooral in het geval van zand- en kleigronden. Voor de lichte bodemsoorten, zijnde zand en lemig zand is er een bijna even hoge grondwatervoeding merkbaar. Voor de iets zwaardere bodems (licht zandleem, zandleem en leem) kan men opmerken dat de waarden van de grondwatervoeding ongeveer gelijk zijn, en zich tussenin de waarden van de zandige en de kleiige gronden bevinden. Voor klei daalt de grondwatervoeding zeer sterk, naar ongeveer de helft van de waarde van de intermediaire bodemtexturen, en voor zware klei wordt de grondwatervoeding bijzonder klein.

Tabel 14 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)

Bodemtextuur	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding (mm)	Standaard afwijking (mm)
Zand	3558,03	26,18	295,52	54,48
Lemig zand	2428,05	17,87	272,23	44,53
Licht zandleem	1714,57	12,62	215,84	43,74
Zandleem	2171,41	15,98	197,30	31,29
Leem	2284,00	16,81	177,88	42,35
Klei	892,96	6,57	100,34	38,75
Zware klei	340,11	2,50	36,97	32,82
TOTAAL	13389,12*	98,53*		

* De overblijvende 1,47% (199,40 km²) wordt ingenomen door water



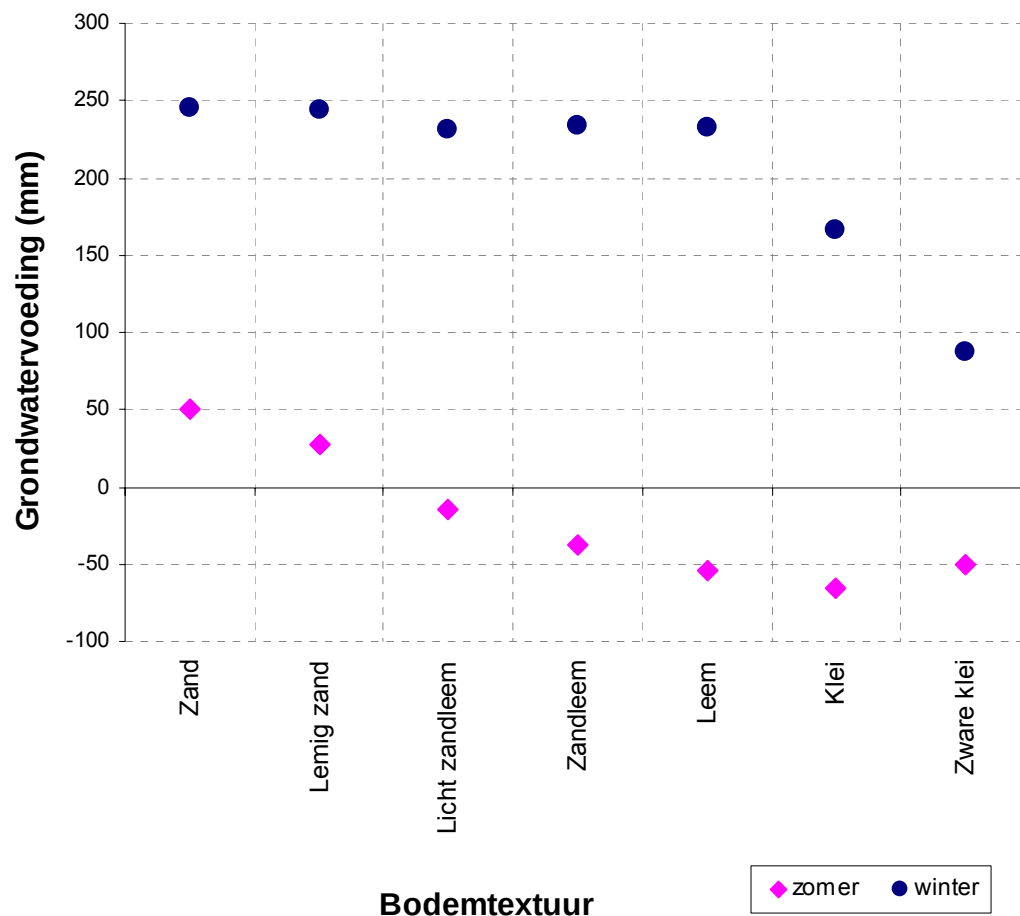
Figuur 19 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)

Tabel 15 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)

Bodemtextuur	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer (mm)	Gemiddelde grondwatervoeding in de winter (mm)
Zand	3558,03	26,18	49,70	245,83
Lemig zand	2428,05	17,87	27,80	244,43
Licht zandleem	1714,57	12,62	-14,98	230,81
Zandleem	2171,41	15,98	-36,95	234,25
Leem	2284,00	16,81	-54,10	231,98
Klei	892,96	6,57	-66,23	166,58
Zware klei	340,11	2,50	-50,42	87,38
TOTAAL	13389,12*	98,53*		

* De overblijvende 1,47% (199,40 km²) wordt ingenomen door water

Tabel 15 geeft de gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en in de winter weer in functie van de bodemtextuur. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 20.



Figuur 20 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)

6.3.2 Invloed van het landgebruiktype

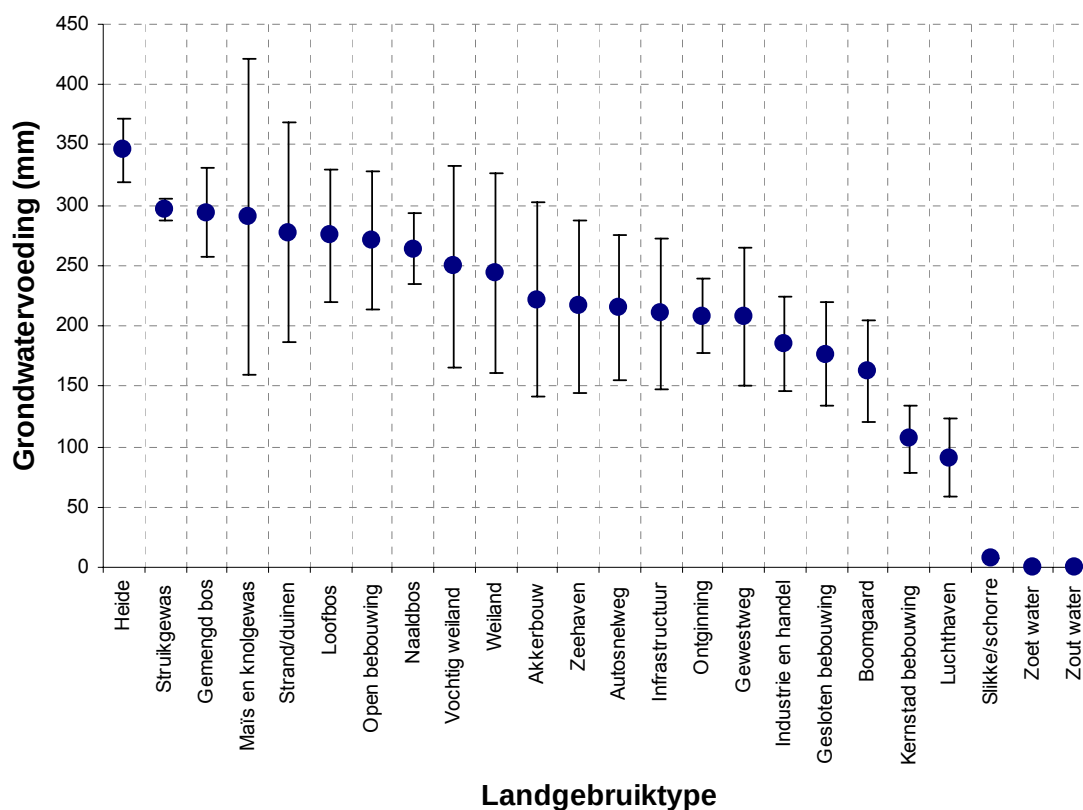
Tabel 16 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de verschillende landgebruiktypes in Vlaanderen. Deze resultaten worden voorgesteld in Figuur 21. Hieruit blijkt zeer duidelijk dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van het landgebruik. In het bijzonder blijkt duidelijk de negatieve invloed van de bebouwing. Voor open water wordt in het WetSpass-model aangenomen dat de grondwatervoeding nul bedraagt.

Tabel 16 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)

Landgebruiktype	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding (mm)	Standaard afwijking (mm)
Heide	73,57	0,54	345,48	26,19
Struikgewas	0,02	0,00	296,37	9,53
Gemengd bos	247,64	1,82	294,21	37,49
Maïs en knolgewas	0,14	0,00	290,04	130,97
Strand/duinen	2,27	0,02	277,41	91,26
Loofbos	720,31	5,30	274,72	55,45
Open bebouwing	9,38	0,07	270,56	57,45
Naaldbos	469,82	3,46	263,90	29,49
Vochtig weiland	279,18	2,05	249,13	82,98
Weiland	2489,83	18,32	243,48	83,12
Akkerbouw	6935,75	51,04	221,60	80,32
Zeehaven	43,51	0,32	216,04	71,10
Autosnelweg	38,41	0,28	214,88	59,83
Infrastructuur	23,92	0,18	210,10	62,18
Ontginning	0,02	0,00	208,05	30,57
Gewestweg	50,32	0,37	207,73	57,30
Industrie en handel	183,46	1,35	185,33	39,13
Gesloten bebouwing	1579,87	11,63	176,75	43,54
Boomgaard	201,38	1,48	163,19	42,09
Kernstad bebouwing	28,29	0,21	106,59	27,64
Luchthaven	11,45	0,08	90,45	32,50
Slikke/schorre	0,58	0,00	7,63	0,30
Zoet water	199,16	1,47	0,00	0,00
Zout water	0,24	0,00	0,00	0,00
TOTAAL	13588,52	100,00		

De bebouwing is hoofdzakelijk verantwoordelijk voor een vermindering van de grondwatervoeding. Onder bebouwde gebieden worden de landgebruiktypes verstaan met geheel of gedeeltelijk ondoordringbare oppervlakken. Deze zones omvatten 14,49% van de oppervlakte van Vlaanderen en komen wijd verspreid voor. Tot deze landgebruiktypes behoren: gesloten bebouwing (11,63%), industrie en handel (1,35%), gewestweg (0,37%), zeehaven (0,32%), kernstad bebouwing (0,21%), autosnelweg (0,28%), infrastructuur (0,18%), luchthaven (0,08%) en open bebouwing (0,07%).

De graad van ondoorlatendheid van het grondoppervlak is afhankelijk van het landgebruiktype. Zo worden er twee landgebruiktypes beschouwd met 80% ondoorlatend oppervlak, namelijk kernstad bebouwing en luchthaven, terwijl de overige bebouwde gebieden slechts voor een kleiner gedeelte uit ondoorlatend oppervlak bestaan met daarnaast een belangrijker gedeelte kale bodem en/of gras (industrie en handel, gesloten bebouwing, infrastructuur, zeehaven, open bebouwing, autosnelweg en gewestweg). Door het eerder slecht doorlatend karakter is de invloed van de bodemtextuur en de bodemhelling op de grondwatervoeding bij de bovengenoemde landgebruiktypes geringer.

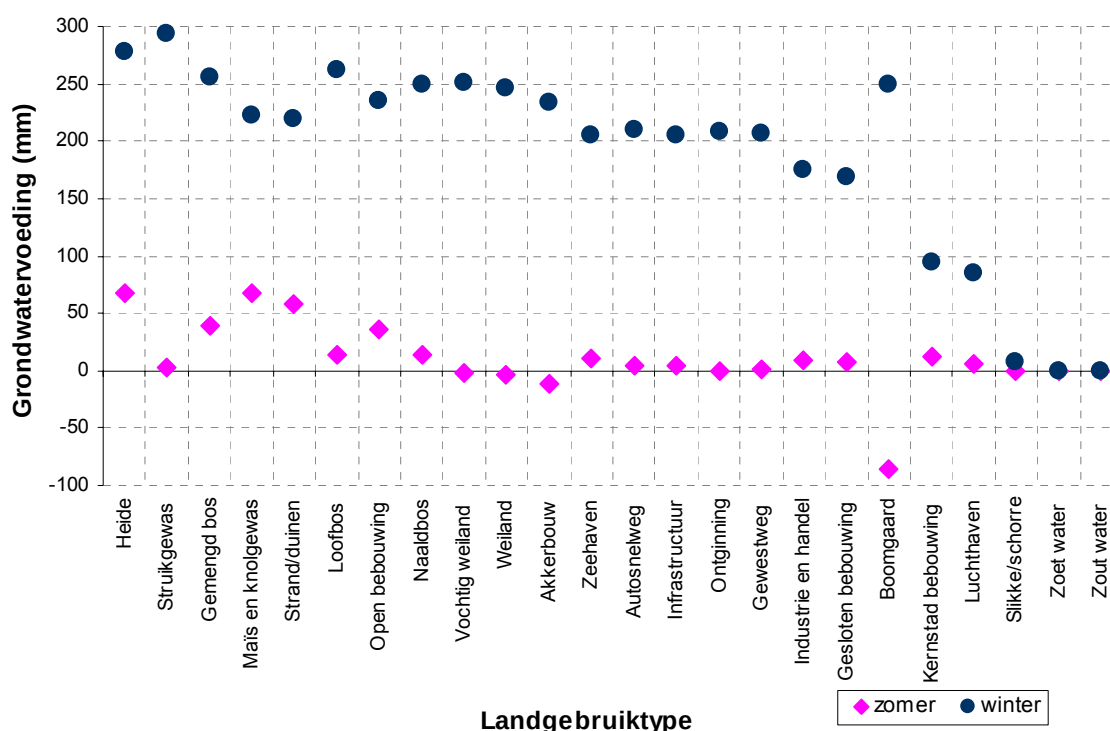


Figuur 21 Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)

Bosgebied (10,58%) omvat loofbos (5,30%), naaldbos (3,46%) en gemengd bos (1,82%). Het loofbos is typisch voor een natuurlijke toestand. Vooral voor loofbos is de invloed van de seizoenen merkbaar (Tabel 17), daar men door bladverlies in de winter een lagere reële verdamping verkrijgt (begroeide bodemfractie daalt van 1,0 tot 0,2 [Tabel 3 en Tabel 4]).

Het landelijk gebied omvat de landgebruiktypes akkerbouw (51,04%), weiland (18,32%), vochtig weiland (2,05%), boomgaard (1,48%) en te verwaarlozen in Vlaanderen maïs en knolgewas (0,00%). Landelijk gebied neemt aldus 72,89% van het totale oppervlak van Vlaanderen in. Deze gebieden kunnen zowel een positieve als negatieve invloed op de grondwatervoeding hebben. Voor akkerbouw, maïs en knolgewas en in mindere mate voor boomgaard, is er een duidelijke invloed van de seizoenen. Er wordt verondersteld dat deze gronden in de winter nagenoeg onbegroeid zijn, waardoor er een verhoogde oppervlakkige afvoer mogelijk is, doch waardoor ook de reële verdamping sterk verminderd. Het zomerseizoen wordt gekenmerkt door een hogere reële verdamping, waardoor er minder grondwatervoeding is. Vooral bij boomgaard vallen de lagere waarden voor de grondwatervoeding op (zie eerdere bespreking). Bij weiland en vochtig weiland wordt er in de winter nog steeds begroeiing beschouwd, zodat er sprake blijft van hogere reële verdamping en lagere oppervlakkige afvoer.

Tabel 17 geeft de gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en in de winter weer in functie van het landgebruiktype. Deze resultaten worden visueel voorgesteld in Figuur 22.



Figuur 22 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)

Tabel 17 Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer en de winter in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)

Landgebruiktype	Oppervlakte (km ²)	% van het oppervlakte	Gemiddelde grondwatervoeding in de zomer (mm)	Gemiddelde grondwatervoeding in de winter (mm)
Heide	73,57	0,54	66,95	278,53
Struikgewas	0,02	0,00	3,31	293,06
Gemengd bos	247,64	1,82	38,57	255,64
Maïs en knolgewas	0,14	0,00	67,91	222,13
Strand/duinen	2,27	0,02	57,81	219,61
Loofbos	720,31	5,30	13,40	261,32
Open bebouwing	9,38	0,07	36,01	234,55
Naaldbos	469,82	3,46	14,42	249,48
Vochtig weiland	279,18	2,05	-1,35	250,47
Weiland	2489,83	18,32	-3,16	246,65
Akkerbouw	6935,75	51,04	-11,97	233,57
Zeehaven	43,51	0,32	10,91	205,13
Autosnelweg	38,41	0,28	4,98	209,90
Infrastructuur	23,92	0,18	4,47	205,63
Ontginning	0,02	0,00	0,00	208,05
Gewestweg	50,32	0,37	1,33	206,40
Industrie en handel	183,46	1,35	9,73	175,60
Gesloten bebouwing	1579,87	11,63	8,13	168,62
Boomgaard	201,38	1,48	-86,56	249,75
Kernstad bebouwing	28,29	0,21	12,75	93,84
Luchthaven	11,45	0,08	6,21	84,24
Slikke/schorre	0,58	0,00	0,00	7,63
Zoet water	199,16	1,47	0,00	0,00
Zout water	0,24	0,00	0,00	0,00
TOTAAL	13588,52	100,00		

7 Enkele bemerkingen

De herschaling van de verschillende gegevensbronnen kan leiden tot een verlies aan informatie, zowel bij de bodemtextuur als de landgebruiktypes. De invloed van dergelijke conversies dient verder onderzocht te worden.

De landgebruiktypes die aangewend worden in het model zijn gebaseerd op degenen die voorkomen in Vlaanderen. De landgebruiktypes van de overige delen van het studiegebied dienden geconverteerd te worden naar de best overeenkomstige Vlaamse landgebruiktypes. Hierdoor ontstaat bij de Nederlandse indeling een groepering van verschillende types van landgebruik in één Vlaams type of omgekeerd zijn de Waalse en Franse indelingen veel ruwer dan de Vlaamse. Voor Nederland leidt dit tot een verlies van informatie, terwijl voor Wallonië en Frankrijk er minder basisinformatie beschikbaar is. Zonder eenvormige classificatie is dit echter niet te vermijden.

Ook bij de omzetting van de Nederlandse bodemtexturen naar de Vlaamse classificatie gaat veel informatie verloren. De gebruikte Nederlandse indeling is veel uitgebreider en veel gedetailleerder gedocumenteerd dan de Vlaamse. De beschikbare Franse bodemtexturen zijn dan weer te grof om tot de zelfde nauwkeurigheid te komen als voor Vlaanderen en Wallonië. Ook hier kan opgemerkt worden dat er noodzaak is aan een eenduidige classificatie over de grenzen heen.

Zoals kan afgeleid worden uit de resultaten, wordt de grondwatervoeding voor een groot deel beïnvloed door de bodemtexturen en de landgebruiktypes. Maar binnen éénzelfde type is er nog een zeer grote variatie van de grondwatervoeding mogelijk. Dit is te wijten aan de invloed onderlinge combinatie en van de andere invoerparameters, zoals bijvoorbeeld de bodemhelling. Men kan dus niet zomaar de grondwatervoeding gaan voorspellen aan de hand van de bodemtexturen en de landgebruiktypes alleen, maar ook de combinatie van de andere parameters moeten in rekening gebracht worden. Verder statistisch onderzoek dient hieromtrent uitgevoerd te worden.

Men dient op te merken dat het hier gaat om een eerste schatting van de grondwatervoeding, die verfijnd kan worden voor het bekomen van nauwkeuriger resultaten. Dit kan men door het WetSpaas-model in combinatie met MODFLOW te laten runnen. Dit betekent dat de grondwatervoeding bekomen met WetSpaas gebruikt wordt als invoer voor MODFLOW en dat de grondwaterdiepte bekomen met MODFLOW gebruikt wordt als invoer voor WetSpaas. Deze iteratie dient herhaald te worden tot het verschil in grondwatervoeding of grondwaterdiepte tussen twee opeenvolgende runs voldoende klein wordt.

Referenties

AMINAL, afdeling Water, 2003. Ontwikkelen van regionale modellen ten behoeve van het Vlaams Grondwater Model (VGM) in GMS/MODFLOW. Studie in het kader van de opdracht: Opbouw van het Vlaams Grondwater Model (VGM) en de gegevensinvoer in Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV). Bestek nr. L 2003 S 0013 X. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur.

Asefa, T., Z. Wang, O. Batelaan en F. De Smedt, 1999. Open integration of a spatial water balance model and GIS to study the response of a catchment. Proceedings of the Nineteenth Annual American Geophysical Union Hydrology Days. Ed. Morel-Seytoux, H.J., August 16-20, 1999, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA: 11-22.

Batelaan, O., T. Asefa, A. Van Campenhout en F. De Smedt, 2000a. Bepaling van de regionale grondwaterstroming naar een aantal kwelgebieden in het landinrichtingsproject Grote-Netegebied, Studie in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij, 187 pag.

Batelaan, O., T. Asefa, P. van Rossum en F. De Smedt, 2000b. Groundwater flow modeling of three wetland ecosystems in river valleys in Flanders, Belgium. In: Verhoest, N.E.C., Van Herpe, Y.J.P. and De Troch, F.P. (eds), Book of abstracts of European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Conference: Monitoring and Modeling Catchment Water Quantity and Quality, Ghent, Belgium, 27-29 September 2000: 239-243.

Batelaan, O. en F. De Smedt, 1996. Onderzoek naar de impact van opties in het Structuurplan Vlaanderen op grondwatervoeding en naar de haalbaarheid van ingrepen met het oog op integrale waterbeheersing. Onderzoeksopdracht voor het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL afdeling Water, 81 pag.

Batelaan, O. en F. De Smedt, 2001. WetSpass: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modelling. In: Gehrels, H., Peters, J., Hoehn, E., Jensen, K., Leibundgut, C., Griffioen, J., Webb, B. and Zaadnoordijk, W.-J. (Eds.). Impact of Human Activity on Groundwater Dynamics, IAHS Publ. No. 269: 11-17.

Batelaan, O. en F. De Smedt, 2004, SEEPAGE, a new MODFLOW DRAIN Package. Accepted for publication in Ground Water, vol. 42.

Batelaan, O., F. De Smedt en L. Triest, 2002a. A methodology for mapping regional groundwater discharge dependent ecosystems. In: Schmitz, G.H. (Ed.), Proceedings of Third International Conference on Water Resources and Environment Research, Dresden, Germany, 22-25 July, Volume II: 311-315.

Batelaan, O., A. Van Campenhout, T. Asefa en F. De Smedt, 2002b. Kwel en infiltratie in het landinrichtingsproject Grote-Netegebied: Effecten van ingrepen op landgebruik.

WATER 2-Juni 2002, http://www.viwc.be/water/ts2002_02_grotenete_a.pdf,

<http://www.viwc.be/water/index.html>. 9 pag.

Batelaan, O., A. Van Campenhout, T. Asefa, F. De Smedt en L. Triest, 2002c. Kwel en infiltratie in het landinrichtingsproject Grote-Netegebied: Karakterisering door middel van hydrologische modellering, vegetatiekartering en GIS. WATER 1-Mei 2002, <http://www.viwc.be/water/index.html>, http://www.viwc.be/water/ts2002_01_grotenete.pdf. 10 pag.

Batelaan, O., Z. Wang en F. De Smedt, 1996. An adaptive GIS toolbox for hydrological modelling. In: Application of geographic information systems in hydrology and water resources management. IAHS publication no. 235 (Eds. Kovar, K.; Nachtnebel, H.P.), IAHS press, Wallingford: 3-9.

Bierkens, M.F.P., P.A. Finke en P. de Willigen, 2000. Upscaling and downscaling methods for environmental research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Nederland. 190 pag.

Bultot, F. en G.L. Dupriez, 1974. L' évapotranspiration potentielle des bassins hydrographiques en Belgique. Publ. I.R.M./K.M.I., série A, n°85, Uccle-Bruxelles, 64 pag.

Bultot, F., A. Coppens en G.L. Dupriez, 1983. Estimation de l' évapotranspiration potentielle en Belgique (Procédure révisée). Publ. I.R.M./K.M.I., série A, n°112, Uccle-Bruxelles.

Calder, I.R., 1979. Do trees use more water than grass? Water Services, 83: 11-14.

Chow, V.T., D.R. Maidment en L.W. Mays, 1988. Applied Hydrology. Mc Graw-Hill Book Co., New York, USA.

Corluy, J., B. Verbeiren, O. Batelaan en F. De Smedt, 2003. Ecosysteemvisie zuidelijke bronnen en bovenloopgebieden van het Kempens plateau. Deel 2: Hydrologische systeemmodellering. Rapport: Onderzoeksopdracht MINA/105/99/02. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water, 122 pag.

Cosby, B.J., G.M. Hornberger, R.B. Clapp en T.R. Ginn, 1984. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soil. Water Resources Research, 20(6): 682-690.

De Smedt, F. en O. Batelaan, 2001. The impact of land-use changes on the groundwater in the Grote Nete river basin, Belgium. Proceedings of the 3rd International Conference on 'Future Groundwater Resources at Risk', Ed. L. Ribeiro, Lisbon, Portugal, June, 25-27 2001: 151-158.

De Smedt, F., L. Yongbo en A. Deng, 1999a. Hydrologische en hydraulische modellering van het stroomgebied van de Ijse – Deel: Hydrologische modellering, 41 pag. + figuren.

De Smedt, F., L. Yongbo en A. Deng, 1999b. Hydrologische en hydraulische modellering van het stroomgebied van de Barebeek – Deel: Hydrologische modellering, 49 pag. + figuren.

De Smedt, F., L. Yongbo en S. Gemebreskel, 2000. Hydrologische en hydraulische modellering van het stroomgebied van de Veurne-Ambact polder – Deel: Hydrologische modellering, 45 pag. + figuren.

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

de Vries, F., W.J.M. de Groot, T. Hoogland en J. Denneboom, 2003. De Bodemkaart van Nederland digitaal. Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie, Alterra-rapport 811, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, Nederland, 48 pag.

de Vries, F. en J. Denneboom, 1992. De Bodemkaart van Nederland digitaal. Technisch Document 1, DLO-Staring Centrum, Wageningen, Nederland, 47 pag.

Dingman, S.L., 1994. Physical Hydrology, Macmillan Publ. Co., New York, 575 pag.

Dupriez, G.L. en R. Sneyers, 1978. Les normales du réseau pluviométrique belge. Publ. I.R.M./K.M.I., serie A, nr. 101, 23 pag. + 5 bijlagen.

Dupriez, G.L. en R. Sneyers, 1979. Les nouvelles cartes pluviométriques de la Belgique – De nieuwe pluviometrische kaarten van België. Publ. I.R.M./K.M.I., serie A, nr. 103, 17 pag.

Feddes, R.A. en K.J. Lenselink, 1994. Evapotranspiration. In.: Drainage Principles and Applications, A.P. Ritzema (Ed). ILRI Publication 16, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Nederland:145-174.

Fourneau, J., J. Severyns, O. Batelaan, F. De Smedt en P. Meire, 2003. Ecohydrologische systeemstudie Grensmaas: deelgebied Vijverbroek, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Natuur, 194 pag.

Gellens-Meulenberghs, F. en D. Gellens, 1992. L'évapotranspiration potentielle en Belgique: variabilité spatiale et temporelle. Publ. I.R.M./K.M.I., série A,n°130, Bruxelles, 38 pag.

Grossmann, J., 1998. Brechnung der Grundwassermeubildung aus Niederschlag, Beschreibung eines Verfahrens, Hamburger Wasserwerke GmbH, Hamburg, 46 pag.

Huybrechts, W., O. Batelaan, P. De Becker, I. Joris en P. van Rossum, 2000. Ecohydrologisch onderzoek in waterrijke vallei-ecosystemen. Eindrapport VLINA project C96/03, Instituut voor Natuurbehoud, Brussel, 281 pag. + bijlagen.

Knapp, H.V., 1985. Evaporation and transpiration. In: D.D. Houghton (Ed.), Handbook of applied Meteorology. John Wiley & Sons, New York: 537-554.

Lebbe, L. en A. Vandenbohede, 2004. Ontwikkeling van een lokaal axi-symmetrisch model op basis van de HCOV kartering ter ondersteuning van de adviesverlening voor grondwaterwinningen. Studie in opdracht van AMINAL, afdeling Water, 23 pag. + bijlagen.

Meyus, Y., O. Batelaan en F. De Smedt, 2000c. Concept Vlaams Grondwater Model (VGM), Technisch concept van het VGM, Deelrapport 1, Hydrogeologische Codering van de Ondergrond van Vlaanderen (HCOV): Rapport in opdracht van AMINAL, afdeling Water, Brussel, 57 pag.

Meyus, Y., J. Cools, S.Y. Zeleke, O. Batelaan en F. De Smedt, 2004a. Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen: Eindrapport. Rapport in opdracht van AMINAL, afdeling Water, Brussel, (rapport in voorbereiding).

Meyus, Y., D. De Smet, F. De Smedt, K. Walraevens, O. Batelaan en M. Van Camp, 2000a. Hydrogeologische codering van de ondergrond in Vlaanderen. @wel 8 - water. <http://www.wel.be>.

Meyus, Y., T. Van Daele, O. Batelaan en F. De Smedt, 2000b. Concept Vlaams Grondwater Model (VGM): Eindrapport. Rapport in opdracht van AMINAL, afdeling Water, Brussel, 90 pag.

Meyus, Y., S.T. Woldeamlak, O. Batelaan en F. De Smedt, 2004b. Opbouw van een Vlaams Grondwatervoedingsmodel: Deelrapport 1, Centraal Vlaams Grondwatersysteem. Rapport in opdracht van AMINAL, afdeling Water, Brussel, 51 pag.

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. In State and Movement of Water in Living Organisms. 19th Symposium of the Society for Experimental Biology. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom: 205-234.

Nonhebel, S., 1987. Waterverbruik van Nederlandse bossen: een modellen studie. Volume 7g Bos en water, Studiecommissie waterbeheer, natuur, bos en landschap, 47 pag. + bijlagen.

Penman, H.L., 1948. Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society London, A193: 120-145.

Pilgrim, D.H. en I. Cordery, 1993. Flood runoff. Chapter 9 of Handbook of Hydrology, Mc Graw-Hill, New York, USA: 9.1-9.42.

Rawls, W.J., L.R. Ahuja, D.L. Brakensiek en A. Shirmohammadi, 1992. Infiltration and soil water movement. In: D.R. Maidment (Editor), Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, Inc., New York, USA: 5.1-5.51.

Saxton, K.E., W.J. Rawls, J.S. Romberger en R.I. Papendick, 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Amer. J., 50(4): 1031-1036.

Smedema, L.K. en D.W. Rycroft, 1988. Land Drainage. B.T. Batsford Ltd., London, 57 pag.

Sneyers, R. en M. Vandiepenbeeck, 1995. Notice sur le climat de la Belgique, variabilité spatiale et temporelle. I.R.M./K.M.I., publication scientifique et technique n°002, Bruxelles.

Soil Survey Staff, 1951. Soil survey manual. Handbook no.18, U.S. Dept. Agriculture.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1991. Bodemkaart van Nederland, Schaal 1 :50.000, Algemene begrippen en indelingen (4^{de} uitgebreide uitgave), DLO-Staring Centrum, Instituut voor onderzoek van het Landelijk Gebied, Wageningen, Nederland, 65 pag.

USDA, National engineering handbook, 1972. Section 4 Hydrology. Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall.

<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro/hydro-techref-nek-630.html>.

Van Daele, T., O. Batelaan en F. De Smedt, 2000. Ontwerp van ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwartebeek – Deelrapport: Hydrologische systeemmodellering, Brussel, 53 pag.

Van der Beken, A. en W. Huybrechts, 1990. De waterbalans van het Vlaams gewest. Een rationeel waterbeheer via kennis van de waterbalans. Water, 50: 88-92.

Vandewiele, G.L., C.Y. Xu, en Ni-Lar-Win, 1993. Methodology for constructing monthly water balance models on basin scale. VUB-Hydrologie 20. Free University Brussels, Brussel, 60 pag.

Van Ranst, E. en C. Sys, 2000. Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (schaal 1:20.000), Laboratorium voor Bodemkunde, RUG, Gent, 361 pag.

van Rossum, P., O. Batelaan, T. Asefa en F. De Smedt, 2001. Discharge Coefficients for the Kikbeek Subbasin, a Brook Subbasin at the Belgian Side of the River Border Meuse (Grensmaas), VUB Contribution to the Final Report of the IRMA-SPONGE Subproject 2: Development of Flood Management Strategies for Rhine and Meuse Basins in the Context of Integrated River Management. 58 pag. + bijlagen.

Verbeiren, B., O. Batelaan en F. De Smedt, 2002a. Ontwerp van een Ecosysteemvisie voor de vallei en de brongebieden van de bovenlopen van het Denderbekken. Deel 2: Hydrologische systeemmodellering. Rapport: Onderzoeksproject MINA/105/99/02. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water, 91 pag. + bijlagen.

Verbeiren, B., O. Batelaan en F. De Smedt, 2002b. Development of a groundwater model for some small sub-catchments of the Dender Basin. Proceedings of the First Geologica Belgica International Meeting, Leuven, 11-15 September 2002. Aardk. Mededel./Geologica Belgica vol. 12: 207-210.

Verbeiren, B., A. Van Campenhout, O. Batelaan en F. De Smedt, 2003. Ontwerp van een Ecosysteemvisie voor de vallei van de Abeek. Deel 2: Hydrologische modellering. Rapport: Onderzoekopdracht MINA/105/00/03. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water, 103 pag.

Verbeiren, B., S.T. Woldeamlak, O. Batelaan en F. De Smedt, 2004. Ontwerp van een Ecosysteemvisie voor de Vallei van de Visbeek-Kindernouw. Deel: Hydrologische systeemmodellering, Rapport: Onderzoeksproject MINA/105/01/02, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, AMINAL, afdeling Water (rapport in voorbereiding).

Walraevens, K en M. Van Camp, 2003. Grondwatermodellering voor Landeniaan, Krijt en Sokkel: Modelleren van een aantal scenario's. Rapport in opdracht van AMINAL, afdeling Water, Brussel, 73 pag.

Wang, Z., O. Batelaan en F. De Smedt, 1996. A distributed Model for Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Eart, Vol. 21, n°3: 189-193.

Xu, C.Y., 1992. Monthly water balance models in different climatic regions. PhD Thesis, Nr. 22 of the series V.U.B. – Hydrologie (22), Free University Brussels, Brussel, 222 pag.

Bijlage 1: Omzettingstabel Waalse naar Vlaamse landgebruiktypes

Landgebruiktype (Wallonië)	Landgebruiktype (Vlaanderen)
Bois et forêts de feuillus	Loofbos
Bois et forêts de résineux	Naaldbos
Bois et forêts mixtes	Gemengd bos
Friches et terrains incultes	Ontginning
Prairie permanente	Weiland
Culture saisonnière et autres	Akkerbouw
Espace vert urbain	Open bebouwing
Habitat dense	Kernstad bebouwing
Habitat discontinu	Gesloten bebouwing
Habitat et services	Gesloten bebouwing
Industrie et services	Industrie en handel
Carrière, sablière et terril	Ontginning
Terrain et aérodrome militaire	Luchthaven
Réseau hydrographique	Zoet water
Réseau routier	Gewestweg
Réseau ferroviaire	Gewestweg

Bijlage 2: Omzettingstabel Nederlandse naar Vlaamse landgebruiktypes

Hoofdklasse (Nederland)	Klasse (Nederland)	Landgebruiktype (Vlaanderen)
Agrarisch gebied	Gras	Weiland
Agrarisch gebied	Maïs	Maïs en knolgewas
Agrarisch gebied	Aardappelen	Akkerbouw
Agrarisch gebied	Bieten	Akkerbouw
Agrarisch gebied	Granen	Akkerbouw
Agrarisch gebied	Overige landbouwgewassen	Akkerbouw
Agrarisch gebied	Glastuinbouw	Open bebouwing
Agrarisch gebied	Boomgaard	Boomgaard
Agrarisch gebied	Bollen	Akkerbouw
Bos	Loofbos	Loofbos
Bos	Naaldbos	Naaldbos
Water	Zoet water	Zoet water
Water	Zout water	Zout water
Bebouwd gebied	Stedelijk bebouwd gebied	Kernstad bebouwing
Bebouwd gebied	Bebouwing in buitengebied	Open bebouwing
Bebouwd gebied	Loofbos in bebouwd gebied	Loofbos
Bebouwd gebied	Naaldbos in bebouwd gebied	Naaldbos
Bebouwd gebied	Bos met dichte bebouwing	Gesloten bebouwing
Bebouwd gebied	Gras in bebouwd gebied	Weiland
Bebouwd gebied	Kale grond in bebouwd buitengebied	Ontginning
Infrastructuur	Hoofdwegen en spoorwegen	Gewestweg
Agrarisch gebied	Bebouwing in agrarisch gebied	Open bebouwing
Natuur	Kwelders	Slikke/schorre
Natuur	Open zand in kustgebied	Strand/duinen
Natuur	Open duinvegetatie	Strand/duinen
Natuur	Gesloten duinvegetatie	Heide
Natuur	Duinheide	Heide
Natuur	Open stuifzand	Ontginning
Natuur	Heide	Heide
Natuur	Matig vergraste heide	Heide
Natuur	Sterk vergraste heide	Heide
Natuur	Hoogveen	Vochtig weiland
Natuur	Bos in hoogveengebied	Gemengd bos
Natuur	Overige moerasvegetatie	Vochtig weiland
Natuur	Rietvegetatie	Vochtig weiland
Natuur	Bos in moerasgebied	Gemengd bos
Natuur	Veenweidegebied	Vochtig weiland
Natuur	Overig open begroeid natuurgebied	Struikgewas
Natuur	Kale grond in natuurgebied	Ontginning

Bijlage 3: Omzettingstabel Franse naar Vlaamse landgebruiktypes

Code (Fr)	Klasse Level 1 (Fr)	Klasse Level 2 (Fr)	Klasse Level 3 (Fr)	Landgebruiktype (Vlaanderen)
1	Artificial surfaces	Urban fabric	Continuous urban fabric	Kernstad bebouwing
2	Artificial surfaces	Urban fabric	Discontinuous urban fabric	Gesloten bebouwing
3	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Industrial or commercial units	Industrie en handel
4	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Road and rail networks and associated land	Autosnelweg
5	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Port areas	Zeehaven
6	Artificial surfaces	Industrial, commercial and transport units	Airports	Luchthaven
7	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Mineral extraction sites	Ontginning
8	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Dump sites	Ontginning
9	Artificial surfaces	Mine, dump and construction sites	Construction sites	Ontginning
10	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Green urban areas	Open bebouwing
11	Artificial surfaces	Artificial, non-agricultural vegetated areas	Sport and leisure facilities	Open bebouwing
12	Agricultural areas	Arable land	Non-irrigated arable land	Akkerbouw
16	Agricultural areas	Permanent crops	Fruit trees and berry plantations	Boomgaard
18	Agricultural areas	Pastures	Pastures	Weiland
20	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Complex cultivation patterns	Akkerbouw
21	Agricultural areas	Heterogeneous agricultural areas	Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation	Akkerbouw
23	Forest and semi natural areas	Forests	Broad-leaved forest	Loofbos
24	Forest and semi natural areas	Forests	Coniferous forest	Naaldbos
25	Forest and semi natural areas	Forests	Mixed forest	Gemengd bos
26	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Natural grasslands	Weiland
27	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Moors and heathland	Heide
29	Forest and semi natural areas	Scrub and/or herbaceous vegetation associations	Transitional woodland-shrub	Struikgewas
30	Forest and semi natural areas	Open spaces with little or no vegetation	Beaches, dunes, sands	Strand/duinen
35	Wetlands	Inland wetlands	Inland marshes	Vochtig weiland
36	Wetlands	Inland wetlands	Peat bogs	Slikke/schorre
37	Wetlands	Maritime wetlands	Salt marshes	Slikke/schorre
39	Wetlands	Maritime wetlands	Intertidal flats	Slikke/schorre
40	Water bodies	Inland waters	Water courses	Zoet water
41	Water bodies	Inland waters	Water bodies	Zoet water
42	Water bodies	Marine waters	Coastal lagoons	Zout water
43	Water bodies	Marine waters	Estuaries	Zout water
50	Sea and ocean	Sea and ocean	Sea and ocean	Zout water

Bijlage 4: Omzettingstabel Nederlandse naar Vlaamse bodemtexturen

Nederlandse classificatie	WetSpass-bodemtextuur (Vlaanderen)
la GROEVE	-
lc OPHOOG	-
le VERWERK	-
lg MOERAS	-
lg WATER	-
lh BEBOUW	-
lh DIJK	-
AEm9-II/AEm9-V*	-
AEm9-III/AEm9-V*	-
AGm9C-II/AGm9C-III	-
cHn21	Zand
cHn21-VI/pZn21-VI	Zand
cHn21-VI/zEZ21-VI	Zand
cHn21-VI/zEZ21-VII	Zand
cHn21-VII/zEZ21-VII	Zand
cHn21x-VI/zEZ21x-VI	Zand
cHn23	Lemig zand
EK19F	Licht zandleem
EK19-V*/EK79-V*	Klei
gMn58C-V*/gMn25C-V*	Klei
gMn58C-V/gMn25C-V	Klei
Hn21	Zand
Hn21F	Zand
kcHn21	Klei
kcHn21-VI/kzEZ21-VI	Klei
kHn21-V*/kZn21-V*	Zandleem
kHn21-VI/kZn21-VI	Zandleem
kpZn21	Zandleem
kSn13A	Licht zandleem
kzEZ21-V*/kpZn21-V*	Klei
kzEZ21-VI/kpZn21-VI	Klei
kzEZ21-VI/Mn82Ap-VI	Klei
kZn21	Klei
kZn21p-VI/Mn12Ap-VI	Klei
kZn21-V*/Mn22Ap-V*	Klei
kZn21-VI/Mn22Ap-VI	Klei
kZn21-VI/Mn52Cp-VI	Klei
kZn21x	Klei
kZn40A	Zandleem
kZn40AF	Zandleem
kZn40AG	Zandleem
kZn40AH	Zandleem
kZn40AH-VI/Mn12AH-VI	Zandleem

Nederlandse classificatie	WetSpaas-bodemtextuur (Vlaanderen)
kZn40AH-VI/Mn22AH-VI	Klei
kZn40A-V*/Mn12A-V*	Zandleem
kZn40A-V*/Mn12A-V*/Mn15A-V*	Zandleem
kZn40A-V*/Mn12A-V*/Mn22A-V*	Zandleem
kZn40A-V*/Mn82A-V*	Zandleem
kZn40A-VI/kZn40A-VII/Mn12A-VI/Mn12A	Zandleem
kZn40A-VI/Mn12A-VI	Zandleem
kZn40A-VI/Mn12A-VI/Mn15A-VI	Zandleem
kZn40A-VI/Mn12A-VI/Mn22A-VI	Zandleem
kZn40A-VI/Mn15A-VI	Zandleem
kZn40A-VI/Mn22A-VI	Klei
kZn40A-VII/Mn12A-VII	Zandleem
kZn40A-VII/Mn12A-VII/Mn22A-VII	Zandleem
kZn40A-VII/Mn22A-VII	Klei
kZn40A-VII/Mn82A-VII	Klei
Mn12A	Zandleem
Mn12AF	Zandleem
Mn12AH	Zandleem
Mn12AH-VI/Mn15AH-VI	Zandleem
Mn12Ap	Zandleem
Mn12Ap-V*/Mn22Ap-V*	Klei
Mn12Ap-VI/Mn15Ap-VI	Zandleem
Mn12Ap-VI/Mn22Ap-VI	Klei
Mn12A-V*/Mn15A-V*	Zandleem
Mn12A-V*/Mn22A-V*/Mn25A-V*	Zandleem
Mn12A-VI/Mn15A-VI	Zandleem
Mn12A-VI/Mn22A-VI	Klei
Mn12A-VI/Mn22A-VI/Mn25A-VI	Zandleem
Mn12A-VII/Mn15A-VII	Zandleem
Mn15A	Zandleem
Mn15AG	Zandleem
Mn15AH	Zandleem
Mn15Ap	Zandleem
Mn15Ap-V*/Mn25Ap-V*	Klei
Mn15Ap-VI/Mn25Ap-VI	Klei
Mn15Av	Zandleem
Mn15A-V*/Mn15C-V*	Zandleem
Mn15A-V*/Mn25A-V*	Zandleem
Mn15A-VI/Mn15C-VI	Zandleem
Mn15A-VI/Mn25A-VI	Zandleem
Mn15A-VI/Mn56C-VI	Klei
Mn15A-VII/Mn25A-VII	Zandleem

Nederlandse classificatie	WetSpaas-bodemtextuur (Vlaanderen)
Mn15C	Zandleem
Mn22A	Klei
Mn22Ap	Klei
Mn22Ap-V*/Mn52Cp-V*	Klei
Mn22Ap-VI/Mn52Cp-VI	Klei
Mn22Ap-VI/Mn82Ap-VI	Klei
Mn22A-V*/Mn25A-V*	Klei
Mn22A-VI/Mn25A-VI	Klei
Mn22A-VI/Mn35A-VI	Klei
Mn22A-VI/Mn82A-VI	Klei
Mn22A-VII/Mn25A-VII	Klei
Mn22Awp	Klei
Mn25A	Zandleem
Mn25AE-V*/Mn25CE-V*	Klei
Mn25AG	Zandleem
Mn25Ap	Klei
Mn25Av	Klei
Mn25A-V*/Mn35A-V*	Klei
Mn25A-VI/Mn35A-VI	Klei
Mn25A-VI/Mn56C-VI	Klei
Mn25Av-V*/Mn25Cv-V*	Klei
Mn25C	Klei
Mn35A	Klei
Mn35AG	Klei
Mn35AH	Klei
Mn35Ap	Klei
Mn35Av	Klei
Mn35A-V*/Mn45A-V*	Zware klei
Mn35A-VI/Mn45A-VI	Zware klei
Mn35A-VII/Mn45A-VII	Zware klei
Mn45A	Zware klei
Mn45Ap	Zware klei
Mn52Cp	Zandleem
Mn56A	Zandleem
Mn56A-V*/Mn15A-V*	Zandleem
Mn56A-V*/Mn25A-V*	Zandleem
Mn56A-VI/Mn15A-VI	Zandleem
Mn56A-VI/Mn25A-VI	Klei
Mn56C	Klei
Mn56C-VI/Mn15C-VI	Klei
Mn82A	Klei
Mn82AH	Klei
Mn82Ap	Klei
Mn82Ap-VI/Mn35Ap-VI	Klei
Mn82A-V*/Mn35A-V*	Klei
Mn82A-VI/Mn35A-VI	Klei
Mn82A-VII/Mn35A-VII	Klei

Nederlandse classificatie	WetSpaas-bodemtextuur (Vlaanderen)
Mn86A-VI/Mn35A-VI	Klei
Mo10A	Zandleem
Mo10A--/Mo20A--	Zandleem
Mo20A	Zandleem
Mo20A--/Mo80A--	Klei
Mo80A	Klei
Mo80AH	Klei
MOB12	Klei
MOB15	Klei
MOB72	Klei
MOB75	Klei
MOB75--/Mo80A--	Klei
MOo02	Lemig zand
MOo05	Klei
Mv51A	Zandleem
pZg21	Zand
pZg21x	Zand
pZg23	Lemig zand
pZg23x	Lemig zand
pZn21	Zand
pZn23	Lemig zand
Zd30A	Zand
zEZ21	Zand
zEZ23	Lemig zand
zEZ23-V*/pZg23-V*	Lemig zand
zEZ23-VI/kpZn21-VI	Lemig zand
zEZ23x	Lemig zand
Zn21	Zand
Zn21E	Zand
Zn30A	Zand
Zn40A	Zand
Zn40AG	Zand
Zn40AH	Zand
Zn40A-II/Zn40A-III	Zand
Zn40A-II/Zn40A-IV	Zand
Zn40A-VI/Zn40A-VII	Zand

Bijlage 5: Omzettingstabel Franse naar Vlaamse bodemtexturen

FAO Soil map Nummer	FAO Soil map Bodemtextuurklasse	WetSpass-bodemtextuur (Vlaanderen)
1	Coarse	Zand
1/4	Coarse, fine/medium	Licht zandleem
2	Medium/coarse	Zandleem
2/3	Medium/coarse, medium	Leem
2/4	Medium/coarse, fine/medium	Klei
3	Medium	Leem
4	Fine/medium	Klei

Bijlage 6: De bodemkaart van de Kuststreek

De kuststreek wordt opgedeeld in:

- Duinen;
- Landschap van de Moeren;
- Oudlandpolders;
- Middellandpolders;
- Nieuwlandpolders (IJzerestuarius);
- Nieuwlandpolders (Historische polders van Oostende);
- Nieuwlandpolders (Zwin);
- Overgangsgronden naar de Zandstreek of Zandleemstreek;
- Kunstmatige gronden.

De duinen

Alle bodemtexturen die in deze streek voorkomen werden geclassificeerd als Zand.

Landschap van de Moeren

De bodemgesteldheid van de Moeren aan de Franse grens is, in detail gezien, zeer ingewikkeld. Dit zeer gecompliceerde beeld is niet getrouw op een kaart weer te geven en werd dan ook sterk vereenvoudigd. Op het kaartblad van de Moeren heeft men de morfogenetische nationale legende toegepast en volgende gronden werden onderscheiden:

S	Zand
P	Zandleem
E	Klei

De gronden van de Lage Moeren van Meetkerke en Zevekote werden gekarteerd als M-gronden. Ze werden als volgt geclassificeerd:

M1	Lemig zand
M2	Met ArcView geïnterpoleerd op basis van de naburige cellen
M3	Klei

Polderstreek

Voor alle landschappen van de Polderstreek worden de bodemseries eveneens met een hoofdletter aangegeven. De klassering van de bodemsoorten die in de Polderstreek voorkomen wordt hieronder besproken.

Oudland

Serie A - kreekruggen: kleiig-zandgronden en kleigronden die lichter worden in de diepte.

Serie B - poelgronden: kleigronden met veensubstraat.

Serie C - oude kleiplaatgronden: kleigronden met substraat bestaande uit Duinkerken I-klei.

Serie W - overdekte waddengronden: kleigronden met substraat, bestaande uit sedimenten van de Assise van Calais.

Serie M - gronden op de lage moeren: met uitzondering van de Moeren op kaartblad de Moeren.

Bodemsoorten die voorkomen in het Oudland

A0, M1	Lemig zand
A1, A2, A3, A4, A5, A4 , A5 , W2, W2z, W2k, M3	Klei
A6, B1, B2, B3, C1, C2, C3, W1	Zware klei
B4, M2	Interpolatie vereist

Middelland

Serie D - overdekte kreekruggen: overeenstemmend met de A-gronden van het Oudland, overdekt met Duinkerken III-klei.

Serie E - dekkleigronden: gronden met homogeen Duinkerken III-kleidek tot meer dan 100 cm diepte.

Serie F - overdekte poelgronden: overeenstemmend met de B-gronden van het Oudland, overdekt met Duinkerken III-klei.

Serie G - geulgronden.

Bodemsoorten die voorkomen in het Middelland

D 2, D 3, F	Zand
D , Dk, D1, D2, D3, D4, D 4, DK4, D5, Dk5, D 6, Dk6, D4 , D5 , E1, E1 , Fk, F 1, F 2, F 3, F 4, Fk1, Fk2, Fk3, Fk4	Klei
Df , Fc, Fc1, Fc2, Fc3, F2, G1, G2	Zware klei

Nieuwland

Het IJzerestuarium

De bodems van het IJzerestuarium zijn opgebouwd uit jonge mariene sedimenten. Volgende bodemseries worden onderscheiden:

Serie A – strandruggronden: zandige, hoogliggende strandruggen in de buitenpolders.

Serie B – schorgronden: kleiige gronden van de schorren in de binnenpolders en van de opgevulde zwinnen in de buitenpolders.

Bodemsoorten die voorkomen in het IJzerestuarium

A1, A1h	Zand
A2, A2z, A2k	Lemig zand
B1, B2, B3	Klei

Historische polders van Oostende

Hier bestaat het bodemmateriaal uit zeeafzettingen van de 17^{de} en 18^{de} eeuw die de oudere polderafzettingen bedekken. Het materiaal werd hoofdzakelijk tijdens twee perioden afgezet, van 1626 tot 1700 en van 1721 tot 1803. Ze bestaan voornamelijk uit klei. De volgende bodemseries worden onderscheiden:

Serie G – geulgronden: gronden van de niet geheel opgevulde instromingsgeulen.

Serie K – kleiplaatgronden: zeeafzettingen die rusten op oudere poldersedimenten.

Bodemsoorten die voorkomen in de Historische Polders van Oostende

G3	Klei
G2, K1, K2, K3, K1 , K1a, K2a, K3z	Zware klei

Zwin

Dit landschap kenmerkt de noordoostelijke sector van de zeepolders. De bodemtextuur van dit Nieuwland varieert van zand tot zeer zware klei. In het Nieuwland van het Zwin worden volgende bodemseries onderscheiden:

Serie B – schorgronden: kleigronden, die rusten op een zandig of op een kleiig substraat.

Serie G – geulgronden: laagliggende gronden van de niet geheel opgevulde getijdengeulen.

Serie H – kreekwalgronden: lichte gronden, die langsheen de getijdengeulen natuurlijke, weinig uitgesproken hoogten vormen.

Serie L: lichte gronden met storende laag – zavel overgaand tot lichte klei.

Serie K: zware gronden met storende laag.

Bodemsoorten die voorkomen in het Zwin

G1z	Zand
Ba, Bb, Bb1, Bb2, Bb3, Bb1k, Bb2k, Bb3k, G3, H1, H2, Lk2, Lk4, Lk4v, Kv	Klei
Bc, Bc0, Bc1, Bc2, Bc3, Bc1k, G2	Zware klei

Overgangsgronden naar de Zandstreek of Zandleemstreek

De overgangsgronden van de Polders met de Zandstreek of Zandleemstreek van Binnen-Vlaanderen zijn gevormd in poldermateriaal of gebroken poldersedimenten welke rusten op Pleistoceen of Tertiair. De volgende bodemseries worden onderscheiden:

Serie P - overdekte Pleistocene gronden.

Serie R – randgronden.

Serie T - overdekte Tertiaire gronden.

Overgangsgronden naar de Zandstreek of Zandleemstreek

P1, P2, Rz2	Zand
Pk, P , Pm, P3, P4, P7, Pk2, Pk4, P 1, P 2, P 4, P6 , P6k	Klei
Pb, P5, P6, Pb1, Pb2, T6, Tb2	Zware klei

Kunstmatige gronden

Deze gronden zijn ontstaan na bepaalde menselijke activiteiten en komen voor in alle landschappen van de kuststreek.

Kunstmatige gronden

ON, OZ	Zand
OG1, OO, OV1	Licht zandleem
OC, OG2, OL, OV2	Leem
OE1, OO2, OO3, OO4	Klei
OA, OD, OT	Interpolatie vereist