

De grondwatervoeding van Vlaanderen

De bepaling van de grootte van de grondwatervoeding is van groot belang voor een duurzaam waterbeheer. Grondwatervoeding is afhankelijk van verschillende factoren en veranderingen in de voeding en kan leiden tot verdroging- of vernattingproblemen. Veelal wordt de grondwatervoeding op een ruwe wijze geschat, waarmee de grondwatervoeding bijdraagt aan een grote onzekerheid in de grondwaterstroming. Het WetSpass model (Batelaan en De Smedt, 2007) berekent de oppervlakkige afvoer, de evapotranspiratie en de grondwatervoeding met behulp van ruimtelijke gegevens van het landgebruik, de bodemtextuur, de topografische helling als ook klimatologische gegevens. Uit toepassing van het model voor Vlaanderen blijkt dat de grondwatervoeding zeer sterk varieert, de variatie binnen een stroomsysteem is echter veel kleiner. Er kon geen simpele correlatie tussen bodemtextuur, bedekking en grondwatervoeding aangetoond worden. De analyse van de resultaten van de grondwatervoeding tonen aan hoe verhoging van de grondwatervoeding via aanpassing van het landgebruik mogelijk is.

Inleiding

Grondwatervoeding is de bron van al het kostbare grondwater. Een juiste inschatting van grondwatervoeding is daarom essentieel voor het beheer van grondwaterkwantiteit en kwaliteit. Grondwatervoeding is afhankelijk van verschillende factoren zoals topografie, bodemhelling, bodemtextuur, landgebruik, neerslag en evapotranspiratie. Verandering in grondwatervoeding kan wijziging van de grondwaterspiegel tot gevolg hebben en aldus resulteren in verdroging- of vernattingproblemen. Vooral verstedelijking geeft een vermindering van de grondwatervoeding. In het verleden werd de grondwatervoeding vaak op een rudimentaire wijze geschat. Hiermee, droeg de grondwatervoeding bij aan een onnodig grote onzekerheid in de analyse van grondwatersystemen. Batelaan en De Smedt (2001, 2007) ontwikkelde het WetSpass model voor de bepaling van de grondwatervoeding. Dit model berekent de oppervlakkige afvoer, de evapotranspiratie en de grondwatervoeding aan de hand van het landgebruik, de bodemtextuur, de topografische helling en klimatologische gegevens. Het grondwatervoedingsmodel laat toe vragen te beantwoorden als; Hoeveel bedraagt de grondwatervoeding en wat is de ruimtelijke verspreiding ervan in functie van de omgevingsfactoren zoals topografie, bodemtextuur en landgebruiktype? In het kader van de ontwikkeling van een Vlaams Grondwater Model (Meyus et al., 2000, 2005; Cools et al., 2006) werd dit model toegepast voor de bepaling van de grondwatervoeding in Vlaanderen (Meyus et al., 2004).

Het WetSpass model

WetSpass is een quasi-stationair, naar analogie met het niet-stationaire WetSpa, 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 et al., 2003; Batelaan en De Smedt, 2007).

Het WetSpass-model heeft een flexibele structuur en is volledig geïntegreerd in het GIS ArcView, waardoor het zeer efficiënt en gebruiksvriendelijk is.

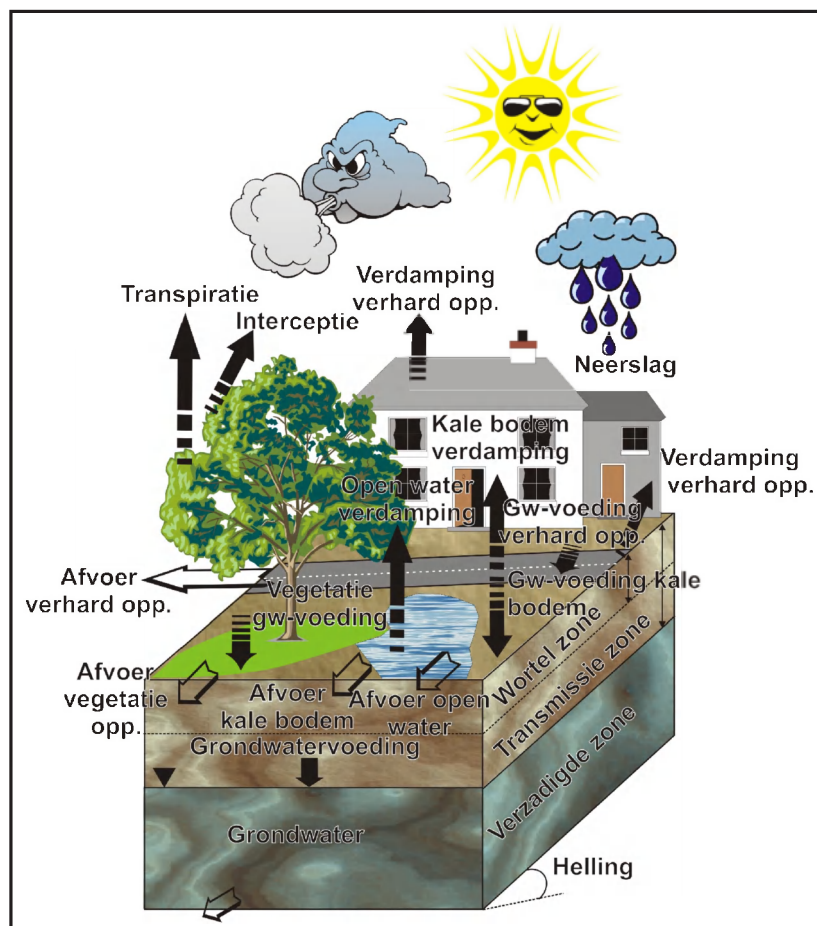
De werking van het model is als volgt. De kenmerken van een stroombekken of regio worden beschreven in een raster-GIS, zodat voor een regelmatig patroon van rastercellen de topografie, de bodemtextuur en landgebruiktype gekend zijn. De resolutie kan zeer klein zijn, het geen toelaat het gebied zeer gedetailleerd 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, interceptie, 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). Alle parameters werden reeds vastgelegd in het model, de waarden werden verkregen uit de literatuur en ijking met afvoergegevens voor verschillende bekkens (Batelaan en De Smedt, 2007).

In het model wordt een bekken of regio opgedeeld in een regelmatig raster van rekencellen. Iedere cel kan op zijn beurt bestaan uit een begroei, onbegroei, verhard en open water gedeelte. Voor iedere rekencel wordt de waterbalans opgesteld, zoals schematisch is weergegeven in figuur 1. In deze studie wordt de waterbalans berekend voor een zomerseizoen van april tot en met september en een winterseizoen van oktober

Figuur 1: Schematische voorstelling van het WetSpaas-model met aanduiding van de verschillende componenten in de waterbalans



tot en met maart. De resultaten worden daarna gesommeerd om jaarlijkse gemiddelden te bekomen.

Voor de details van de berekeningsprocedure wordt verwezen naar Batelaan en De Smedt (2007). In deze publicatie wordt ook de calibratie van het model voor een aantal model parameters voor het Dijle, Demer en Nete bekken beschreven, hiervoor werden gekoppelde grondwater-oppevlakte waterbalansen, rivierafvoeren en literatuurgegevens gebruikt. Een validatie van de gesimuleerde grondwatervoeding is niet mogelijk daar geen meetgegevens van de grondwatervoeding beschikbaar zijn. De gevoeligheid van het model ten aanzien van een aantal parameters werd getest, de resultaten werden gebruikt in de calibratie van het model. Eén van de belangrijke gevoelige parameters is het percentage ondoorlatendheid van de urbane bodemgebruiksklassen. Door middel van remote sensing kan meer informatie betreffende deze parameter verkregen worden.

Studiegebied

Het studiegebied bestaat uit het volledige Vlaams Grondwater Model gebied en beslaat Vlaanderen, Brussel en aangrenzende delen van Nederland en Frankrijk (Meyus et al., 2004). In het studiegebied komen zeven bodemtexturen

voor (Figuur 2). In het noorden komt voornamelijk zand en lemig zand voor, in het zuiden vooral leem. 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 zijn leem en zand, respectievelijk 28% en 22%, gevolgd door lemig zand (15%), zandleem (15%), licht zandleem (9%), klei (7,5%) en zware klei (2%). Zoet water en zout water nemen samen 2% van de oppervlakte in beslag.

Figuur 3 (OC-GIS Vlaanderen, 2002) toont dat landbouw het bodemgebruik is voor meer dan de helft van het studiegebied. De belangrijkste bodemgebruikstypen zijn respectievelijk akkerbouw (50%), weiland (19%), bebouwing (12%), bos en struikgewas (10%) en water (zoet en zout) (2%).

Modelparameters

Neerslag en potentiële verdamping

De gemiddelde jaarlijkse neerslag in België voor de periode 1833–1975 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 werden omgezet naar rasterkaarten met een resolutie van 20 bij 20 meter. Omdat deze kaarten alleen de neerslag en potentiële evaporatie per jaar geven, werden deze gesplitst in een zomer en winter waarde. Dit gebeurde door de verhouding zomer ten opzichte van winter neerslag en potentiële evaporatie, zoals bekend uit tijdreeksen van Ukkel, toe te passen op de jaarkaarten en hiermede seizoensale resultaten te verkrijgen.

Windsnelheid en temperatuur

De gemiddelde windsnelheden voor het zomer- en winterseizoen zijn 3,8 m/s en 3,3 m/s, terwijl de gemiddelde temperaturen voor de zomer en de winter respectievelijk 14,1°C en 5,0°C zijn. Deze waarden worden ruimtelijk en per seizoen constant verondersteld in de modellering.

Topografie

Voor de topografische gegevens werd een Digitaal Hoogte Model (DHM) 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,

Tabel 1: Waterbalans voor Vlaanderen berekend met WetSpass

	Parameter	Min ¹	Max ¹	Gemiddeld ²	Std. Dev
Jaarlijks	Neerslag(P; mm)	674	997	756	38
	Evapotranspiratie (ET; mm)	250	758	476	50
	Grondwatervoeding (R; mm)	-126	501	222	83
	Oppervlakkige afvoer (S; mm)	1	519	59	77
Zomer	Neerslag(P; mm)	346	511	388	20
	Evapotranspiratie (ET; mm)	142	626	361	50
	Grondwatervoeding (R; mm)	-189	141	-5	47
	Oppervlakkige afvoer (S; mm)	0	251	33	36
Winter	Neerslag(P; mm)	328	486	368	19
	Evapotranspiratie (ET; mm)	91	157	115	7
	Grondwatervoeding (R; mm)	0	38	227	53
	Oppervlakkige afvoer (S; mm)	0	365	26	47

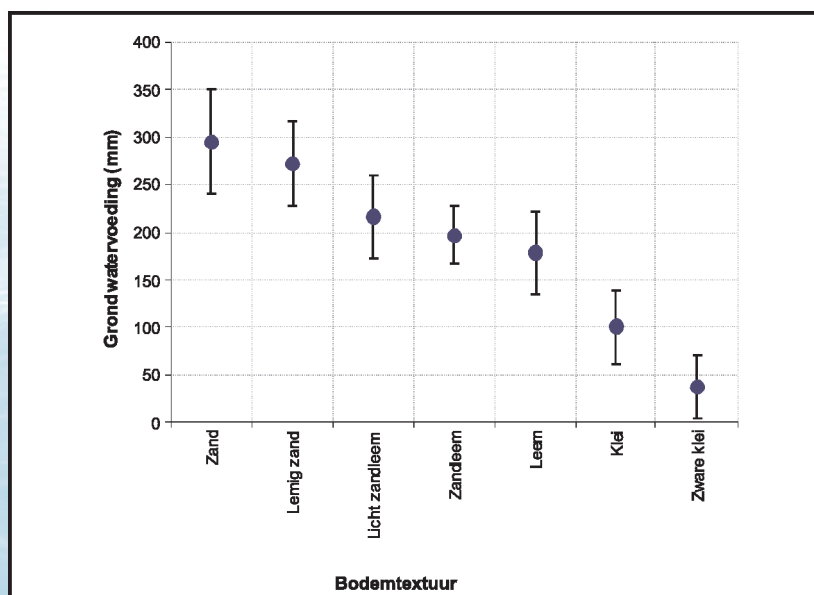
1. Volume per oppervlakte in de extreme rastercel
2. Totaal volume per oppervlakte van het volledige studiegebied

van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI). Ook voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest werd dit DHM gebruikt. Het DHM 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., 2005). De resolutie van 100 bij 100 meter van de originele rasterbestanden werd met behulp van een dichtst bijzijnde buur interpolatie in ArcView omgezet naar 50 bij 50 meter. Voor het Nederlandse deel werd het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) als basis gebruikt.

Resultaten voor Vlaanderen zonder het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

Hier worden de resultaten samengevat van de WetSpass modellering voor alleen het Vlaamse grondgebied (Tabel 1) deze vertonen nagenoeg dezelfde seizoensgebonden variatie als deze van het volledige VGM-karteergebied. Het zomersei-

Figuur 5: Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van de bodemtextuur (Vlaanderen)



zoen wordt gekarakteriseerd door een hoge evapotranspiratie (93% van de neerslag) en 9% oppervlakkige afvoer, dit resulteert in een netto negatieve gemiddelde grondwatervoeding. Deze negatieve grondwatervoeding duidt de bijdrage aan van het grondwaterreservoir tot de verdamping. 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.

De jaarlijkse grondwatervoeding vertoont een grote variatie met waarden tussen -126 en 501 mm. Het ruimtelijke patroon wordt voorgesteld in Figuur 4, de gemiddelde waarde is 222 mm en de standaard afwijking 83 mm. De gemiddelde grondwatervoeding in de zomer is negatief met een waarde van -5 mm, terwijl deze in de winter 227 mm bedraagt.

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

Invloed van de bodemtextuur

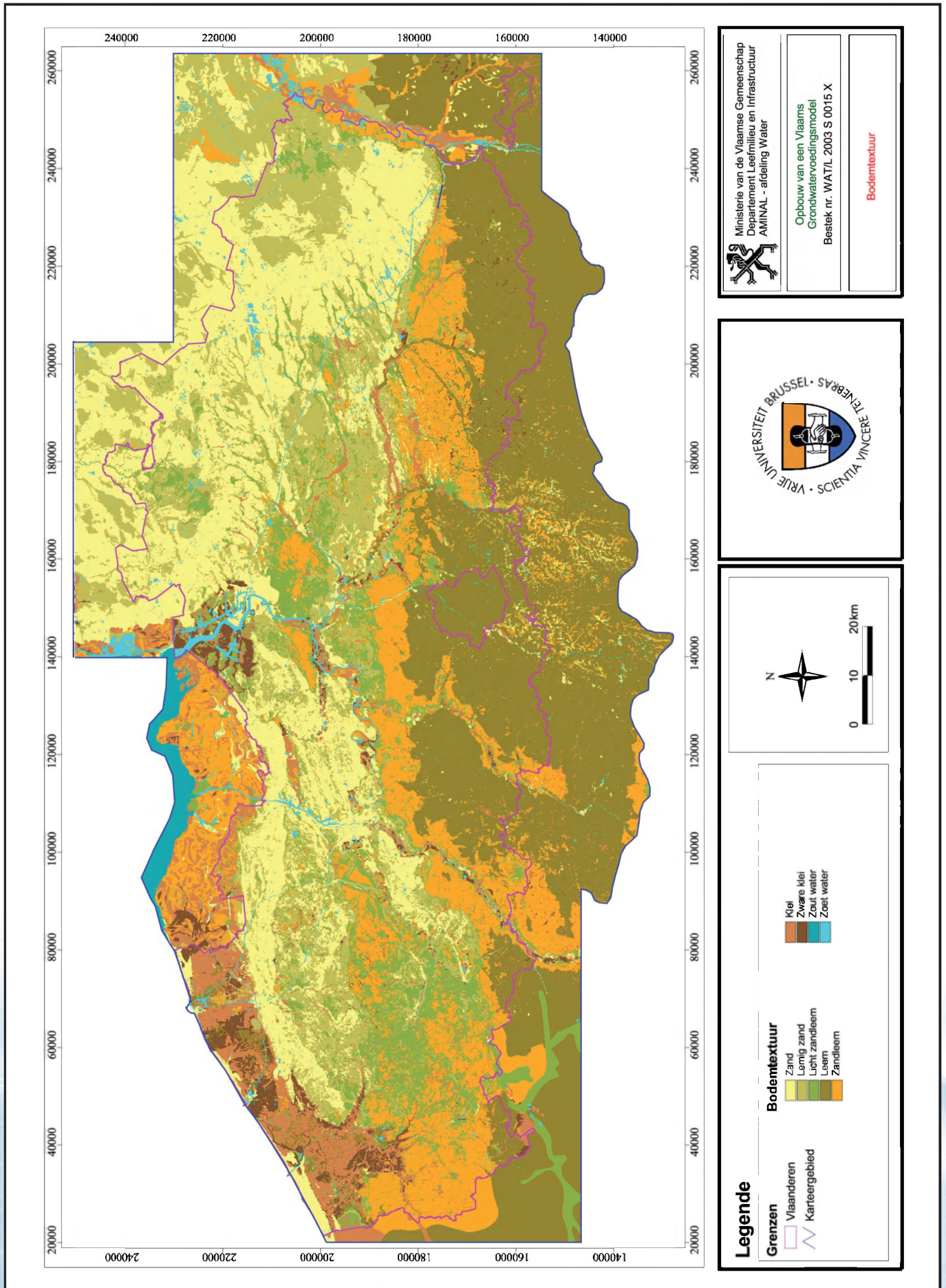
Figuur 5 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking weer in functie van de verschillende bodemtexturen aanwezig in Vlaanderen. Hieruit blijkt dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van de bodemtextuur, vooral in het geval van zand- en kleigronden. Voor de lichte bodemsoorten, 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 tussen 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 kleiner dan 50 mm.

Invloed van het landgebruiktype

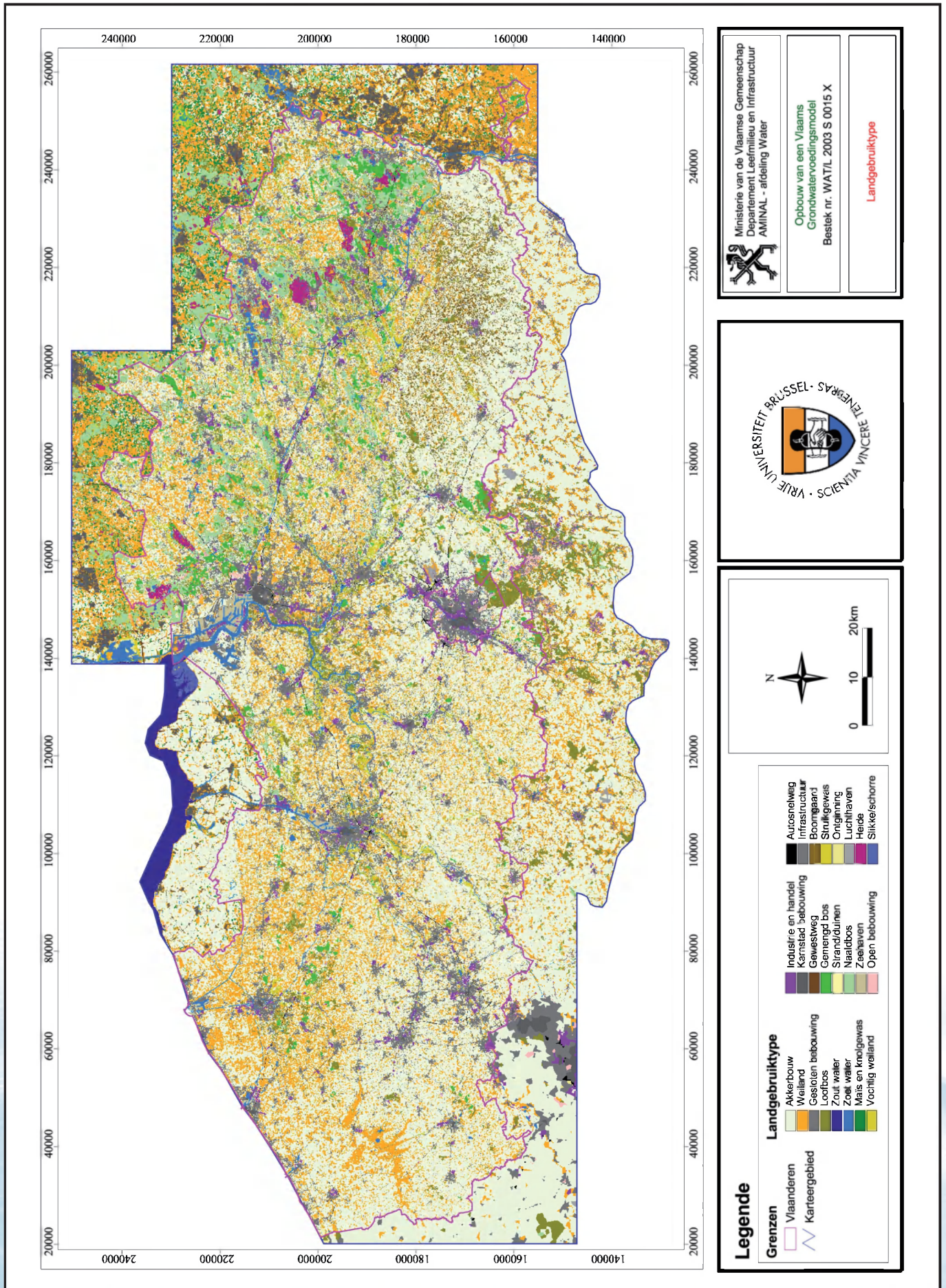
Figuur 6 geeft de gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding en standaard afwijking in functie van de verschillende landgebruiktypes in Vlaanderen. Hieruit blijkt zeer duidelijk dat de grondwatervoeding sterk afhankelijk is van het landgebruik. Voor open water wordt in het WetSpass-model aangenomen dat de grondwatervoeding nul bedraagt. De bebouwing veroorzaakt een sterke vermindering van de grondwatervoeding. Onder bebouwde gebieden worden de landgebruiktypes verstaan met geheel of gedeeltelijk ondoordringbare oppervlakken. Deze zones omvatten 15% van de oppervlakte van Vlaanderen en komen wijd verspreid voor.

De graad van ondoorlatendheid van het grondoppervlak is afhankelijk van het landgebruiktype.

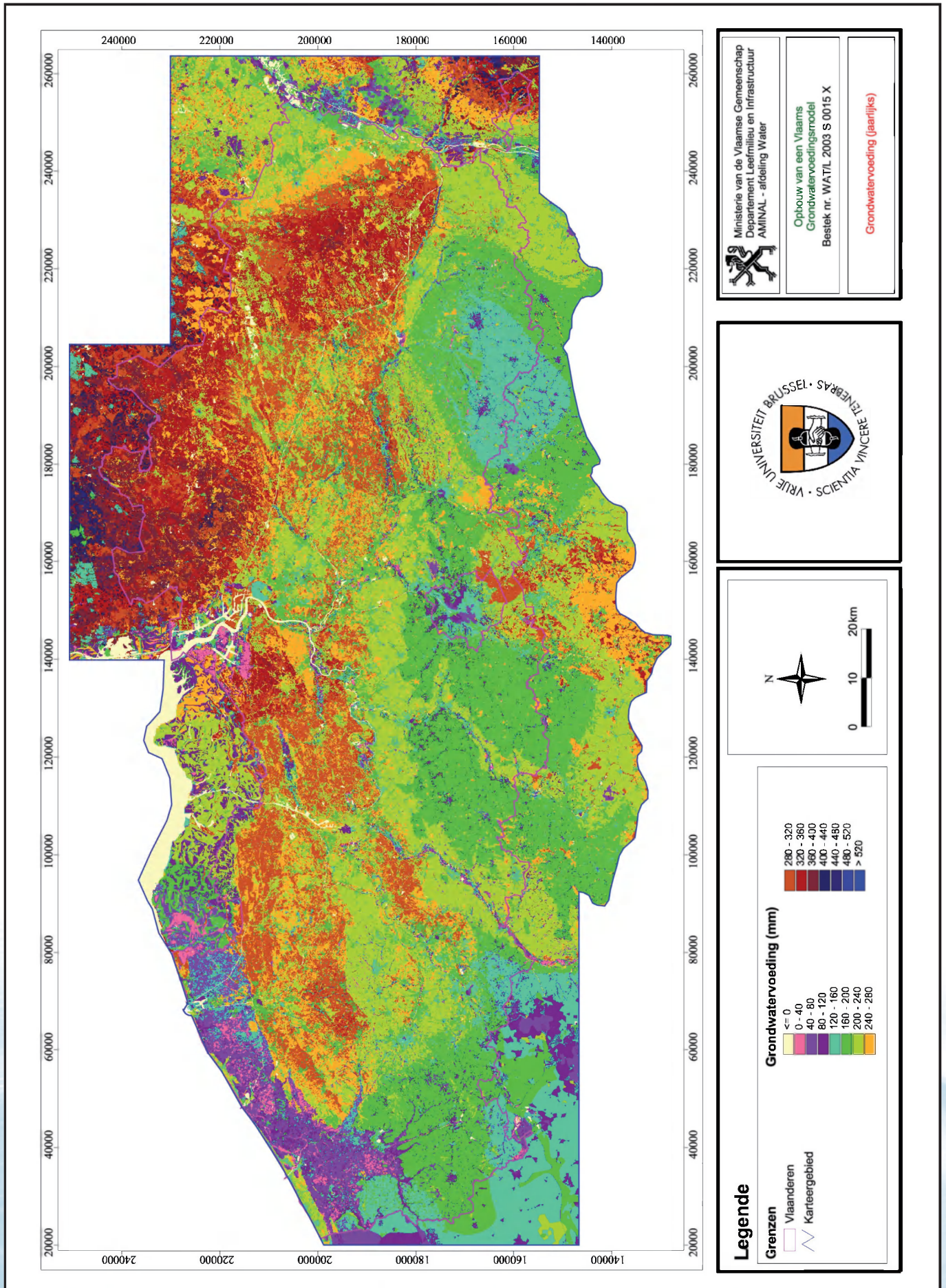
Figuur 2: Bodemtextuur van het VGM gebied



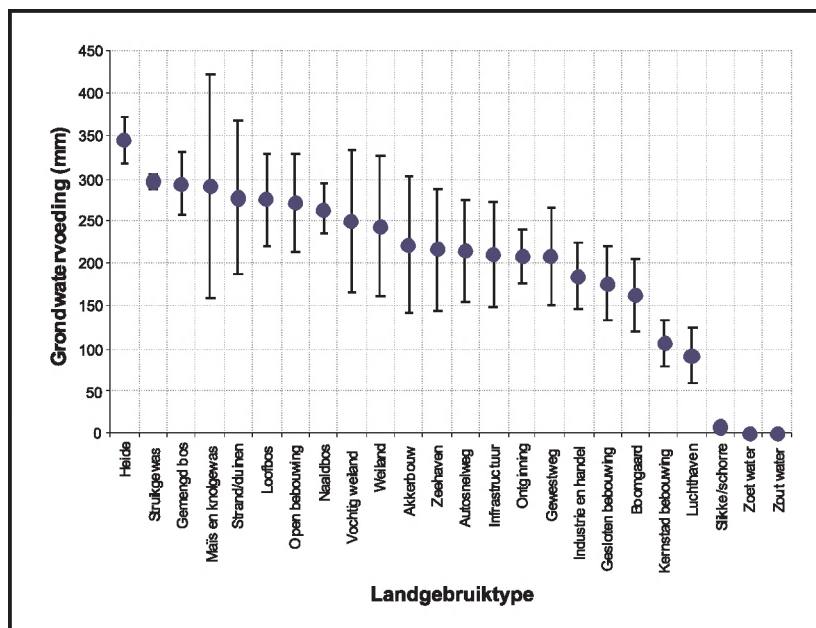
Figuur 3: Landgebruikstypen in het VGM gebied



Figuur 4: Berekende jaarlijkse grondwatervoeding



Figuur 6: Gemiddelde jaarlijkse grondwatervoeding in functie van het landgebruiktype (Vlaanderen)



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 van deze landgebruiktypes is de invloed van de bodemtextuur en de bodemhelling op de grondwatervoeding bij deze types geringer.

Het landelijke gebied omvat verschillende landgebruiktypes en neemt 73% 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. 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.

Conclusies

De grondwatervoeding blijkt op de schaal van Vlaanderen zeer sterk regionaal te variëren, de variatie op schaal van een stroomsysteem is echter veel geringer. Het kennen van deze variaties is van groot belang voor grondwaterbeheer en ver-

minding van onzekerheden in de modellering van grondwaterstroming.

Grondwatervoeding blijkt sterk beïnvloed te worden door de bodemtextuur en bedekking, de ruimtelijke correlatie is echter relatief laag. Dit wijst er op dat simpele verbanden tussen bodemtextuur, bedekking en grondwatervoeding niet voldoende zijn voor een adequate beschrijving van de grondwatervoeding.

De analyse van grondwatervoeding per bodemtextuur-bedekking toont positieve en negatieve combinaties in vergelijking tot de gemiddelde grondwatervoeding die verwacht zou kunnen worden op basis van het voorkomen van een combinatie. Deze analyse leidt tot de mogelijkheid van optimalisatie van de grondwatervoeding via aanpassing van het landgebruik. Ook laat deze modellering van de grondwatervoeding toe de impact van klimaatverandering op de grondwatervoeding te bepalen.

Referenties

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., DE SMEDT, F. en TRIEST, L. (2003), Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping, groundwater modelling and impact analysis of land-use change. *J. Hydrol.* 275/1-2, p. 86-108.

BATELAAN, O. en DE SMEDT, F. (2007), GIS-based recharge estimation by coupling surface-subsurface water balances. *Journal of Hydrology*, 337(3-4), 337-355, doi: 10.1016/j.jhydrol.2007.02.001.

COOLS, J., MEYUS, Y., WOLDEAMLAK, S., BATELAAN, O. en DE SMEDT, F. (2006), Large-scale GIS-based hydrogeological modeling of Flanders: a tool for groundwater management. *Environmental Geology*, vol. 50, no 8, pp. 1201-1209.

DUPRIEZ, G.L. en SNEYERS, R. (1978), Les normales du réseau pluviométrique belge. Publ. I.R.M./K.M.I., série A, nr. 101, 23 pag. + 5 bijlagen.

DUPRIEZ, G.L. en SNEYERS, R. (1979), Les nouvelles cartes pluviométriques de la Belgique – De nieuwe pluviometrische kaarten van België. Publ. I.R.M./K.M.I., série A, nr. 103, 17 pag.

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

MEYUS, Y., DE SMET, D., DE SMEDT, F., WALRAEVENS, K., BATELAAN, O., VAN CAMP, M. (2000), Hydrogeological coding of the subsurface of Flanders (HCOV) (in Dutch). @WEL 8 – Water, pp. 1-13.

MEYUS, Y., ADYNS, D., WOLDEAMLAK, S.T., BATELAAN, O., DE SMEDT, F. (2004), Opbouw van een Vlaams Grondwatervoedingsmodel. Eindrapport. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Water, 81 p + CD.

MEYUS, Y., COOLS, J., ADYNS, D., ZELEKE, S.Y., WOLDEAMLAK, S.T., BATELAAN, O., DE SMEDT, F. (2005), Hydrogeologische detailstudie van de ondergrond in Vlaanderen. Eindrapport. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Water, 107 p + bijlagen.

OC-GIS VLAANDEREN (2002), Rasterversie van het Bodembedekkings- en Bodemgebruiksbestand, opname 2001, VLM/OC (GIS-Vlaanderen).

SNEYERS, R. en VANDIEPENBEECK, M. (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.

VAN RANST, E. en SYS, C. (2000), Eenduidige legende voor de digitale bodemkaart van Vlaanderen (Schaal 1:20 000). Laboratorium voor Bodemkunde, Universiteit Gent, Gent.

*O. Batelaan^{1,2},
Y. Meyus¹,
F. De Smedt¹*

*¹ Vakgroep Hydrologie en Waterbouwkunde
Vrije Universiteit Brussel
Pleinlaan 2, 1050 Brussel
Tel 02-6293039
Fax 02-6293022
Email: batelaan@vub.ac.be*

*² Dept. Geografie-Geologie, K.U.Leuven
Celestijnenlaan 200e - bus 2410,
3001 Heverlee*