



Ontwerp van ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek

Deelrapport

Hydrologische systeemmodellering

Onderzoekopdracht MINA/105/9803

**Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap
Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer
Afdeling Natuur**

ir. T. Van Daele

Drs. O. Batelaan

Prof. Dr. ir. F. De Smedt

Vakgroep hydrologie en waterbouwkunde

Vrije Universiteit Brussel

Pleinlaan 2

1050 Brussel

Maart 2000

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
2	Beschrijving	8
2.1	Situering	8
2.2	Geologie	10
2.3	Topografie	15
2.4	Peilgegevens	19
3	Grondwatermodel	23
3.1	Inleiding	23
3.2	Beschrijving van het model	24
3.3	Hydrogeologisch concept	24
3.4	Randvoorwaarden	27
3.5	Grondwatervoeding	28
3.6	Grondwaterwinningen	30
3.7	Beken en drainagestelsel	32
3.8	Modelverificatie	34
4	Resultaten	38
4.1	Stijghoogten	38
4.2	Kwel en infiltratiegebieden	38
4.3	Grondwaterdiepte	45
5	Conclusies en aanbevelingen	52
	Referenties	53
	Bijlage 1: Lijst met grondwaterwinningen in het modelgebied	55
	Bijlage 2: Tijdreeksen van de peilbuizen in het modelgebied	59

Lijst met figuren

<i>Figuur 1 : Situering van het stroomgebied van de Zwarte Beek</i>	9
<i>Figuur 2: Stroomgebied van de Zwarte Beek tot aan de monding in de Demer bij Diest en de belangrijkste waterlopen. (Onderbroken lijn = grens van het studiegebied voor de ecosysteemvisie)</i>	9
<i>Figuur 3: Geologisch Noord-Zuid profiel van het studiegebied.(naar kaartblad 25 profiel 3, Geologische kaart van België, Vlaams Gewest). (Kw = Kwartair; BbGe en BbHo de Formatie van Bolderberg respectievelijk het lid van Gelinden en het lid van Houthalen; Di = Formatie van Diest; Vo = Formatie van Voort; Eg = Formatie van Eigenbilzen; Bm = Formatie van Boom).</i>	11
<i>Figuur 4: Dagzomende formaties onder de kwartaire deklaag</i>	14
<i>Figuur 5: Profiel van de hoogteligging van de dalbodem in de vallei</i>	16
<i>Figuur 6: Grenzen van de fotogrammetrische metingen (vette lijn)</i>	17
<i>Figuur 7: Topografie Zwarte Beek. Combinatie van topografische kaarten (1/10.000) en het DTM van het NGI</i>	18
<i>Figuur 8: Peilbuislocaties</i>	22
<i>Figuur 9: Hoogteligging van de ondergrens modellaag 1 (mTAW)</i>	26
<i>Figuur 10: Hoogteligging ondergrens modellaag 2 (mTAW). Top van Formatie van Boom</i>	26
<i>Figuur 11: Randvoorwaarden, modelgrens en grens bekken Zwarte Beek. (Onderbroken lijn = no flow cellen; volle lijn = constant head cellen)</i>	27
<i>Figuur 12: Gedistribueerde grondwatervoeding (mm/jaar)</i>	29
<i>Figuur 13: Grondwaterwinningen in het modelgebied van de Zwarte Beek</i>	31
<i>Figuur 14: Aanpassingen van de drainagediepte op basis van dwarsprofielen</i>	33
<i>Figuur 15: Berekende grondwaterpeilen t.o.v. de gemeten grondwaterpeilen (mTAW)</i>	34
<i>Figuur 16: Locatie van het afvoer meetstation in de Zwarte Beek</i>	35
<i>Figuur 17: Gemiddelde maandelijkse basisafvoer en oppervlakkige afvoer (m³/sec)</i>	36
<i>Figuur 18: Debietreeks van de Zwarte Beek ter hoogte van het meetpunt 878/2 te Lummen</i>	37
<i>Figuur 19: Gemodelleerde stijghoogte (mTAW)</i>	39
<i>Figuur 20: Gemodelleerde kwelgebieden voor heel de vallei van de Zwarte Beek</i>	40
<i>Figuur 21: Grondwatervoedingsgebieden en stroomtijden in het noordoostelijke deel van het studiegebied</i>	41
<i>Figuur 22: Grondwatervoedingsgebieden en stroomtijden in het zuidwestelijke deel van het studiegebied</i>	42
<i>Figuur 23: Verdeling van de kwelintensiteiten. Verschil tussen de twee onderscheiden zones</i>	43
<i>Figuur 24: Cumulatief percentage van het grondwater in de kwelgebieden in functie van de stroomtijd. Verschil tussen het noordoostelijke studiegebied en het zuidwestelijke studiegebied</i>	44
<i>Figuur 25: Verdeling van de gemiddelde grondwaterstand</i>	45
<i>Figuur 26: Gemiddelde diepte van het grondwater vanaf het maaiveld, huidige situatie (m)</i>	47
<i>Figuur 27: Gemiddelde grondwaterdiepte per perceel, huidige situatie (m)</i>	48
<i>Figuur 28: Te hoge en te lage gemodelleerde grondwaterstand op basis van het vegetatietype</i>	49

<i>Figuur 29: Gemiddelde diepte van het grondwater vanaf het maaiveld, maximaal scenario (m).</i>	<i>50</i>
<i>Figuur 30: Invloed van de grondwaterwinningen op de potentiële situatie.....</i>	<i>51</i>

Lijst met tabellen

<i>Tabel 1: Peilbuizen van het Instituut voor Natuurbehoud.</i>	20
<i>Tabel 2: Peilbuislocaties van de Lisec studie (Berten et al., 1996).</i>	20
<i>Tabel 3: Peilbuizen nabij Zelem (Natuurreservaten v.z.w.)</i>	20
<i>Tabel 4: Peilbuizen van AMINAL - afdeling water. (DAWACO, primair en secundair meetnet)</i>	21
<i>Tabel 5: Hydrogeologische indeling van het studiegebied.</i>	25
<i>Tabel 6: Grondwaterwinningen in het studiegebied > 1 miljoen m³/jaar (gemiddelde van 1994 – 1996).</i>	30
<i>Tabel 7 Karakteristieken van het afvoer meetstation.</i>	35

1 Inleiding

Dit rapport is de verslaggeving van een deelstudie van een ecosysteemvisie onderzoek dat kadert in het Milieubeleidsplan 1997 – 2001 van de Vlaamse overheid. In thema 13: “Verlies aan biodiversiteit” wordt er voorzien om, voor fysisch-geografisch ingedeelde gebieden (vb. rivierbekkens), visies op de natuurlijke systemen te ontwikkelen. Dit onderzoek maakt deel uit van actie 105: “Ecosysteemvisies uitwerken voor bepaalde rivier- en beekvalleien en voor de natuurlijke structuur in functie van de beheersplannen”.

Twee ecosysteemvisies hebben bij wijze van proefprojecten reeds aanvang genomen. Het eerste ecosysteemvisie onderzoek werd gestart aan de KULeuven en betreft het benedenstroomse gedeelte van de Demer. Het tweede ecosysteemvisie onderzoek wordt uitgevoerd door het departement Biologie van de Universitaire Instelling Antwerpen (U.I.A.) en omvat het rivierbekken van de Zwarte Beek, een zijrivier van de Demer. De deelstudie die in dit rapportverslag wordt voorgesteld is uitgevoerd in onderaanneming voor het U.I.A. en omvat de hydrologische modellering van het stroomgebied van de vallei van de Zwarte Beek.

Het doel van de ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek is binnen het beekdal van de vallei de plaatsen aan te geven waar bepaalde typen natuur behouden kunnen blijven en/of tot ontwikkeling kunnen komen en waar ruimte dient gecreëerd te worden voor bepaalde soorten. Er wordt uitgegaan van de huidige toestand en van een referentietoestand (veelal gebaseerd op het verleden). De studie moet een aantal streefbeelden formuleren die, rekening houdend met de beleidsmatige randvoorwaarden en de potenties voor natuur, aangeven waar en welke natuurtypen ontwikkeld moeten worden. Deze natuurtypen zijn een combinatie van biotische en abiotische kenmerken op een begrensde ruimtelijke schaal. Ze worden enerzijds beschreven aan de hand van een bepaalde soortensamenstelling en de structuur en anderzijds aan de grootte en het voorkomen van de milieurandvoorwaarden. De uitwerking van de ecosysteemvisie en de streefbeelden moet uiteindelijk leiden tot een aantal scenario's voor een toekomstige situatie m.b.t. het behoud, bescherming, herstel, ontwikkeling en beheer van de natuur en het natuurlijk milieu. Hierdoor zal een instrument goboden worden voor het toekomstige natuurbeleid in de vallei van de Zwarte Beek.

In een vallei-ecosysteem zoals dat van de Zwarte Beek worden de potenties voor natuur in belangrijke mate bepaald door de hydrologische condities. Deze condities zijn een samenspel van een regionaal hydrologisch systeem en meer lokale manipulaties door de mens (de effecten van drainagegrachten, stuwen, grondwateronttrekkingen, enz.). Het doel van deze deelstudie is dan ook door middel van een grondwatermodel een inzicht te verwerven in het gehele hydrologisch systeem van de vallei.

Aan de hand van dit grondwatermodel is het mogelijk de kwel- en infiltratiegebieden te situeren, de grondwaterstand en de stroomtijden te berekenen. Samen vormen deze een beeld van het globale hydrologisch systeem in de vallei. Op lokale schaal beïnvloeden drainage grachten, stuwen en ontrekkingen de hydrologische situatie. De effecten van wijzigingen in deze situatie, door het ophogen of uitdiepen van de drainage grachten of het stuwen van oppervlakte water, kunnen met het model voorspeld worden.

De gemodelleerde gemiddelde grondwaterstand voor de percelen dient als typerende abiotische parameter voor de vegetatietypes die door het U.I.A. op perceelsniveau worden bepaald. Aan de hand van deze koppeling kan voor elk vegetatietype een gemiddeld grondwaterpeil worden berekend. Met deze kennis is het mogelijk om bij de uitwerking van specifieke scenario's de effecten van een gewijzigde grondwaterstand op het te verwachten vegetatietype te voorspellen.

In hoofdstuk 2 worden de verschillende belangrijke gegevensbronnen beschreven die nodig zijn voor de grondwatermodellering. Er volgt een beschrijving van de geologie en hydrogeologie. In hoofdstuk 3 wordt de ontwikkeling van het grondwatermodel besproken, hoe de werkelijke situatie wordt geschematiseerd in een modelconcept. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de grondwatermodellering besproken en worden de resultaten toegelicht. Hoofdstuk 5 is een bondige samenvatting met daaraan een aantal conclusies gekoppeld.

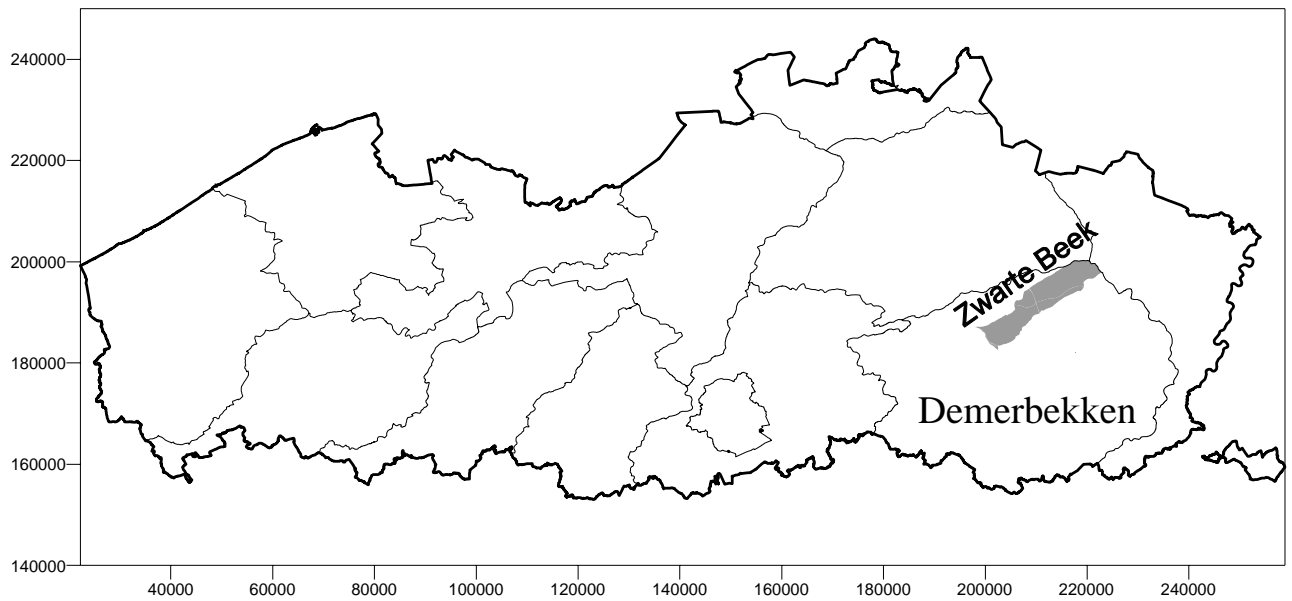
2 Beschrijving

2.1 Situering

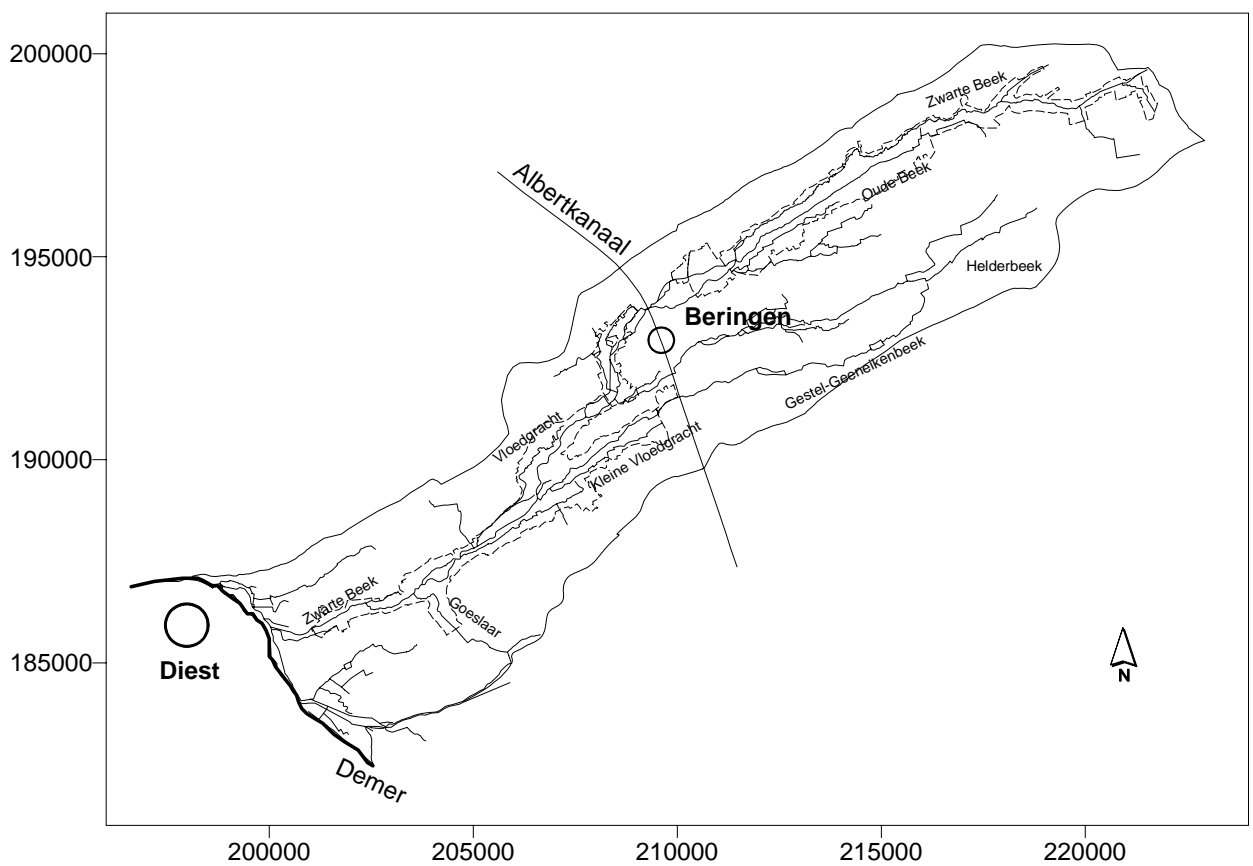
Het stroomgebied van de Zwarte Beek (*Figuur 1*) bevindt zich in de provincie Limburg en behoort tot het noordoostelijke deel van het bekken van de Beneden-Demer. Beide maken ze deel uit van het meest oostelijke deel van het Scheldebekken. Het stroomgebied wordt in het Noorden begrenst door het bekken van de Nete en in het zuiden door de het bekken van de Mangelbeek. De oostelijke deel van het stroomgebied wordt begrensd door de het Maasbekken.

In *Figuur 2* wordt het ganse stroomgebied van de Zwarte Beek van de oorsprong tot aan de monding voorgesteld. Het langgerekte stroomgebied is ongeveer 144 km² groot. Het brongebied van de Zwarte Beek bevindt zich op de westelijke flank van het Kempisch plateau. De beek ontspringt op een hoogte van ongeveer 70m (TAW) zeer dichtbij de waterscheidingslijn tussen het Scheldebekken en het Maasbekken. De rivier snijdt daar vrij diep in het Kempisch Plateau met een smalle en vrij steile vallei. Stroomafwaarts wordt de vallei veel breder. Ter hoogte van Beringen doorkruist het Albertkanaal het gebied. Verder stroomafwaarts van wordt de vallei gekenmerkt door de begrenzing met hoge Diestiaanruggen. Nabij Diest mondt de Zwarte Beek op een hoogte van om en bij 20m (TAW) uiteindelijk uit in de Demer.

Naast de Zwarte Beek zelf zijn de Helderbeek en de Gestel-Geeneikenbeek nog belangrijke waterlopen in het stroomgebied. Ze behoren echter niet tot het studiegebied van de ecosysteemvisie dat beperkt is tot de dalbodem van de rivier de Zwarte Beek zelf. Naast de loop van de Zwarte Beek die meestal iets buiten de dalbodem gelegen is, komt er over vrijwel de hele lengte van de vallei een drainagegracht voor (veelal de Oude Beek of Vloedgracht genoemd) in het laagste deel van de dalbodem.



Figuur 1 : Situering van het stroomgebied van de Zwarte Beek



Figuur 2: Stroomgebied van de Zwarte Beek tot aan de monding in de Demer bij Diest en de belangrijkste waterlopen. (Onderbroken lijn = grens van het studiegebied voor de ecosysteemvisie)

2.2 Geologie

Het studiegebied bestrijkt een groot deel van het nieuwe geologische tertiaire kaartblad 25 Hasselt (Matthijs, in voorbereiding) en het uiterst zuidelijke deel van kaartblad 17 Mol (Gullentops & Vandenberghe, 1993).

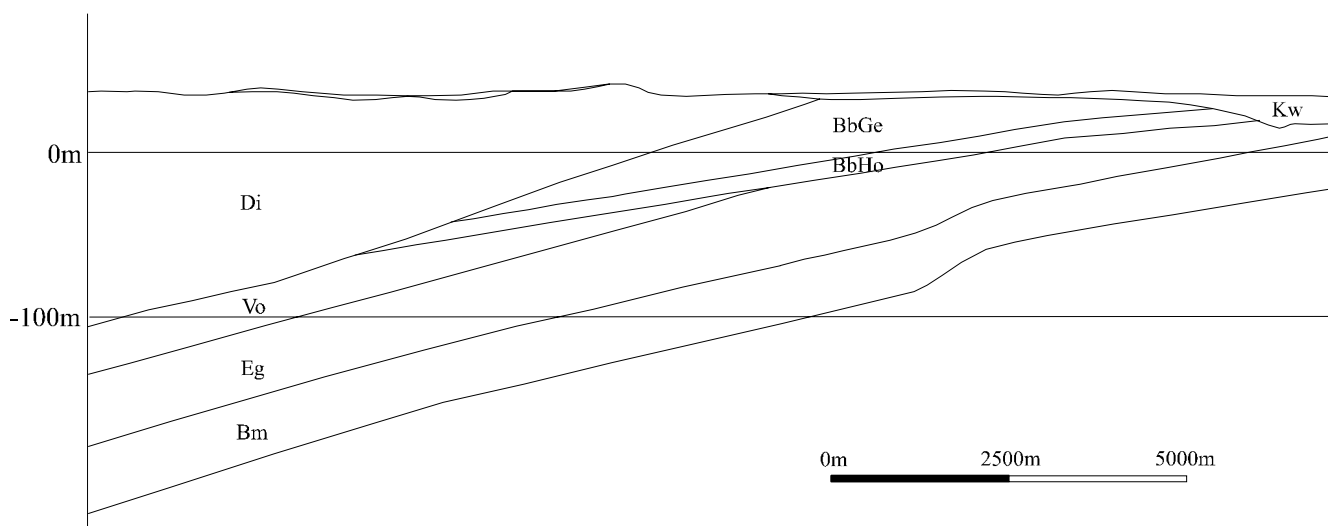
De ondergrond van het stroomgebied van de Zwarte Beek behoort tot het bekken van de Kempen. Dit bekken werd door een subsidentie opgevuld met een dik sediment pakket. De dikte van dit pakket neemt sterk toe in noordoostelijke richting. Door de aanwezigheid van de centrale slenk wordt dit gebied gekenmerkt door een aantal parallelle breuken met een zuidzuidoost - noordnoordwest richting. De verstoringen als gevolg van de breukwerking zijn in alle lagen terug te vinden (*Figuur 4*).

Ter hoogte van de Zwarte Beek dagzoomt onder het kwartair uitsluitend de Formatie van Diest. In zuidelijke richting dagzomen achtereenvolgens de Formaties van Bolderberg, Eigenbilzen en Boom.

Van jong naar oud komen de volgende geologische formaties in de ondergrond voor (*Figuur 3*):

- Kwartair
- Formatie van Diest
- Formatie van Bolderberg
- Formatie van Voort
- Formatie van Eigenbilzen
- Formatie van Boom

Onder de Formatie van Boom treft men dieper nog de Formaties van Bilzen, Sint-Huibrechts-Hern, Tienen, Hannut, Heers en de krijt formaties van Houthem en Maastricht aan. De Formatie van Boom is een zeer slecht doorlatend pakket en wordt voor deze studie als de basis van het hydrogeologisch model gebruikt. Er wordt verondersteld dat het hydrologische contact van deze oudere en diepere lagen met de freatische aquifers zeer gering is en niet van belang voor deze studie. Ze zullen daarom verder niet besproken worden.



Figuur 3: Geologisch Noord-Zuid profiel van het studiegebied. (naar kaartblad 25 profiel 3, Geologische kaart van België, Vlaams Gewest). (Kw = Kwartair; BbGe en BbHo de Formatie van Bolderberg respectievelijk het lid van Gelinden en het lid van Houthalen; Di = Formatie van Diest; Vo = Formatie van Voort; Eg = Formatie van Eigenbilzen; Bm = Formatie van Boom).

2.2.1 Het Kwartair

Het Kwartair bestaat uit alluviale en eolische afzettingen. De Zwarte Beek ontspringt op het Kempisch plateau dat gevormd werd door de afzetting van grote hoeveelheden puin vanuit de Maasvallei tijdens de ijstijden. De zanden zijn gemiddeld 3 tot 10 meter dik. Meer naar het westen wordt het Tertiair bedekt door niveo-eolische dekzanden. Deze dekzanden zijn erg dun en ontbreken op tal van plaatsen. Plaatselijk komen kleine landduinen voor ontstaan uit verstuiwingen van de dekzanden. De gemiddelde dikte van de dekzanden bedraagt minder dan 2 m. In de valleien komt alluvium voor met een erg variërende dikte van 3 tot 6m. In de beekdalen heeft zich een veenpakket gevormd dat tot enkele meter dik kan zijn.

Formatie van Kasterlee

De Formatie van Kasterlee bestaat uit zanden met kleilenzen. Volgens de nieuwe geologische kaarten komen deze zanden uitsluitend ten noorden van het studiegebied voor. Enkele boorbeschrijvingen van het archief van de Belgisch Geologische Dienst (B.G.D.) geven echter aan dat deze Formatie wel voorkomt in het stroomgebied, toch minstens lokaal. Ook een studie van van Autenboer (1989) aan 't Fonteintje te Koersel geeft aan dat de Formatie daar verscheidene meters dik kan zijn. De laterale verspreiding van de Formatie van Kasterlee aan de zuidelijke grens is onvoldoende gekend. Vermits de formatie slechts lokaal voorkomt en de kleiige laagjes dus enkel plaatselijk de onderliggende formaties kunnen afsluiten is het belang van deze formatie voor de regionale hydrologische modellering vermoedelijk vrij beperkt.

2.2.2 Formatie van Diest

De Formatie van Diest dateert uit het boven Mioceen en bestaat uit glauconiethoudende middelmatige tot grove kwartzanden. De formatie wordt ingedeeld in twee eenheden. Het bovenste deel wordt de zanden van Diest genoemd. Deze zanden zijn vrij grof, sterk glauconiethoudend en bevatten vrij veel ijzerzandsteenbanken. Onderaan bevinden zich de zanden van Dessel. Dit zijn fijnere en homogene zanden. Ten zuiden van de vallei van de Zwarte Beek wigt de formatie volledig uit en dagzoomt de Formatie van Bolderberg.

Het Tertiair werd gekenmerkt door een aantal zeetrans- en regressies. Hierdoor ontstonden erosiegeulen die later weer door sedimenten werden opgevuld. In die geulen ligt de Formatie van Diest soms rechtstreeks op de Boomse klei. Door deze geulen is de basis en de dikte van de formatie erg variabel, maar gemiddeld neemt de dikte toe naar het noordoosten. Vermits de formatie in dit gebied dagzoomt bepaald ze in sterke mate het topografisch reliëf. Op de toppen werd het glauconiet omgezet in Limoniet dat meer tegen erosie bestand is. Tussen Diest en Beringen zijn hierdoor langgerekte Diestiaan heuvels of ruggen gevormd die typisch zijn voor deze streek.

2.2.3 Formatie van Bolderberg

De Formatie van Bolderberg dateert uit het Oligoceen en wordt ingedeeld in twee leden. Het Lid van Genk is van continentale oorsprong en bestaat uit fijne kwartzanden. Het Lid van Houthalen is van mariene oorsprong en bestaat uit fijnere kleiige zanden. Door erosie ontbreekt de formatie ter hoogte van de geul met de zanden van Diest. De formatie dagzoomt in het zuiden en heeft een helling naar het noorden. De dikte neemt sterk toe naar het oosten tot meer dan 50 m.

2.2.4 Formatie van Voort

De Formatie van Voort is van mariene oorsprong en dateert uit het Oligoceen. De formatie bevat veel glauconiethoudende kleiige sedimenten. De overgang naar de afzettingen van onderliggende formaties is vrij geleidelijk. Naar het oosten wordt de formatie erg verstoord door de breukwerking en komt ze verder niet meer voor.

2.2.5 Formatie van Eigenbilzen

De zanden van Eigenbilzen zijn eveneens erg glauconietrijk en bestaan uit kleiige en siltige fijne zanden. De overgang naar de Formatie van Boom is vrij geleidelijk waardoor de grens niet overal even duidelijk aan te duiden is.

2.2.6 Formatie van Boom

De Formatie van Boom bestaat uit een zeer slecht doorlatende kleilaag. Het kleipakket is homogeen en neemt geleidelijk aan toe in dikte naar het oosten. De Formatie van Boom dagzoomt een twintigtal kilometer ten zuiden van het studiegebied. In zuidelijke richting wordt de formatie ook iets zandiger.

***Figuur 4:** Dagzomende formaties onder de kwartaire deklaag.*

2.3 Topografie

Gezien een nauwkeurige modellering van de freatische waterlaag beoogd wordt is een verfijnd DTM (Digitaal Terrein Model) binnen het studiegebied vereist. De hoogtelijnen van de topografische kaarten (schaal 1/10.000), die geheel of gedeeltelijk het stroomgebied van de Zwarte Beek omvatten, werden gedigitaliseerd (Figuur 3). Buiten het studiegebied volstaat een minder accurate topografie. Hiervoor werd gebruik gemaakt van het DTM van het NGI (Nationaal Geografisch Instituut). Dit DTM op zich is niet onmiddellijk bruikbaar voor een grondwatermodellering. De nauwkeurigheid is onvoldoende en er werden aanzienlijke horizontale en verticale verschuivingen t.o.v. de werkelijke topografie vastgesteld. De voornaamste beperking is het discrete verticale interval van één meter. Om hieruit een (voor grondwatermodellering) bruikbaar DTM af te leiden was een smoothing (moving window) nodig. Daarna werd het DTM omgezet in een point file. Daar waar er kleine discrepanties waren tussen de gedigitaliseerde hoogtelijnen van de topografische kaarten en het DTM van het NGI werden deze punten aangepast. De combinatie van beide files werd uiteindelijk gebruikt om met de Topogridtool van Arc-Info een definitief grid te creëren.

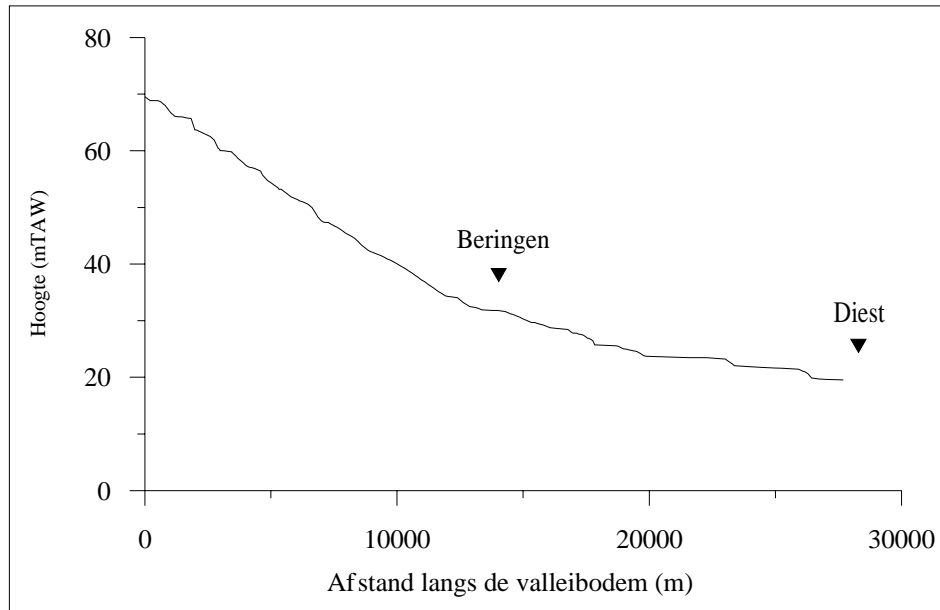
Op het DTM (*Figuur 7*) is duidelijk de uitloper van het Kempisch plateau te zien, met de talrijke kleine valleien die er diep in insnijden. In dit bovenstrooms gedeelte zijn de vallei hellingen vrij steil (tot 3%), voorbij het plateau is de vallei veel breder en zijn de hellingen veel geringer. Verder naar het zuidwesten bepalen de langgerekte noordoost - zuidwest gerichte Diestiaanheuvels waterscheiding van het stroomgebied. Deze heuvels zijn erg steil met hellingen van meer dan 10%. Eén mijnterril is duidelijk zichtbaar en bevindt zich net op de noordelijke waterscheidingslijn.

In *Figuur 5* wordt in een doorsnede de hoogte van het diepste deel van het beekdal van bron tot monding weergegeven. De gemiddelde helling stroomopwaarts van Beringen bedraagt 0,3%. Stroomafwaarts van Beringen en het Albertkanaal is dit nog slechts een derde (0,09%).

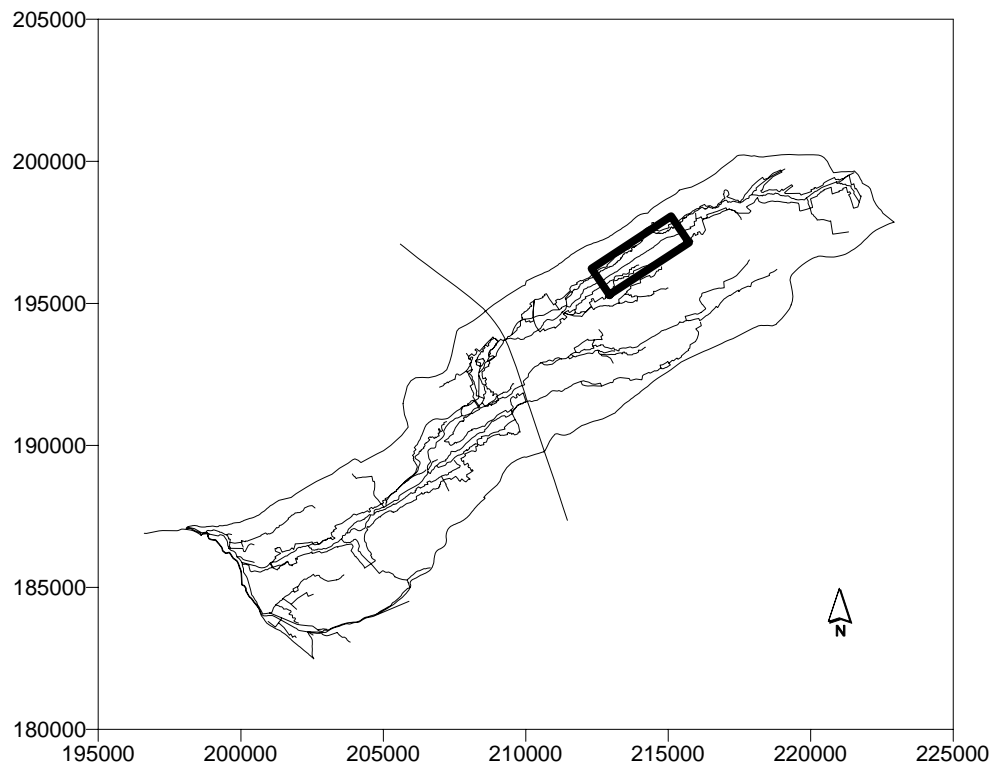
Het mijnverzakkingsgebied

Een bijkomende probleem m.b.t. de topografie zijn de verzakkingen rondom de mijnen van Beringen, Zolder en Houthalen. Als gevolg van de steenkoolontginningen hebben zich in de omgeving van de mijnen verscheidene verzakkingen voorgedaan. De vallei van de Zwarte Beek ligt gedeeltelijk in het gebied dat omschreven wordt als het westelijk mijnverzakkingsgebied Heusden-Zolder. De hoogtelijnen van de topografische kaarten zijn gebaseerd op de eerste en gedeeltelijk op de tweede algemene waterpassing (TAW). Sindsdien hebben de verzakkingen zich verder voortgezet waardoor deze kaarten niet geheel correct zijn. Uit de berekende mijnverzakkingen (I.W.M., 1997) blijkt dat de mijnverzakkingen in de vallei van de Zwarte Beek zich voornamelijk stroomopwaarts van Beringen voordoen. Meestal is de verzakking minder dan 1 m, lokaal tot 3 m. Fotogrammetrische metingen kwamen recent (1999) beschikbaar voor een klein deel van de vallei. De nauwkeurigheid van deze metingen is zeer hoog, maar de oppervlakte van het gebied is zeer beperkt (*Figuur 6*). Daardoor was het nog niet mogelijk deze gegevens mee te betrekken in de

DTM. Indien in de toekomst meer fotogrammetrische gegevens beschikbaar komen zouden die wel gebruikt kunnen worden bij het inzoomen op een specifiek deel van het studiegebied. Bij de berekening van het grondwaterpeil voor de percelen in het mijnverzakkingsgebied werd op een indirecte wijze rekening gehouden met dit fenomeen. Om de stroming van de waterlopen te behouden zijn de beddingen stroomafwaarts en stroomopwaarts van de verzakkingen dieper ingesneden. Op basis van veldwaarnemingen en kaartmateriaal werd die diepte ingevoerd (paragraaf 3.7). De mogelijke verlaging van het gemiddeld peil in de percelen nabij deze uitgediepte grachten kan hierdoor met het model berekend worden.



Figuur 5: *Profiel van de hoogteligging van de dalbodem in de vallei.*



Figuur 6: Grenzen van de fotogrammetrische metingen (vette lijn).

Figuur 7: Topografie Zwarte Beek. Combinatie van topografische kaarten (1/10.000) en het DTM van het NGI.

2.4 Peilgegevens

De historische peilgegevens in de omgeving en in de vallei van de Zwarte Beek werden zoveel mogelijk geïventariseerd. In Figuur 8 worden de locaties van de meetpunten weergegeven. De grote meerderheid van deze meetpunten heeft zeer ondiepe filters, tot maximaal 5 m diep. De peilbuizen in de vallei van de Zwarte Beek zelf zijn sterk geclusterd in raaien en in de verschillende natuurgebieden.

- De meeste peilbuizen staan in het natuurgebied ‘Zwarte Beek’ en werden door het Instituut voor Natuurbehoud geplaatst. De tijdreeksen van deze peilbuizen zijn maximaal tot 9 jaar lang. In totaal zijn er 79 peilbuizen met meetreeksen beschikbaar, maar omdat de meetpunten erg geconcentreerd staan op een beperkte oppervlakte werden voor deze studie tien representatieve meetpunten geselecteerd (Tabel 1).
- In het kader van een studie van het LISEC in opdracht van AMINAL, Afdeling Natuur (Berten et al., 1996) werden drie raaien met een vijftal peilbuizen geplaatst in de omgeving van Lummen. Deze peilbuizen werden opgemeten in de periode van 15 maart tot 26 augustus 1996. Deze buizen werden niet opgemeten t.o.v. het TAW. De hoogte t.o.v. TAW werd bepaald met behulp van het Digitaal Terrein Model (zie verder). Van elke raai werd het middelste meetpunt geselecteerd (Tabel 2).
- In het natuurgebied bij Zelem staan vier peilbuizen (Tabel 3). Deze werden geplaatst en worden beheerd door Natuureservaten. Meetperiode gaat van 18 januari tot 22 november 1999.
- Een belangrijke bron van grondwaterstandsmetingen in diepere lagen is de DAWACO grondwaterdatabank van AMINAL, Afdeling Water. In de wijde omgeving van de vallei staan een tiental piëzometers met diepe filters. Er zijn 161 peilbuizen met tijdreeksen teruggevonden in het gebied (X: 195000 – 240000; Y: 175000 – 210000, Lambert coördinaten.). Een aantal van deze peilbuizen hebben filters in formaties dieper dan Boomse klei. Een ander groot deel van deze peilbuizen bevat onvoldoende of onbetrouwbare peilgegevens. Uiteindelijk werden maar 58 tijdreeksen weerhouden (Figuur 2, Tabel 4). Slechts één enkele piëzometer van het primaire meetnet staat in het stroomgebied zelf namelijk. 7-0211 en één op de waterscheiding namelijk. 7-0210.

Tabel 1: Peilbuizen van het Instituut voor Natuurbehoud.

Putcode	Xcoörd (Lambert)	Ycoörd (Lambert)	Basis Filter (mTAW)	Gemiddelde stijghoogte (mTAW)
ZWAP101X	217658	197918	60,93	61,33
ZWAP116X	217430	198519	53,92	54,56
ZWAP136X	216969	198254	52,05	53,44
ZWAP139X	216947	198063	56,60	57,04
ZWAP142X	216753	198160	51,63	53,07
ZWAP144X	216583	198160	50,21	52,08
ZWAP150X	216586	198332	51,38	51,84
ZWAP152X	216624	198412	52,98	53,72
ZWAP173X	217567	198172	55,66	56,41
ZWAP178X	216821	198634	-	56,53

Tabel 2: Peilbuislocaties van de Lisec studie (Berten et al., 1996)

Putcode	Xcoörd (Lambert)	Ycoörd (Lambert)	Gemiddelde Stijghoogte t.o.v. maaiveld (m)
Pp 1.5	206570	189184	-1,02
Pp 2.2	206609	189807	-1,56
Pp 3.5	208172	190139	-0,69

Tabel 3: Peilbuizen nabij Zelem (Natuurreservaten v.z.w.)

Peilbuis	Xcoörd	Ycoörd	Gemiddelde stijghoogte t.o.v.
Pb1	201321	186002	-0,10
Pb2	201328	186004	-0,54
Pb3	201405	186163	-0,26
Pb4	201412	186163	-0,15

Tabel 4: Peilbuizen van AMINAL - afdeling water. (DAWACO, primair en secundair meetnet)

Putcode	Xcoörd	Ycoörd	Gemiddelde Stijghoogte (mTAW)
1-0154	208980	208050	31,63
1-0154	208980	208050	33,71
1-0478	208980	208200	34,44
1-0485	200700	202209	23,28
7-0125	237755	184400	68,5
7-0132	233485	188505	78,57
7-0134	231650	191115	75,37
7-0137	239810	190325	59,53
7-0140	231045	193605	76,11
7-0141	235500	185005	75,5
7-0195	213676	205374	44,56
7-0195	213676	205374	44,39
7-0201	221861	205400	57,16
7-0201	221861	205400	57,12
7-0201	221861	205400	57,03
7-0201	221861	205400	55,74
7-0202	226779	202850	61,8
7-0202	226779	202850	61,89
7-0202	226779	202850	61,16
7-0209	198831	195226	20,81
7-0209	198831	195226	20,82
7-0210	221490	196763	70,09
7-0210	221490	196763	66,58
7-0211	211111	193500	31,61
7-0211	211111	193500	31,61
1-0120	204050	200860	27,09
1-0121	208780	204900	34,82
1-0122	207220	204650	30,72
1-0123	206520	203950	29,78
1-0124	207760	204800	31,97
1-0127	207630	206130	31,41
1-0128	203050	200210	25,60
1-0129	208260	203050	35,01
1-0130	207660	202590	33,59
1-0135	202800	201220	25,45
1-0138	204120	199470	28,20
1-0140	205370	200600	29,10
1-0144	204980	201830	27,93
1-0163	204940	201500	27,65
1-0166	205380	205550	30,93
1-0177	204880	201450	27,31
1-0179	208720	204940	34,86
1-0180	206400	206530	31,82
1-0181	203830	205830	26,86
1-0184	204870	202040	29,20
1-0185	207020	204700	29,90
1-0310	202130	209520	25,84
1-0311	202131	209520	25,70
1-0385	208050	208980	33,71
1-0385	208050	208980	33,70
7-0020	222050	190700	58,84
7-0052	199100	204390	27,46
7-0054	225350	208740	49,56
7-0060	229060	202020	61,17
7-0171	212350	201150	44,94
7-0264	234301	189051	72,19
A7-024	198831	195226	21,14
A7-024	198831	195226	20,84

Figuur 8: Peilbuislocaties.

Ontwerp van Ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek. Deel: Grondwatermodellering.

3 Grondwatermodel

3.1 Inleiding

De drie-dimensionele stationaire grondwaterstroming wordt beschreven met de volgende differentiaal vergelijking:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + N = Q$$

met K = de hydraulische doorlatendheid van de laag (m/dag)
 h = de verzadigde waterhoogte (m)
 N = de grondwatervoeding (m/dag)
 Q = grondwaterafvoer (m³/m².dag)

Het hydrogeologisch model opgelost met een eindige differentie techniek door het te modelleren gebied op te delen in een groot aantal cellen. De vergelijking worden iteratief opgelost. Een uitvoerige beschrijving van de eindige differentie technieken voor grondwatermodellering wordt beschreven in Bear & Verruijt (1987) en Anderson en Woessner (1992).

Voor de simulatie van de grondwaterstroming wordt gebruik gemaakt van het grondwatermodel MODFLOW 96. De code voor dit model werd ontwikkeld door het U.S. Geological Survey (McDonald en Harbaugh, 1988). Modflow bestaat uit aparte modules in Fortran code die elk een onderdeel van de hydrologische processen beschrijven en elk instaan voor een bepaald onderdeel van de input en output van het model. Voor de numerieke oplossing van de differentiaal vergelijkingen zijn verschillende 'solvers' beschikbaar. Voor deze studie werd de Pre-Conditioned Conjugate Gradient (PCG) solver gebruikt (Hill, 1997).

De stroomlijnen en stroomtijden naar de kwelgebieden werden berekend met het particle tracking programma MODPATH (Pollock, 1994). Dit pakket is volledige gelijklopend met MODFLOW opgebouwd uit verschillende modules voor de in- en output. MODPATH gebruikt voor de berekeningen rechtstreekse de output files van MODFLOW.

De berekeningen werden uitgevoerd op een Sun-Sparc werkstation met een Solaris-Unix besturingssysteem. De ruimtelijk gedistribueerde input voor het model wordt voorbereid in het GIS Arc-Info v7. Door middel van korte scripts worden de in- en output files, van en naar MODFLOW, omgezet in het juiste formaat voor Arc-Info.

3.2 Beschrijving van het model

Het gehele model is 45 bij 35 km groot of 1575 km².

De modelgrenzen in Lambert coördinaten:

X min. 195000 – X max. 240000

Y min. 175000 – Y max. 210000

De celgrootte is 50 bij 50 m en constant voor het hele model. Het grid is opgebouwd uit 900 kolommen en 700 rijen met twee modellagen. Het totaal aantal cellen bedraagt hierdoor 1.260.000.

Een groot aantal cellen ten oosten van de waterscheiding tussen het Demer- en Maasbekken is echter inactief. Het te modelleren gebied is daardoor heel wat kleiner (1169 km²) en kan het aantal actieve cellen verminderd worden tot 934.836.

3.3 Hydrogeologisch concept

Het aquifersysteem dat in het model wordt ingebracht reikt tot aan de Boomse klei en is in het hele studiegebied freatisch. Het behoort tot het Kempisch aquifersysteem in het bekken van de Kempen. De Formatie van Boom bestaat uit een dik kleipakket (gemiddeld 30 m) dat zeer slecht doorlatend is. De top van dit kleipakket is de ondergrens van het model en wordt als dusdanig ondoorlatend beschouwd.

Aan de hand van de nieuwe geologische kaartbladen 17 (Mol) en 25 (Hasselt) en de boorbeschrijvingen van het archief van de Belgisch Geologische Dienst werd getracht een zo consistent mogelijk beeld te vormen van de ligging en de dikte van de geologische lagen. De isohypsen van de transparantbladen werden gedigitaliseerd in Arc-Info. De isohypsen van kaartblad 25 en die van kaartblad 17 lopen niet vloeiend in elkaar over, het verschil loopt soms op tot 5 m. De ligging van de breuken is ook enigszins verschillend. Om tot een consistent model te komen van de verschillende lagen werden de isohypsen aan de rand van kaartblad 17 aangepast.

Het grondwatersysteem wordt opgedeeld in twee modellagen (*Tabel 5*). De eerste laag is goed doorlatend en omvat het kwartair, de Formatie van Diest en de Formatie van Bolderberg. In het zuiden is deze laag erg dun en bestaat ze uitsluitend uit de kwartaire deklaag. Naar het noorden neemt de dikte sterk toe tot maximaal 150 m. Vooral het bovenste deel van de Formatie van Diest bevat grove zanden en is goed doorlatend. De top van deze laag is het niveau van het maaiveld, de ondergrens van de laag wordt gegeven in

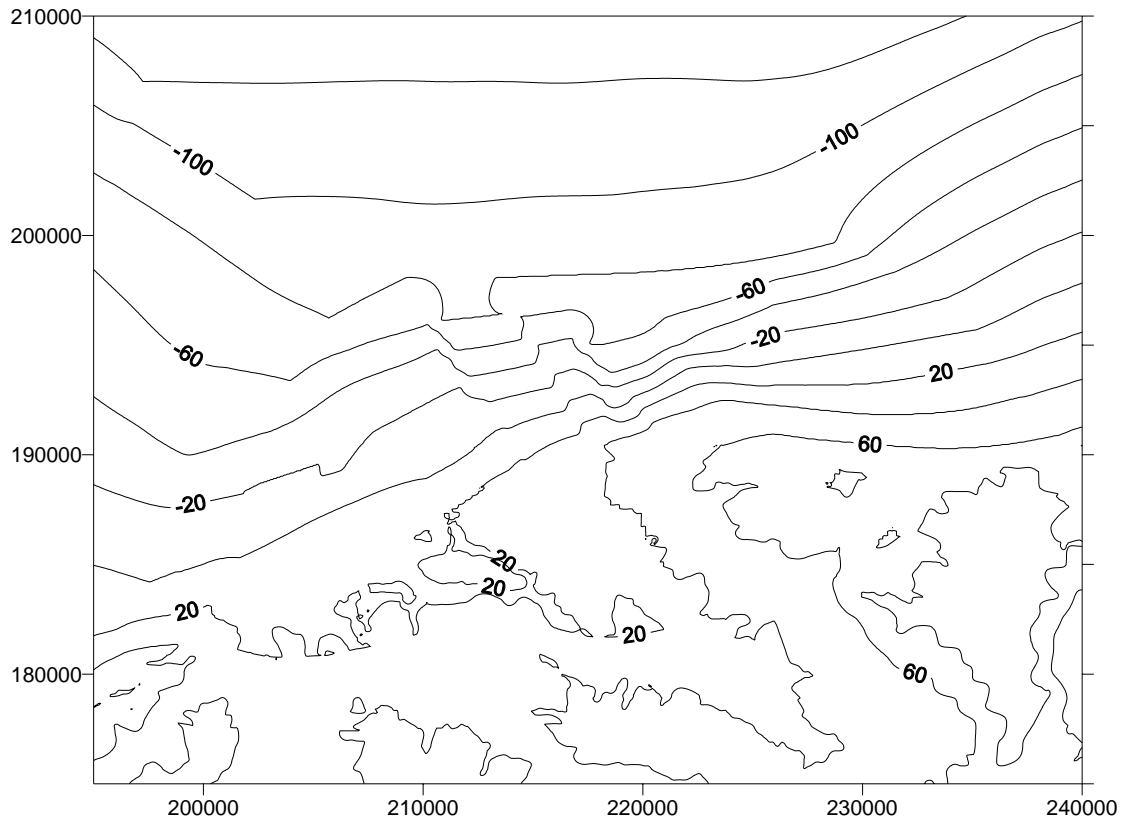
De tweede laag is minder goed doorlatend en geeft de geleidelijke overgang naar de vrijwel ondoorlatende Boomse klei weer. De tweede modellaag bestaat uit de Formatie van Voort en de Formatie van Eigenbilzen. De top van deze laag is gelijk aan de ondergrens van laag 1 (*Figuur 9*). De ondergrens van deze laag, tevens de ondergrens van het model, wordt weergegeven in *Figuur 10*.

De conductiviteitswaarden van de beide modellagen zijn ruimtelijk onveranderlijk. Voor de twee modellagen zijn de ingevoerde conductiviteitswaarden respectievelijk 8 m/dag en 0,05 m/dag (*Tabel 5*). Deze waarden zijn gebaseerd op publicaties van Bronders & De Smedt (1991) en Loy & De Smedt (1978) en aanpassingen tijdens de modelverificatie, zie paragraaf 3.8.

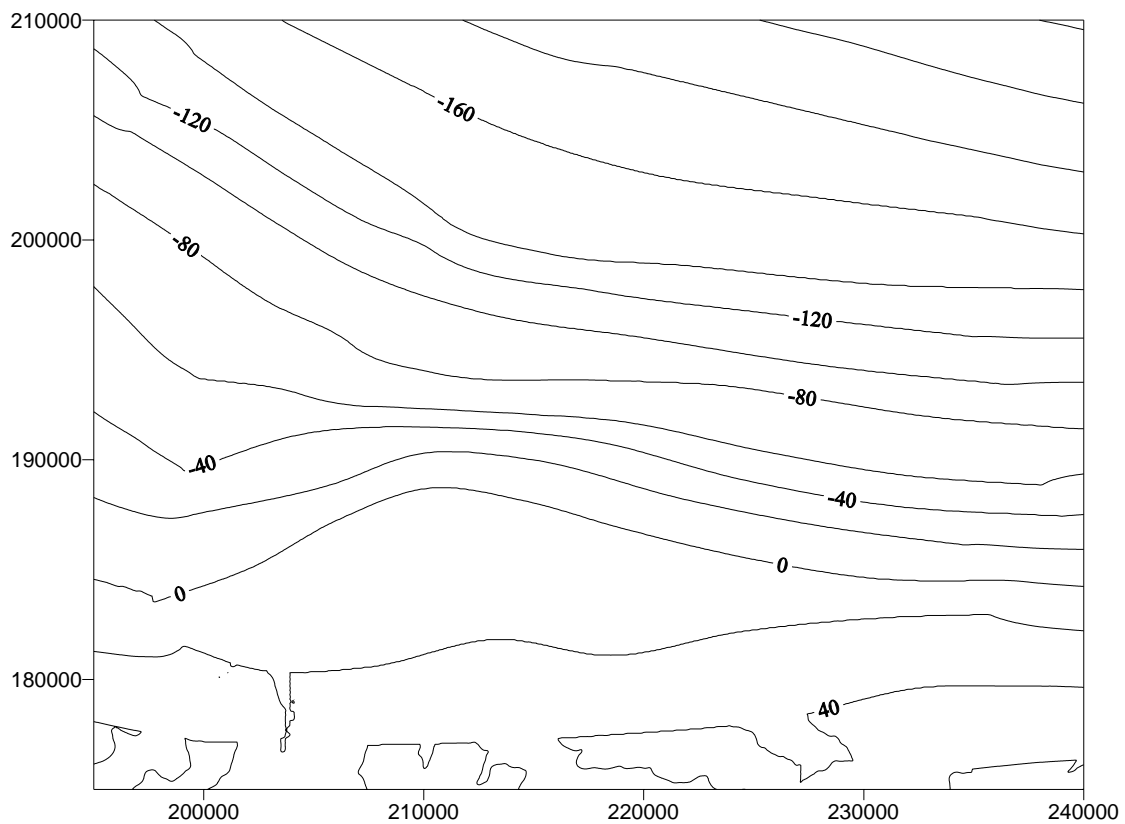
Tabel 5: Hydrogeologische indeling van het studiegebied.

Geologische Benaming	Oude aquifer code (nieuwe aquifercode*)	Modellaag	Conductiviteit (m/dag)
Kwartair	001W (0100)	Laag 1	8
Formatie van Diest	008W (0252)		
Formatie van Bolderberg	009W (0253)		
Formatie van Voort	009W (0254)	Laag 2	0,1
Formatie van Eigenbilzen	010W (0256)		
Boomse klei	010S (0300)	Ondergrens van het model	-

* De oude aquifer code is de code zoals ze nog steeds wordt toegepast door AMINAL. Momenteel wordt een nieuwe aquifer codering uitgewerkt die de oude coderingen moet vervangen (Meyus et al., in voorbereiding), de voorlopige versie van deze code wordt tussen haakjes vermeld.



Figuur 9: Hoogteligging van de ondergrens modellaag 1 (mTAW).



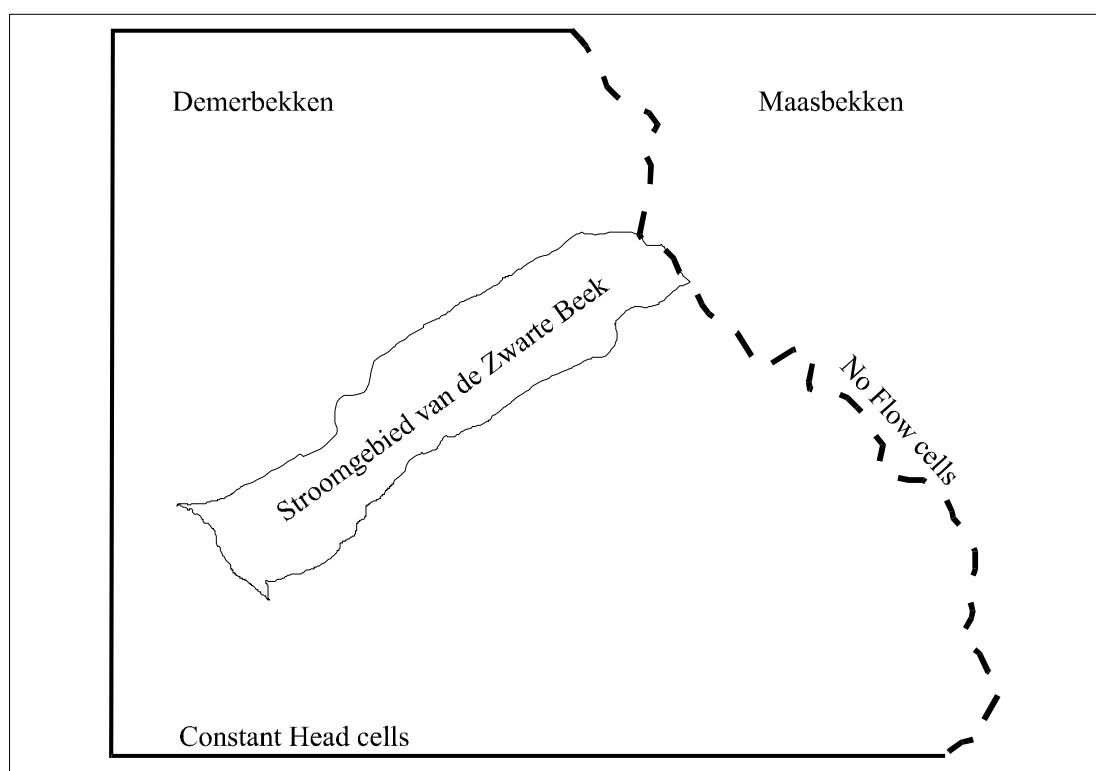
Figuur 10: Hoogteligging ondergrens modellaag 2 (mTAW). Top van Formatie van Boom.

3.4 Randvoorwaarden

3.4.1 Grenzen van het model

De grenzen van het model werden zover van het studiegebied gekozen dat ze zeker buiten de invloedzone van het studiegebied liggen. In het noorden, oosten en zuiden van het model zijn de randvoorwaarden vaste stijghoogten (*Figuur 11*). De waarden voor deze stijghoogten werden overgenomen uit een groter éénlagig grondwatermodel dat volledig de bekken van de Dijle, Nete en Demer omvat (Batelaan & De Smedt, 1996).

In het oosten wordt de natuurlijke modelgrens gevormd door de grondwaterscheiding tussen het bekken van de Maas en dat van de Demer. Deze waterscheiding wordt verondersteld overeen te komen met de topografische waterscheiding op het Kempisch plateau. De positie van de waterscheiding werd overgenomen uit de Vlaamse Hydrografische Atlas (VHA) (AMINAL). Er wordt verondersteld dat er geen grondwaterstroming is over deze grens heen.



Figuur 11: Randvoorwaarden, modelgrens en grens bekken Zwarte Beek. (Onderbroken lijn = no flow cells; volle lijn = constant head cells).

3.5 Grondwatervoeding

De grondwatervoeding werd berekend met het programma Wetpass. Wetpass werd ontwikkeld door de vakgroep Hydrologie en waterbouwkunde van de VUB (Wang et al., 1997). Op basis van de helling, het landgebruik (landgebruikskaart, Ondersteunend Centrum GIS Vlaanderen), het bodemtype (digitale bodemkaart) en de grondwaterdiepte berekent Wetpass de gedistribueerde grondwatervoeding (één waarde voor elke cel).

Vermits de grondwaterstand in eerste instantie een onbekende is werden voor de eerste berekening de resultaten van het model van Batelaan & De Smedt (1994) gebruikt. Door middel van een iteratief proces worden de resultaten van het grondwatermodel (zie verder) gebruikt om de grondwatervoeding nauwkeuriger te berekenen. Een viertal iteraties volstaat om goed resultaat te verkrijgen (*Figuur 12*).

De invloed van de bebouwing en wegen is goed te zien als gebieden met een zeer beperkte infiltratie. Ook de grens tussen de zandstreek ten noorden van de Demer en de zandleem en leemstreek min of meer ten zuiden van de Demer is zeer goed te zien, de gemiddelde infiltratie is er tot 100 mm/jaar lager. De hoogste grondwatervoeding vindt plaats op het Kempisch Plateau. In de valleien is de grondwatervoeding aanzienlijk minder als gevolg van de hogere gemiddelde grondwaterstand.

***Figuur 12:** Gedistribueerde grondwatervoeding (mm/jaar).*

3.6 Grondwaterwinningen

De grondwaterwinningen zijn afkomstig van twee verschillende databanken, beheert door AMINAL, Afdeling Water. De eerste database bevat de grondwaterwinningen categorie C (drinkwatermaatschappijen). Een winning is veelal een batterij van verschillende putten. De debieten zijn vrij groot en goed gekend op maandelijkse basis.

De tweede database bevat de winningen van de Categorieën A en B, respectievelijk vergunningen voor minder dan 30.000 m³/jaar (of < 96 m³/dag) en vergunningen meer dan 30.000 m³/jaar (of > 96 m³/dag). De volumes zijn op enkele uitzonderingen na veel kleiner, maar door hun aantal wegen deze toch zwaar door in de totale waterbalans.

Uit deze databases werden alle actieve winningen boven de Formatie van Boom geselecteerd. In tabel 2 worden de grootste winningen Categorie C en B (> 1 miljoen m³/jaar) weergegeven. De 174 winningen kleiner dan 1 miljoen m³/jaar onttrekken samen nog eens 4,4 miljoen m³/jaar. De gegevens van alle individuele grondwaterwinningen zijn opgenomen in Bijlage 1, de locaties zijn weergegeven in *Figuur 13*.

Tabel 6: Grondwaterwinningen in het studiegebied > 1 miljoen m³/jaar (gemiddelde van 1994 – 1996).

Vergunning	Xcoörd	Ycoörd	Gemiddeld volume (m ³ /jaar)	Plaats	Maatschappij
Categorie C					
71	195316	186591	1051000	Zichem	VMW
172	195400	198000	4067922	Vorst-Laakdal	PIDPA
97	198191	193490	831228	Tessengerlo	VMW
169	204550	201600	4250332	Olmen	PIDPA
183	216000	193700	1016023	Heusden-Zolder	Gemeentelijk Waterleidingbedrijf Heusden-Zolder
Categorieën A en B					
1319	198400	199600	1407017		
240	207300	195020	1050000		
239	207430	195100	1050000		
238	207430	195900	1050000		
291	207500	195530	976299		
558	209570	195640	330773		
806	211707	209195	522015		

***Figuur 13:** Grondwaterwinnings in het modelgebied van de Zwarte Beek.*

3.7 Beken en drainagestelsel

In opdracht van de buitendienst in Hasselt van AMINAL-afdeling water werd een gedetailleerde studie van de waterlopen uitgevoerd. Hierbij werden lengte- en dwarsprofielen opgesteld voor de Zwarte Beek en een aantal zijrivieren vanaf 'het Fonteintje' tot stroomafwaarts bij Zelem. Deze dwarsprofielen geven weer hoe de waterlopen werden aangepast en tot welk niveau ze werden uitgediept. Naast dit kaartmateriaal werden de drainagediepten ter hoogte van de Stalse Molen en in de landbouwzone tussen de Gestelse Heide en Meldert in het veld gecontroleerd.

De liggingsplannen met de locaties van de dwarsprofielen werden gescand en geïmporteerd in Arc-info. De georeferentie van de kaarten is uitgevoerd met een aantal vaste herkenningspunten. Met deze kaarten als overlay werden de verschillende diepten ingevoerd in het GIS.

Op basis van deze informatie is het mogelijk de variatie en de effecten van wijzigingen in de drainagediepte op te nemen in het grondwatermodel en er rekening mee te houden bij de beoordeling van de verschillende scenario's.

In Figuur 14 wordt een overzicht gegeven van de waterlopen waarvoor de drainagediepte werd aangepast. In het scenario met de huidige situatie werd deze kaart gebruikt in plaats van de standaardwaarde van 1m.

***Figuur 14:** Aanpassingen van de drainagediepte op basis van dwarsprofielen.*

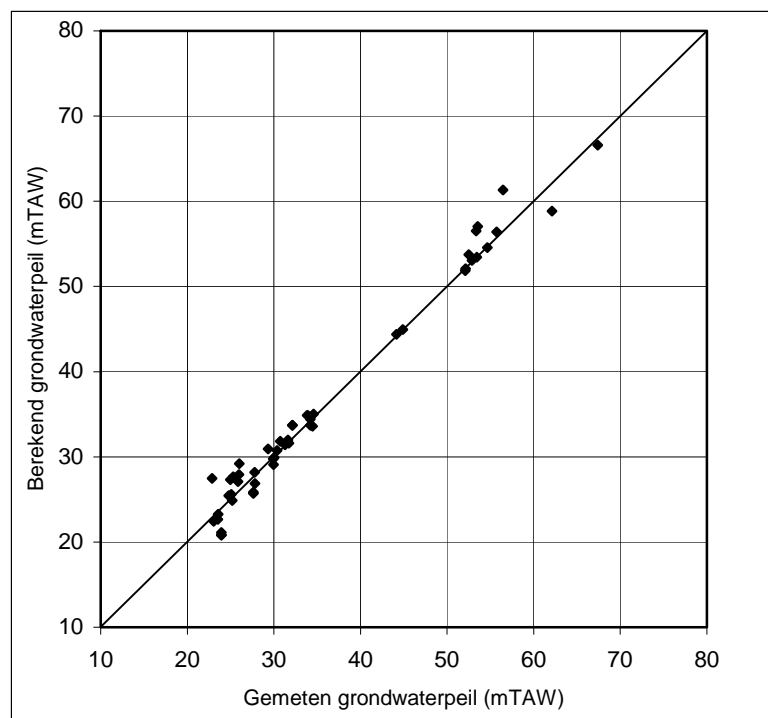
Ontwerp van Ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek. Deel: Grondwatermodellering.

3.8 Modelverificatie

3.8.1 Piëzometrie

Om de accurate van het model te testen werden de berekende stijghoogten vergeleken met de in werkelijkheid gemeten stijghoogten in de peilbuizen (*Figuur 15*). Omdat veel peilbuizen dermate geclusterd zijn, werden voor de verificatie van dit regionaal model niet alle peilgegevens gebruikt. Uit de dataset van het Instituut voor Natuurbehoud werden tien peilbuizen geselecteerd die representatief zijn voor het hele gebied. Van de peilbuizen van het LISEC werd van elke raai de middelste peilbuis geselecteerd. De meetpunten van de DAWACO database van AMINAL werden gezien hun goede ruimtelijke spreiding wel allemaal gebruikt.

Na kleine aanpassingen van de parameters werd met de k-waarden vermeld in tabel 7 een gemiddeld verschil bekomen van 0,1 m. De standaardafwijking bedraagt 2,7. De grootste verschillen doen zich voor buiten het gebied waarvan de isolijnen werden gedigitaliseerd en de afwijkingen ook mogelijk het gevolg zijn van onnauwkeurigheden in het DTM. Voor de peilbuizen binnen dit gebied bedraagt de standaard afwijking 1,7.



Figuur 15: Berekende grondwaterpeilen t.o.v. de gemeten grondwaterpeilen (mTAW).

3.8.2 De waterbalans

Debietmetingen van de beek laten toe de waterbalans van het model te verifiëren. In het stroomgebied van de Zwarte Beek is er slechts één meetstation waarvoor een vrij lange tijdreeks met dagelijkse debietsmetingen beschikbaar is (*Figuur 16*).

Tabel 7 Karakteristieken van het afvoer meetstation.

ID	878/2 meetpunt 36
Xcoord (Lambert)	204660
Ycoord (Lambert)	187548
Opp. Stroomgebied	101 km ²
Hoogte nulpunt	21 mTAW
Tijdreeks	1984 – 1996



Figuur 16: Locatie van het afvoer meetstation in de Zwarte Beek.

De tijdreeksen van afvoer kunnen opgedeeld worden in een basis afvoer component en een oppervlakkige afvoer component (*Figuur 18*). De basis afvoer is het aandeel in het debiet dat uitsluitend afkomstig is van uitgetreden grondwater, stroomopwaarts van het meetpunt. De oppervlakkige afvoer component is de hoeveelheid water afkomstig van rechtstreekse, en dus snelle, oppervlakkige afvoer van regenwater naar het bekenstelsel.

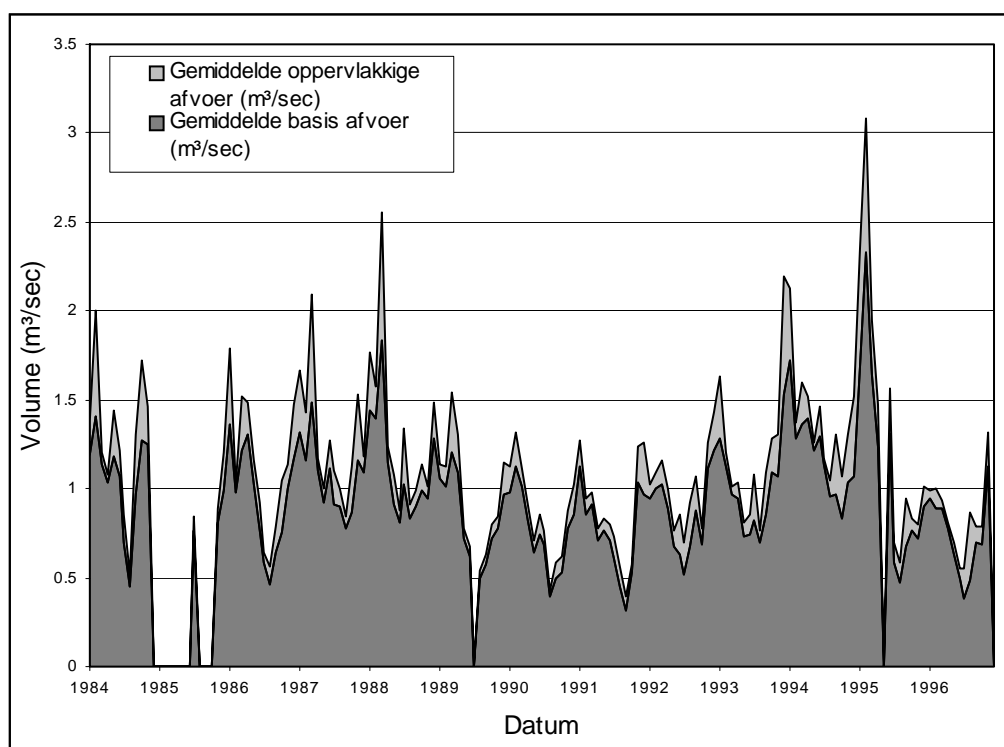
De hoeveelheid water die ter hoogte van het meetpunt door de Zwarte Beek stroomt dient overeen te stemmen met de hoeveelheid water die stroomopwaarts in het stroomgebied infiltreert en oppervlakkig afstroomt. Hierbij wordt geen rekening

gehouden met de grondwaterwinningen. Er kan namelijk worden verondersteld dat het opgepompte grondwater op gelijkmatige wijze terug in het oppervlaktewater terecht komt door lozingen. Deze winningen komen maken dus deel uit van de basis afvoer component.

Om de totale infiltratie in het stroomgebied stroomopwaarts van het meetpunt te bepalen werd aan de hand van de gemodelleerde piëzometrische hoogte het toestromingsgebied van het grondwater bepaald. Daarna werd van alle cellen die deel uitmaken van dit toestromingsgebied de totale infiltratie berekend. De totale hoeveelheid infiltratie in het toestroomgebied bedraagt 0,79 m³/sec.

Om uit de afvoerreeks het aandeel van de grondwatercomponent te berekenen wordt de reeks gesplitst in een basis afvoer component en een oppervlakkige afvoer component. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het een separatie techniek die uitsluitend gebaseerd is op de karakteristieken van de afvoerreeks zelf en de oppervlakte van stroomgebied. De separatie is uitgevoerd door middel van de 'sliding interval methode', met het programma HYSEP (Sloto & Crouse, 1996), ontwikkeld bij de U.S. Geological Survey.

De berekende basis afvoer bedraagt gemiddeld 0,94 m³/sec. Dit is 0,15 m³/sec meer dan dat met het model berekend wordt. Rekening houdend met alle mogelijke foutenbronnen in het model en bij de meting van de afvoer is dit een aanvaardbare afwijking.



Figuur 17: Gemiddelde maandelijkse basisafvoer en oppervlakkige afvoer (m³/sec).

***Figuur 18:** Debietreeks van de Zwarte Beek ter hoogte van het meetpunt 878/2 te Lummen*

4 Resultaten

4.1 Stijghoogten

De stijghoogte verloopt van 70 mTAW op het Kempisch plateau tot 10 mTAW bij de monding nabij Diest. Stroomopwaarts nabij de bron is de gradiënt vrij sterk, verder stroomafwaarts neemt ze geleidelijk af (*Figuur 19*). In het bovenstroomse gedeelte verloopt de grondwaterstrooming longitudinaal met de vallei mee. In het benedenstroomse gedeelte is de belangrijkste component lateraal, van de rand van het stroomgebied rechstreeks naar het midden van de vallei. De convergerende patronen van de isolijnen nabij de waterlopen geven de drainerende werking ervan weer. Ter hoogte van het Albertkanaal is lokaal een omgekeerd effect zichtbaar. Hierbij dient opgemerkt dat het Albertkanaal veronderstelt wordt niet in contact te staan met het grondwatersysteem en daarom niet verwerkt is in het model.

4.2 Kwel en infiltratiegebieden

In *Figuur 20* worden alle kwelgebieden in de vallei weergegeven. In wat volgt worden uitsluitend de kwelzones beschouwd die zich in of nabij het afgebakende studiegebied in het beekdal voor de ecosysteemvisie situeren. Omdat er belangrijke verschillen zijn de grondwatersystemen van het brongebied van de Zwarte Beek en in het meer stroomafwaarts gelegen gebied wordt het stroomgebied in twee zones opgedeeld, een zone stroomopwaarts van het Albertkanaal en een zone stroomafwaarts van het Albertkanaal.

De eerste zone (*Figuur 21*) is een aaneengesloten kwelgebied ten noordoosten van het Albertkanaal. De infiltratiezone strekt zich zuidwaarts uit langs de waterscheiding met het Maasbekken. Het infiltratiegebied ten zuiden van de beek is opmerkelijk groter dan die ten noorden van de beek. Aan beide zijden is de grondwaterstroming schuin naar stroomafwaarts naar het beekdal.

De tweede zone (*Figuur 22*) bevindt zich ten zuidwesten van het Albertkanaal. Het infiltratiegebied loopt parallel met de beek. De zuidwest – noordoost gerichte Diestiaan heuvels bepalen de grenzen van het infiltratie gebied. Het globale patroon van de grondwaterstroming is laterale naar de beek.

Figuur 19: Gemodelleerde stijghoogte (mTAW).

Ontwerp van Ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek. Deel: Grondwatermodellering.

***Figuur 20:** Gemodelleerde kwelgebieden voor heel de vallei van de Zwarte Beek.*

Ontwerp van Ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek. Deel: Grondwatermodellering.

***Figuur 21:** Grondwatervoedingsgebieden en stroomtijden in het noordoostelijke deel van het studiegebied.*

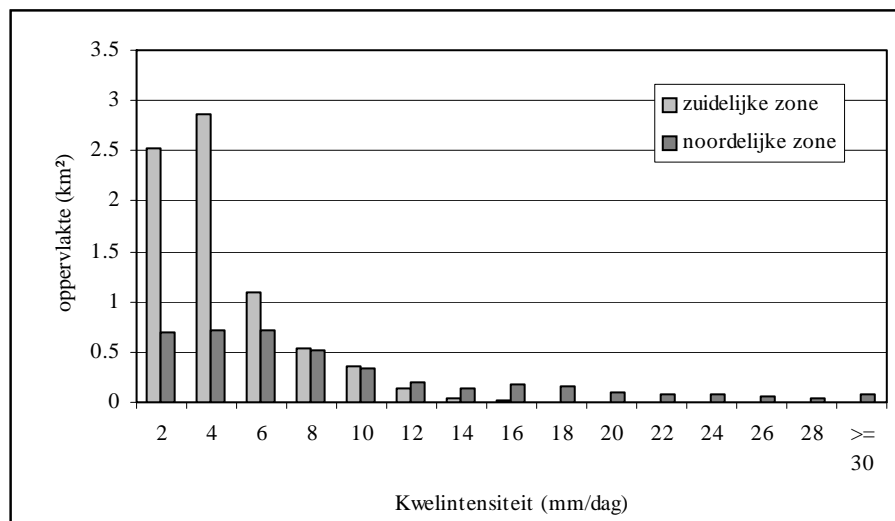
***Figuur 22:** Grondwatervoedingsgebieden en stroomtijden in het zuidwestelijke deel van het studiegebied.*

4.2.1 Kwelgebieden

De kwelintensiteiten variëren tussen 0 en 35 mm/dag (*Figuur 20*). De gebieden met de grootste kwelintensiteit zijn de valleien in het brongebied van de Zwarte Beek. Hier heeft de Zwarte Beek zich diep ingesneden in het Kempisch plateau. De vallei is hier vrij steil en smal waardoor de kwelzone eveneens smal is en de kwelflux erg hoog. De verhouding van de oppervlakte kwelgebied / infiltratiegebied is voor de noordelijke zone 0,13

Verder stroomafwaarts zijn de valleien en ook de kwelgebieden veel breder en meteen ook de fluxen veel lager: van 0 tot 6 mm/dag. In de zuidelijke zone is de verhouding kwel / infiltratie gebied veel groter, namelijk 0,2.

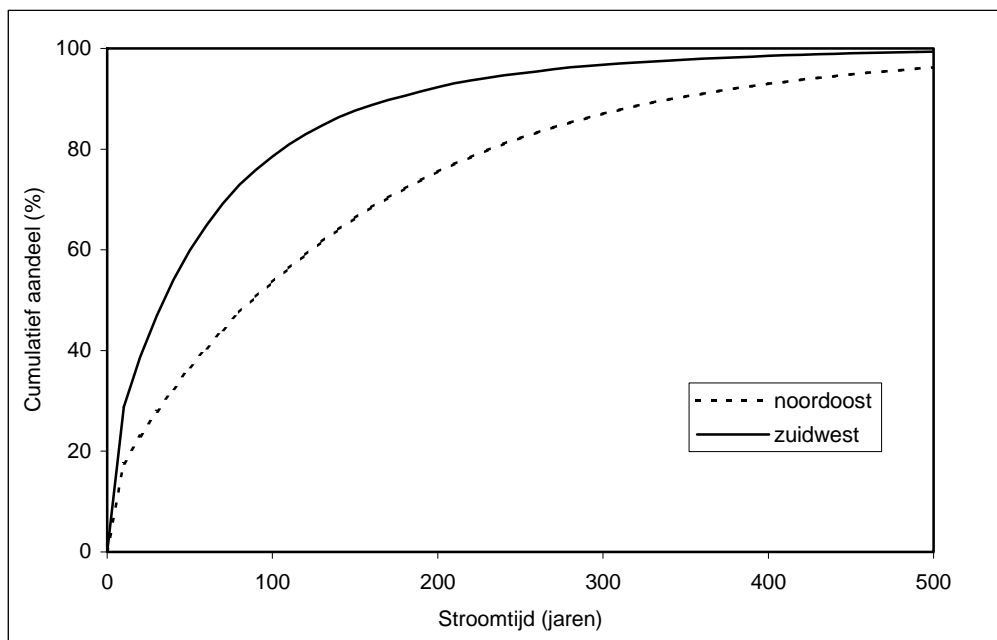
In *Figuur 23* wordt de verdeling van de intensiteiten voor beide gebieden weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk de kwelzones in het zuidelijke gebied veel groter zijn, maar dat de kwelintensiteit vrij laag zijn in vergelijking met het noordelijke gebied, waar veel hogere intensiteiten voorkomen.



Figuur 23: Verdeling van de kwelintensiteiten. Verschil tussen de twee onderscheiden zones.

4.2.2 Verblijftijden

De verblijftijden voor de beide kwelzones zijn weergegeven in de figuren 16 en 17. De gemiddelde verblijftijd van het grondwater dat in de oostelijke kwelzone aan het maaiveld komt bedraagt 171 jaar; voor de westelijke zone is dit ongeveer de helft (85 jaar). De verschillen tussen beide infiltratiezones wordt duidelijk weergegeven met de cumulatieve percentages in functie van de ouderdom (*Figuur 24*). Zo blijkt 90 % van het grondwater in het westelijke infiltratiegebied minder dan 180 jaar onderweg te zijn, in het oostelijk infiltratiegebied is dit ruim 300 jaar.



Figuur 24: *Cumulatief percentage van het grondwater in de kwelgebieden in functie van de stroomtijd. Verschil tussen het noordoostelijke studiegebied en het zuidwestelijke studiegebied.*

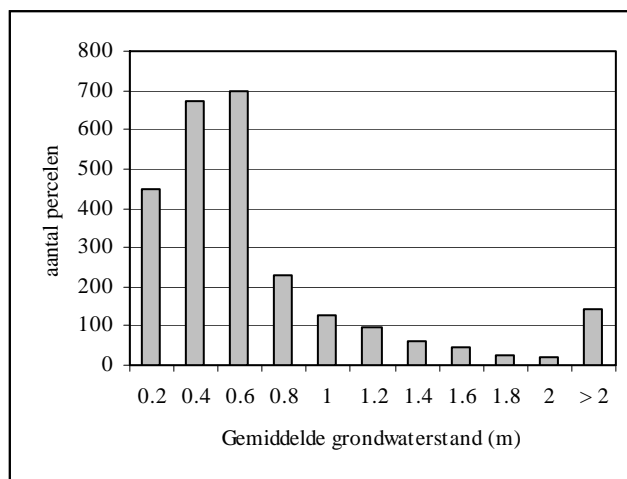
4.3 Grondwaterdiepte

De gemiddelde grondwaterdiepte in het beekdal van de vallei is zeer gering, tussen 0 en 1,5 m (*Figuur 26*). In het laagste deel van de vallei zijn er grote delen waar de gemiddelde grondwaterstand gelijk is aan het maaiveld. Door de vrij steile hellingen neemt de grondwaterstand op de valleiflanken sterk toe.

4.3.1 Gemiddelde grondwaterdiepte per perceel

De gemiddelde diepte van het grondwater is een belangrijke kenmerk voor de vegetatietypen die werden geïnventariseerd. Omdat de vegetatieopnames perceelsgewijs zijn gebeurd en deze percelen de eenheden zijn waarmee de vegetatiestudie wordt uitgevoerd, dient voor elk perceel een gemiddelde grondwaterdiepte te worden berekend.

Hiervoor werd een overlay gemaakt van de perceelsgrenzen en de gemiddelde grondwaterdiepte. Voor elk perceel werd van alle cellen waarvan het centrum binnen de perceelsgrenzen ligt de gemiddelde grondwaterstand berekend. Voor een aantal smalle en / of zeer kleine percelen is het mogelijk dat deze geen enkele cel van het model omvat. Daarom was het noodzakelijk om eerst door middel van interpolatie een fijner grid te creëren met gridcellen van slechts 20 bij 20 m. Dit gemiddelde werd berekend voor alle 2578 percelen van het studiegebied in de Zwarte Beek (*Figuur 25*, *Figuur 27*). In de meeste percelen blijkt de grondwaterstand tussen 0,2 en 0,6 m te variëren. In de klasse tot 0,2 m diepte behoren ook 109 percelen waarvan de grondwaterstand gelijk blijft met het maaiveld. Dit zijn voornamelijk percelen van het bovenstroomse gedeelte met erg hoge kwelintensiteiten.



Figuur 25: Verdeling van de gemiddelde grondwaterstand.

De gemodelleerde waarde voor elk perceel maakt het mogelijk de correlaties tussen de grondwaterstand en het vegetatietype te bepalen. Door deze correlatie is het mogelijk een terugkoppeling te doen naar het grondwatermodel (Mertens, 2000). Op perceelsniveau kunnen plaatsen aangeduid worden waar de gemodelleerde grondwaterstand erg verschilt met wat men met het voorkomende vegetatietype zou verwachten. Uit deze vergelijking werden twee typen geselecteerd. Enerzijds percelen waarvoor de grondwaterstand markant lager is dan verwacht en anderzijds percelen waarvoor de grondwaterstand veel hoger is dan verwacht op basis van de vegetatie. (Figuur 28).

- *Te nat*: Voor een aantal percelen nabij de drainage grachten is de grondwaterstand te hoog voor het vegetatietype dat daar voorkomt. Dit is voornamelijk het geval voor percelen in het stroomopwaartse gebied. Deze percelen komen voor het overgrote deel overeen met de oeverwallen langs de grachten. Zulke lokale verhogingen zijn niet opgenomen in het model waardoor de gemodelleerde grondwaterstand ondieper is dan de werkelijke grondwaterstand. Het is echter in te brengen. Hiervoor is een manuele aanpassing en een expert beoordeling absoluut noodzakelijk.
- *Te droog*: Enkele percelen in het noorden zijn te droog voor het vegetatietype dat daar voorkomt. Bijna al deze percelen liggen in het dezelfde meest noordelijke bijvallei van het studiegebied. Mogelijk komt hier lokaal de minder goed doorlatende Formatie van Kasterlee voor. Het voorkomen van deze laag tussen het kwartair en de Formatie van Diest zou de grondwaterstand daar aanzienlijk kunnen verhogen. Het is echter onmogelijk uit te maken waar deze formatie wel en waar niet voorkomt. Er werd geopteerd de gemodelleerde grondwaterstand in deze percelen bij de verdere verwerking niet te gebruiken.

4.3.2 Maximaal scenario

Naast de modellering van de huidige situatie werd eveneens getracht een situatie te berekenen voor het maximaal scenario dat een beeld moet geven van de gemiddelde grondwaterdiepte bij de potentiële natuurlijke omstandigheden. Voor de modellering van dit scenario werd de drainage diepte voor alle beken verhoogt tot slechts 0.5 m onder het maaiveld en werden ook de gekende grondwaterwinningen niet meer beschouwd. De berekende gemiddelde grondwaterdiepte voor dit scenario wordt weergegeven in Figuur 29. De verschillen met de huidige situatie zijn zoals te verwachten het grootst nabij de beken die erg diep uitgesneden zijn en nabij de grondwaterwinnigen. Om beter inzicht te verkrijgen in het effect van de grondwaterwinningen individueel werd een extra modellering uitgevoerd ditmaal met de grondwaterwinningen. Het verschil in grondwaterstand tussen beide wordt voor het stroomgebied weergegeven in figuur 30. De afpompkegels nabij de winningen zijn duidelijk zichtbaar. De invloed reikt op slechts enkele plaatsen tot aan het studiegebied.

Figuur 26: Gemiddelde diepte van het grondwater vanaf het maaiveld, huidige situatie (m).

***Figuur 27:** Gemiddelde grondwaterdiepte per perceel, huidige situatie (m).*

***Figuur 28:** Te hoge en te lage gemodelleerde grondwaterstand op basis van het vegetatietype.*

***Figuur 29:** Gemiddelde diepte van het grondwater vanaf het maaiveld, maximaal scenario (m).*

***Figuur 30:** Invloed van de grondwaterwinningen op de potentiële situatie.*

5 Conclusies en aanbevelingen

Het doel van deze studie is een hydrologische systeemmodellering van het stroomgebied van de Zwarte Beek en meer specifiek van het beekdal dat het studieonderwerp uitmaakt van het ontwerp van ecosysteemvisie voor de vallei van de Zwarte Beek.

Uit de modellering blijkt dat het beekdal in hoge mate beïnvloed wordt door het grondwater en dit reeds vanaf hoog op het Kempisch plateau. Een groot deel van het studiegebied wordt in min of meerdere mate gevoed door opkwellend grondwater. Er komen kleine intense kwelzones voor in de diepe valleien ter hoogte van het Kempisch plateau en grotere, maar minder intense kwelzones in de gebieden verder stroomafwaarts. De gemiddelde grondwaterdiepte varieert voor de meeste percelen tussen 0,2 m en 1 m. Gemiddelde grondwaterdiepten van meer dan 1 m zijn in het beekdal eerder uitzonderlijk.

Uit de berekende stroomtijden blijkt dat de beweging van het grondwater in het stroomopwaarts gedeelte longitudinaal is met een kleine component naar de kwelzones in het beekdal toe. Verder stroomafwaarts neemt deze laterale component steeds toe en stroomt het grondwater rechtstreeks van de valleirand naar het beekdal. De stroomtijden in het stroomafwaartse gedeelte zijn dan ook maar bijna half zo lang als die in het stroomopwaartse gedeelte.

Ter verificatie van het model werden de berekende stijghoogten vergeleken met de gemeten stijghoogten in de peilbuizen. Hieruit bleek dat het model vrij goed de werkelijke stijghoogten berekent, zeker indien enkel de peilbuizen worden gebruikt die in het gebied liggen waarvoor nauwkeurig de topografie werd gedigitaliseerd.

De meeste meetpunten staan in de dalbodem van de vallei zelf en zijn geplaatst met het oog op het volgen van de lokale grondwaterdynamiek. De filters zijn daarom geclusterd in enkele natuurgebieden en de diepte van de filters is vrij beperkt. Een aantal extra metingen op de valleiwand en in de infiltratiegebieden zouden een verdere calibratie mogelijk maken.

Veel aandacht is besteedt aan de topografie. Het topografisch reliëf is een erg cruciale factor voor het juist bepalen van de lokale verschillen in grondwaterstanden. Uit de resultaten van de verificatie en uit de terugkoppeling van de vegetatie naar het grondwatermodel blijkt dat dit vrij goed lukt. Echter, lokale variaties zoals oeverwallen en kleine duinen zijn niet aangegeven op de topografische kaarten. Hun effecten kunnen dus ook niet in het model vervat zitten. Wordt een meer gedetailleerde schaal van modellering beoogd dan zijn recente en meer gedetailleerde topografische metingen in het studiegebied noodzakelijk.

Referenties

- Anderson, M., P. & Woessner, W. W. (1992) Applied groundwater modelling. Simulation of flow and advective transport, San Diego: Academic Press.
- Bear, J. & Verruijt, A. (1987) Modeling groundwater flow and pollution, Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Berten, R., De ridder, F., Gabriëls, J., Vandormael, C. (1996) Natuurontwikkelingsplan voor de 'beekkant van laren' te Lummen in het impulsgebied Zwarte beek. Studie in opdracht van AMINAL. 96/RAP/00510ZWAR.FDR/JW.
- Bronders, J. & De Smedt, F. (1991) Geostatistische analyse van de hydraulische geleidbaarheid van watervoerende lagen in Midden-België, *Water*, **59**, 127-132.
- Batelaan, O. & De Smedt, F. (1996) Een kwelkaart voor het Nete-, Demer- en Dijlebekken, *Water*, **91**, 283-288.
- Gullentops F. & Vandenberghe, N. (1995) Toelichting bij de geologische kaart van België, Vlaams gewest. Kaartblad 17 (MOL). KULeuven Geologisch instituut / red G. De Geyter, Belgisch Geologische Dienst.
- Harbaugh, A.W. & McDonald, M.G. (1996) User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model. Open-File Report 96-485: 56, Preston Virginia.
- I.W.M. Haalbaarheidsstudie waterwinning westelijk mijnverzakkingsgebied Heusden-Zolder. (1997) 45 40160420.
- Loy, W. & De Smet, P. (1978) Permeabiliteit van enkele formaties in België, *Bull. Belg. Ver. Geologie*, **T. 87**, deel 4, 253-260.
- Meyus, Y., O. Batelaan, De Smedt, F. (in voorbereiding) HCOV, Hydrogeologische codering van de ondergrond van Vlaanderen. Vrije Universiteit Brussel
- McDonald M.G. & Harbaugh, A.W. (1988) A Modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. *Techniques of Water-Resources Investigations*, book 6, ch.A1:586. U.S. Geological survey, Preston Virginia.
- Pollock D.W. (1994) User's guide for Modpath, Version 3: A particle tracking postprocessing package for modflow. USGS Geological Survey, Preston Virginia.
- Sloto, R. A. & Crouse, M.Y. (1996) HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U.S. Geological Survey, water resources Investigation report 96-4040.

Van Autenboer, T. & Cammaer, C. (1989) Het Fonteintje: een bron te Koersel. Hydrogeologie en Cd-gehalte. Studie in opdracht van AROL. Limburgs Universitair Centrum. Toegepaste Geologie.

Van Daele, T. & Boeye, D. (1998) Verdroging in: Milieu- Natuurrapport Themahoofdstukken 1998. ed: A. Verbruggen. Vlaams gewest.

Wang, Z., Batelaan, O., De Smedt, F. (1997) A distributed model for water and energy transfer between soil, plant and atmosphere (Wetspa). Phys. Chem. Earth, **21**, No 3, 189 – 193.

Bijlage 1: Lijst met grondwaterwinningen in het modelgebied.

Categorie C

ID	Xcoörd	Ycoörd	Wvl (bgd code)	Volume (m ³ /jaar)	Modellaag
ID100006	204550	201600	31	4250332	1
ID100016	195400	198000	31	4067922	1
ID200047	195316	186591	1	1051000	1
ID700023	198191	193490	31	831228	1
ID700034	216000	193700	0	1016023	1

Categorie B

ID	Xcoörd	Ycoörd	Wvl (BGD code)	Volume (m ³ /jaar)	Modellaag
1-1319-B	198400	199600	31	1407017	1
1-2158-B	210145	204865	31	99000	1
1-536-B	205640	209700	32	273750	1
1-537-B	205200	209600	31	93750	1
1-823-B	201765	207030	31	37500	1
1-925-B	202165	208525	31	30112.5	1
2-144-B	199176	187556	31	16500	1
2-694-B	195347	182842	31	30000	1
4-69-B	207430	195100	31	1050000	1
7-1025-B	231580	180100	31	18750	1
7-1032-B	229870	189990	31	126000	1
7-1080-B	226540	192010	31	22500	1
7-1144-B	219970	203340	38	33750	1
7-1147-B	225998	190402	31	52500	1
7-1216-B	218610	187460	31	2775	1
7-1236-B	213945	208270	32	8250	1
7-189-B	205780	196160	31	98550	1
7-226-B	232210	195010	31	11250	1
7-238-B	207430	195900	31	1050000	1
7-239-B	207430	195100	31	1050000	1
7-240-B	207300	195020	31	1050000	1
7-264-B	227190	184310	01	52500	1
7-267-B	232600	188200	31	133612	1
7-268-B	204120	195525	31	18750	1
7-291-B	207500	195530	31	976299	1
7-304-B	236430	182320	31	18750	1
7-359-B	230260	189990	31	33000	1
7-361-B	230460	192300	31	15000	1
7-387-B	228205	192135	31	22500	1
7-38-B	228105	188345	31	33750	1
7-464-B	212730	190430	31	2625	1
7-468-B	228860	184560	31	300000	1
7-469-B	230210	186710	31	52500	1
7-485-B	212925	190620	31	30000	1
7-4-B	217270	187465	31	66000	1
7-550-B	217550	191840	31	438000	1
7-551-B	218410	191930	31	375000	1
7-552-B	217510	191720	31	375000	1
7-553-B	218740	191080	31	375000	1
7-554-B	217420	192470	31	375000	1
7-557-B	209790	195740	31	109500	1
7-558-B	209570	195640	31	330773	1
7-560-B	231820	188210	02	275940	1
7-561-B	232155	188055	02	375000	1

7-563-B	231740	188370	02	525600	1
7-571-B	215190	186640	31	3960	1
7-581-B	222126	198273	31	22500	1
7-592-B	220860	187400	31	273750	1
7-595-B	223770	190765	31	60000	1
7-598-B	215520	209760	32	3750	1
7-5-B	221600	190300	31	82500	1
7-6-B	221200	191120	31	82500	1
7-74-B	222680	192790	48	24750	2
7-755-B	200330	193590	31	9375	1
7-75-B	222660	192780	48	24750	2
7-76-B	222620	192770	48	24750	2
7-791-B	224900	184900	31	7500	1
7-7-B	215000	190120	31	82500	1
7-806-B	211707	209195	31	522015	1
7-841-B	218450	192180	31	2700	1
7-853-B	229650	192070	31	15000	1
7-893-B	229030	191460	31	15120	1
7-933-B	215140	208820	38	16800	1
7-954-B	199170	195570	31	18000	1
7-961-B	216290	206160	32	15000	1
7-979-B	206040	195730	31	82125	1

Categorie A

ID	Xcoörd	Ycoörd	Wvl (BGD code)	Volume (m ³ /jaar)	modellaag
1-1943-A	202080	202530	31	750	1
1-1961-A	203460	207625	31	750	1
1-2062-A	195520	196350	31	750	1
2-229-A	202255	177430	00	750	1
2-588-A	198230	183350	31	750	1
2-589-A	198470	183640	31	750	1
2-798-A	196187	178905	31	750	1
7-1033-A	228350	189120	02	750	1
7-119-A	200030	182750	31	750	1
7-1218-A	228670	191630	31	750	1
7-1257-A	210590	198530	31	750	1
7-1274-A	222190	197140	31	750	1
7-1314-A	236560	176560	31	750	1
7-248-A	203530	182180	01	750	1
7-265-A	214800	208570	32	750	1
7-352-A	205280	199800	31	750	1
7-577-A	221900	188890	31	750	1
7-624-A	196930	191530	31	750	1
7-684-A	222110	188880	31	750	1
7-688-A	221830	194250	31	750	1
7-726-A	234760	179590	33	750	1
7-752-A	205120	195530	31	750	1
7-874-A	224460	195250	31	750	1
7-909-A	204000	179520	01	750	1
2-591-A	196990	182930	31	772	1
2-78-A	201810	189045		825	1
1-1616-A	210380	204660	31	900	1
7-698-A	207420	201360	31	900	1
7-953-A	212410	204330	31	900	1
7-1272-A	220970	203200	38	945	1

1-1805-A	198240	206450	31	1125	1
2-177-A	196700	182090	31	1125	1
2-226-A	195630	184600	31	1125	1
7-1233-A	227280	187840	33	1125	1
7-289-A	232845	178620	31	1125	1
7-256-A	223000	186940	31	1176	1
1-1687-A	200520	205280	31	1200	1
1-970-A	202425	209375	32	1200	1
1-184-A	199870	201010	31	1350	1
7-1429-A	231370	183640	31	1350	1
2-832-A	204360	191160	31;28	1500	1
7-1346-A	234430	180390	31	1500	1
1-1989-A	202480	206565	31	1533	1
2-343-A	196771	182910	31	1575	1
1-2010-A	208320	204160	31	1642	1
2-775-A	196820	182220	31	1650	1
7-658-A	236400	178925	31	1687	1
7-152-A	213020	176430	00	1800	1
1-2106-A	201530	204990	31	1875	1
1-1680-A	200168	200783		2250	1
1-1773-A	196940	199655	31	2250	1
1-1925-A	201500	206500	31	2250	1
1-315-A	210905	205115	31	2250	1
2-637-A	196040	181080	31	2250	1
7-1026-A	222310	187490	31	2250	1
7-1131-A	213100	207120	31	2250	1
7-1375-A	222940	187780	31	2250	1
7-151-A	228940	182310	31	2250	1
7-473-A	204810	198990	31	2250	1
7-506-A	213810	195910	31	2250	1
7-95-A	215560	208160	32	2250	1
7-97-A	212155	195515	31	2250	1
7-995-A	215530	209270	31	2250	1
1-917-A	208135	207155	31	2475	1
7-1083-A	213030	197980	31	2738	1
1-2055-A	203440	202445	31	3000	1
7-1071-A	229690	189880	33	3000	1
7-675-A	231740	179440	33	3000	1
1-1937-A	203925	205900	31	3285	1
7-665-A	226155	190715	31	3285	1
1-1559-A	196200	203300	31	3375	1
1-1619-A	212410	205235	31	3375	1
7-1143-A	228370	181013	32	3525	1
7-1374-A	221410	206870	32	3600	1
7-1287-A	201985	179770	00	3750	1
7-43-A	220560	190470	31	3750	1
7-471-A	220500	205460	32	3750	1
7-472-A	219800	200950	32	3750	1
7-668-A	220200	200040	32	3750	1
1-1920-A	201120	205755	31	3833	1
7-566-A	222490	194690	31	4125	1
7-660-A	234670	181050	33	4125	1
7-996-A	233170	180325	31	4125	1
7-729-A	220220	186870	31	4356	1
1-1754-A	197160	199615	31	4500	1
1-1755-A	197520	199675	31	4500	1
7-831-A	222800	192620	31	4500	1

7-179-A	226070	179900	48	4800	1
7-1181-A	226380	187640	31	4875	1
7-547-A	210000	194210	31	5250	1
7-555-A	227210	190020	31	5250	1
1-732-A	203170	206840	31	6375	1
1-294-A	209360	207770	31	6750	1
1-311-A	209160	208320	32	6750	1
7-1323-A	213670	189400	31	6750	1
7-1414-A	233230	184750	31	6750	1
1-331-A	204700	203430	31	7500	1
7-1275-A	222200	197260	33	7500	1
7-1304-A	236405	182290	31	7500	1
7-997-A	229590	184680	31	7500	1
2-833-A	204390	190190	31	8250	1
7-734-A	219660	182880	01	9000	1
1-1710-A	201552	200418	31	10125	1
7-548-A	214260	196320	31	10500	1
7-246-A	230905	188060	31	11250	1
7-40-A	228180	182760	31	12000	1
7-1119-A	206840	195940	31	13500	1
7-394-A	228130	188800	31	13800	1
7-60-A	227652	180790	31	15675	1
7-854-A	227120	186700	31	16425	1
7-709-A	227740	188380	31	18000	1
7-42-A	227730	180680	31	21750	1
1-2002-A	200865	206540	-	22500	1
7-994-A	212430	201070	31	22500	1

Bijlage 2: Tijdreeksen van de peilbuizen in het modelgebied.

- AMINAL – meetnet 1
- Instituut voor natuurbehoud
- Lisec studie. Verder opgemeten door Natuurreservaten v.z.w.