

ECOHYDROLOGISCHE ANALYSE VAN EEN NATUURGEBIED MET BEHULP VAN HYDROGEOLOGISCHE SYSTEEMMODEL- LERING EN GEOGRAFISCHE INFORMATIE VERWERKING

O. BATELAAN
F. DE SMEDT
Vrije Universiteit Brussel
Dienst Hydrologie
W. HUYBRECHTS
P. DE BECKER
Instituut voor Natuurbehoud

Ecohydrological analysis of a nature reserve using hydrogeological system modelling and geographic information processing

The nature reserve Walenbos near St. Joris Winge, is one of the most important wetlands in Flanders. It is carefully monitored by the nature conservation authorities in order to improve the maintenance and protection of the nature reservation. An important aspect is the ecohydrology of the area, i.e. the relation between landscape, vegetation and hydrology, on a local and regional scale.

The main subject of this study is to obtain insight in the ecohydrological situation by means of groundwater system identifica-

tion. This is carried out by means of a regional groundwater flow model integrated in the GIS GRASS.

With topographic and hydrogeological input-data, the model is able to identify groundwater recharge and discharge areas, and to simulate quantitatively all components of the groundwater balance, as well as the ground water flow trajectories. It is found that the area contributing hydrologically to the Walenbos nature reserve is much larger than the catchment area based on topography.

The detailed model results for the nature reserve, gives a clear insight into the seepage zone and fluxes and turn out to correspond very well with biological and hydrological field investigation in Walenbos.

1. INLEIDING

De ecohydrologie is een discipline die de laatste 10 tot 15 jaar voornamelijk vanuit Nederland tot ontwikkeling is gekomen. Het is een interdisciplinair onderzoeksgedebied gericht op de toepassing van hydrologische kennis in de landschapsecologie (Pedroli, 1992), zoals in onderwerpen als de relatie tussen waterhuishouding en landschap, kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van waterstromen in het landschap, verbanden tussen hydrologische landschapkenmerken en voorkomen van plantengemeenschappen, afbakening van bufferzones rond natuurgebieden, ecologische effectvoorspelling, enz.

Een groot gedeelte van de natuurgebieden en de ecologische waardevolle landschappen in Vlaanderen zijn gesitueerd in vochtige valleigebieden, niet zelden gekoppeld aan opkwellend grondwater. Het voortbestaan en de ontwikkeling van deze landschappen wordt in hoge mate bepaald door de ruimtelijke relaties met omliggende gebieden, die vaak via het grondwater verlopen. Kennis van regionale grondwaterstroming is dan ook een belangrijk gegeven zowel voor de studie van deze landschappen op zich als met betrekking tot hun mogelijke ontwikkeling tot waardevolle natuurgebieden.

In dit artikel wordt het Walenbos te St. Joris Winge (fig. 1) bestudeerd. Het is één van de belangrijkste vochtige bosgebieden in Vlaanderen, in hoge mate afhankelijk van opkwellend grondwater. De voedings- en kwelgebieden in de ruime omgeving van het Walenbos worden door middel van een grondwatermodel geïdentificeerd, zodat de grondwaterstroming en kwel naar het Walenbos kan worden bepaald. Voor databeheer en -verwerking werd gebruik gemaakt van een geografisch informatie systeem (GIS).

2. GIS

Grondwatermodellen en GIS zijn technieken die elk op zich reeds geruime tijd ingang hebben gevonden in een brede waaier van onderzoeks- en toepassingsvelden in de hydrologie en het waterbeheer. Het integreren van modellen in een GIS biedt een krachtig instrument met aanzienlijke mogelijkheden in vele toepassingsvelden, zoals grondwaterbeheer, -verontreiniging, landinrichting en ecohydrologie.

In essentie bestaat de kracht van een GIS eruit dat variabelen met een ruimtelijke spreiding met elkaar in verband kunnen worden gebracht. Het is dan ook bijzonder geschikt als pre- en postprocessor voor modellen waar de ruimtelijke component

van de berekeningstechniek van doorslaggevend belang is. Zowel het beheer en de analyse van ruimtelijk verspreide invoergegevens als de berekeningsresultaten kan sterk worden vereenvoudigd.

Voor de geografische informatieverwerking werd gebruik gemaakt van GRASS (Geographical Resources Analysis Support System), ontwikkeld door het U.S. Army Corps of Engineers (1991). Overheidsdiensten en universiteiten in de Verenigde Staten maken er veel gebruik van, omdat GRASS een openbaar systeem is, dit wil zeggen dat het programma vrij te verkrijgen is met inbegrip van de code, zodat aanpassingen en verdere ontwikkeling van de "source code" mogelijk is. Alle programma's zijn in de programmeertaal C geschreven voor computers met een UNIX besturingssysteem.

GRASS bestaat uit meer dan 200 programma's, globaal in te delen in commando's voor: databeheer, grafische verwerking, manipulatie van raster-, vector-, of puntgegevens, verwerking van teledetectie gegevens en data-import of -export. GRASS is een hybride GIS omdat het zowel met raster- als met vectorgegevens kan werken, doch werd voornamelijk ontwikkeld voor de verwerking van rastergegevens, zodat de integratie met numerieke modellen voor de hand ligt (Bataelan et al, 1993).

3. HET WALENBOS IN ECOHYDROLOGISCH PERSPECTIEF

Het Walenbos is gelegen in de vallei van de Brede Motte, een kleine bijrivier van de Demer ter hoogte van Aarschot (fig. 1). Het behoort tot het Hageland, dat gekarakteriseerd wordt door typische oost-west georiënteerde heuvelruggen die zich vooral ten noorden van het bos uitstrekken. Ten zuiden van het Walenbos vindt men een plateau met een hoogte van ongeveer 80m. Het vormt het topografisch waterscheidingsgebied van de Motte in het noorden, de Winge in het westen en het zuiden en de Grote Beek in het oosten. De vallei van de Motte situeert zich aan de noordelijke grens van dit plateau en vertegenwoordigt vooral ter hoogte van het Walenbos een morfologische discontinuïteit in het landschap. De Winge stroomt ter hoogte van St. Joris Winge nog op zo'n 40m hoogte, terwijl de Motte, nauwelijks 2,5 km noordelijk gelegen, 15m lager stroomt.

Afwijkend van de algemene trend in Vlaanderen is de oppervlakte van het Walenbos de laatste 90 jaar gestaag aangegroeid (foto 1). In de vorige eeuw was het overgrote deel van het gebied in gebruik als hooi- of weiland en strooiselruigte. De algemene intensifiëring van de landbouw ging voorbij aan het Walenbos, zodat het geleidelijk terug tot bos evolueerde, een trend die zich heden ten dage nog doorzet. Parallel aan de algemene oost-west georiënteerde topografie zijn een aantal vegetatiezones te onderscheiden. De oudste bosgedeelten zijn te vinden langs de zuidrand, op het colluvium aan de voet van de valleiwand. Hier zijn grote middelhoutstructuren met beuk, zomer- en wintereik aspect bepalend. De zone direct ten noorden hiervan wordt gekenmerkt door sterk uittrekkend grondwater. Typerend hier is de intense begroeiing van de percelen en de massale aanwezigheid van kolonievormende ijzerfixerende bacteriën (foto 2). Men vindt er oligotrofe en mesotrofe elzenbroekbossen met een zeer rijke kruid- en moslaag, gedomineerd door uitgestrekte veenmostapijen en veel (kwelindicerende) freatofyten. De bodem is overwegend venig. Verder in de vallei overweegt stagnerend en rijker water zodat hier eutrofe elzenbroeken en op de iets drogere plaatsen, elzen-vogelkersbossen optreden. Deze worden gekenmerkt door een kruidlaag, typisch voor stikstofrijke bodems. Nagenoeg overal werden hier populieren ingeplant, die steeds gevoeliger worden voor windworp. De noordrand van het bos, tegen de Brede Motte aan, bestaat voornamelijk uit essen-hazelaar-hakhout met een opvallende voorjaarsflora.

In het Walenbos vindt reeds gedurende meer dan 3 jaar een ecohydrologische monitoring plaats, waarbij hydrologische en ecologische aspecten worden gevolgd. Zowel de neerslag, de oppervlakte-afvoer als de grondwaterpeilen worden geregistreerd. Voor dit laatste beschikt men over meer dan 110 piëzometers, geconcentreerd in de twee belangrijkste drainagebekkens in het Walenbos, nl. Dolaag en Kwade Poel. Er wordt vooral aandacht be-

steed aan de waterpeilschommelingen in het gebied en de stijghoogteverschillen welke in piëzometers op verschillende diepten worden geregistreerd. Een geringe seizoensale schommeling van grondwaterpeil in de riviervlakte wijst op een belangrijke kwelstroom, groot genoeg om de verdamping in de zomer grotendeels te compenseren. Hogere stijghoogtes in de diepere piëzometers duiden eveneens op een opwaartse component in de grondwaterstroming. Met betrekking tot de vegetatie worden aan de hand van een raster van 40 bij 40 m ongeveer 70 hogere planten en 15 mossoorten gedetailleerd gekarteerd. Hieronder bevinden zich een aantal kwelgevoelige freatofyten zoals Bosbies (*Scirpus sylvaticus*), Moeraszegge (*Carex acutiformis*), Pluimzegge (*Carex paniculata*), Holpijp (*Equisetum fluviatile*), Lidrus (*Equisetum palustre*) en Veldrus (*Juncus acutiflorus*).

4. HYDROGEOLOGISCHE SYSTEEM-MODELLERING

De hydrogeologische systeemkartering onderzoekt de verdeling en het verband tussen infiltratie- en kwelgebieden. In een infiltratiegebied van een grondwatersysteem wordt het grondwater gevoerd door de neerslag. Dit grondwater stroomt naar kwelgebieden waar het grondwater gedraineerd wordt en als oppervlaktewater wordt afgevoerd (Bronders, 1989). Op deze wijze kan een regio verdeeld worden in infiltratie- en kwelgebieden behorende tot lokale en regionale grondwatersystemen.

In deze studie worden de hydrogeologische systemen gesimuleerd met een numeriek model. De hydrogeologische toestand wordt geschematiseerd tot een meerlagen systeem:

- een freatische watervoerende laag bestaande uit kwartaire formaties en de Formatie van Diest of daarmee nauw verbonden Formatie van Bolderberg van minimaal 4m dikte in het zuiden tot ± 95m dikte in het noorden. De Formatie van Diest bestaat uit glauconiet rijk zand tot grof zand met veelal een ijzerzandsteenkap. De watervoerende dikte van deze laag wordt bepaald door de positie van de grondwatertafel.
- daaronder bevindt zich een slecht doorlatende laag van ± 25m dikte opgebouwd uit kleien, fijne zanden en plastische keien van de Formaties van Rupel en Tongeren. Dit complex dagzoomt in het zuidelijk deel van het studiegebied.
- onderaan is er een semi-artesische watervoerende laag van ± 15m dikte bestaande uit glauconiethoudende, kalkrijke zanden van de Formatie van Brussel. Deze dagzoomt in het gebied slechts in de vallei van de Velp. Onder de Formatie van Brussel is een ondoorlatende laag klei aanwezig van de Formatie van Leper.

De geologische opbouw wordt geïllustreerd in Fig. 2, een hydrogeologisch profiel door het studiegebied van noord naar zuid. De grondwaterstromingen worden beschreven met de volgende vergelijkingen:

(a) horizontale stroming in de freatische

laag

$$\frac{\partial}{\partial x} [K(h-z) \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K(h-z) \frac{\partial h}{\partial y}] + c(g-h) + N = Q \quad (1)$$

met K = hydraulische geleidbaarheid van de laag [L²T⁻¹]

h = hoogte van de watertafel [L]

z = hoogte van de basis van de grondwaterlaag [L]

c = hydraulische weerstand van de tussenliggende laag [T⁻¹]

g = grondwaterpeil van de onderste watervoerende laag [L]

N = nuttige neerslag [L³T⁻¹]

Q = grondwaterafvoer naar de rivieren [L³T⁻¹L⁻²]

(b) verticale stroming in de tussenliggende laag

(c) horizontale stroming in de semi-artesische laag

$$\frac{\partial}{\partial x} (T \frac{\partial g}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T \frac{\partial g}{\partial y}) + c(h-g) = 0 \quad (2)$$

met T = transmissiviteit [L²T⁻¹]

Met behulp van vergelijking (1) kunnen de infiltratiegebieden berekend worden, als zijnde de zones waar er geen grondwaterafvoer naar de rivieren optreedt en waar de grondwatertafel diep onder het maaiveld ligt. De kwelgebieden daarentegen zijn de zones met grondwaterdrainage naar de rivieren en een grondwatertafel die dichtbij het maaiveld gelegen is.

Het hydrogeologische model wordt opgelost met een eindige differentie techniek door het 12km bij 16km grote studiegebied te verdelen in cellen van 50m bij 50m; dit geeft een totaal van 76800 cellen. De berekeningen werden uitgevoerd op een SUN4 werkstation. De vergelijkingen werden iteratief opgelost met een 4-kleuren ordening (Hackbush, 1985), overrelaxatie methode (Wang & Anderson, 1982) en een stopcriterium van 10⁻⁸ als maximale fout op de grondwaterpotentialen.

Voor de hydraulische conductiviteit van de freatische en semi-artesische laag werd respectievelijk een constante waarde van 11 en 7m/dag genomen (Bronders, 1989). Voor de hydraulische weerstand van de tussenliggende laag werd een waarde van 0.007d⁻¹ genomen, overeenkomend met een karakteristieke percolatietijd van 140 dagen. De nuttige neerslag werd geschat als 290 mm/jaar ofwel 0.008m/dag, zijnde het verschil tussen 800mm neerslag en ± 510mm evapotranspiratie per jaar.

De belangrijkste invoer voor het model is de topografie van het studiegebied. Hiervoor werden de contourlijnen met het GIS digitaliseerd in vector formaat en door rasterisatie omgezet in raster formaat, waarna door interpolatie een digitaal terrein model (DTM) verkregen werd. Als alternatief voor deze methode werd een digitaal bestand van het NGI gebruikt, de nauwkeurigheid bleek onvoldoende voor dit soort van modellering.

Na de berekeningen werden de grondwaterpeilen en de grondwaterafvoer in het GIS opgenomen, voor verwerking en evaluatie van de resultaten, zoals afbakeningen en analyse van stroomgebieden en grondwatersystemen. Ook werd een nu-

Fig. 1 : Topografie en situering van het studiegebied en Walenbos

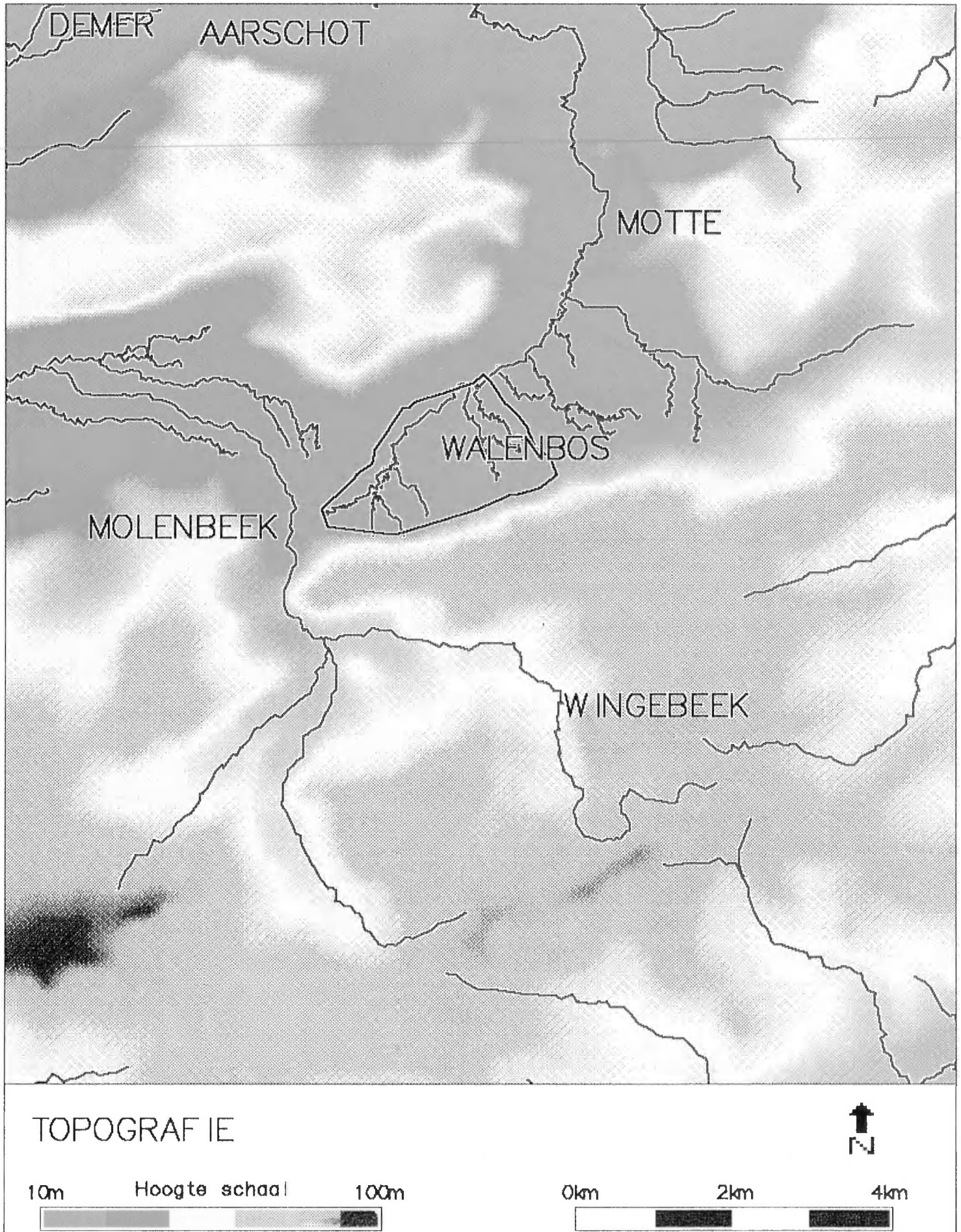
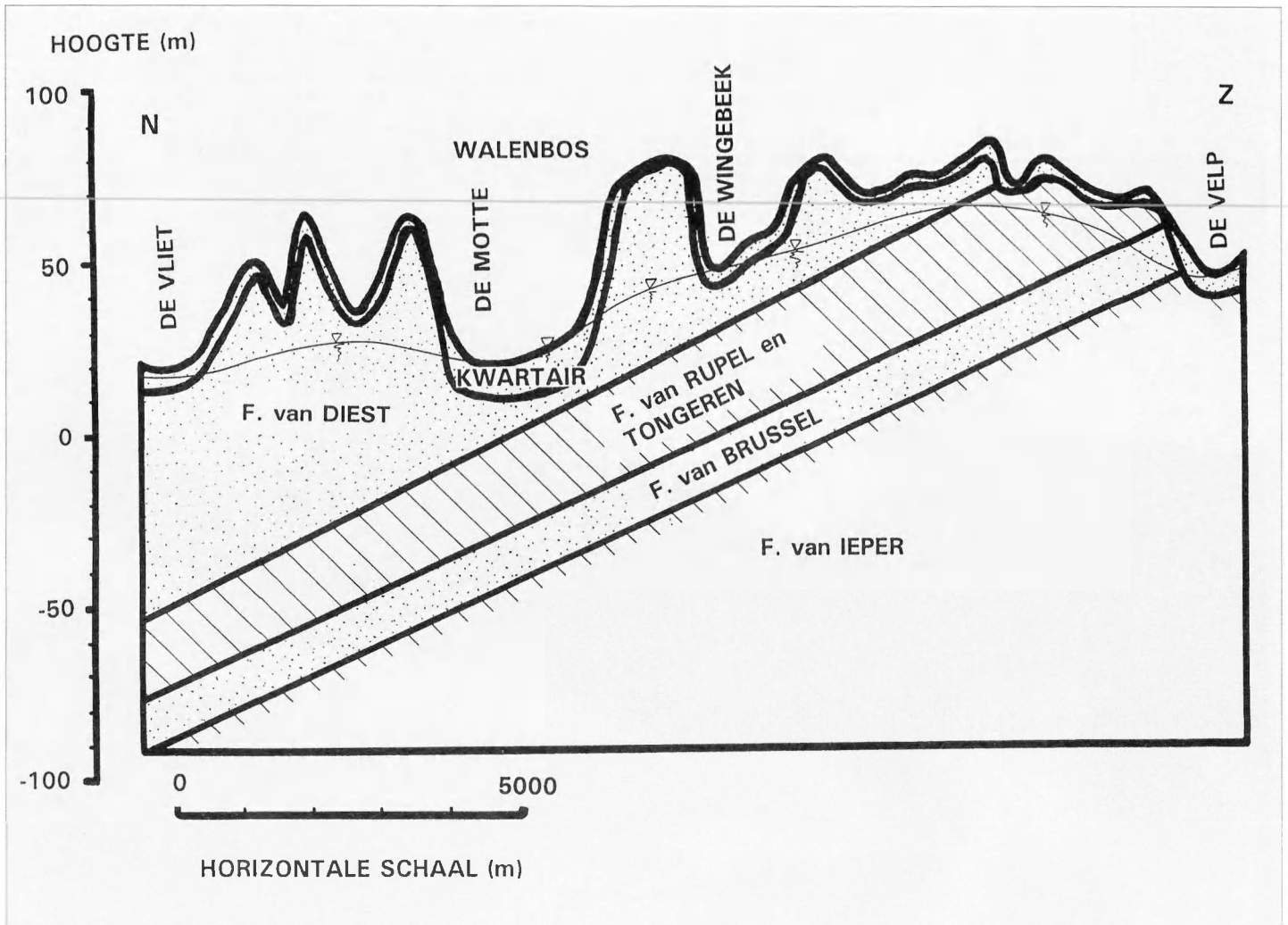


Fig. 2 : Geologisch N-Z dwarsprofiel



merieke procedure ontworpen om 3 dimensionale stroomlijnen te bepalen, zodat een inzicht kan verkregen worden in de stroombanen en verblijftijden.

5. BESPREKING

Het bestudeerde gebied bestaat voor het grootste gedeelte uit infiltratiezones. De minder voorkomende kwelgebieden zijn voornamelijk gesitueerd in de rivier valleien (Fig. 3). De kwelzones komen in algemene lijnen ook overeen met zones die volgens de bodemkaart door vochtige valleigronen worden ingenomen (Fig. 4). Minder voor de hand liggend is dat de kwelzones versnipperd voorkomen, met andere woorden, ze worden in de rivier vlaktes van elkaar gescheiden door infiltratiezones. Hieruit kan men afleiden dat in de valleien lokale grondwatersystemen aanwezig zijn, gesuperponeerd op de regionale stromingssystemen, een in de hydrologische systeemanalyse bekend verschijnsel. In de Wingevallei blijkt de versnippering van de kwelzones een realistisch beeld te geven, overeenkomend met patronen van vochtige, waardevolle vaak kwelgevoelige biotopen zoals die op de Biologische Waarderingskaart (BWK) worden aangegeven. In fig. 5 worden de berekende freatische

grondwaterpeilen weergegeven. Te samen met de 3 dimensionale stroomlijnen laten deze resultaten toe om het voedingsgebied van het Walenbos af te bakenen (Fig. 6). Het blijkt dat dit voedingsgebied veel groter is dan men op basis van de topografie kan verwachten, nl. het drievoudige: 15.0km² ten opzichte van 5.7km² op basis van de topografie. Het voedingsgebied zoals weergegeven in fig. 6, strekt zich in zuidelijke richting uit ten zuiden van de Wingevallei tot aan de scheidingskam met de vallei van de Velp. Het blijkt dus dat een groot deel van het topografisch bekken van de Wingevallei infiltratie gebied is voor het Walenbos. In termen van kwetsbaarheid van het Walenbos als natuurgebied moet met de omvang van dit voedingsgebied rekening worden gehouden. Activiteiten in het gebied zoals waterwinning, -verontreiniging, etc., die waterstanden en waterkwaliteit beïnvloeden, kunnen consequenties hebben voor het Walenbos. De stroombanen die door het grondwater gevolgd worden evenals de stroomtijden worden schematisch weergegeven in fig. 6. Zone 1 is het grondwater van het Walenbos zelf en de heuvelflank ten zuiden van het Walenbos. De verblijftijd van het infiltrerende regenwater bedraagt maximaal slechts 5 jaar, met uitzondering van iets hogere verblijftijden in de kleine heuvelrug, centraal in het Walenbos.

Geïnfiltreerd grondwater in zone 2, dit is het plateau ten zuiden van het Walenbos, heeft een verblijftijd van 5-20 jaar, terwijl het grondwater vanuit zone 3, zijnde de Wingevallei, er tot 100 jaar over kan doen om het Walenbos te bereiken. Een deel van het geïnfiltreerde grondwater wordt hier echter gecapteerd door de Wingevallei zelf. In al deze zones omvat het grondwatersysteem slechts de bovenste freatische watervoerende laag. Zone 4 situeert zich op de waterscheidingskammen in het noorden, zuiden en zuidoosten: hier infiltreert het grondwater het diepst, het percolleert door de halfdoorlatende laag opgebouwd uit de Formaties van Rupel en Tongeren tot in de diepere watervoerende laag van de Formatie van Brussel. Na vele honderden tot enkele duizenden jaren komt het ter hoogte van het Walenbos terug naar boven. In het Walenbos zijn er twee belangrijke kwelzones gescheiden door een infiltratiezone (Fig. 7a). Deze met het numeriek model bekomen kwelzones vallen samen met de twee gekende drainagebekkens, Dolaag en Kwade Poel. Ook wordt dit ruimtelijk patroon in hoge mate bevestigd door de ecohydrologische veldwaarnemingen (Fig. 7b tot 7d). De zones met een hoge kwelintensiteit blijken goed overeen te komen met de gekarteerde kwelgevoeli-

Fig. 3 : Gesimuleerde infiltratie- en kwelgebieden

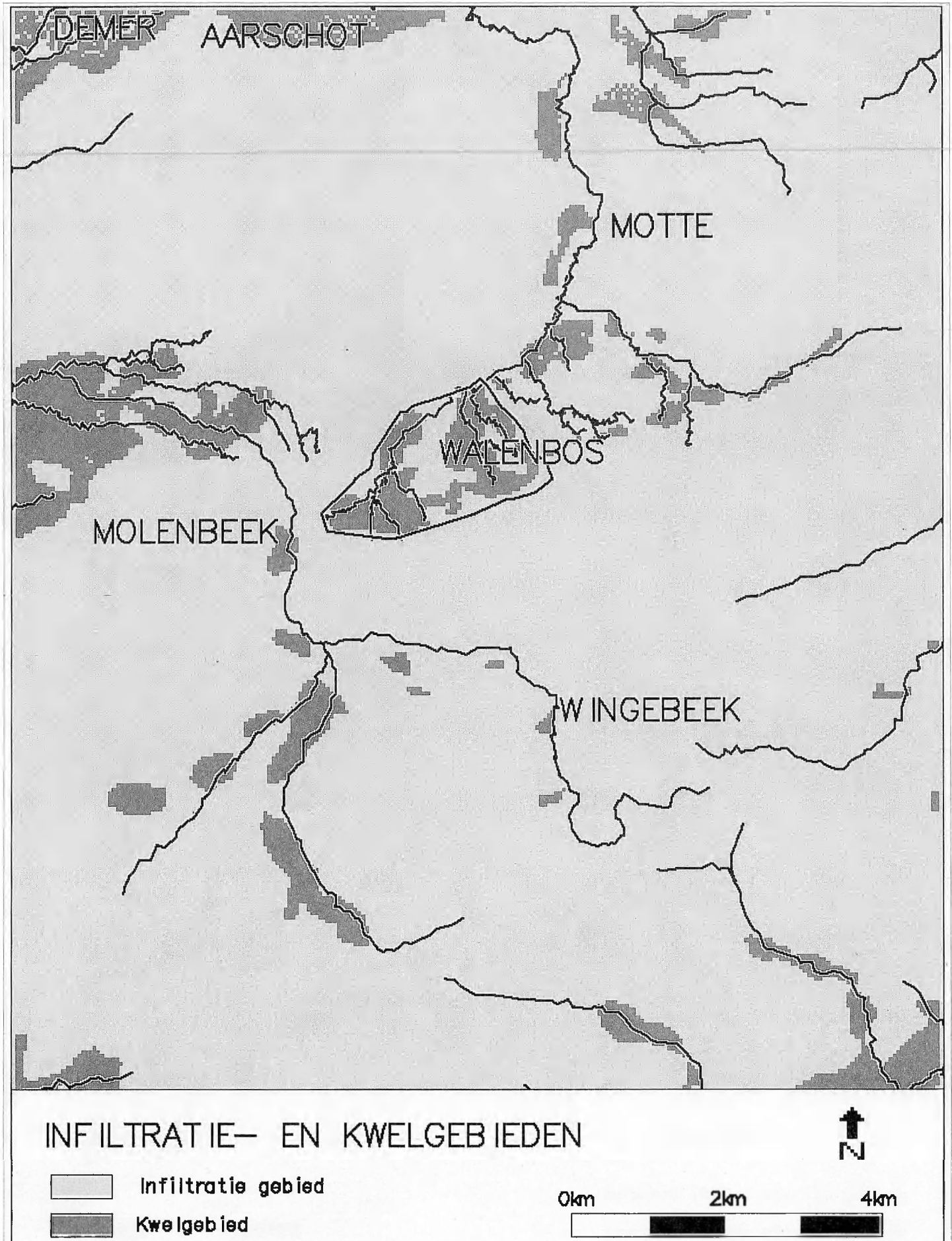


Fig. 4 : Uit bodemkaart afgeleide natte en droge valleigronden

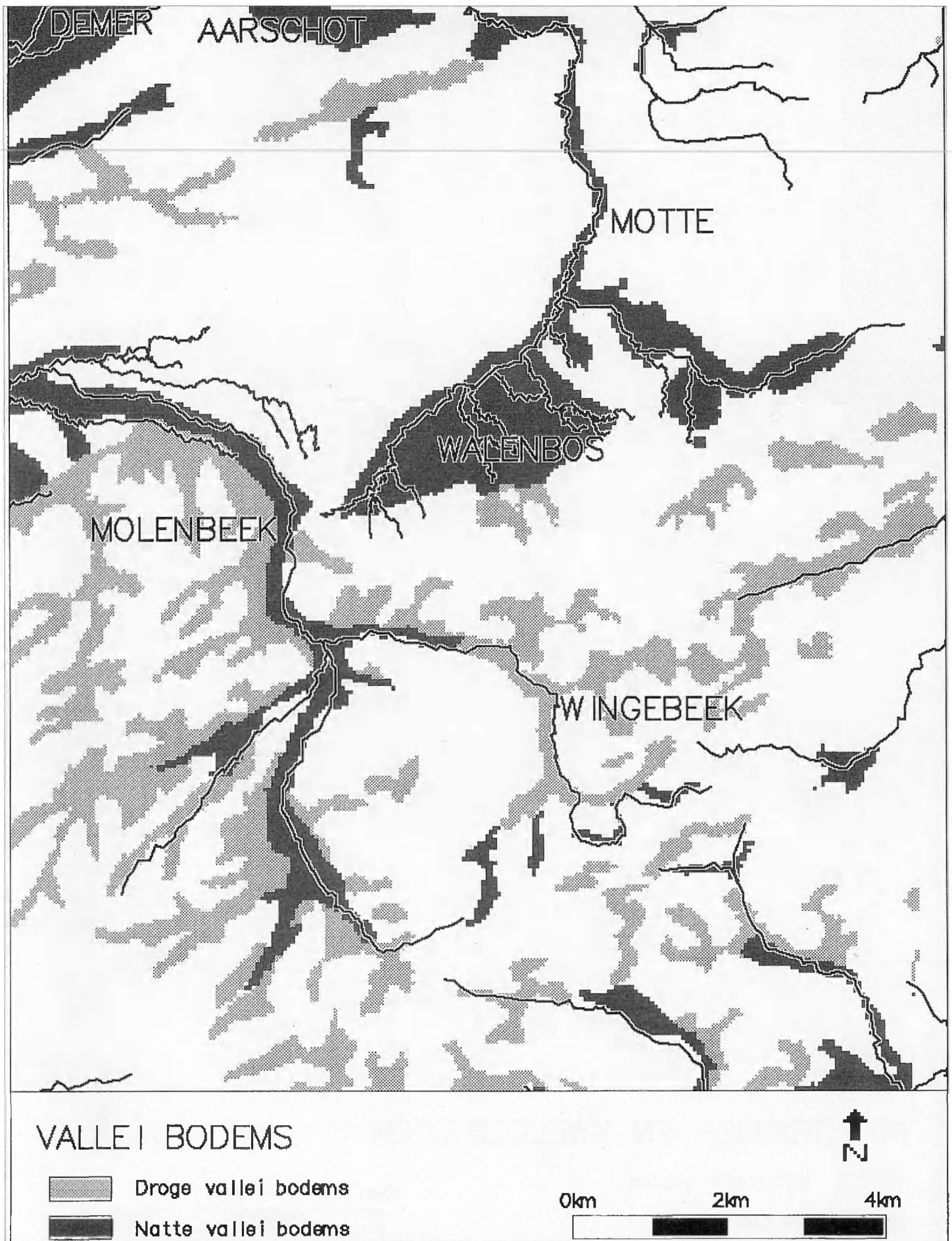


Fig. 7a : Gesimuleerde infiltratie en kwelgebieden in het Walenbos (1 : hoge kwel, 2 : lage kwel)
 7b : Gekarteerd kwelgevoelige vegetatie (3 : basisch type, 4 : zuur type)
 7c : Deel van Walenbos met waterpeilschommeling kleiner dan 40 cm (5)
 7d : Gebieden met stijghoogteverschillen die wijzen op de aanwezigheid van opkwellend grondwater (6)
 Begrenzing terreinwaarnemingen (7)



ge vegetaties en met de zones waar er een beperkte (kleiner dan 40cm) grondwaterpeilschommeling optreedt en/of waar de stijghoogteverschillen wijzen op opkwellend grondwater. De overlapping is weliswaar niet overal perfect. Zo worden een aantal kleinere kwelzones (bestaande uit slechts enkele cellen) gesimuleerd die niet onmiddellijk terug gevonden worden in het veld. Ook is er op een aantal plaatsen een dislocatie vast te stellen van 100 tot 150 meter tussen de gekarteerde en de berekende kwelgebieden. Op het vlak van de kwantificering van de kwelvolumes zijn de resultaten niet helemaal controleerbaar. Niettemin is het duidelijk dat de onderlinge

verhouding tussen de verschillende gebieden worden gerespecteerd en dat de gegenereerde ruimtelijke patronen een zeer realistisch beeld geven. Hierbij mag niet uit het oog verloren worden dat binnen de context van de ecohydrologie aan de grondwaterstromingsmodellen hoge eisen worden gesteld op het vlak van nauwkeurigheid en dat een verschuiving van 100 tot 150m verwaarloosbaar is ten opzichte van de afmetingen van het totale studiegebied (12 bij 16km).

6. CONCLUSIES

De in dit artikel voorgestelde methodiek

voor ecohydrologische analyse door middel van hydrogeologische systeemmodellering blijkt een krachtig voorspellingsinstrument te zijn voor identificatie van potentiële kwel en infiltratiegebieden. In de ruime omgeving van het Walenbos stemmen de gevonden patronen goed overeen met andere kartografische gegevens zoals de bodemkaart en de Biologische Waarderingskaart. Uit vergelijking met meer gedetailleerde ecohydrologische veldwaarnemingen in het Walenbos zelf blijkt dat er een goede overeenkomst kan worden bereikt. De nauwkeurigheid waarmee de patronen van kwel en infiltratie voorspeld worden in het Walenbos laat vermoeden

Fig. 5 : Gesimuleerd freatisch grondwaterniveau

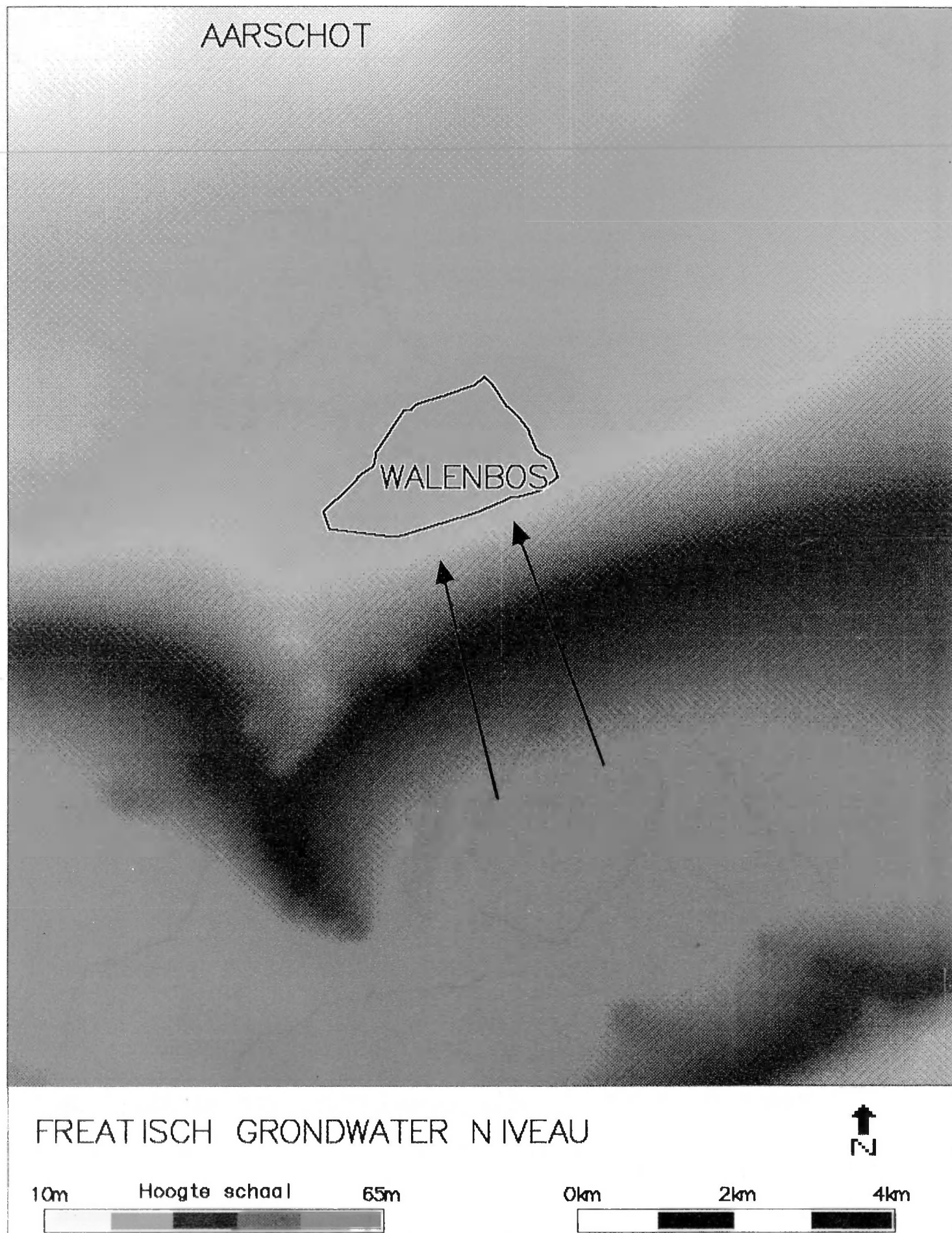


Fig. 6 : Grondwatervoedingsgebied van het Walenbos met indeling in zones gekarakteriseerd door verschillende verblijftijden

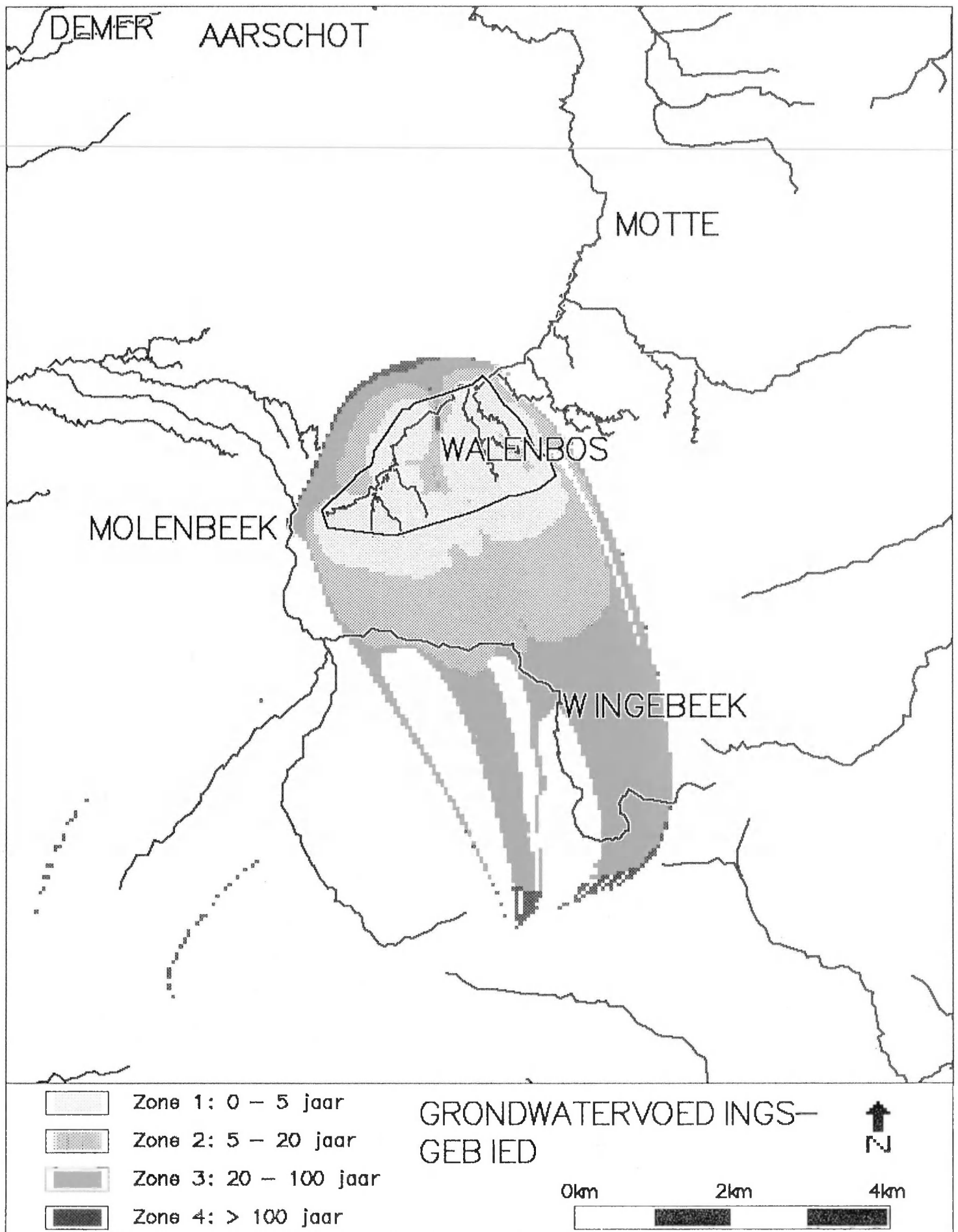


Foto 1 : Zicht op Walenbos vanuit zuidelijke richting



Foto 2 : Opkwellend grondwater in het Walenbos met wildgroei van ijzerfixerende bacteriën



dat dergelijke kwelgebieden geïdentificeerd kunnen worden, onafhankelijk van hun huidige gebruik en beheer. Aldus zou het mogelijk zijn om deze methode ook toe te passen in andere gebieden zodat een belangrijke bijdrage kan geleverd worden tot het beheer van natuurgebieden en het beleid ten aanzien van het natuurbehoud in het algemeen.

O. BATELAAR
F. DE SMEDT
V.U.B. - Dienst Hydrologie
Pleinlaan 2
1050 Brussel
W. HUYBRECHTS
P. DE BECKER
Instituut voor Natuurbehoud
Kievitdreef 3
3500 Hasselt

REFERENTIES

Batelaan, O., De Smedt, F., Otero Valle, M.N. & Huybrechts, W. (1993) Development and application of a groundwater model integrated in the GIS GRASS. In: Kovar, K. and Nachtnebel, H.P. (eds.), Application of geographic information systems in hydrology and water resources management. IAHS publication no. 211.

Bronckers, J. (1989) Bijdrage tot de geohydrologie van Midden België door middel van geostatistische analyse en een numeriek model. Doctoraat thesis, Vrije Universiteit Brussel.

Hackbusch, W. (1985) Multi-grid methods and applications. Springer-Verlag Berlin.

Pedroli, G.B.M. (1992) Ecohydrologie, the state of the art. Landschap 9/2, pp 73/82.

US Army Corps of Engineers (1991) Geographic Resources Analysis Support System, version 4.0, user's reference manual, Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, USA.

Wang, H.F. & Anderson, M.P. (1982) Introduction to groundwater modelling. W.H. Freeman and Company, San Francisco.

Verklarende woordenlijst

ecohydrologie: de toepassing van hydrologische kennis en technieken in de landschapsecologie

GIS: Geografisch Informatie Systeem, een coherent communicatie- en beheerssysteem voor de integratie van ruimtelijke gegevens

vectorgegevens: weergave van geografische gegevens als gestructureerde objecten (punten, lijnen, vlakken)

rastergegevens: de ruimte wordt opgedeeld in velden waarbinnen de geografische informatie als een onafgebroken ongestructureerd geheel wordt weergegeven

numeriek model: computer programma dat toelaat om een benaderende oplossing te bekomen voor een fysisch proces, beschreven door ingewikkelde toestandsvergelijkingen

eindige differentie: numerieke techniek om een benaderende oplossing te bekomen voor een afgeleide

oligotroof: voedselarm

mesotroof: licht voedselrijk

eutroof: voedselrijk

piëzometer: peilbuis met korte filter

freatofyt: plant die voornamelijk voorkomt in de invloedssfeer van de grondwaterspiegel

hydraulische geleidbaarheid: maat voor het vermogen van een watervoerende laag om een vloeistof door te laten

hydraulische weerstand: weerstand tegen grondwaterstroming

transmissiviteit: hydraulische geleidbaarheid vermenigvuldigd met de dikte van de watervoerende laag