32/446(393.1) 2e ex

Hydrologische modelstudie landinrichtingsgebied Laaghalen

Deel 1: Simulatie van de waterhuishouding

F.J.E. van der Bolt
P.H.J. Hollanders

951394 deel 1

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Rapport 393.1

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1997

REFERAAT

Van der Bolt, F.J.E. en P.H.J Hollanders, 1997. *Hydrologische modelstudie landinrichtingsgebied Laaghalen. Deel 1: Simulatie van de waterhuishouding*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 393.1 158 blz.; 4 fig.; 7 tab.; 30 ref.; 26 aanh.; 1 bijl.

De waterhuishouding van het landinrichtingsproject Laaghalen is gemodelleerd met het pseudo-driedimensionale, niet-stationair (grond)waterstromingsmodel SIMGRO. SIMGRO beschrijft het grondwatersysteem, het oppervlaktewatersysteem, de onverzadigde zône en de interacties tussen deze deelsystemen. De invoergegevens zijn zoveel mogelijk afkomstig uit geografische gegevensbestanden. De deelgebiedsindeling is vervaardigd met behulp van GIS-programmatuur. De huidige situatie is gesimuleerd voor de weerjaren 1986-1994. Invoergegevens zijn selectief geijkt. Het berekende isohypsenpatroon, de berekende GLG- en GHG-klassen, het voorkomen van afvoeren in het tertiaire systeem en de begrenzing van potentiele kwelzones zijn kwalitatief getoetst. De potentialen zijn kwantitatief getoetst. De resultaten lijken het regionaal hydrologisch systeem adequaat te beschrijven.

Trefwoorden: regionaal hydrologisch model, SIMGRO, Laaghalen, Drentse Aa, waterhuishouding.

ISSN 0927-4499

©1997 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO)
Postbus 125, 6700 AC Wageningen.
Tel.: 0317-474200; telefax: 0317-424812.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO-Staring Centrum.

DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Project 2191 Rap393-1.IS\02-98

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Doel	13
1.3 Opzet	14
2 Beschrijving van het grondwaterstromingsmodel SIMGRO	15
2.1 Verzadigde zone	15
2.2 Onverzadigde zone	15
2.3 Verdamping en beregening	16
2.4 Oppervlaktewater	17
3 Beschrijving van het onderzoeksgebied	19
3.1 Fysiografie en landschap	19
3.2 Geo(hydro)logie	19
3.3 Bodemkundige situatie	20
3.4 De hydrologie	20
4 Schematisering en invoergegevens	21
4.1 Begrenzing studiegebied	21
4.2 Geohydrologische schematisering	22
4.3 Geohydrologische gegevens	23
4.4 Bodemfysische gegevens	24
4.5 Gebiedsschematisering	25
4.6 Bodemgebruik	25
4.7 Meteorologische data	26
4.8 Beregening	26
4.9 Schematisering van - en invoergegevens voor het oppervlaktewatersysteem	26
4.10 Drainageweerstanden	28
4.11 Randvoorwaarden	30
4.12 Initiële waarden	30
4.13 Aanleg van het zanddepot	30
5 IJking en toetsing	31
5.1 IJking	31
5.1.1 Open water	32
5.1.2 Beregening	32
5.1.3 Geohydrologische eigenschappen	33
5.1.4 Drainageweerstanden	35

5.2 Kwalitatieve toetsing 39
5.2.1 Isohypsen 39
5.2.2 Grondwatertrappenkaart 40
5.2.3 Watervoerendheidsinventarisatie 42
5.2.4 Kwelindicatiekaart 42
5.3 Kwantitatieve toetsing 45
5.3.1 Stijghoogten 45
5.3.2 Afvoeren 49

6 Conclusies 51
6.1 Schematisering 51
6.2 Invoergegevens 51
6.3 Methode 52
6.4 Resultaten 52

Literatuur 55

Aanhangsels
1 Lokatie van natuurgebieden en het voorkomen veengronden 59
2 Voedingstypen per knooppunt 63
3 Geohydrologische parameterwaarden 71
4 Drainageweerstanden per meter waterloop voor de knooppunten 75
5 Berekende isohypsen (m + NAP) in het eerste watervoerende pakket op 14 april 1987, uitgebreide Drentse AA-model 79
6 Berekende isohypsen (m+NAP) in tweede watervoerende pakket op 14 april 1987, uitgebreide Drentse AA-model 83
7 Berekende isohypsen (m+NAP) in eerste watervoerende pakket op 14 april 1987, Laaghalen-model 87
8 Berekende isohypsen (m+NAP) in tweede watervoerende pakket op 14 april 1987, Laaghalen-model 91
9 Verschil tussen de berekende GLG en de GLG volgens de bodemkaart 1 : 50 000 95
10 Verschil tussen de berekende GHG en de GHG volgens de bodemkaart 1 : 50 000 99
11 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname januari 1994 103
12 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname mei 1994 107
13 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname juli 1994 111
14 Langjarig gemiddelde berekende diepe kwel in het winterhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van vegetatieopnamen 115
15 Langjarig gemiddelde berekende diepe kwel in het zomerhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van vegetatieopnamen 119
16 Langjarig gemiddelde berekende diepe en ondiepe kwel in het winterhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van vegetatieopnamen 123

17 Langjarig gemiddelde berekende diepe en ondiepe kwel in het zomerhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van vegetatieopnamen 127
18 Peilbuislokaties 131
19 Verschil tussen berekende en in peilbuizen gemeten gemiddelde stijghoogten t.o.v. NAP (m) 135
20 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp 1 (m) 137
21 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp 2 (m) 141
22 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp 3 (m) 145
23 Verschil tussen berekende en in peilbuizen gemeten GLS en GHS 23 Indeling van het studiegebied in stroomgebieden 149
24 Indeling van het studiegebied in stroomgebieden 151
25 Berekende afvoeren (m^3) per stroomgebied 155
26 Peilbuisdicussie 157

Bijlagen

Transparant deelgebieden, schaal 1 : 50 000

Woord vooraf

Op 17 mei 1994 is door de Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden (LBL) in de provincie Drenthe aan DLO-Staring Centrum opdracht verleend voor het verrichten van een hydrologisch modelonderzoek voor het landinrichtingsproject Laaghalen. Deze studie bestaat uit vier fasen:

1 Simuleren van de waterhuishouding van het landinrichtingsgebied Laaghalen;
2 Doorrekenen van een aantal door LBL bepaalde maatregelen;
3 Vertalen van de hydrologische effecten van de inrichtingsmaatregelen naar baten voor de landbouw;
4 Vertalen van de hydrologische effecten van de inrichtingsmaatregelen naar natuurwaarden in de natuurgebieden.

Dit rapport beslaat het eerste deel van het onderzoek waarin de bestaande waterhuishouding van het landinrichtingsgebied Laaghalen wordt gesimuleerd.

Dit deel van het project is begeleid door J. Geraedts (LBL-Drenthe)), W. Kok (LBL-centrale directie) en M. Siemonsma (provincie Drenthe).

R. Hofstra en H. Bouwhuis (LBL-Drenthe), J. van Roon (waterschap Hunze en Aa), en J. Boer (Grontmij-Assen) hebben gegevens verstrekt.

Samenvatting

Het landinrichtingsgebied Laaghalen is gemodelleerd met behulp van het pseudo-driedimensionale, niet-stationaire (grond)waterstromingsmodel SIMGRO. Om aan de vraagstelling te voldoen is een netwerk gemaakt met een knooppuntsafstand van ongeveer 200 meter en zijn 479 deelgebieden onderscheiden. De randvoorwaarden zijn gegenereerd met een model voor het stroomgebied van de Drentse Aa. De invoergegevens zijn zoveel mogelijk ontleend aan geografisch gebonden informatie (GIS-bestanden).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de reeks weerjaren 1986 - 1994. Hierbij zijn de werkelijke jaarlijkse grondwateronttrekkingen en gemeten neerslag- en verdampingscijfers gebruikt. De ontwikkeling van het zanddepot in het militair oefenterrein is gefaseerd in de tijd ingevoerd. Voor de zomer- en winterperiode zijn streefpeilen opgelegd. De dynamiek van het oppervlaktewatersysteem kan daardoor niet worden gesimuleerd. Hierdoor wordt ook de berekende dynamiek van de grondwaterstanden negatief beïnvloed.

Enkele vooraf geselecteerde parameterwaarden zijn aangepast om de werkelijke situatie beter te kunnen benaderen. De geijkte beregeningshoeveelheden benaderen de opgegeven onttrekkingen. Het lokaal verhogen van de weerstand van de eerste scheidende laag verbetert de resultaten in met name de natuurgebieden. De drainageweerstanden zijn geijkt aan gemeten grondwaterstanden. De resulterende drainageweerstanden zijn hoog.

De langjarig gemiddelden van grondwaterstanden, wegzijgingsfluxen, kwelfluxen en fluxen naar het oppervlaktewater hebben reële waarden. De resultaten zijn kwalitatief getoetst aan:
- Het isohypsenpatroon; het berekende isohypsenpatroon komt overeen met het regionale patroon van de isohypsenkaart (TNO, 1987);
- Het voorkomen van grondwatertrappen; hierbij zijn de GHG- en GLG- klassen van de Gt-kaart vergeleken met de berekende GHG- en GLG-klassen. De GLG-klassen zijn voor het grootste deel van het gebied gelijk. Plaatselijk worden drogere omstandigheden berekend. De klassen voor de berekende GHG's komen minder goed met de Gt-kaart overeen. In het westelijk en zuidelijk deel van het studiegebied worden ondiepere GHG's berekend. In het centrale deel van het studiegebied is de overeenkomst goed of worden diepere GHG's gesimuleerd;
- De watervoerendheid van ontwateringsmiddelen; deze toetsing is uitgevoerd voor de tertiaire waterlopen binnen het ruilverkavelingsblok. In nagenoeg alle delen van het ruilverkavelingsblok waar afvoeren zijn waargenomen worden voor dezelfde perioden ook afvoeren berekend;
- Het voorkomen van kwelindicerende soorten; overal waar kwelindicerende soorten voorkomen wordt kwel berekend. Het voorkomen van soorten die 'diepe kwel' indiceren sluit vrijwel aan op de plaats waar het model kwelfluxen van het derde naar het tweede watervoerende pakket berekent.

De kwalitatieve toetsing geeft aan dat de regionale patronen goed met de werkelijkheid overeenkomen.

De kwantitatieve toetsing bestaat uit het vergelijken van meetgegevens en rekenresultaten. Een toetsing aan gemeten afvoeren is niet uitgevoerd omdat geen meetgegevens beschikbaar waren. Wel is getoetst aan stijgbuisgegevens. Daartoe zijn de Gemiddelde Stijghoogte (GS), de Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) en de Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) berekend voor de stijgbuiswaarnemingen en de rekenresultaten. De GHS en GLS zijn gedefinieerd overeenkomstig de GLG en GHG. De verschillen tussen de berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in het eerste watervoerend (freatisch) pakket is in zes buizen kleiner dan 21 cm. De in deze buizen berekende grondwaterstanden zijn gemiddeld 10 cm te laag. In twee peilbuizen in hoger gelegen delen van het gebied worden grotere afwijkingen berekend. Voor het merendeel van de freatische buizen valt het verschil tussen berekend en gemeten binnen het criterium van 0,20 m. De voor het tweede en derde watervoerend pakket berekende stijghoogten zijn te hoog. Dit kan resulteren in te grote berekende kwelfluxen en een te groot gebied waarin kwelfluxen voorkomen. De dynamiek in de grondwaterstanden en potentialen wordt (met name door de opgelegde streefpeilen) regelmatig onderschat.

Geconcludeerd wordt dat, gegeven de doelstelling van het onderzoek, het model het huidige regionaal hydrologische systeem voldoende adequaat beschrijft om de effecten van de ingrepen in het hydrologisch systeem te kunnen voorspellen.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Het hydrologisch modelonderzoek Laaghalen is een deel van het door LBL-Drenthe opgezette 'waterhuishoudkundig onderzoek'. De resultaten van dit onderzoek worden door de landinrichtingscommissie Laaghalen gebruikt om besluiten te nemen over:
- de begrenzing en status van relatienotagebieden,
- de waterhuishoudkundige inrichting van natuurontwikkelings- en reservaatsgebieden, en
- de waterhuishoudkundige inrichting van het landbouwgebied.

Om inzicht te krijgen in het gedrag van de regionale (grond)watersytemen in het landinrichtingsgebied Laaghalen, is door LBL-Drenthe gevraagd om de regionale hydrologie van dit gebied te modelleren met behulp van het model SIMGRO. Om inzicht te krijgen in de gevolgen van mogelijke ingrepen ten aanzien van het waterbeheer worden in een aantal scenario's de effecten van deze ingrepen gekwantificeerd. Deze hydrologische effecten worden vertaald in opbrengsten voor de landbouw en veranderingen in natuurwaarden. Op basis van deze resultaten en de kosten van de voorgestelde maatregelen kan de opdrachtgever een voorstel formuleren over de in het Landinrichtingsplan Laaghalen op te nemen maatregelen.

Om deze vragen te beantwoorden is de studie onderverdeeld in vier deelstudies:
1 Simuleren van de waterhuishouding van het landinrichtingsgebied Laaghalen;
2 Berekenen van de hydrologische effecten van een aantal door LBL bepaalde maatregelen;
3 Vertalen van de hydrologische effecten van de inrichtingsmaatregelen naar baten voor de landbouw;
4 Vertalen van de hydrologische effecten van de inrichtingsmaatregelen naar natuurwaarden in de natuurgebieden.

Dit deelrapport omvat het eerste deel van het onderzoek waarin de bestaande waterhuishouding van het landinrichtingsgebied Laaghalen wordt gesimuleerd.

1.2 Doel

Het creëren van een geijkt model waarmee de waterhuishouding van het landinrichtingsgebied Laaghalen wordt gesimuleerd. Het model voldoet wanneer de gemiddelde afwijking van berekende freatische grondwaterstanden minder dan 0.2 meter afwijkt van in grondwaterstandsbuizen gemeten waterstanden.

1.3 Opzet

Het studiegebied wordt gevormd door het landinrichtingsblok Laaghalen en de daarbuiten gelegen natuurgebieden het Geelbroek, Het Groote Zand, het Witterveld, en het noordelijk deel van het Hijkerveld. Omdat de opdrachtgever ook de effecten op de directe omgeving buiten dit blok wil weten, is een zone van circa 500 tot 1000 meter buiten de feitelijke begrenzing aan het studiegebied toegevoegd.

Het gebied Laaghalen maakt vrijwel geheel deel uit van het stroomgebied van de Drensche Aa dat met het model SIMGRO (Querner en Van Bakel, 1989) door/in opdracht van StaatsBosBeheer is gemodelleerd (Kortleve en Peerboom 1990; Peerboom 1990). Omdat de ruimtelijke schematisering moet worden verfijnd om de vraagstelling te kunnen beantwoorden en omdat de begrenzing van de modelstudie voor de Drentse Aa het studiegebied Laaghalen niet volledig dekt, is voor het studiegebied Laaghalen een nieuw model gemaakt. Door de opdrachtgever is voor het modelgebied Laaghalen een knooppuntsdichtheid gevraagd van circa 1 knooppunt per 5 ha. De begrenzing van de inrichtingsmaatregelen moet in de deelgebiedsindeling terug te vinden zijn.

De randvoorwaarden van het modelgebied Laaghalen worden via een inzoomprocedure ontleend aan de modelstudie van de Drentse Aa. Hiervoor is het noodzakelijk dat het modelgebied Laaghalen helemaal binnen de grens van het modelgebied Drentse Aa terecht komt. Daartoe is het Drentse Aa model in zuidwestelijke richting uitgebreid.

Een regionaal grondwaterstromingsmodel vereist een groot aantal invoergegevens. In deze studie is geprobeerd deze gegevens zoveel mogelijk te ontlenen aan bestaande gegevensbestanden met geografisch gebonden informatie (GIS-bestanden). Voordeel van een dergelijke werkwijze is dat het genereren van invoergegevens snel en zonder fouten kan verlopen. Voorwaarde daarvoor is dat er goed onderhouden GIS-bestanden aanwezig zijn en dat programmatuur om de gegevens om te zetten naar invoerbestanden voor het grondwaterstromingsmodel beschikbaar is. Bovendien wordt door deze werkwijze het genereren van de invoergegevens reproduceerbaar. In deze studie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande methoden en programmatuur ontwikkeld voor de studies in de stroomgebieden van de Beerze en Reusel (Van der Bolt et al., 1996) en rond het Fochteloërveen (Veldhuizen en Van Walsum, 1996).

De ijking van het model SIMGRO vindt plaats voor de jaren 1986 - 1994 (historische situatie). Hierbij worden de werkelijke jaarlijkse grondwateronttrekkingen, de gemeten neerslag- en verdampingsgegevens gebruikt en wordt de ontwikkeling van het zanddepot in de tijd gefaseerd ingevoerd. De resultaten worden kwalitatief getoetst om inzicht te krijgen in het functioneren van het (sub)regionale hydrologische systeem. Daarna vindt een kwantitatieve toetsing plaats waarbij berekende en gemeten grootheden worden vergeleken. Uit beide toetsingen moet blijken of aanpassen van invoergegevens (ijking) noodzakelijk is.

2 Beschrijving van het grondwaterstromingsmodel SIMGRO

Met het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO kunnen de effecten van waterhuishoudkundige ingrepen in een gebied worden gekwantificeerd. SIMGRO beschrijft de stroming in de verzadigde zone, de onverzadigde zone en het oppervlaktewater (Querner & Van Bakel, 1989). Het niet-stationaire karakter van dit model, waarbij de interactie tussen de hydrologische processen in grond- en oppervlaktewater van belang zijn, maakt het mogelijk de reacties van het hydrologisch systeem op ingrepen of veranderingen in dit systeem te beschrijven.

2.1 Verzadigde zone

Voor het simuleren van de grondwaterstroming in de verzadigde zone is een schematisatie in watervoerende en waterscheidende lagen vereist. De stroming in het nagebootste systeem is quasi-drie-dimensionaal hetgeen betekent dat in de watervoerende lagen een twee-dimensionale horizontale stroming en in de waterscheidende lagen een vertikale waterbeweging plaats heeft. De verzadigde zone wordt gemodelleerd volgens de eindige elementen methode. De eindige elementen methode beschrijft de stijghoogte en/of flux in ieder knooppunt met behulp van lineaire interpolatiefuncties. Daartoe wordt het gebied verdeeld in een aantal driehoekige elementen waarvan de hoekpunten knooppunten vormen. Dit netwerk is voor elke laag gelijk. Aan de randen van het modelgebied dienen stijghoogten of horizontale fluxen over de modelrand te worden gedefinieerd.

2.2 Onverzadigde zone

De berekening van de onverzadigde grondwaterstroming vindt plaats per bodemgebruiksvorm en per deelgebied. Elk deelgebied is een deelverzameling van knooppunten uit het eindige elementen netwerk. De bodemfysische eigenschappen en de eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem in een deelgebied moeten vrijwel homogeen zijn. Binnen één deelgebied kunnen verschillende bodemgebruiksvormen worden onderscheiden. De bodemgebruiksvormen worden niet ruimtelijk gedefinieerd, maar als percentage van het totale oppervlak van het deelgebied. De grondwaterstand per deelgebied is een gemiddelde van de grondwaterstanden per knooppunt waarbij wordt gewogen naar het oppervlak per knooppunt.

De onverzadigde zone is onderverdeeld in twee reservoirs: de wortelzone en de onverzadigde ondergrond. Hierbij is de ondergrond gedefinieerd als het profiel tussen wortelzone en freatisch vlak. De wortelzone heeft een vochtbergend vermogen dat wordt bepaald door de dikte en de vochtkarakteristiek van het bodemmateriaal; toevoeging aan of onttrekking uit dit systeem zijn neerslag, beregening, evapotranspiratie, capillaire flux en percolatie. Als de vochtvoorraad in de wortelzone behorende bij het evenwichtsprofiel wordt overschreden, zal het overtollige vocht als percolatie naar de ondergrond gaan. Dit is de grondwateraanvulling voor de verzadigde zone.

Als er minder vocht dan behorende bij het evenwichtsprofiel in de wortelzone aanwezig is, kan er een capillaire flux optreden. De capillaire flux is afhankelijk van de bodemfysische eenheid, de grondwaterstandsdiepte en de dikte van de wortelzone. De maximale vochtinhoud van de wortelzone is afhankelijk van dezelfde factoren. Met de percolatie of capillaire flux uit de onverzadigde zone rekent het model in de bovenste laag van het verzadigde deel een verandering van de grondwaterstand uit, die afhankelijk is van de freatische bergingscoëfficiënt.

Het vochttransport in de onverzadigde zone wordt op een pseudo-stationaire wijze benaderd: per tijdstap (1 dag) wordt verondersteld dat de toestand stationair is. De niet-stationariteit wordt benaderd door een opeenvolging van deze stationaire situaties.

2.3 Verdamping en beregening

De bovenrandvoorwaarde van de onverzadigde zone bestaat uit dagelijkse waarden voor de bruto neerslag, de potentiële verdamping, alsmede eventuele beregeningsactiviteiten.

De bruto neerslag is noodzakelijk voor de berekening van de natuurlijke grondwateraanvulling. De verdamping van gras wordt met behulp van de Makkink formule berekend (gras-referentieverdamping). Voor loof- en naaldbos wordt de potentiële verdamping berekend volgens de procedures opgesteld door de Ad Hoc Groep Verdamping (1984). Hierbij wordt voor bossen rekening gehouden met de interceptie van neerslag op de bladeren en naalden. Dit wordt modelmatig geschematiseerd als een reservoir waarvan de grootte verschilt in zomer en winter. Dit interceptiewater verdampt weer en is zodoende onderdeel van de potentiële verdamping voor bossen. Voor de overige gewassen (grondbruiksvormen), wordt de potentiële verdamping berekend met behulp van een gewasfactor (Feddes, 1978; Bakker, 1984; Janssen, 1986; Streefkerk en Casparie, 1987; Ovaa, 1990 en Van Wirdum, 1991) door deze te vermenigvuldigen met de potentiële verdamping van gras. De actuele verdamping (evapotranspiratie) hangt af van de vochtvoorraad in de wortelzone (Querner & Van Bakel, 1989). Buiten het groeiseizoen van een landbouwgewas rekent het model met een bodemverdamping. Deze verdamping is berekend op basis van het concept van Boesten en Stroosnijder (1986). De vochttoestand van het bovenste laagje grond bepaalt deze verdamping. Deze vochttoestand hangt af van de voorafgaande droge periode.

Beregening kan plaatsvinden door gebruik te maken van zowel oppervlaktewater als grondwater. Een gewas wordt beregend als een vooraf vastgestelde vochtvoorraad in de wortelzone wordt onderschreden. Als criterium voor beregening geldt een relatieve vochtvoorraad in de wortelzone. Deze relatieve vochtvoorraad is gedefinieerd als de actuele vochtvoorraad gedeeld door het evenwichtsvochtvoorraad bij een grondwaterstand van 1,0 m beneden maaiveld (Querner & Van Bakel, 1989). De beregeningsgift is afhankelijk van het bodemgebruik en wordt uitgevoerd middels een rotatieschema. Per bodemgebruik is aangenomen dat binnen de duur van het rotatieschema, bijvoorbeeld 7 dagen, alle percelen worden beregend. Het model rekent dan ook voor deze rotatieperiode met de gemiddelde beregeningsgift.

2.4 Oppervlaktewater

Voor de modellering van de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater wordt een onderscheid gemaakt tussen primaire, secundaire en tertiaire waterlopen en greppels. Het primaire systeem, dikwijls de grotere waterlopen, wordt gedefinieerd op knooppuntsniveau. Het waterniveau in het primaire systeem kan constant worden gehouden of per tijdstap worden gevarieerd. De secundaire en tertiaire waterlopen en greppels worden beschouwd per deelgebied, als één reservoir met één denkbeeldige stuw aan het uitstroomeinde. Aangenomen wordt dat deze ontwateringsmiddelen gelijkmatig over het deelgebiedsoppervlak zijn verdeeld en in alle knooppunten aanwezig zijn.

De oppervlaktewateren van de deelgebieden zijn onderling niet gekoppeld. Er wordt per deelgebied rekening gehouden met aan- of afvoer van oppervlaktewater, drainage of infiltratie, oppervlakkige afstroming en onttrekking voor beregening. Voor elk reservoir moet een relatie opgegeven worden tussen oppervlaktewaterpeilen en de daarbij behorende berging en afvoercapaciteit.

Voor het berekenen van de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater wordt verondersteld dat de ontwateringsmiddelen uniform aanwezig zijn per knooppunt van het elementennetwerk ofwel per deelgebied. Voor elk van deze systemen wordt de drainage-intensiteit berekend met een formule van Ernst (Ernst, 1978).

De waterstanden in het oppervlaktewater reageren meestal zeer snel op een veranderende drainage. De berging ervan is immers zeer gering in vergelijking met het grondwatersysteem. Een kleine tijdstap is dan ook gewenst, die los staat van de gekozen tijdstap voor het grondwater. Voor de onverzadigde zone en de verzadigde zone rekent SIMGRO in het algemeen met tijdstappen van 1 dag. Het oppervlaktewatersysteem in het model wordt daarentegen met kleinere tijdstappen doorgerekend. Het oppervlaktewaterpeil kan worden berekend met behulp van een stuwpeil of met behulp van een streefpeil. Bij het opleggen van een stuwpeil wordt de afvoer berekend met een Q-h relatie en wordt een waterstand berekend afhankelijk van aanvoer, drainage en afvoer. Bij gebruik van een streefpeil wordt het bakje gevuld tot het streefpeil. Komt de waterstand in het bakje boven het streefpeil dan wordt de hoeveelheid water boven het streefpeil volledig afgevoerd. De waterstand kan zowel bij het streefpeil als bij het stuwpeil onder het opgelegde peil zakken. Er vindt dan geen afvoer plaats. De waterstand kan dan ook nooit boven het streefpeil uitkomen. De interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater wordt voor deze kleinere tijdstap berekend. De grondwaterstand blijft tijdens deze periode constant, maar het waterpeil kan variëren en de berekende drainage of infiltratie wordt gesommeerd. Bij de volgende tijdstap voor het grondwater wordt deze gesommeerde drainageflux gebruikt om een nieuwe grondwaterstand te berekenen.

In deze studie zijn op verzoek van de opdrachtgever streefpeilen opgelegd voor de stuwen in de zomer- en in de winterperiode. Er wordt geen rekening gehouden met de fluctuaties van het oppervlaktewaterpeil binnen deze perioden.

3 Beschrijving van het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied ligt ten zuiden van Assen aan weerszijden van de grens tussen de waterschappen Hunze en Aa en Meppelerdiep (volgens de indeling in waterschappen per 1-1-1995) en omvat een groot deel van de stroomgebiedjes van het Witterdiep en het Anreperdiep. De westgrens wordt gevormd door de Drentsche Hoofdvaart en de zuidgrens door het Oranje Kanaal. De noordgrens bevindt zich vlak onder het centrum van de stad Assen en de oostgrens loopt langs de dorpen Ekehaar en Amen. Het studiegebied heeft een oppervlakte van circa 7500 ha.

3.1 Fysiografie en landschap

Het studiegebied Laaghalen vormt een van de hooggelegen plateaus van het grotere stroomgebied van de Drentse Aa. In het studiegebied ontspringen verschillende stroompjes waarvan het merendeel in noordoostelijke richting afwatert. Het gebied helt in eenzelfde richting: in het uiterste zuiden van het gebied bedraagt de maaiveldhoogte circa 16 m + NAP en het noordelijk deel van het gebied bevindt zich op circa 11 m + NAP. Ten zuiden van Hooghalen bevindt zich een waterscheiding waardoor een klein deel van het gebied in zuidelijke richting afwatert. In het westelijk deel van het studiegebied bevindt zich nog een waterscheiding. Het gebied westelijk van deze waterscheiding watert af richting de Drentsche Hoofdvaart.

De basis van het huidige landschap wordt gevormd door in de loop der eeuwen ontstane esdorpen. De dorpen liggen doorgaans op de hoger gelegen delen en worden omringd door essen. Het oude esdorpenlandschap wordt gekenmerkt door een min of meer vaste verhouding tussen de oppervlakte van essen, heide en madelanden. De essen waren van oudsher bouwland waarvan de vruchtbaarheid op peil werd gehouden met behulp van schapenmest. De madelanden waren in gebruik als hooiland. Door de komst van kunstmest begin deze eeuw is de oppervlakte verhouding tussen deze grondgebruiksvormen doorbroken. Grote stukken heide en woeste gronden werden ontgonnen. De landschappelijke structuur van het esdorpenlandschap is echter nog steeds herkenbaar.

3.2 Geo(hydro)logie

De geologie en geohydrologie van het studiegebied Laaghalen zijn beschreven in verschillende onderzoeksverslagen. De diepere ondergrond wordt beschreven door Csengö (1981). De geo(hydro)logische beschrijving uit het Drentse Aa onderzoek (Kortleve, 1989) is hier op gebaseerd. Ten behoeve van de landinrichting Laaghalen heeft de Rijks Geologische Dienst een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar voorkomen en diktes van de bovenste geologische pakketten (RGD, 1994).

3.3 Bodemkundige situatie

De bodemkundige situatie van het studiegebied laaghalen is uitvoerig beschreven in een hydrologische inventarisatie van het studiegebied (Bouwhuis, 1989). De bodems in het gebied bestaan voor ongeveer tweederde deel uit zandgronden en voor eenderde uit veen- en moerige gronden. De zandgronden bestaan overwegend uit veld- en haarpodzolgronden en zijn doorgaans in gebruik als bouwland. De zandgronden nabij de beekdalen bestaan hoofdzakelijk uit beekeerdgronden. Wegens de vaak geringe draagkracht zijn deze gronden in gebruik als grasland. De essen bestaan uit dikke enkeerdgronden en zijn voornamelijk in gebruik als bouwland. De veengronden binnen het gebied zijn voornamelijk vlierveengronden. Op de overgang van deze veengronden naar de zandgronden komen moerige gronden voor. Vanwege hun geringe draagkracht is de bodemgebruiksvorm op zowel de moerige- als de veengronden overwegend grasland.

3.4 De hydrologie

Het studiegebied ten noorden van de in het gebied voorkomende waterscheiding behoort tot een bovenstrooms deel van het stroomgebied van de Drentse Aa. Dit deel wordt op natuurlijke wijze ontwaterd. Het huidige stelsel van ontwateringsmiddelen dateert van 1976 toen door het voormalige waterschap 'Drentse Aa' een verbeteringsplan is uitgevoerd. De hoofdafwatering in noord- en noordoostelijke richting wordt verzorgd door het Witterdiep en de Ruimsloot welke afwateren in het Anreperdiep. In westelijke richting heeft afwatering plaats via een aantal bij de voormalige veenontginningen ontstane sloten (zogenaamde 'wijken') welke afwateren richting de Drentse Hoofdvaart. Ten zuiden van de in het gebied voorkomende waterscheiding vindt afwatering plaats richting het Oranjekanaal.

Vanuit het hoge grondwaterniveau in centraal Drenthe stroomt het grondwater via de grofzandige watervoerende pakketten naar de lager gelegen delen van de provincie. In kwelgebieden komt een deel van dit diepe grondwater weer aan de oppervlakte, zo ook in het noordelijk deel van het landinrichtingsblok. Een uitvoerige hydrologische beschrijving van het studiegebied Laaghalen wordt gegeven door Bouwhuis (1989).

4 Schematisering en invoergegevens

Voor het regionale grondwaterstromingsmodel SIMGRO zijn een groot aantal invoergegevens nodig. De beschikbaarheid en betrouwbaarheid van deze gegevens zijn, naast de schematisering van het studiegebied bepalend voor de betrouwbaarheid van de rekenresultaten (gegeven de doelstelling en de modelformuleringen). Voor dit project zijn zoveel mogelijk gegevens aan GIS-bestanden ontleend. Ook de deelgebiedsindeling is met behulp van GIS-programmatuur vervaardigd.

4.1 Begrenzing studiegebied

Omdat de randvoorwaarden van het modelgebied Laaghalen via een inzoomprocedure worden ontleend aan een model voor het stroomgebied van de Drentse Aa, wordt in het vervolg van dit rapport gemakshalve gesproken van het Laaghalen (gedetaileerd) -en het Drentse Aa (minder gedetaileerd) model.

Het studiegebied wordt gevormd door de begrenzing van het landinrichtingsblok Laaghalen en de daarbuiten liggende natuurgebieden het Geelbroek, het Witterveld, het Groote Zand, en het noordelijk deel van het Hijkerveld. Een zone tot 1000 m buiten dit studiegebied is toegevoegd omdat ingrepen in het studiegebied ook buiten het studiegebied effecten kunnen hebben. De begrenzing van het Laaghalen-model ligt nog verder buiten het studiegebied om randeffecten (fouten die ontstaan als gevolg van onnauwkeurigheden in opgelegde potentialen) te vermijden. De ligging van deze modelrand is afhankelijk van de ligging van de knooppunten in het bestaande Drentse Aa-model.

Een voorwaarde voor het gebruik van een inzoomprocedure is dat de rand van het Laaghalen-model niet mag samenvallen met de rand van het Drentse Aa-model. Dit omdat eventuele randeffecten van het Drentse Aa-model niet van invloed mogen zijn op de te berekenen randvoorwaarden voor het Laaghalen-model. Het is dan ook noodzakelijk dat het Laaghalen-model ruim binnen de begrenzing van het Drentse Aa-model ligt. Daartoe is de rand van het oorspronkelijke Drentse Aa-model in zuidwestelijke richting uitgebreid. Voor deze uitbreiding is een additioneel knooppuntennetwerk gegenereerd dat is toegevoegd aan het bestaande model van de Drentse Aa (fig. 1).

Op basis van een aantal uit het uitgebreide Drentse Aa-model geselecteerde knooppunten, de lokaties van peilbuizen, de lokaties van drinkwateronttrekkingen en beregeningsputten, de afwateringseenhedenkaart, de begrenzing van het ruilverkavelingsblok en de inrichtingsmaatregelen binnen het landinrichtingsblok en de gewenste knooppuntsafstand van 200 m, is met behulp van een netwerkgenerator het knooppunten- en elementennetwerk voor het Laaghalen-model gecreëerd. Het netwerk bestaat uit 1990 knooppunten (3730 elementen). De gemiddelde oppervlakte van (het invloedsgebied van) een knooppunt bedraagt 5 ha.

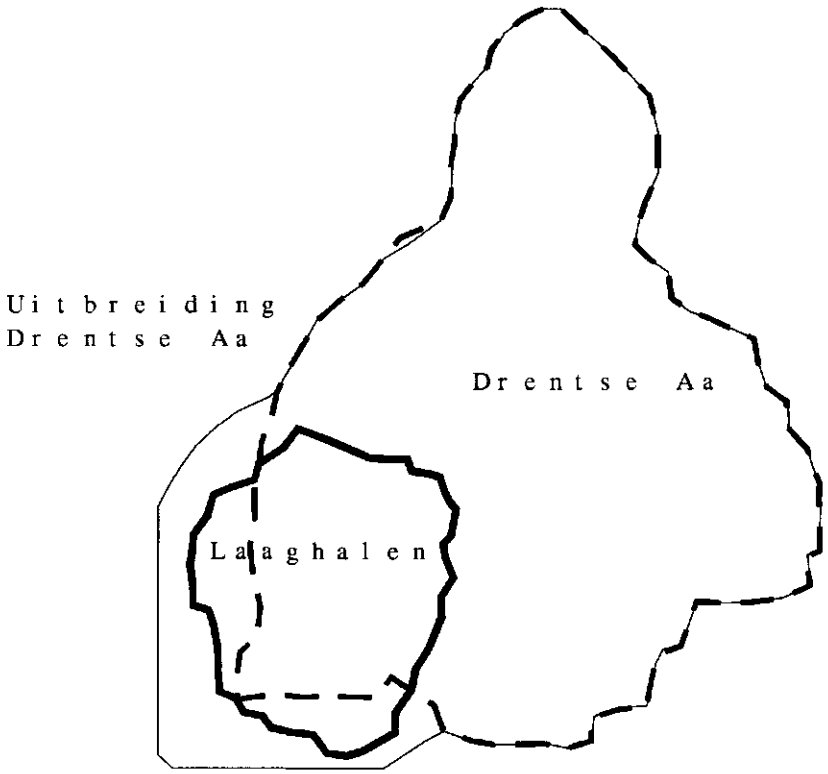


Fig. 1 Begrenzing van de modelgebieden Laaghalen, Drentse Aa en de uitbreiding van het Drentse Aa gebied.

4.2 Geohydrologische schematisering

De stroming van het grondwater wordt in SIMGRO beschreven door de ondergrond te beschouwen als een opeenvolging van (afwisselend) watervoerende en scheidende lagen. In de watervoerende lagen wordt verondersteld dat de stroming horizontaal is, in de scheidende lagen wordt verondersteld dat de stroming verticaal verloopt. De onderrand wordt gevormd door een volkomen ondoorlatende hydrologische basis. Het geohydrologisch profiel is voor Laaghalen geschematiseerd tot een vijf-lagen-systeem. Dit systeem bestaat uit drie watervoerende lagen, van elkaar gescheiden door twee waterscheidende lagen

- Aan maaiveld bevindt zich een dun *eerste watervoerend pakket* dat bestaat uit de dekzanden van de Formatie van Twente.
- De *eerste waterscheidende laag* wordt gevormd door slecht doorlatende keileemafzettingen en beekleem van de Formatie van Drenthe. Beekleem komt alleen voor in de beekdalen. De keileemlaag is zeer grillig qua verbreiding en qua dikte.
- Het *tweede watervoerend pakket* bestaat uit fijnzandige afzettingen van de Formatie van Peelo. Incidenteel komen uitlopers van de formatie van Eindhoven in het gebied voor. Deze worden tot de formatie van Peelo gerekend (RGD, 1994).

- De *tweede waterscheidende laag* wordt gevormd door ondoorlatende potkleipakketten en sterk slibhoudende zanden van de Formatie van Peelo.

- Het *derde watervoerend pakket* is opgebouwd uit fijne en grofzandige rivierafzettingen van de formaties Urk, Harderwijk en Scheemda.
- De *hydrologische basis* wordt gevormd door de bovenkant van het tertiair (mariene klei van de Formatie van Breda).

4.3 Geohydrologische gegevens

Uitbreiding Drentse Aa
De lagen 4 en 5 zijn op basis van de door Csengö (1981) beschreven diepere ondergrond bepaald. Voor de lagen 1, 2 en 3 is gebruik gemaakt van kaartmateriaal van het onderzoeksgebied Laaghalen verzameld door de RGD (1994). Dit kaartmateriaal is niet dekkend voor de totale uitbreiding van het Drentse Aa-model. Voor die delen waarvoor deze kaarten geen gegevens leverde is voor de lagen 1 en 2 een dikte van 1,5 m ingevoerd. De diepteligging van de lagen is tot stand gekomen op basis van de digitale hoogtepuntenkaarten 1:10.000 van de Topografische Dienst.

Laaghalen
Voor de geohydrologische karakterisering van laag 1, 2 en 3 in het studiegebied Laaghalen is gebruik gemaakt van het kaartmateriaal van de RGD. De gegevens voor de diepere ondergrond zijn overgenomen uit de Drentse Aa studie. De maaiveldhoogtes zijn binnen het landinrichtingsblok afkomstig van een door LBL-Drenthe aangeleverd hoogtepuntenbestand (1:5.000). Voor de gebieden buiten het landinrichtingsblok zijn de maaiveldhoogtes afkomstig van de digitale hoogtepuntenkaarten 1:10.000 van de Topografische Dienst.

- De dikte van het *eerste watervoerend pakket* varieert tussen 0 en 2 m. Het horizontale doorlaatvermogen van dit pakket bedraagt circa 3 m^2/d (Grondwaterplan Drenthe, 1985).
- De *eerste waterscheidende laag* bestaat uit beekleem en keileem. Voor de weerstand van de beekleem is de relatie 100*d aangehouden die in het grondwaterplan is genoemd. Voor de doorlatenheid van de keileem is de relatie $100*d^2$ gebruikt. Deze is veel hoger dan de in het grondwaterplan gebruikte relatie ($25*d^2$) voor kilometervakken en benadert de door Bakker (1984) in het Dwingeloërveld geijkte relatie ($125*d^2$). De diktes van deze laag varieren van 1 tot 2 meter.
- Het *tweede watervoerend pakket* is doorgaans enkele tientallen meters dik. Voor de doorlatendheid van dit pakket is 5 m/d aangehouden. Deze waarde is eveneens ontleend aan het Grondwaterplan. Afhankelijk van de dikte varieert het doorlaatvermogen van dit pakket tussen 10 en 450 m^2/d.
- De *tweede waterscheidende laag* komt zeer lokaal voor binnen het studiegebied. Volgens de informatie van de RGD (1994) komt ten noorden van de begrenzing van het landinrichtingsblok potklei voor. De RGD geeft echter geen diktes. Omdat verondersteld wordt dat de weerstand van dit pakket afhankelijk is van de dikte van dit pakket is een ruimere begrenzing (tot aan de noordkant van het Geelbroek) overeenkomstig het Drentse-AA model met geïnterpoleerde diktes gebruikt. De weerstand van deze laag bedraagt maximaal ruim 40000 dagen bij een dikte van 40 m. In grote delen van het gebied komt deze laag niet voor maar is ten behoeve

van de consistentie van de schematisering een weerstand van 100 dagen opgelegd en een dikte van 1 meter (bij de analyse van de resultaten is gebleken dat daar waar de tweede scheidende laag niet voorkomt een weerstand van 1000 in plaats van 100 dagen is ingevoerd).
- Het *derde watervoerend pakket* is doorgaans 100 tot 150 meter dik en heeft een doorlaatvermogen dat varieert tussen 1000 en 3500 m^2/dag. De variaties in kD-waarden zijn overgenomen uit het Drentse-Aa model.
- De *hydrologische basis* ligt op een diepte variërend tussen 70 en 220 meter minus NAP.

De geohydrologische parameters zijn bij de ijking aangepast. Zie hiervoor paragraaf 5.1.3.

Gegevens met betrekking tot de waterwinningen zijn overgenomen uit de Drentse Aa studie of zijn afkomstig uit een bestand van de provincie Drenthe met jaarlijkse onttrekkingen over de periode 1986 t/m 1992. Indien niet anders bekend, is verondersteld dat de onttrekkingen gedurende het jaar constant blijven. Indien in het bestand geen einddatum van de onttrekkingen is aangegeven wordt in de jaren na 1992 eenzelfde jaarlijks onttrekkingsdebiet verondersteld als in 1992. In het fijne modelgebied wordt over de periode 1986-1994 tijdelijk onttrokken door de NAM (circa 290.000 m^3/jaar tot en met 1988) en het Wilhelmina ziekenhuis in Assen (1987 en 1988: 390.000 m^3/jaar). Permanent wordt er onttrokken door Defensie (gemiddeld circa 15.000 m^3/jaar).

4.4 Bodemfysische gegevens

In het studiegebied Laaghalen worden 55 bodemeenheden onderscheiden zoals beschreven op de bodemkaart 1:50.000 (kaartbladen 12 oost, 12 west, 17 oost en 17 west, Staring Centrum, 1991). Voor de vertaling naar bodemfysische eenheden is gebruik gemaakt van de gebiedsspecifieke vertaalslag die door Stolte et al. (1995) voor het gebied rond het Fochteloërveen is opgesteld. Van bodemeenheden welke niet in deze studie voorkomen is de bijhorende bodemfysische eenheid bepaald op basis van De Vries (1991). Uiteindelijk worden in het studiegebied Laaghalen 35 bodemfysische eenheden onderscheiden. De bodemfysische eenheden zijn opgebouwd uit bodemfysische bouwstenen. Elke bouwsteen heeft bodemfysische kartakteristieken welke worden beschreven door een pF- en een k-h-relatie (Wösten et al, 1994). Van iedere bodemfysische eenheid zijn het evenwichtsgehalte in de wortelzone, de capillaire opstijging en de bergingscoëfficiënt voor de onverzadigde zone (onder de wortelzone) berekend met behulp van een aangepaste versie van het programma CAP-SEV (Wesseling, 1991).

De vochtgehalten en de bergingsfactoren van de onverzadigde zone zijn vermenigvuldigd met een 'hysterese-factor'. Voor deze factor is een waarde 0,7 aangehouden (Van Walsum en Knotters, 1992). Deze factor is gebruikt omdat de Staringreeks uitdrogingscurven beschrijft. Het feit dat de bodem bij bevochtiging een andere pF-curve heeft dan bij uitdroging (t.g.v. hysterese en luchtinsluiting) kan met de Staring-reeks niet worden beschreven. Voor de modelberekeningen resulteert dat bij

bevochtiging in een te hoog vochtgehalte en daarmee in een te grote berging. Dit heeft tot gevolg dat de berekende grondwaterstanden bij gebruik van de Staring-reeks minder fluctueren dan in werkelijkheid het geval is. De hysterese-factor zorgt ervoor dat de fluctuaties toenemen.

De bodemfysische eenheid met de grootste oppervlakte binnen een deelgebied is in het model als bodemfysische eenheid voor het deelgebied gebruikt.

De effectieve dikte van de wortelzone van elke bodemfysische eenheid is gelijk aan de maximale waarde van het traject van de bewortelbare diepte van de bodemeenheden zoals gegeven in de toelichtingen bij de kaartbladen van de bodemkaart 1:50.000 (kaartbladen 12 oost, 12 west, 17 oost en 17 west van het Bodemkundig Informatie Systeem, Staring Centrum, 1991). In enkele gevallen is op basis van 'expert judgement' een iets afwijkende (afgeronde) getalswaarde toegekend.

4.5 Gebiedsschematisering

Idealiter zou de waterhuishouding van de onverzadigde zone per grondgebruiksvorm en per knooppunt moeten worden berekend. Om de rekentijd te beperken en de uitvoer binnen aanvaardbare grenzen te houden is het nodig deelgebieden te definiëren (Querner en Van Bakel, 1989). Een deelgebied bestaat uit een aantal knooppunten met bijhorende invloedsgebieden. Verondersteld wordt dat een deelgebied homogeen is voor het oppervlaktewatersysteem, de bodemfysische eenheid en de (relatieve) maaiveldhoogte.

De indeling in deelgebieden is verkregen op basis van afwateringseenheden, de begrenzing van het ruilverkavelingsblok, de begrenzingen van gebieden waarin maatregelen worden overwogen, de natuurgebieden, de bodem (klei, veen en zand), de grondwatertrap en de maaiveldshoogten. Het studiegebied Laaghalen is uiteindelijk ingedeeld in 479 deelgebieden. De deelgebieden zijn weergegeven op Bijlage 1 (transparant). Bij de indeling in deelgebieden is de begrenzing van moerige gronden niet als onderscheidend criterium meegenomen.

4.6 Bodemgebruik

De bodemgebruiksvormen zijn ontleend aan de digitale bestanden van het Landelijk Grondgebruiksclassificatie project Nederland, opname 1992 (Thunnissen et al., 1992). In deze opname zijn de bodemgebruiksvormen onderscheiden in vakken van 25 X 25 meter. De oppervlakte van iedere bodemgebruiksvorm wordt als percentage van de oppervlakte van het deelgebied opgegeven. Per deelgebied kunnen verschillende bodemgebruiksvormen voorkomen. Per deelgebied zijn de procentuele verdelingen bepaald van de op basis van het LGN onderscheiden bodemgebruiksvormen gras, maïs, aardappelen, bieten, granen, overig bouwland, loofbos, naaldbos, overig natuur, kale grond, open water en bebouwing. Later zijn de bodemgebruiksvormen gras en overig bouwland onderverdeeld in beregend en onberegend.

4.7 Meteorologische data

Voor het berekenen van de evapotranspiratie en de natuurlijke grondwateraanvulling zijn meteorologische gegevens nodig. Deze gegevens bestaan uit dagwaarden van neerslag, temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en globale inkomende straling. De gegevens zijn afkomstig van het K.N.M.I. en ontleend aan de dataset van het hoofdstation Eelde voor de weerjaren 1986 tot en met 1994. Met het programma FEMSIN (Querner, 1988) wordt uit de meteorologische gegevens de dagelijkse potentiële evapotranspiratie voor gras, naald- en loofbos en een gewasfactor voor kale grond berekend. De neerslag op verharde oppervlakten wordt voor een deel opgevangen in rioleringsstelsels of andere afwateringsstelsels. Omdat bij de LGN-classificatie op kleine schaal wordt gewerkt, is geschat dat 80 % van de neerslag op als bebouwd geclassificeerd gebied direct wordt afgevoerd.

4.8 Beregening

Modeltechnisch kan worden beregend door voor grasland en overig bouwland het areaal per deelgebied te verdelen in een potentieel te beregenen en een niet beregend areaal. Alleen wanneer het vochtgehalte beneden een in de invoer gedefinieerde bodemeenheid-afhankelijke kritische waarde komt wordt daadwerkelijk beregend. De beregening vindt plaats vanuit het grondwater (tweede watervoerend pakket) en wordt in het model in de periode van 1 juni tot 14 augustus voor gras en van 1 juni tot 28 augustus voor bouwland toegediend als neerslag in giften van 25 mm met een interval van minimaal 7 dagen.

4.9 Schematisering van - en invoergegevens voor het oppervlakte-watersysteem

Het oppervlaktewatersysteem is per deelgebied geschematiseerd tot één reservoir met een uitstroompunt. Ieder deelgebied vormt een zelfstandig functionerend deelstroomgebiedje. Er vindt geen uitwisseling plaats tussen deelgebieden. De waterlopen worden onderscheiden in secundaire waterlopen (A-watergangen, waterlopen in beheer bij de waterschappen) en tertiaire waterlopen (ontwaterende (perceels)sloten).

De ligging van de secundaire waterlopen is gedigitaliseerd op basis van kaarten van de Grontmij. Hieraan is een door LBL-Drenthe geleverd DIWA-bestand gekoppeld. In dit bestand zijn per leidingvak de dimensionering en de peilen bij karakteristieke afvoeren gegeven. Voor enkele waterlopen die wel op de waterlopenkaart voorkomen maar niet in het DIWA-bestand zijn opgenomen worden door de opdrachtgever gedefinieerde standaardprofielen (een profiel met een diepte van 2,00 m - mv., een bodembreedte van 2,00 m en een verhang van 2:3 of een profiel met een diepte van 1,70 m - mv., een bodembreedte van 0,70 m en een verhang van 2:3) gehanteerd.

Door het waterschap Hunze en AA en de Grontmij zijn zomer- en winterpeilen van een aantal stuwen geleverd. Deze peilen bleken niet geheel overeen te komen met

de in DIWA gedefinieerde peilen. Er is van afgezien om de peilen in DIWA te corrigeren omdat de doorwerking van de door het waterschap en de Grontmij geleverde peilen naar bovenstrooms gelegen leidingvakken niet zonder meer is te kwantificeren (niet alle leidingvakken in DIWA worden begrensd door stuwen).

Op verzoek van de opdrachtgever is gebruik gemaakt van streefpeilen voor de zomer- en de winterperiode. Er wordt hierdoor in zeer beperkte mate rekening gehouden met fluctuaties en stuwing van het open-water-peil. Voor het winterhalfjaar wordt een stuwpeil gehanteerd dat gelijk is aan het waterpeil in het DIWA bestand bij 20%-afvoer (deze afvoer wordt gemiddeld 100 dagen per jaar overschreden). Voor het zomerhalfjaar is het peil van de stuw gelijk aan het peil bij 1%-afvoer (de afvoer die gemiddeld 20 dagen per jaar wordt onderschreden). Deze peilen worden in SIMGRO ingevoerd ten opzichte van maaiveld. Omdat de in SIMGRO gehanteerde maaiveldshoogte een gebiedsgemiddelde hoogte is kan deze afwijken van de maaiveldshoogte te plaatse van de waterloop. Door de peilen (m + NAP) af te trekken van de in het model ingevoerde maaiveldshoogten (m + NAP) zijn peilen ten opzichte van het maaiveld verkregen met een korrekte hoogte ten opzichte van NAP. Bij waterlopen waarvoor DIWA geen peilgegevens levert is in geval van niet-veengronden een zomer- en een winterpeil van 1,00 m - mv. aangehouden (gemiddelde van de ontwerp-drooglegginsnormen voor grasland en bouwland, resp 0,90 en 1,10 m - mv.). Bij veengronden is een zomer- en winterpeil van 0,70 m - mv. gebruikt.

Het voorkomen van tertiaire waterlopen binnen het landinrichtingsblok is gedigitaliseerd op basis van een drietal inventarisaties van de watervoerendheid van sloten en waterlopen. Deze inventarisaties zijn verricht in januari, mei en juli 1994 voor alle waterlopen binnen het landinrichtingsblok Laaghalen met uitzondering van het militaire oefenterrein (EOT). Voor het tertiaire systeem is een standaardprofiel met een diepte van 1,70 m - mv., een bodembreedte van 0,50 m en een verhang van 1:1 gebruikt. Dit profiel is afgeleid uit de binnen DIWA gedimensioneerde tertiaire waterlopen, en beschrijvingen van de Grontmij (1994).

Omdat in het studiegebied nauwelijks greppels voorkomen zijn deze in het model in combinatie met de bergingsfactoren van de onverzadigde zone gebruikt om het effect van microreliëf (plasvorming en oppervlakkige afvoer) te simuleren (Van der Bolt et al. 1996). De greppels hebben in de uitgangssituatie een drainageweerstand van 50 dagen en een diepte van 0,20 m. De weerstand van de greppels wordt in het model gereduceerd naarmate de grondwaterspiegel verder boven de ontwateringsbasis van het greppelsysteem stijgt. Hierdoor wordt voorkomen dat hoge, niet-realistische waterstanden boven maaiveld worden berekend.

In het studiegebied komt op enkele plaatsen open water (zandafgravingen, plassen) voor. Dit is in het model gesimuleerd met de kanaaloptie. Het open water heeft een konstant opgelegd peil. Aan de hand van topografisch kaartmateriaal 1 : 25 000 is bepaald welke knooppunten volledig door open water worden beïnvloed.

4.10 Drainageweerstanden

De grootte van de als gevolg van het potentiaalverschil tussen grond- en oppervlaktewater optredende flux naar/uit het oppervlaktewater wordt mede bepaald door de weerstand die de stroming in de bodem ondervindt; de drainageweerstand

$$q = \frac{\Delta h}{\gamma} \qquad (1)$$

q = afvoer per oppervlakte-eenheid[m.d^{-1}]
Δh = gemiddeld potentiaalverschil tussen grond- en oppervlaktewater binnen een vlak [m]
γ = drainageweerstand[d]

De drainageweerstand gebaseerd op de theorie van Ernst (1978) kan worden berekend met:

$$\gamma = \frac{L^2}{8\sum k_{hD}} + L*\Omega+\frac{c_s}{P}) \qquad (2)$$

γ	=	drainageweerstand	[d]
k_h	=	horizontale doorlatendheid	[m.d^{-1}]
D	=	dikte doorstroomde laag	[m]
L	=	slootafstand	[m^2.m^{-1}]
Ω	=	radiale weerstand per meter leiding	[d.m^{-1}]
c_s	=	bodemweerstand	[d]
P	=	natte omtrek van ontwateringsmiddel	[m]

De eerste term beschrijft regionale horizontale stroming, de tweede term beschrijft de stroming in de directe omgeving van een waterloop en bestaat uit een radiale en een intrede-component (het quotient van de bodemweerstand met de natte omtrek is gelijk aan de intrede-weerstand per meter waterloop). Herschikken van de formule leidt tot:

$$\gamma = L*(\frac{L}{8kD}+\Omega) + L*\frac{C_{hs}}{P} \qquad (3)$$

Hieruit volgt dat de drainageweerstand bestaat uit een (regionale) stromings-component die de weerstand als gevolg van horizontale en radiale stroming beschrijft en uit een (lokale) slootwand-component:

$$\gamma = \gamma_s + \gamma_e \qquad (4)$$

γ_s = stromingsweerstand [d]
γ_e = weerstand in de slootbodems [d]

De stromingscomponent van de drainageweerstanden van de ontwateringsmiddelen is per knooppunt bepaald met behulp van het programma FLONET (Waterloo Hydrogeologic Software, versie 2.0). Daarbij wordt gebruik gemaakt van de lengte van de waterlopen per invloedsgebied, de dimensies van deze waterlopen, de geohydrologische eigenschappen van de verschillende pakketten en de diepte van de ontwateringsbasis. FLONET berekent voor een opgelegde grondwatervoeding stroomlijnen en de opbolling van de grondwaterspiegel. De opbolling gedeeld door de flux levert de drainageweerstand overeenkomstig formule 2. De slootwand-weerstand is voor alle profielen berekend met een intrede-weerstand van 1 dag.

Belangrijkste variabele bij de bepaling van de drainageweerstand is de slootafstand. De slootafstand is de inverse van de slootdichtheid (slootlengte per oppervlakteeenheid) en kan in het GIS worden bepaald:

$$L = \frac{A}{l_t} \qquad (5)$$

A = oppervlakte deelgebied [m^2]
l_t = totale lengte aan waterlopen [m]

De dichtheden binnen het ruilverkavelingsblok uitgezonderd het EOT (militair oefenterrein) kunnen worden bepaald op basis van de gedigitaliseerde watervoerende waterlopen. De dichtheid van het tertiaire waterlopenstelsel buiten het landinrichtingsblok is geschat door binnen het landinrichtingsblok een dichtheid van het tertiaire waterlopenstelsel per grondwaterklasse af te leiden. De grondwaterklassen komen tot stand door een clustering van grondwatertrappen (zie Tabel 1). Aangenomen is dat deze dichtheid buiten de landinrichtingsblokgrens niet verandert. Vermenigvuldigd met de oppervlakten van de binnen een knooppunt voorkomende grondwaterklassen wordt de lengte van het tertiaire systeem in het buitengebied benaderd. Verondersteld is dat binnen de natuurgebieden geen tertiair systeem voorkomt. Greppels komen wel in de natuurgebieden voor.

Tabel 1 Clustering van grondwatertrappen tot grondwaterklassen en de dichtheden [m/ha] van het tertiair systeem ($m.ha_{-1}$) per grondwaterklasse. De dichtheden voor de grondwaterklassen 3, 4 en 5 zijn binnen het ruilverkavelingsblok bepaald, de dichtheid voor grondwaterklasse 2 is geschat.

Grondwaterklasse	Grondwatertrap	Dichtheid tertiair systeem
2	II, II*	180
3	III, III*	120
4	IV, V, V*	80
5	VI, VII, VII*	60

4.11 Randvoorwaarden

De ijking van het oorspronkelijke grove Drentse Aa model heeft plaatsgevonden met een flux als randvoorwaarde. Deze flux is tot stand gekomen door met het Drentse Aa model eerst één jaar door te rekenen met een stijghoogte (14 april 1987) als randvoorwaarde. Hieruit is, eveneens op 14 april 1987, een flux berekend welke als randvoorwaarde is ingevoerd voor de rekenperiode 1986-1987 (Kortleve en Peerboom, 1990).

Voor de uitbreiding van het Drentse Aa model is op basis van het isohypsenpatroon van de voorjaarsgrondwaterstand op 28 april 1980 (Grondwaterkaart van Nederland 11 oost, 12 west, TNO, 1987) voor elke geohydrologische laag per randknooppunt een stijghoogte bepaald. Hierna is het nieuwe, uitgebreide Drentse Aa-model doorgerekend voor drie gelijke weerjaren (het hydrologisch weerjaar april 1986 t/m maart 1987) met de nieuw bepaalde stijghoogte als randvoorwaarde. In het derde weerjaar is op 14 april 1987 de flux op de rand van het modelgebied berekend zoals ook voor het oorspronkelijke Drentse Aa model is gedaan door Kortleve en Peerboom (1990). Na ijking van het uitgebreide Drentse Aa-model wordt deze flux als randvoorwaarde ingevoerd voor de rekenperiode 1986-1994 van het Drentse Aa-model.

De randvoorwaarde van het studiegebied Laaghalen is ontleend aan de berekende stijghoogten over de simulatieperiode 1986-1994 van het uitgebreide Drentse Aa-model. Voor de knooppunten van het uitgebreide Drentse Aa-model welke overeenkomen met de randknooppunten van het Laaghalen-model, wordt iedere twee dagen de stijghoogte weggeschreven. Voor de tussenliggende knooppunten op de rand van het Laaghalen-model wordt de stijghoogte geïnterpoleerd.

4.12 Initiële waarden

De startwaarde voor het bepalen van de initiële stijghoogten is per knooppunt voor alle pakketten vastgesteld op 2,0 m - mv. Met deze startwaarden is een periode van vier weerjaren doorgerekend. De aan het einde van deze periode berekende stijghoogten zijn gebruikt als initiële waarden voor de berekeningen van de reeks weerjaren 1986 tot en met 1994.

4.13 Aanleg van het zanddepot

Ten behoeve van het te realiseren EOT wordt door defensie sinds 1993 een zanddepot aangelegd. De aanleg van dit zanddepot wordt met het model gesimuleerd door in oktober 1993 de maaiveldshoogtes, de dikte van het eerste watervoerend pakket en de bodemfysische eenheid in de invoer aan te passen.

5 IJking en toetsing

De simulatie van de historische situatie is uitgevoerd voor de periode 1 januari 1986 tot 1 december 1994. Hierbij zijn werkelijke onttrekkingen ingevoerd. Het zanddepot wordt in het model volledig in oktober 1993 aangelegd.

Om het hydrologisch systeem zo goed mogelijk te beschrijven zijn vooraf geselecteerde parameterwaarden (het voorkomen van open water, het beregend areaal, de drainageweerstanden, de kD- en C-waarden van de ondergrond) geijkt aan gemeten toestandsvariabelen (bv. stijghoogten). Na iedere ijking wordt getoetst aan meetgegevens. Eigenlijk zou bij het toetsen een andere set waarnemingen moeten worden gebruikt als bij de ijking. Omdat het beschikbare aantal waarnemingen beperkt is zijn ijking en toetsing met dezelfde meetgegevens uitgevoerd.

De ijking van het Laaghalen-model bestaat uit een kwalitatieve en kwantitatieve toetsing van het hydrologisch systeem. De kwalitatieve toetsing is uitgevoerd om inzicht te krijgen in het functioneren van het (sub)regionale hydrologische systeem en om een snelle indruk te krijgen van de waarde van de resultaten. Toetsingscriteria hiervoor zijn:

- het isohypsenpatroon;
- het verloop van de grondwatertrappen in het studiegebied;
- de watervoerendheid van de ontwateringsmiddelen;
- het voorkomen van kwelindicerende soorten;

De kwantitatieve toetsing bestaat uit een kwantitatieve vergelijking tussen modelresultaten en meetgegevens. Voor deze toetsing is gebruik gemaakt van de gemeten stijghoogten van peilbuizen in het gebied. De toetsing op basis van gemeten afvoeren is wegens het niet beschikbaar komen van deze meetgegevens niet uitgevoerd. De berekende afvoeren worden wel per stroomgebied gepresenteerd.

5.1 IJking

De volgende invoergegevens zijn geijkt:
- het voorkomen van open water (paragraaf 5.1.1);
- het beregend areaal (paragraaf 5.1.2);
- de invoergegevens van de kD- en C-waarden van de ondergrond (paragraaf 5.1.3);
- de berekende drainageweerstanden (paragraaf 5.1.4).

5.1.1 Open water

De in het oorspronkelijke model van de Drentse Aa (Peerboom, 1990) gebruikte kanaaloptie om de grote waterlopen en plassen te modelleren, is op dezelfde wijze konsekwent toegepast voor de uitbreiding van het Drentse Aa-model.

In het Laaghalen-model is geprobeerd het gebruik van open water gedefiniëerd via de kanaaloptie te minimaliseren omdat door het invoeren van vaste peilen de modelresultaten sterk worden gestuurd. Met behulp van topografische kaarten is bepaald waar zich plassen bevinden. Alleen daar waar de plassen het invloedsgebied van een knooppunt nagenoeg geheel bedekken is de kanaaloptie gehandhaafd. Dit heeft geresulteerd in totaal 19 knooppunten in met name het Hijkerveld en het Witterveld waar van de kanaaloptie gebruik is gemaakt. Tenzij er duidelijk redenen waren om hier van af te wijken (peilbuisgegevens) is het peil van het open water gelijk aan de door het model berekende langjarig gemiddelde grondwaterstand (aannamen: open water in kontakt met het grondwater; fluctuaties te verwaarlozen).

5.1.2 Beregening

Het potentieel beregend areaal van de technologiën grasland en bouwland zijn geijkt aan onttrekkingscijfers van beregeningen uit het bestand van de provincie Drenthe. Beregening wordt in het model ingevoerd per deelgebied. Om rekening te houden met de lokale invloed van onttrekkingen in beregeningsputten op de grondwaterstand, is het areaal beregend van gras- en bouwland in de deelgebieden rondom de beregeningsputten vergroot (tot 100% van het areaal grasland en bouwland in het deelgebied waar zich een beregeningsput bevind). De beregeningsputten bevinden zich met name op de hoger gelegen gronden in het zuidelijk en westelijk deel van het onderzoeksgebied. Of er beregening in een deelgebied wordt gesimuleerd is afhankelijk van het berekende vochtdeficiet in de wortelzone. Het beregend areaal is zodanig aangepast (tabel 2) dat de berekende beregeningsgiften het opgegeven debiet volgens het onttrekkingenbestand van de provincie Drenthe benaderen (tabel 3).

Van de jaren 1987, 1988, 1993 en 1994 zijn geen onttrekkingsdebieten bekend. De jaren 1989 en 1991 worden goed benaderd. Daarentegen wordt 1986 sterk overschat en wordt 1992 sterk onderschat. Omdat het verschil gemiddeld minder dan +14000 m^3jr^{-1} bedraagt (dit komt overeen met minder dan 0,1 mm waterschijf per jaar gemiddeld over het modelgebied) worden de resultaten toereikend geacht.

Tabel 2 De oppervlakten van de onderscheiden technologieën in het studiegebied Laaghalen

Technologie	Oppervlak (ha)	Oppervlak (%)
gras	2279	31,0
gras potentieel geïrrigeerd	1217	16,6
maïs	119	1,6
aardappelen	277	3,8
bieten	50	0,7
granen	93	1,3
overig bouwland	463	6,3
overig bouwland potentieel geïrrigeerd	606	8,2
loofbos	578	7,9
naaldbos	578	7,9
overige natuur	703	9,6
kale grond	35	0,5
open water	66	0,9
bebouwd	282	3,8

Tabel 3 Totale ontrekkingen (1000 m^3) van de beregeningsputten binnen het studiegebied Laaghalen over de jaren 1986-1994 naar opgave van de provincie Drenthe.

	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
V	116	-	-	230	261	217	459	-	-
B	245	93	72	219	306	237	380	171	137
D	+96	-	-	-11	+45	+20	-79	-	-

V = Opgegeven onttrekingen door vergunninghouders op basis van draaiuren
B = Berekend (totaal beregening grasland plus beregening bouwland)
D = Verschil

5.1.3 Geohydrologische eigenschappen

In eerste instantie werden met name in de hoge delen van het studiegebied in het tweede en derde watervoerende pakket te hoge potentialen berekend. Voor het noordoostelijke, laag gelegen deel van het studiegebied werden in het tweede watervoerende pakket te lage potentialen berekend. De grondwaterstanden in het eerste watervoerende pakket werden overal te laag berekend.

Om de grondwaterstanden in het eerste pakket te laten toenemen moet de weerstand van de tweede (eerste waterscheidende) laag toenemen. Om de stijghoogtes in het tweede watervoerende pakket in de intrekgebieden te laten afnemen en in de kwelgebieden te laten toenemen moet de stroming van water tussen beide gebieden toenemen.

In het hele studiegebied is het doorlaatvermogen (k-waarde) van het tweede watervoerende pakket met een factor 2 vergroot tot 10 m/d. Daardoor bleek overal en in alle pakketten het verschil tussen berekende en gemeten grondwaterstanden af te nemen.

De tweede modellaag bestaat voor grote delen van het gebied uit keileem. Over de weerstand van deze laag bestaan grote onzekerheid. In deze studie is vóór de ijking een weerstand van de keileem aangehouden van $100*d^2$. Omdat uit de modeluit-

komsten bleek dat de verschillen tussen de berekende en de gemeten stijghoogten niet overal even groot waren is geprobeerd te beargumenteren onder welke omstandigheden de weerstand van de keileemlaag hoger zou kunnen zijn.

Omdat hoogvenen zich ontwikkelen in gebieden waar water stagneert, is veen onderscheiden van de overige bodems. De veenontwikkeling kan leiden tot een slecht doorlatende gliedelaag op de overgang naar het moedermateriaal. Ter plaatse van de hogere veengronden is daarom de weerstand van de eerste waterscheidende laag met een factor 10 vergroot. Deze ingreep heeft tot gevolg dat in de directe omgeving van het veen de stijghoogte in het freatisch pakket toeneemt (als gevolg van verminderde wegzijging) en dat de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket afneemt (als gevolg van afname van de voeding). De berekende stijghoogten komen door deze ingreep lokaal beter overeen met de waargenomen stijghoogten.

Omdat het noordoostelijk deel van het studiegebied relatief laaggelegen is, is het aannemelijk dat veenvorming hier juist optreedt als gevolg van uittredend grondwater afkomstig van de hoger gelegen gronden. In dit deel van het onderzoeksgebied (Geelbroek) is daarom ter plaatse van de (laag)veengronden de weerstand van de eerste waterscheidende laag niet vergroot.

In het veld worden in de natuurgebieden hoge grondwaterstanden geconstateerd. Mogelijk heeft de keileem in de ondiepe ondergrond in de natuurgebieden een hogere weerstand dan in de omliggende landbouwgebieden. Dit is aannemelijk omdat (1) in de natuurgebieden (nagenoeg) geen grondbewerking plaats vindt waardoor de keileemlaag (of andere storende laagjes binnen het bodemprofiel) mogelijk niet is doorbroken en omdat (2) verondersteld kan worden dat in natuurgebieden de keileemlaag minder is gerijpt onder invloed van menselijke activiteit (grondbewerking, ontwatering). Daarom is de weerstand van de eerste waterscheidende laag in de natuurgebieden met een factor 2 vergroot. De gevolgen van deze ingreep hebben lokaal een positief effect.

Omdat de hoger gelegen veengronden veelal in natuurgebieden liggen, is door deze ingrepen de weerstand van de tweede laag plaatselijk met een factor 20 toegenomen (tabel 4). In aanhangsel 1 zijn de lokaties van de natuurgebieden en de veengronden in het studiegebied opgenomen.

De geijkte geohydrologische parameterwaarden zijn opgenomen in aanhangsel 2.

Tabel 4 Factoren waarmee de weerstand van het eerste waterscheidende pakket zijn vermenigvuldigd (tussen haakjes de resulterende relatie tussen weerstand en dikte van de keileemlaag).

	(hoog)Veen	Overige bodems
Natuur	20 (2000*d^2)	2 (200*d^2)
Landbouw	10 (1000*d^2)	1 (100*d^2)

5.1.4 Drainageweerstanden

De drainageweerstanden zijn geijkt omdat:
- deze zijn bepaald met de oorspronkelijke, niet-geijkte geohydrologische eigenschappen (de verhoogde weerstand van het tweede pakket en een hogere intrede-weerstand leiden tot hogere drainageweerstanden),
- de bodemdiepte van het profiel van het tertiaire systeem aan de hoge kant lijkt te zijn (ondiepere waterlopen leiden tot een kleinere natte omtrek en tot hogere drainageweerstanden),
- omdat een intrede-weerstand van 1 dag mogelijk aan de lage kant is (Wit et al 1991 hebben voor Drente waardes variërend van 0,1 tot 7.5 dagen berekend).

Vergelijken van de met FLONET berekende stromingscomponent en de met een bodemweerstand van 1 dag berekende intrede-component (formule 5) laat zien dat in de knooppunten met een kleine dichtheid aan waterlopen (diepe grondwaterstanden) de lokale intrede-component vele malen kleiner is dan de regionale stromingscomponent. In knooppunten met een grote dichtheid aan waterlopen (hoge grondwaterstanden) is de intrede-component een factor twee kleiner is dan de stromingscomponent. Dat betekent dat wanneer in deze knooppunten de bodemweerstand niet 1 maar 5 dagen bedraagt, en de natte omtrek voor de tertiaire waterlopen halveert, de intrede-component met een factor 10 (formule 4) toeneemt en de drainageweerstand een factor 4 groter wordt (eerst 1 + 2 = 3; nieuw 10 + 2 = 12; verhouding 12 : 3 = 4). Een vermindering in de natte omtrek zal ook de stromingscomponent van de drainageweerstand doen toenemen.

De met FLONET berekende drainageweerstanden bleken tot een gemiddelde maximale opbolling van 10 cm per jaar te leiden. De peilbuizen in het freatisch pakket binnen landbouwgebied indiceren een opbolling van 50 tot 60 cm. Omdat opnieuw berekenen van de drainageweerstanden veel tijd kost zijn de drainageweerstanden met een factor 6 vermenigvuldigd. Deze factor is bepaald met formule 2. De te realiseren opbolling is bepaald door binnen het landbouwgebied het verschil te bepalen tussen het oppervlaktewaterpeil in een deelgebied en de gemiddelde grondwaterstand van de freatische buizen. De afvoeren veranderen door deze bewerking niet.

SIMGRO hanteert één peil per deelgebied. Dit is voor zowel het secundaire als tertiaire systeem van toepassing. Verschillen in peilen binnen een afwateringseenheid door opstuwing in tertiaire waterlopen wordt dan ook niet meegenomen. Dit effect wordt via de ijkingsfactor in de resultaten gebracht.

De geijkte drainageweerstanden zijn vergeleken met resultaten van een studie van Wit et al. (1991). Daartoe is binnen het studiegebied onderscheid gemaakt in voedingstypes zoals onderscheiden door de Technische Werkgroep Grondwaterplan (1985). De resultaten van Wit voor gebieden met meer dan 10 % drainage en het studiegebied Uffelte waarvoor geen drainageweerstand is bepaald zijn niet in de vergelijking meegenomen.

Om een gebiedsdekkende kaart van de voedingstypes te krijgen zijn de voedingstypen van de secundaire en tertiaire waterlopen samengevoegd. Voor 99 van de 1990 knoop-

punten bleken de voedingsypen van beide systemen niet overeen te komen. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in bodemdiepte tussen beide systemen. Voor het verkrijgen van de gebiedsdekkende kaart zijn de diepste profielen aangehouden om het voedingstype te definieren. De voedingstypes (aanhangsel 3) binnen het gebied komen overeen met de in het Grondwaterplan gepresenteerde voedingstypen voor kilometer-vakken binnen dit gebied. De voedingstypes behoren voornamelijk tot de types C1 en (rond Assen) A2. Volgens het Grondwaterplan komt binnen het gebied ook voedingstype B voor. In deze studie blijft het voorkomen van type B beperkt tot enkele knooppunten. In deze studie wordt ook voedingstype C2 onderscheiden. In deze studie is verondersteld dat binnen de natuurgebieden geen waterlopen voorkomen. Derhalve zijn binnen de natuurgebieden geen voedingstypen gedefinieerd. In stedelijk gebied wordt de ontwatering grotendeels gerealiseerd via het percentage verhard oppervlak; de neerslag wordt vermenigvuldigd met deze factor (80%, paragraaf 4.7) om de hoeveelheid neerslag te bepalen die niet naar het grondwater percoleert. Daarom zijn voor knooppunten die geheel uit verhard oppervlak bestaan (Assen) geen voedingstypes onderscheiden.

De voedingstypen kunnen niet zonder meer worden vergeleken door het verschil in schaal waarop de resultaten zijn gepresenteerd en doordat verschillende geohydrologische bronnen zijn gebruikt.

Omdat een ondiepere bodemligging leidt tot een verschuiving van het voedingstype C2 naar C1 en van C1 naar B kan worden verondersteld dat de bodemdiepte van het tertiare systeem zoals in eerste instantie in deze studie is gebruikt te diep is.

Om de berekende drainageweerstanden per voedingstype te kunnen vergelijken met de resultaten van Wit et al. wordt gebruikt gemaakt van een eenvoudige benadering voor de berekening van de drainageweerstand. Wanneer wordt verondersteld dat de horizontale stromings-component uit formule 3 bij benadering konstant is, kan de drainageweerstand ook worden beschreven als de slootafstand maal een factor (formule 6). Deze factor heeft de dimensie dagen per meter en is fysisch gelijk aan de (harmonisch) gemiddelde drainageweerstand per strekkende meter waterloop in het betreffende knooppunt. De verschillen in slootafstand tussen de verschillende gebieden zijn voor de vergelijking weggewerkt door de weerstand per strekkende meter waterloop te bepalen.

$$\gamma = L * w \qquad (6)$$

w = drainageweerstand per meter waterloop [$d.m^{-1}$]

De minimale en maximale weerstand per meter waterloop zoals door Wit gevonden en zoals na ijking gebruikt in deze studie (aanhangsel 4) zijn per voedingstype bepaald (tabel 5). In de analyse van Wit is het voedingstype van het secundaire systeem (klasse 1 t/m 3) gebruikt. Omdat Wit voornamelijk waarnemingen heeft van het voedingstype B dat in het modelgebied nauwelijks voorkomt en omdat in het studiegebied hoofdzakelijk voedingstype C1 voorkomt waarvoor Wit weinig waar-

nemingen heeft, is ook een benadering waarbij het voedingstype geen rol speelt in de vergelijking meegenomen. De resultaten laten zien dat de maximale weerstanden per meter waterloop die in deze studie zijn gebruikt veel hoger zijn dan in de studie van Wit. De minimale weerstanden per meter waterloop zijn hoger maar vallen binnen het bereik van de maxima van Wit. De berekende minima zijn soms hoger dan de maxima volgens Wit. Dit wordt veroorzaakt door de hoge drainageweerstanden in knooppunten met grote slootafstanden (hoge delen van het studiegebied) en de knooppunten binnen natuurgebieden zonder waterlopen.

Tabel 5 De minimale en maximale drainageweerstanden per strekkende meter waterloop [d.m^{-1}] zoals bepaald door Wit et al. (1991) en zoals gebruikt in deze studie.

	Wit et al.			Deze studie		
	minimum	maximum	aantal	minimum	maximum	aantal
A1	1,2	2,9	2	-	-	0
A2	-	6,4	1	2,0	104,1	296
B	0,6	3,5	9	7,7	97,3	19
C1	-	-	0	2,1	176,6	1056
C2	-	2,6	1	3,4	45,2	185
-	0,6	6,4	13	2,0	176,6	36

De grootte van de gebieden van Wit (40 - 400 ha) verschillen sterk van de grootte van de knooppunten ongeveer (4 ha) in deze studie. Als gevolg van het omzetten van drainageweerstanden op knooppuntsniveau naar stroomgebiedsniveau zullen de extremen uit de verdeling verdwijnen. Dit opschalen gebeurt door het bepalen van het harmonisch gemiddelde van het secundair en tertiair systeem binnen het knooppunt (formule 9) en vervolgens door het naar oppervlakte gewogen harmonisch gemiddelde van de harmonische gemiddelden van de knooppunten te bepalen (formule 8).

$$\frac{1}{\gamma_{tot}} = \frac{1}{\gamma_{sec}} + \frac{1}{\gamma_{tert}} \qquad (7)$$

$$\frac{1}{\gamma_{tot}} = \frac{1}{\sum A_i} * \sum \frac{A_i}{\gamma_i} \qquad (8)$$

Deze manier van opschalen is korrekt binnen een gebied met een konstant potentiaalverschil tussen grond- en oppervlaktewater. Omdat binnen het studiegebied dit potentiaalverschil niet konstant is vormt deze methode een ruwe benadering. Als gevolg van de harmonische middeling zullen lage drainageweerstanden relatief zwaar wegen en zal de harmonisch gemiddelde waarde dichter bij het minimum dan bij het maximum liggen. Als gevolg van het opschalen zullen extremen en dan met name de maxima uit de verdeling verdwijnen. De opgeschaalde drainageweerstanden zijn berekend voor 36 afwateringseenheden. De grootte van deze (deel)stroomgebieden

varieert van 40 tot 400 ha en komt daarmee qua orde van grootte overeen met de stroomgebieden van Wit.

De resultaten van de opgeschaalde drainageweerstanden per meter strekkende waterloop zijn opnieuw vergeleken met de resultaten van Wit (tabel 6). Omdat binnen de onderscheiden afwateringseenheden knooppunten met verschillende voedingstypen voorkomen is per afwateringseenheid het dominante voedingstype aan de afwateringseenheid toegekend. Wit heeft gebieden bestudeerd die vrijwel uitsluitend landbouwgrond omvatten (Massop, pers.mededeling). Daarom zijn de afwateringseenheden die veel natuur omvatten niet in de vergelijking betrokken.

Tabel 6 De minimale en maximale drainageweerstanden per strekkende meter waterloop [d.m^{-1}] bepaald door Wit et al. (1991) en de minimale en maximale opgeschaalde drainageweerstand per afwateringseenheid uit deze studie wanneer natuurgebieden niet in de vergelijking worden meegenomen.

	Wit et al.			Deze studie		
	minimum	maximum	aantal	minimum	maximum	aantal
A1	1,2	2,9	2	-	-	0
A2	-	6,4	1	8,0	12,1	5
B	0,6	3,5	9	-	-	0
C1	-	-	0	8,6	16,5	29
C2	-	2,6	1	8,6	11,0	2
-	0,6	6,4	13	8,0	16,5	36

De drainageweerstanden per meter waterloop berekend voor de afwateringseenheden zijn lager dan de drainageweerstanden per meter waterloop berekend voor de knooppunten. De maxima per afwateringseenheid zijn veel lager dan de maxima per knooppunt, de minima per afwateringseenheid zijn hoger dan de minima per knooppunt. De in deze studie berekende drainageweerstanden per meter waterloop zijn groter dan op basis van de gegevens van Wit afgeleidde drainageweerstanden per meter waterloop.

Als gevolg van de ijking zijn de drainageweerstanden uit deze studie hoger geworden. Daarbij hebben de lagere weerstanden een reële waarde gekregen. Omdat de aanpassing heeft plaatsgevonden met een konstante factor hebben de gebieden met hoge drainageweerstanden hierdoor echter minder realistische waarden gekregen. Door deze bewerking (vermenigvuldigen met factor 6) is het ruimtelijk beeld niet veranderd.

Het vaststellen van de drainageweerstanden zou beter onderbouwd kunnen gebeuren door:

1) de stromingscomponent opnieuw te berekenen met de geijkte geohydrologische parameterwaarden en met goed gedefinieerde profielen van het tertiaire systeem en door
2) de slootbodemweerstand binnen het gebied te varieren.

Hierdoor zal ook het ruimtelijk patroon van de drainageweerstanden veranderen.

5.2 Kwalitatieve toetsing

Voor een aantal knooppunten komen wegzijgingsfluxen van 1,5 mm/dag voor. Dat zijn grote fluxen. Opstellen van de waterbalansen van de onverzadigde zone voor de knooppunten 393, 398 en 66 laat zien dat een gemiddelde neerslag van 800 mm en een gemiddelde beregeningshoeveelheid van 100 mm minus een actuele verdamping van 360 mm resulteren in een jaarlijkse wegzijging van 480 mm. De actuele verdamping is laag maar zeker niet onrealistisch. De hoge wegzijgingsfluxen in deze knooppunten zijn dan ook acceptabel.

De langjarig gemiddelden van grondwaterstanden, kwel/wegzijgingsfluxen en fluxen naar het oppervlaktewater hebben qua orde van grootte reële waarden.

5.2.1 Isohypsen

De berekende isohypsen van het uitgebreide Drentse Aa-model komen op de overeenkomstige datum goed overeen met de isohypsenpatronen van de grondwaterkaart (Grondwaterkaart TNO, 1987). In de zuidoosthoek van het studiegebied wijkt het berekende isohypsenpatroon enigszins af van het beeld van de grondwaterkaart. In dit deel van het studiegebied is het isohypsenpatroon van de grondwaterkaart van Nederland tot stand gekomen op basis van een beperkt aantal peilbuiswaarnemingen. De aanhangsels 5 en 6 bevatten de isohypsenpatronen van het studiegebied zoals berekend met het uitgebreide Drentse Aa-model voor het eerste en tweede watervoerende pakket.

In de aanhangsels 7 en 8 zijn de isohypsen patronen van het geijkte Laaghalen-model in het voorjaar 1987 van het eerste en tweede watervoerende pakket opgenomen. Vergelijking met de isohypsenbeelden van het uitgebreide Drentse Aa-model laat zien dat de isohypsenbeelden van zowel het eerste- als tweede watervoerende pakket in het noordelijk deel van het studiegebied goed met elkaar overeenkomen. In het zuidelijk deel van het studiegebied zijn de resultaten van het beide modellen niet gelijk. Het Laaghalen-model lijkt het patroon van de grondwaterkaart (TNO 1987) beter te volgen.

Hoewel de randvoorwaarden van het Laaghalen-model rechtstreeks ontleend zijn aan de berekende stijghoogten van het uitgebreide Drentse Aa-model, hoeven de isohypsenpatronen van beide modellen niet noodzakelijkerwijs met elkaar in overeenstemming te zijn. Dit komt door het gebruik van andere bronnen voor de invoerdata van het Laaghalen-model en de kleinere knooppuntsafstand in het Laaghalen-model. Hierdoor, en door de kleinere knooppuntsafstanden (grote onderscheidend vermogen) is het verloop van de isohypsen in het Laaghalen-model grilliger.

5.2.2 Grondwatertrappenkaart

Voor deze toetsing zijn kaarten van de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) vervaardigd op basis van de grondwatertrappenkaart 1:50.000 (kaartbladen 12 West, herzien in 1991, en 17 West uitgebracht in 1977) en op basis van de resultaten van de langjarige reeks die is doorgerekend. Hierbij is de indeling in grondwaterklassen gehanteerd zoals vermeld in tabel 7. Daarna zijn de berekende en de 'gemeten' grondwatertrappenkaart vergeleken. Twee kaarten waarin wordt aangegeven of de klassen van beide kaarten gelijk zijn of dat er een verschil bestaat tussen de berekende klassen en de op de Gt-kaart voorkomende klassen (aanhangsels 9 en 10) vormen het resultaat.

Tabel 7 Grenzen van de GLG- en de GHG-klassen

GHG-klasse	GHG	GLG-klasse	GLG
1	<25	1	<50
2	25- 40	2	50- 80
3	40- 80	3	80-120
4	80-140	4	120-180
5	>140	5	>180

De GLG- en GHG-klassen zijn onderscheiden omdat hierdoor een betere analyse van de resultaten mogelijk is. Gt's bevatten (op dezelfde GLG- en GHG-klassen gebaseerde) gecombineerde informatie.

In het grootste deel van het studiegebied bestaat geen verschil tussen de berekende en de gemeten GLG (aanhangsel 9; de witte gebieden zijn gebieden waarvoor de bodemkaart geen informatie levert). Als er verschillen zijn dan wordt nagenoeg altijd een diepere GLG-klasse berekend dan volgens de bodemkaart voorkomt (verdroging). De verschillen zijn met name te vinden in het Witterveld en het Hijkerveld. Omdat de GLG met name wordt bepaald door het regionale geohydrologisch systeem is de modelmatige vertaling uitgezonderd voor het Hijkerveld en het Witterveld goed te noemen. Het Witterveld is een hoogveensysteem. Derhalve zullen in de bodem slecht doorlatende lagen voorkomen. In het model is dit gerealiseerd door de weerstand van het tweede watervoerende pakket drastisch te verhogen (tabel 4). Het feit dat de berekende GLG lager is dan de op de bodemkaart weergegeven GLG kan betekenen dat de de weerstand nog veel hoger moet zijn of dat de slecht doorlatende lagen hoger in het profiel voorkomen waardoor schijngrondwaterspiegels ontstaan. Gezien de dikte van het freatisch pakket in dit gebied (om en nabij de 1 meter, RGD 1994) lijkt de laatste mogelijkheid onwaarschijnlijk. Onder het Hijkerveld is de eerste scheidende laag dik. Daardoor is ook de weerstand groot. Wanneer de bodemkaart de GLG in dit gebied op adequate wijze beschrijft betekent dit dat de weerstanden van de eerste scheidende laag in dit gebied een groter variatie vertonen dan de weerstand die op basis van de dikte van deze laag (RGD 1994) wordt geschat. Ten noordoosten van het Geelbroek worden voor veengronden met Gt II of III te lage GLG's berekend. Mogelijk is het in deze gebieden gehanteerde oppervlaktewaterpeil afkomstig uit de DIWA-bestanden de oorzaak hiervan. Dat betekent dat indien de DIWA-bestanden de huidige situatie korrekt beschrijven de bodemkaart in deze gebieden een historische situatie weergeeft.

De GHG (aanhangsel 10; de witte gebieden zijn gebieden waarvoor de bodemkaart geen informatie levert) vertoont bijna overal verschillen tussen de berekende en gemeten waarden. De GHG wordt redelijk gesimuleerd in het centrale deel van het studiegebied en in de natuurgebieden Witterveld en Geelbroek. Wanneer in deze gebieden sprake is van een afwijking wordt meestal een ondiepere GHG berekend dan op de bodemkaart voorkomt. Vergelijken met de bodemkaart leert dat dit vrijwel altijd Gt's V, V* en VI betreft. De berekende GHG is in het zuidelijk en in het noordwestelijk deel van het modelgebied overwegend lager dan de gemeten GHG.

Omdat de GHG wordt met name beïnvloed door het oppervlaktewatersysteem in combinatie met het topsysteem van de bodem duiden bovenstaande verschillen op tekortkomingen in de schematisering van het oppervlaktewatersysteem en de onverzadigde zone en/of de accuratesse van de invoergegevens. Beide zijn aannemelijk;

- de dynamiek van het oppervlaktewatersysteem wordt via de streefpeilen slechts ten dele beschreven, de peilen in de deelgebieden met alleen tertiaire waterlopen zijn geschat. Het in SIMGRO gebruikte peil is een (deel)gebiedsgemiddelde. Hoger gelegen delen binnen een deelgebied hebben eenzelfde peil tov maaiveld als de lager gelegen delen. Dit kan resulteren in te hoge berekende hoogste grondwaterstanden.
- de beschrijving van de onverzadigde zone is globaal en zal met name bij hoge grondwaterstanden problemen opleveren; de pF-curven zijn ontleend aan de Staring-reeks waarvoor alleen uitdrogingscurven zijn gebruikt. Om reëlere vochtgehaltes en bergingen te verkrijgen en om de dynamiek van het grondwatersysteem te benaderen is een hysterese-factor gebruikt. Een onderbouwing voor de grootte van deze hysteresis-factor ontbreekt en daarmee ook een mogelijke differentiatie naar verschillende bodems;

Daarnaast dient echter ook de datering van de betreffende grondwatertrappen-kaarten in beschouwing te worden genomen. De grondwatertrappen-kaart van het noordelijk deel van het studiegebied (12 West) is het laatst herzien in 1991 (opname afgesloten 1987). De kaart van het zuidelijk deel van het studiegebied (17 West) dateert uit 1977 (opname 1970-1972). Mogelijk wordt de huidige situatie door het laatste kaartblad niet voldoende adequaat beschreven (in 1976 is het ontwateringssysteem door het waterschap Drentse Aa verbeterd).

Ook is het de vraag of identieke grootheden worden vergeleken; beschrijft een kartering op basis van profielkenmerken de werkelijke optredende GHG of wordt op basis van de profielkenmerken de GHG structureel te ondiep geschat?

Het toetsen aan de bodemkaart is een kwalitatieve toets omdat de informatie van de Gt-kaart geclusterd is en de indeling in klassen grof en willekeurig is. Binnen een vlak met identieke berekende en op de bodemkaart voorkomende klasse kan het werkelijke verschil in waarden enkele decimeters bedragen zonder dat dit zichtbaar wordt. Aan de andere kant kan een verschil van enkele centimeters ervoor zorgen dat de waarde in een andere klasse valt en daarmee een verschuiving in klasse veroorzaken. De resultaten kunnen wel worden gebruikt om het regionale patroon

te toetsen dan wel om te achterhalen of in specifieke gebiedjes de simulatieresultaten te wensen over laten.

5.2.3 Watervoerendheidsinventarisatie

Toetsing van de watervoerendheid vindt alleen plaats voor de tertiaire waterlopen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de digitale bestanden van de watervoerende, tertiaire waterlopen in de maanden januari, mei en juli 1994 (zie paragraaf 4.8) en van de berekende deelgebiedsafvoeren over dezelfde perioden. Toetsing van de watervoerendheid gebeurt niet voor de secundaire waterlopen. Wanneer deze waterlopen volgens de berekeningen geen water voeren, kunnen ze in werkelijkheid wel nog water ontvangen uit bovenstroomse delen van het gebied. Dat is echter niet gemodelleerd.

De aanhangsels 11, 12 en 13 laten zien dat in bijna alle delen van het landinrichtingsblok afvoeren worden berekend waar in het tertiaire systeem water is waargenomen. Ten zuiden van Hooghalen wordt voor één deelgebieden met watervoerende waterlopen in juli (aanhangsel 13) geen afvoer berekend. De grondwaterstanden worden hier te laag berekend. In aanhangsel 13 komen ook ten noorden van Geelbroek enkele waterlopen voor die volgens de inventarisaties in juli 1994 wel watervoerend zijn, maar waar geen afvoer wordt berekend. Aan beide uiteinden liggen deze waterlopen in gebieden waar wel afvoer wordt gesimuleerd. Mogelijk vervult het middenstuk op dit tijdstip alleen een afwaterende functie. In het algemeen komen de waargenomen en de berekende watervoerendheid van de tertiaire waterlopen goed overeen. Gebieden met een op het oog grotere dichtheid aan waterlopen hebben een hogere afvoer.

In mei en juli worden voor een aantal (in het zuidelijk deel van het ruilverkavelingsblok gelegen) gebieden afvoeren berekend terwijl de waterlopen volgens de kartering niet meer watervoerend zijn.

5.2.4 Kwelindicatiekaart

Ten behoeve van het hydrologisch modelonderzoek is door Hofstra (1994) een notitie opgesteld over de indicaties voor kwel/wegzijging en type kwel op basis van kwelafhankelijke soorten. De inventarisaties daarvoor zijn uitgevoerd in de jaren 1987, 1988 en 1989. Voor deze studie zijn alleen de indicaties in het noordelijk deel van het studiegebied beschouwd omdat alleen daar kwel waarschijnlijk is.

De kwelindicaties kunnen uitsluitend voor een globale, kwalitatieve toetsing worden gebruikt omdat de rekenresultaten en de kwelindicaties geen betrekking hebben op dezelfde grootheid:

- De indicaties op basis van kwelafhankelijke soorten zeggen iets over de herkomst van het water in de wortelzone en de slootwanden.
- De met het model berekende vertikale kwelflux is de flux tussen twee watervoerende pakketten over de tussenliggende waterscheidende laag. Dit komt overeen met de flux aan de onderkant van het freatisch pakket. Op basis van

de resultaten van deze studie kan niet zonder meer worden voorspeld of deze flux de slootwanden passeert of (ook) de wortelzone bereikt. Via aanvullende modelberekeningen kan de mengverhouding tussen regenwater en kwelwater in de wortelzone en de sloten wel worden bepaald. De herkomst van het kwelwater (diep, ondiep) kan zichtbaar worden gemaakt door berekenen van de padlijnen.

Beide grootheden kunnen wel worden vergeleken omdat ze zijn gerelateerd: voordat kwelwater de sloten of de wortelzone (indicaties) kan bereiken moet dit water in het freatisch pakket terechtkomen (berekende kwelflux). De berekende kwelfluxen kunnen ook door horizontaal transport naar naastgelegen knooppunten met diepere waterlopen worden verplaatst. Door de geringe dikte van dit freatisch pakket in het studiegebied (maximaal 2 meter) en de aanwezigheid van een intensief ontwateringssysteem (resulterend in diepere grondwaterstanden) mag worden verondersteld dat het merendeel van deze kwelfluxen door het oppervlaktewatersysteem wordt afgevangen (kwelwater in slootwanden), bij afwezigheid van waterlopen (ondiepe grondwaterstanden) kan het kwelwater mogelijk ook het maaiveld bereiken.

De door Hofstra (1994) gegeven begrenzingen zijn indicatief omdat:
- de kwelindicaties uitsluitend zijn verkregen op basis van de verspreiding van indicatoren (Hofstra, 1994) en niet op basis van een volledige ecohydrologische analyse. Voor dit laatste moeten gegevens zoals geohydrologie, veendikte, hoogteverschillen en hydraulische en hydrologische veranderingen ook bij de interpretatie worden betrokken;
- de aan de notitie ten grondslag liggende soortverspreidingskaartjes fouten kunnen (missers, determinatiefouten) bevatten (Hofstra, 1994);
- de indicatorwaarde van de soorten niet altijd geheel duidelijk is (Hofstra, 1994);
- de begrenzing van de deelgebiedjes niet altijd scherp te trekken is (Hofstra, 1994);
- de soortverspreiding een afspiegeling kan zijn van een milieu zoals dat nu niet meer aanwezig is (relicten).

Getoetst wordt of het door het model berekende voorkomen van kwel bij benadering overeenkomt met het op basis van deze gegevens geschatte voorkomen van kwel. Daartoe zijn de kwelindicaties vergeleken met de berekende langjarig (1986 t/m 1993) gemiddelde kwel in de zomerperiode (dag 91 tot dag 274) en de winterperiode (dag 274 tot dag 91). De gebieden met een indicatie voor diepe kwel zijn ten behoeve van de toetsing van het voorkomen van kwel binnen het studiegebied toegevoegd aan de gebieden met de indicatie ondiepe kwel omdat in het model een kwelflux van het tweede naar het eerste watervoerende pakket wordt berekend waarbij geen onderscheid kan worden gemaakt naar de kwaliteit (herkomst) van het water. De kwelflux moet een drempelwaarde overschrijden om het voorkomen van kwel-afhankelijke soorten mogelijk te kunnen maken. Wanneer naar de verbreiding van gebieden met een kwelflux groter dan 0,5 mm/d wordt gekeken (aanhangsels 14 en 15) dan blijkt regionaal gezien de overeenkomst met de kwelindicatiekaart groot te zijn. De overeenkomst is in de zomerperiode groter dan in de winterperiode; de kwelfluxen zijn in de zomerperiode hoger dan in de winterperiode. Lokaal zijn verschillen in de

begrenzing zichtbaar. Opvallend zijn de grijze banden (lagere kwelfluxen) rond het Witterdiep. Deze worden veroorzaakt door de hoge weerstanden die ter plekke zijn ingevoerd ivm. het voorkomen van veen. Voor deze (laag)veengronden had de weerstand overeenkomstig de waterlopen rond het Geelbroek (paragraaf 5.1.3) niet verhoogd moeten worden. In het dal van het Witterdiep wordt geen kwel gesimuleerd terwijl er wel kwel voorkomt (oorzaak van de veenvorming ter plaatse).

In de gebieden met indicaties voor diepe kwel wordt een kwelflux aan de onderkant van het freatisch pakket berekend. Dit is een eerste voorwaarde om diepe kwel in de sloten of in de wortelzone aan te kunnen treffen. De rekenresultaten zijn op dit punt in overeenstemming met de indicaties.

Vervolgens is geprobeerd om in de rekenresultaten ook de herkomst van mogelijk optredende diepe (kalkrijke) kwel te onderscheiden. De diepe kwel (aanhangsels 16 en 17) is daartoe gedefinieerd als de opwaartse flux die optreedt als gevolg van het potentiaalverschil tussen het tweede en derde watervoerende pakket en komt daarmee overeen met de flux aan de onderkant van het tweede watervoerende pakket. Ook hier is de kwelflux in de zomerperiode groter dan in de winterperiode. De gebieden waar indicaties bestaan voor het optreden van diepe kwel zijn in noord-oostelijke richting verschoven t.o.v. de zones waarvoor het model in de zomerperiode diepe kwelfluxen groter dan 0,5 mm/d berekent. Hiervoor bestaan twee mogelijke oorzaken:

- Omdat de begrenzing van het voorkomen van de potklei in werkelijkheid noordelijker ligt kunnen ook deze kwelzones in werkelijkheid mogelijk noordelijker voorkomen. De berekende diepe kwelfluxen vertonen echter niet direct een beeld dat sterk beïnvloed lijkt door het voorkomen van de potklei.
- Het grondwater stroomt naar het noordoosten. Omdat het (berekende) diepe kwelwater nog naar het eerste watervoerende pakket moet worden getransporteerd (dikte van het tweede watervoerende pakket is ter plekke enkele tientallen meters) betekent dit dat, als dit diepe water het freatisch pakket al bereikt, de zones die dit indiceren zich noordoostelijk van de berekende zones met kwelfluxen aan de onderkant van het tweede watervoerende pakket.

De rekenresultaten zijn niet strijdig met de kwelindicaties; mogelijk wordt de exacte ligging van de berekende lokaties met diepe kwel enigszins beïnvloed door de begrenzing van de potklei. De verbreiding van de diepe kwel is volgens de modelresultaten uitgestrekter dan volgens het voorkomen van dit type kwelindicerende soorten. Dat duidt erop dat het kwelwater uit het derde watervoerende pakket niet overal het eerste watervoerend pakket en daarmee niet overal de wortelzone of de sloten (in signficante hoeveelheden) bereikt. De kwelindicaties op basis van de soortenkarteringen sluiten de verbreiding van de berekende kwelfluxen niet uit. Een betere kwantitatieve schatting van het voorkomen en de begrenzing van kwel afkomstig uit het derde watervoerend pakket kan via de berekening van padlijnen worden verkregen.

Hofstra (1994) onderscheidt bovendien kwel als gevolg van een zijwaartse toevoer van zacht grondwater (freatisch water). Dit type 'kwel' wordt aangetroffen in enkele diep ingesneden (spoor)sloten en wordt veroorzaakt door lokale stroming (met een korte verblijftijd) naar de betreffende sloten. Verondersteld is dat deze laterale kwel overeenkomt met de door het model (op 1 april) berekende horizontale flux in het

eerste watervoerend pakket over de rand van een invloedsgebied tussen twee knooppunten. De rekenresultaten leveren een ruimtelijk diffuus beeld met weinig ruimtelijk onderscheidend vermogen (mogelijk is de gebruikte knooppuntsafstand te groot om deze sterk lokale fluxen zichtbaar te maken): horizontale fluxen tussen knooppunten komen binnen het hele studiegebied in het freatisch pakket voor. Er is geen verband tussen de berekende horizontale flux en de indicaties voor zijwaartse kwel. Het feit dat de soorten alleen in enkele sloten 'zijwaartse kwel' indiceren wordt mogelijk meer bepaald door de kwaliteit en daarmee door de herkomst (landbouw vs. natuur) van het af te voeren water dan door uitsluitend het voorkomen van zijwaartse fluxen; door de plaatselijk voorkomende flux van kwalitatief goed (nutriëntenarm) water hebben mogelijk soorten zich in de van oorsprong geschikte gebieden staande weten te houden.

5.3 Kwantitatieve toetsing

5.3.1 Stijghoogten

Binnen het studiegebied Laaghalen liggen 67 peilbuizen (aanhangsel 18). Bij het genereren van het knooppuntennetwerk zijn de peilbuizen als vaste punten ingevoerd. Doordat meer peilbuizen aan één knooppunt kunnen zijn gekoppeld kunnen de resultaten van 57 knooppunten met peilbuiswaarnemingen worden vergeleken. Een peilbuis kan filters op verschillende diepten bevatten. Er zijn 8 peilbuizen in het freatisch pakket.

De berekende stijghoogten zijn gebiedsgemiddelde waarden (de gemiddelde doorsnede van de invloedsgebieden bedraagt ongeveer 200 meter), terwijl de peilbuizen puntwaarden betreffen die representatief worden geacht voor hun directe omgeving. Vergelijken van deze twee verschillende grootheden is niet zonder meer mogelijk. Wanneer de knooppuntsafstand afneemt zullen de grootheden elkaar naderen. De verschillen zijn (naast mogelijke fouten t.g.v. de invoer en schematisering van het model, en in de representativiteit, waarneming en verwerking van de meetgegevens) te verklaren uit de hoogteverschillen binnen het invloedsgebied en uit de grootte van het invloedsgebied.

De problemen die optreden bij het vergelijken van puntwaarnemingen met gebiedsgemiddelde waarden kunnen worden geïllusteerd aan de hand van de maaiveldshoogten. Bij het genereren van het knooppuntennetwerk zijn de peilbuizen als vaste punten ingevoerd en komen daardoor positioneel overeen met de knooppunten van de invloedsgebieden. De maaiveldshoogte is voor de peilbuizen ingemeten (puntwaarneming). Per knooppunt wordt een gemiddelde maaiveldshoogte ingevoerd. Afhankelijk van de gebruikte invoergegevens, de gebruikte interpolatiemethode en de knooppuntsafstand kan de gemiddelde maaiveldhoogte van het modelknooppunt afwijken van de gemeten maaiveldshoogte bij de peilbuis.

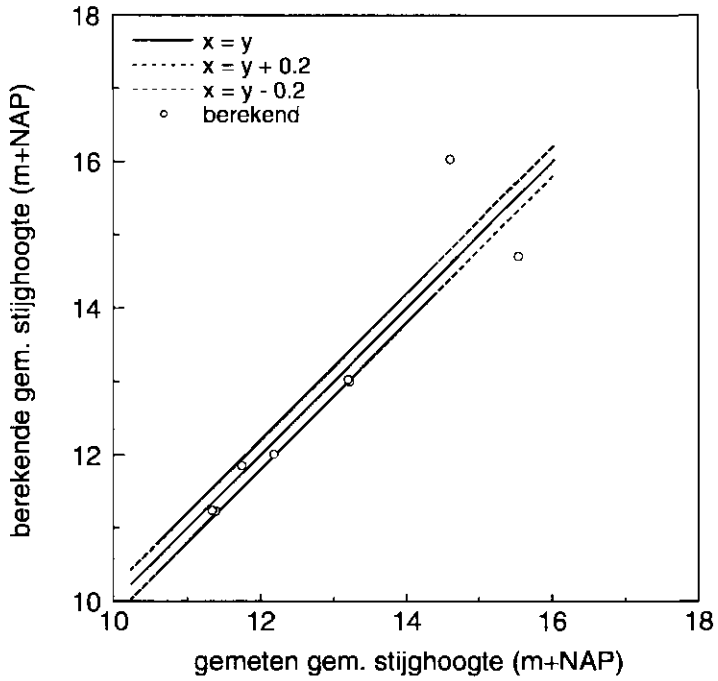


Fig. 2 De berekende versus de gemeten gemiddelde grondwaterstand (GG) voor knooppunten met peilbuizen in het freatisch pakket (m - mv.)

Omdat het doel van de studie met name is gericht op het freatische pakket zijn de berekende potentialen voor dit pakket uitgezet tegen de gemeten potentialen (fig. 2). De gemiddelde stijghoogten benaderen de werkelijkheid goed (verschil meestal kleiner dan plus of min 20 cm), de resultaten zijn acceptabel. Er zijn twee uitschieters in het hoger gelegen deel van het studiegebied; voor de buis in het Hijkerveld wordt een hogere potentiaal berekend dan gemeten en voor de buis ten zuiden van Hooghalen wordt een lagere potentiaal berekend dan gemeten (aanhangsel 19).

De absolute waarden van gemeten en berekende gemiddelde potentialen zijn per knooppunt terug te vinden in aanhangsel 19. Ook is vermeld in welk watervoerend pakket het betreffende filter staat. De (over de tijd) gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten stijghoogten is het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten. Een positieve waarde betekent dat de berekende stijghoogten hoger zijn dan de gemeten stijghoogten, een negatieve waarde impliceert dat de berekende stijghoogten lager zijn dan de gemeten waarden.

In de aanhangsels 20, 21 en 22 zijn per watervoerend pakket de gemiddelde afwijkingen tussen berekend en gemeten ruimtelijk weergegeven. De berekende potentialen voor het tweede en derde watervoerend pakket zijn structureel te hoog. De grootste afwijkingen worden gevonden in de hoger gelegen delen binnen het studiegebied. Opvallend is dat de buizen in het Hijkerveld en ten zuiden van Hooghalen in het derde watervoerend pakket relatief goede resultaten opleveren waar in de bovenliggende pakketten grote verschillen worden gevonden.

Geprobeerd is het effect van de variatie van het maaiveld binnen een invloedsgebied op de gemiddelde afwijking in de resultaten zichtbaar te maken (laatste twee

kolommen van aanhangsel 19). Op basis van het voorkomen van verschillen in maaiveldhoogte binnen een invloedsgebied is een range geschat waarbinnen de gemiddelde afwijking kan variëren. Per knooppunt zijn de minimale en de maximale binnen een invloedsgebied geïnterpoleerde maaiveldhoogte bepaald. Wanneer wordt verondersteld dat het grondwater het maaiveld volgt kunnen een minimale grondwaterstand en een maximale grondwaterstand worden berekend. De verschillen in maaiveldshoogten binnen de knooppunten blijken voor veel knooppunten met stijgbuizen te verwaarlozen. De optredende variatie in maaiveldshoogten binnen een knooppunt wordt onderschat omdat de maaiveldshoogten zijn bepaald met behulp van op basis van hoogtepunten geïnterpoleerde hoogtezones. Voor de punten waar verschillen in maaiveldshoogte voorkomen kan deze range soms als verklaring voor het verschil tussen berekend en gemeten worden gebruikt (bijvoorbeeld de knooppunten 1336 en 1178 met een afwijking van resp. -0,16 en -0,17 m). Dit geldt echter niet voor alle punten. Vanwege de weerstanden die de grondwaterstroming ondervindt zullen de variaties in stijghoogten binnen een knooppunt kleiner worden voor de dieper gelegen watervoerende pakketten. De benadering van het volgen van het maaiveld is ruw en leidt zeker voor diepe pakketten tot een overschatting van de variatie.

De verschillen tussen de berekende en gemeten Gemiddeld Hoogste Stijghoogte (GHS) en de Gemiddeld Laagste Stijghoogte (GLS) geven een indicatie voor de nauwkeurigheid waarmee de dynamiek wordt gesimuleerd (aanhangsel 23). De GLS en de GHS zijn gedefinieerd overeenkomstig de GLG en GHG. Voor diepere pakketten zijn de gesimuleerde GLS en GHG aan de hoge kant.

De grootte van de verschillen van GHS en GLS zijn niet altijd gelijk. Voor meer dan tweederde van de peilbuizen zijn de verschillen in de verschillen kleiner dan 0.20 m. De dynamiek wordt niet altijd even goed gesimuleerd. De berekende dynamiek wordt meestal onderschat. De dynamiek van het grondwater kan beter worden gesimuleerd door de dynamiek van het oppervlaktewater in de berekeningen mee te nemen.

In het freatisch pakket zijn GHS en GLS identiek aan de GHG en GLG. In figuur 3 en 4 zijn de berekende GLG en GHG uitgezet tegen de in de stijgbuizen gemeten GLG en GHG. De GLG en GHG worden adequaat gesimuleerd (afwijkingen veelal kleiner dan plus of min 20 cm, uitgezonderd de buizen in het Hijkerveld en ten zuiden van Laaghalen).

De te hoge berekende potentialen in het tweede en derde watervoerende pakket kunnen worden verklaard doordat op plaatsen waar de tweede scheidende laag in werkelijkheid niet voorkomt in het model een te hoge weerstand (1000 dagen in plaats van 100 dagen) blijkt te zijn ingevoerd en doordat de randfluxen niet zijn aangepast na calibratie van de geohydrologische parameters.

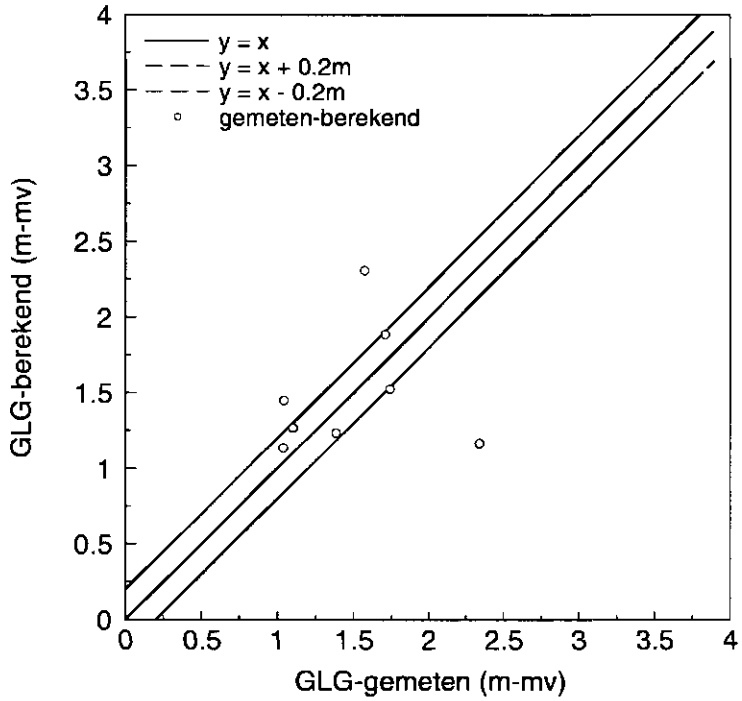


Fig. 3 De berekende versus de gemeten GLG voor knooppunten met peibuizen in het freatisch pakket (m - mv.)

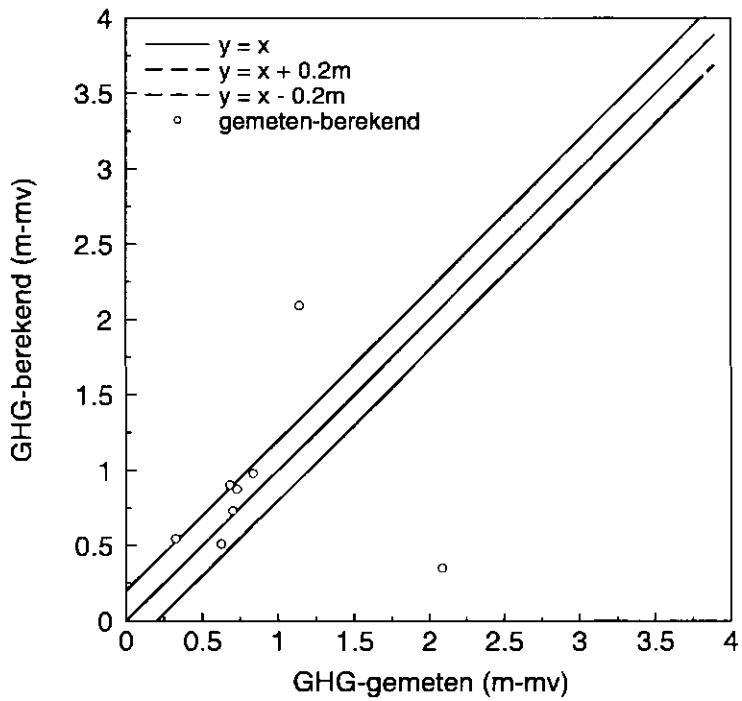


Fig. 4 De berekende versus de gemeten GHG voor knooppunten met peilbuizen in het freatisch pakket (m - mv.)

5.3.2 Afvoeren

Omdat afvoermetingen ontbraken worden alleen de berekende afvoeren gepresenteerd. In het model worden de afvoeren berekend per deelgebied. In de gebruikte SIMGRO-versie vindt geen uitwisseling plaats van oppervlaktewater tussen de deelgebieden. Op basis van de stromingsrichting in de secundaire waterlopen is het studiegebied verdeeld in vijf stroomgebiedjes (aanhangsel 24). De totale halfjaarlijkse afvoeren per stroomgebiedje zijn opgenomen in aanhangsel 25. Voor de lage delen van het studiegebied waar kwel voorkomt, komt dit overeen met een gemiddelde afvoer in het winterhalfjaar variërend tussen circa 1,0 en 5,5 mm per dag en in het zomerhalfjaar tussen circa 1,0 en 3,5 mm per dag. Voor de hogere delen van het gebied varieert de jaarlijkse afvoer tussen 0 en circa 1,0 mm per dag. Dit zijn reële waarden.

6 Conclusies

6.1 Schematisering

De gebiedsschematisering voldoet aan de vraagstelling. De knooppuntsafstanden zijn dermate klein dat een voldoende groot ruimtelijk detail in de resultaten wordt verkregen. De gebieden waarin maatregelen worden genomen en de natuurgebieden zijn in de deelgebiedsindeling te herkennen. De begrenzing van het studiegebied valt ruim buiten de begrenzing van het ruilverkavelingsblok.

6.2 Invoergegevens

De invoergegevens voor de geohydrologie en de watervoerendheid van waterlopen zijn niet voor het hele modelgebied beschikbaar. Voor de knooppunten waarvoor deze gegevens niet beschikbaar waren zijn deze benaderd. De dichtheden van tertiaire waterlopen zijn minder betrouwbaar buiten het ruilverkavelingsblok en in het EOT. De geohydrologische informatie is minder betrouwbaar in de westelijke uitbreiding van het modelgebied. Deze uitbreiding is door de opdrachtgever gevraagd om in de toekomst eventueel maatregelen voor het Witterveld door te rekenen.

Het voor de tertiaire waterlopen gebruikte standaardprofiel heeft een grote diepte. Vergelijken van voedingstypen (combinatie van dikte geohydrologische pakketten met diepte waterlopen) uit deze studie met de voedingstypen uit het Grondwaterplan lijkt te indiceren dat het standaardprofiel te diep is. Voor de berekende afvoeren heeft dit weinig gevolgen. Dit resulteert wel in een verschuiving in de verhouding tussen de stromingscomponent en de intrede-component van de drainageweerstand. Omdat de diepte van de waterlopen gedefinieerd is ten opzichte van maaiveld en omdat in werkelijkheid de waterlopen vaak in de relatief lagere delen zijn gelegen is de hierdoor veroorzaakte fout minder groot dan op basis van de profielen wordt gesuggereerd. De simulatieresultaten kunnen worden verbeterd door per afwateringseenheid de bodemdieptes (en peilen) van het tertiare systeem (perceelssloten) in het model in te voeren.

Verhogen van de weerstand van de eerste scheidende laag onder hoogveen en onder natuurgebieden verbeterd de rekenresultaten. In het dal van het Witterdiep (laagveen) zijn de weerstanden van de eerste scheidende laag ten onrechte verhoogd.

De begrenzing van de potklei ligt volgens de jogste informatie van de RGD noordelijker dan in het model is aangehouden: in het model komt de potklei voor tot aan de noordkant van Geelbroek; volgens de nieuwe begrenzing van de RGD komt de potklei voor tot aan de begrenzing van het ruilverkavelingsblok. Gegegens over de dikte van de potkleilaag zijn in 1994 niet door de RGD geleverd. Daardoor is het niet mogelijk de weerstand van deze laag te schatten, reden waarom de gegevens uit het Drentse-Aa model zijn aangehouden.

De opgelegde weerstanden voor het fictieve deel van de tweede waterscheidende laag zijn te hoog (1000 ipv 100 dagen). Dit wordt gedeeltelijk gecompenseerd doordat bij de ijking de doorlatendheid van het tweede watervoerend pakket is verdubbeld. Verlagen van de weerstand voor het fictieve deel van de tweede scheidende laag zal de verschillen in potentialen tussen de watervoerende pakketten 2 en 3 verkleinen.

Plaatsen van aanvullende buizen ter bemonstering van het freatisch grondwater en het meten van afvoeren in de hoofdwaterlopen maakt een betere, meer gebiedsgedifferentieerde ijking en toetsing mogelijk.

6.3 Methode

Door te rekenen met opgelegde stuwpeilen voor zomer- en winterperiode wordt de dynamiek van het oppervlaktewatersysteem in zeer beperkte mate gesimuleerd. Hierdoor wordt ook de dynamiek van de grondwaterstanden beïnvloed. De resultaten kunnen worden verbeterd door de dynamiek van het oppervlaktewatersysteem en met name de via het stuwbeheer ingestelde peilen in de simulaties mee te nemen.

SIMGRO hanteert één oppervlaktewaterpeil per deelgebied. Dit is voor zowel het secundaire als tertiaire systeem van toepassing. Het effect van opstuwing in het tertiaire systeem wordt dan ook niet meegenomen in de berekeningen. Dit heeft gevolgen voor de berekende grondwaterstanden. Het is gewenst om in SIMGRO of twee bakjes te onderscheiden of een (naar lengte van de waterlopen gewogen) gebiedsgemiddeld streef- of stuwpeil te berekenen wanneer de opgelegde peilen voor het secundaire en tertiaire systeem verschillen (bij gebruik van stuwpeilen moet dan ook de Qh-relatie worden aangepast). In deze studie is het effect van opstuwing in het tertiaire systeem binnen een deelgebied verdisconteerd in de geijkte drainageweerstanden.

Bij gebruik van een inzoom-procedure moeten na ijking van de invoergegevens van het gedetailleerde model nieuwe randvoorwaarden worden berekend door dezelfde geijkte invoergegevens in het grotere model te gebruiken. Verwacht wordt dat dit voor dit gebied betekent dat de potentialen uit het tweede en derde zullen afnemen en meer in overeenstemming met de gemeten potentialen zullen zijn. Hierdoor kunnen (plaatselijk) ook de kwelfluxen in grootte afnemen.

6.4 Resultaten

De geijkte beregeningshoeveelheden benaderen de opgegeven onttrekkingen. Het lokaal verhogen van de weerstand van de eerste scheidende laag verbetert de resultaten in met name de natuurgebieden.

De drainageweerstanden zijn geijkt aan de hand van de in freatische grondwaterstandsbuizen gemeten opbolling van de grondwaterspiegel. Omdat met een konstante factor is geijkt zijn de drainageweerstanden te hoog in de delen van het studiegebied

met diepe grondwaterstanden. De geijkte drainageweerstanden hebben per meter waterloop hogere waarden dan door Wit et al. in Drente is gemeten.

De langjarig gemiddelden van grondwaterstanden, kwel/wegzijgingsfluxen en fluxen naar het oppervlaktewater hebben qua orde van grootte reële waarden.

Het berekende isohypsenpatroon komt overeen met het regionale patroon van de isohypsenkaart. De berekende en in klassen ingedeelde GLG's komen goed overeen met de op de Gt-kaarten voorkomende klassen. De klassen voor de berekende GHG's komen minder goed met de Gt-kaarten overeen. In het westelijk en zuidelijk deel van het studiegebied worden ondiepere GHG's berekend. In het centrale deel van het studiegebied is de overeenkomst goed of worden diepere GHG's gesimuleerd. Nagenoeg overal waar tijdens de inventarisaties watervoerende waterlopen zijn aangetroffen worden in de periode van de inventarisatie ook afvoeren berekend. Alleen het gebiedje ten zuiden van Hooghalen lijkt niet helemaal juist te worden gesimuleerd. De verbreiding van kwelfluxen in de zomerperiode komt in sterke mate overeen met de kwelindicaties op basis van soortenkarteringen. De ruimtelijk patronen komen goed met de werkelijkheid overeen. In het dal van het Witterdiep wordt door de te hoge ingevoerde weerstanden van de eerste scheidende laag lage kwelfluxen berekend. Diepe kwel (flux van het derde naar het tweede watervoerende pakket) komt volgens de simulatieresultaten iets zuidelijker voor dan volgens de kwelindicatie (flux aan maaiveld of door slootwand).

De berekende gemiddelde stijghoogten (GS), de gemiddeld hoogste stijghoogte (GHS) en de gemiddeld laagste stijghoogte (GLS) zijn kwantitatief getoetst aan stijgbuisgegevens. De verschillen tussen de berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in het eerste watervoerend (freatisch) pakket is in zes stijbuizen kleiner dan 21 cm. De in deze buizen berekende grondwaterstanden zijn gemiddeld 10 cm te laag. In twee peilbuizen in het Hijkerveld en ten zuiden van Laaghalen worden grotere afwijkingen berekend. De voor het tweede en derde watervoerend pakket berekende stijghoogten zijn te hoog. Dit kan resulteren in te grote berekende kwelfluxen en een te groot gebied waarin kwelfluxen voorkomen.

Gegeven de doelstelling van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat het model de grondwaterstanden in het toppakket adequaat beschrijft. Op basis van de resultaten kunnen effecten van ingrepen in het hydrologisch systeem worden voorspeld.

Literatuur

Bakker, T.W.M., 1984. *Het Dwingelderveld.* Deelrapport Geohydrologie, Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten.

Bolt, F.J.E. van der, P.E.V. van Walsum en P. Groenendijk, 1996. *Nutriëntenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep.* Simulatie van de regionale hydrologie. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 306.1.

Boesten, J.J.T.I. en L. Stroosnijder, 1985. *Simple model for daily evaporation from fallow tilled soil under spring conditions in a temperate climate.* Netherlands Journal of Agricultural Science, 34: 75-90.

Csengö, T., 1981. *Matig tot slecht doorlatende afzettingen boven het grove watervoerende pakket-deklagen in Drenthe.* N.V. Waterleidingmaatschappij Drenthe.

Ernst, L.F., 1978. *Drainage of undulating sandy soils with high groundwatertables.* I A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. II The variable hydraulic head ratio. Journal of Hydrology 39, 1/2, p. 1-50. Wageningen, ICW. Technical bulletin 106.

Feddes, R.A., P.J. Kowalik and H. Zaradny, 1978. *Simulation of field water use and crop yield.* Wageningen, PUDOC. Simulation monograph.

Kuijer, P.C., 1991. *Toelichting bij de bodemkaart van Nederland* 1 : 50 000, 12 West Assen. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Kortleve, M.W., 1989. *Regionaal geohydrologisch modelonderzoek van het stroomgebied van de Drentsche Aa.* Deel 1: IJking geohydrologische parameters. Staatsbosbeheer, Projektgroep Hydrologie.

Kortleve, M.W. en C.J.M.P.M. Peerboom, 1990. *Regionaal geohydrologisch modelonderzoek van het stroomgebied van de Drentsche Aa.* Deel 2: IJking van het niet-stationaire grondwaterstromingsmodel SIMGRO. Staatsbosbeheer, Projektgroep Hydrologie.

Peerboom, C.J.M.P.M., 1990. *Regionaal geohydrologisch modelonderzoek van het stroomgebied van de Dentsche Aa.* Deel 3: Scenarioberekeningen met het niet-stationaire model SIMGRO. Staatsbosbeheer, Projektgroep Hydrologie.

Querner, E.P. en P.J.T. van Bakel, 1989. *Description of the regional groundwater flow model SIMGRO.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 7.

Stolte, J., H. Rosing en A. Veldhuizen, 1995. *Bodemfysische schematisatie van het Fochteloërveen en omliggende landbouwgronden.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 382.

Streefkerk, J.G. en W.A. Casparie, 1987. *De hydrologie van hoogveensystemen.* Staatsbosbeheer, Utrecht. 119 pp.

TNO, 1987. *Grondwaterkaart van Nederland.* Heerenveen/Assen 11oost, 12 west.

Thunissen, H., R. Olthof, P. Getz en L. Vels, 1992. *Grondgebruiksdatabank van Nederland vervaardigd met behulp van Landsat Thematic Mapper opnamen.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 168.

Vries, F. de, 1991. *Bodemfysische karakterisering van de gronden in Gelderland.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 164.

Veldhuizen, A.A en P.E.V. van Walsum 1996. *Effecten van scenario's voor waterbeheer in- en rondom het Fochteloërveen. Simulatie met SIMGRO.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport in prep.

Wirdum, van G., 1991. *Vegetation and hydrology of floating rich-fens.* Acedemisch proefschrift, Universiteit van Amsterdam, blz 285-290.

Werkgroep herziening cultuurtechnisch vademecum, 1988. *Cultuurtechnisch Vademecum.* Utrecht, Cultuurtechnische vereniging.

Wesseling, J.G., 1991. *CAPSEV.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Report 37.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. Van Holst, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland,* schaal 1 : 250 000, ten behoeve van de PAWN-studie. Wageningen, Stiboka. Rapport nr. 2055.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakterestieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Technisch document 18.

Niet-geplubiceerde bronnen

Ad-Hoc-Groep Verdamping, 1984. *Herziening van de berekening van de gewasverdamping in het hydrologisch model GELGAM.* Rapport van de ad hoc groep Verdamping, dienst Waterbeheer, Provincie Gelderland, Arnhem. 92 pp.

Bouwhuis, H., 1989. *Hydrologische inventarisatie Laaghalen.* Assen, Landinrichtingsdienst Drenthe, afdeling Onderzoek.

Hofstra, R., 1994. *Indicaties voor kwel en type kwel t.b.v. een verificatie van het hydrologisch model Laaghalen.* Notitie van de LD-Assen.

Janssen, P.C., 1986. *De potentiële verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties.* Wageningen, ICW. Nota 1703.

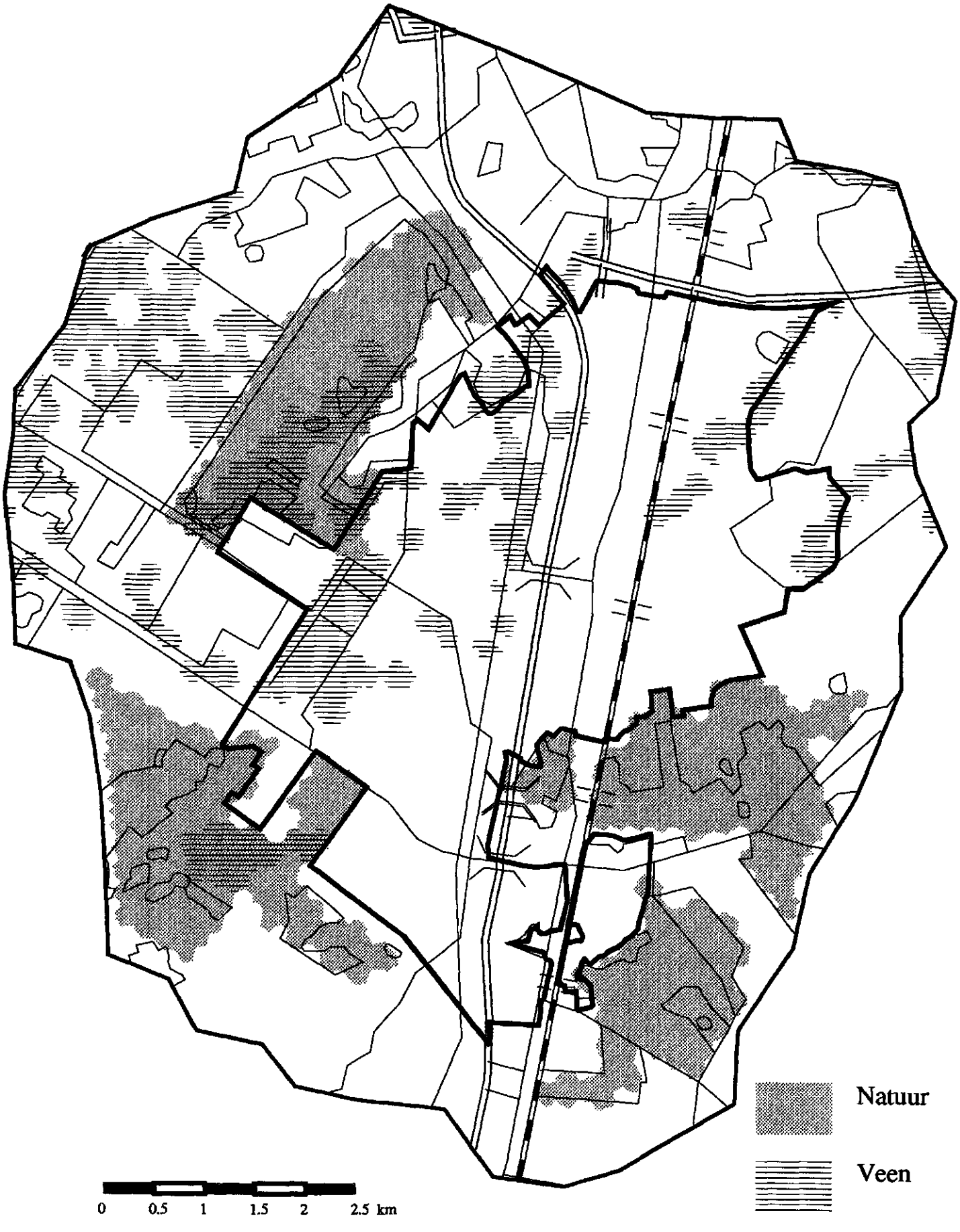
Ovaa, A.H., 1990. *Verdamping in natuurgebieden.* Een literatuurstudie naar de achtergronden van verdamping van (half-)natuurlijke vegetaties. Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Landbouwuniversiteit Wageningen. 49 pp.

Reinds, 1986. *Beregenings- en bevloeiingsmogelijkheden in 1985.* Wageningen, ICW. ICW nota 1727.

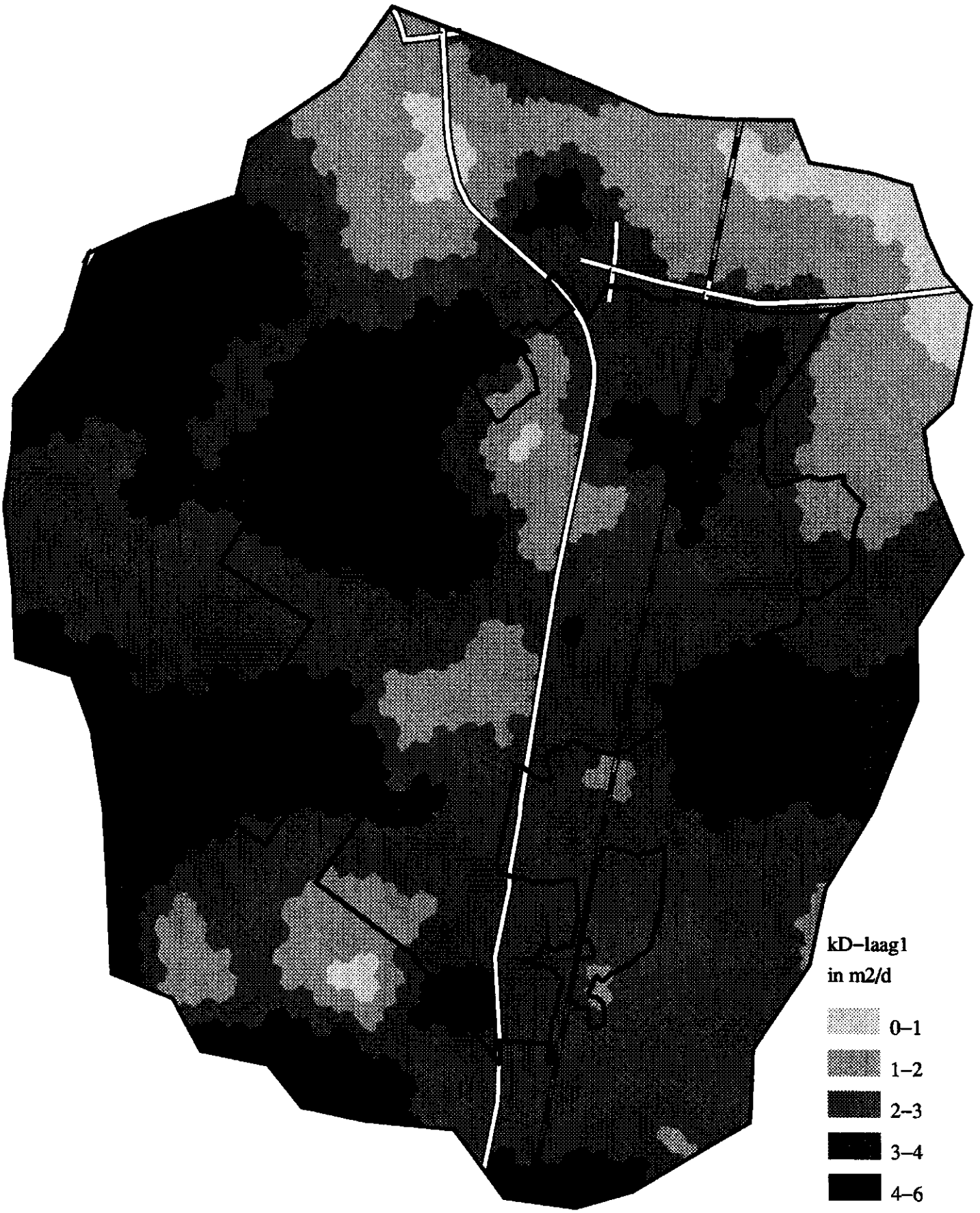
Rijks Geologische Dienst, 1994. *Geologisch onderzoek van het landinrichtingsgebied Laaghalen.* Assen, Landinrichtingsdienst. Briefnr. 94N102.

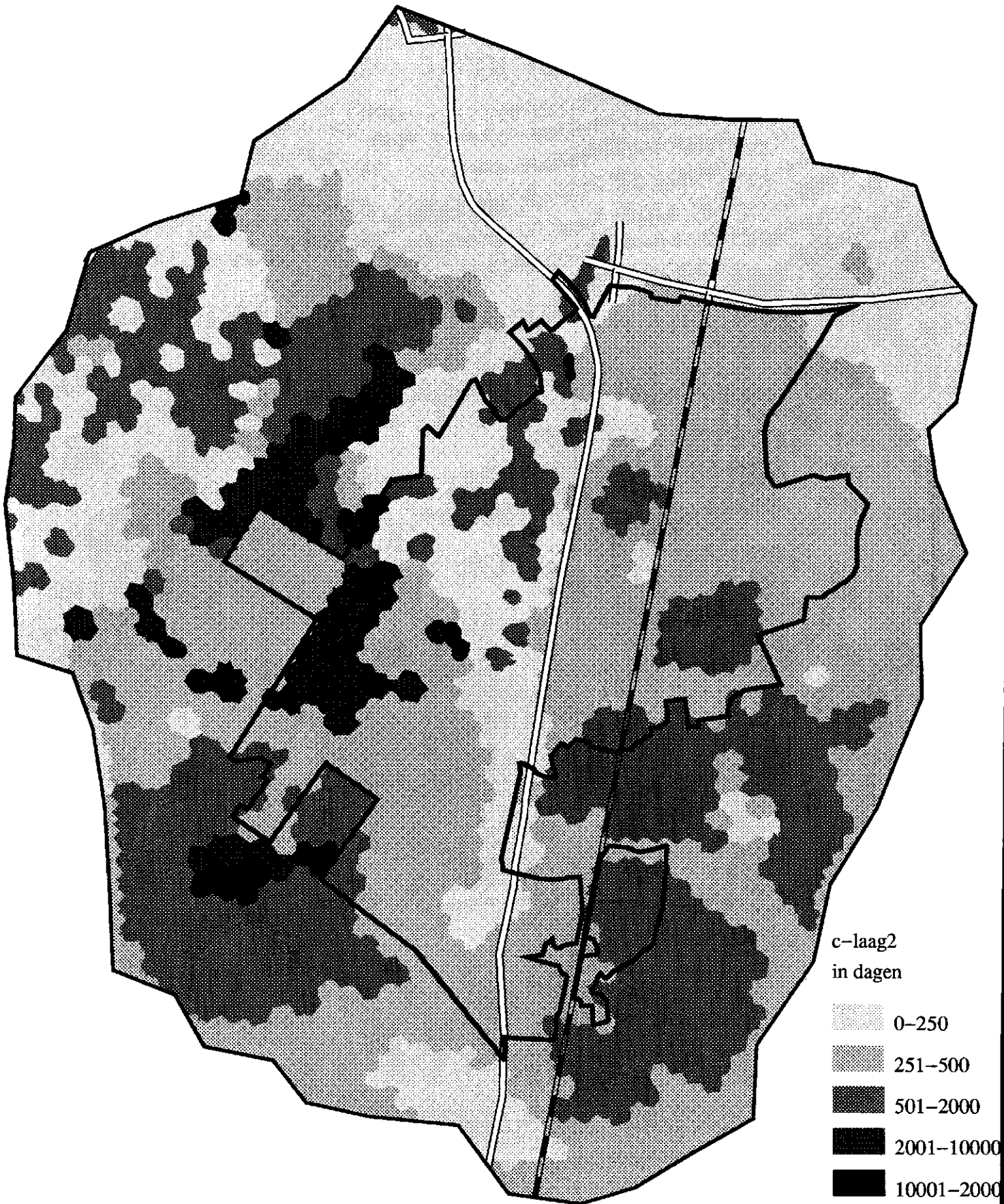
Waterloo Hydrogeologic Software. *Flonet.* Version 2.0. Waterloo, Ontario, Canada.

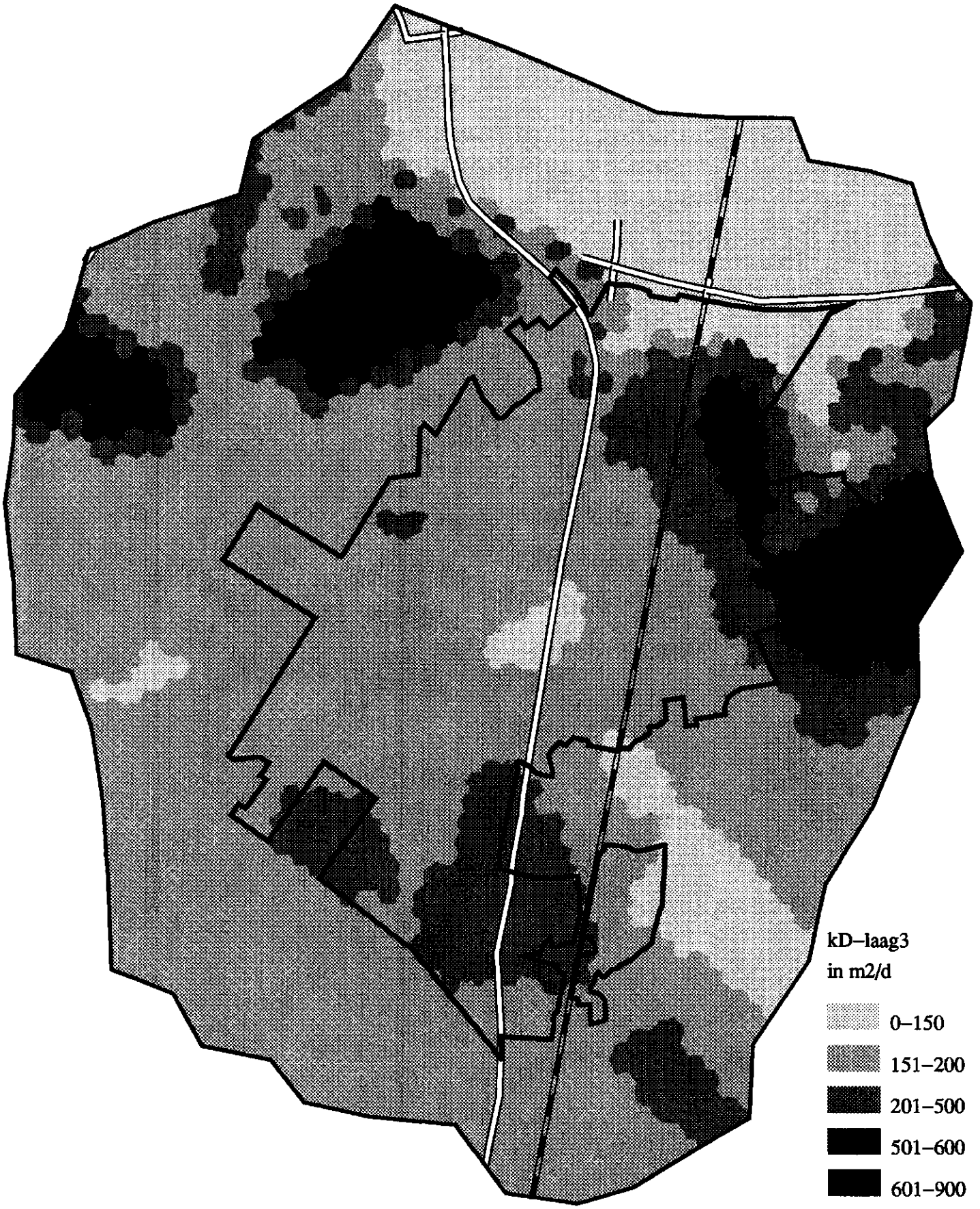
Aanhangsel 1 Lokatie van natuurgebieden en het voorkomen veengronden

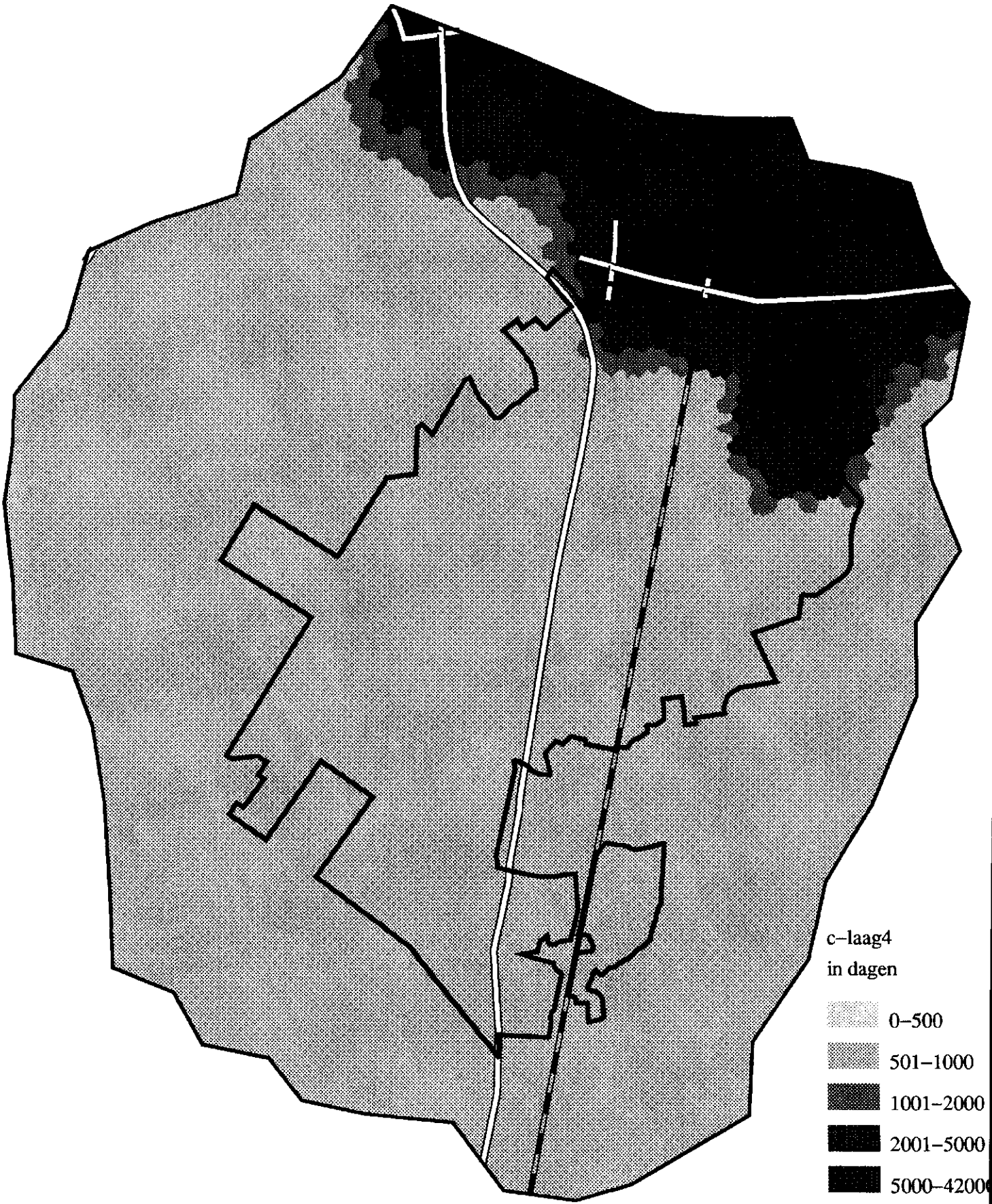

Natuur
Veen
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

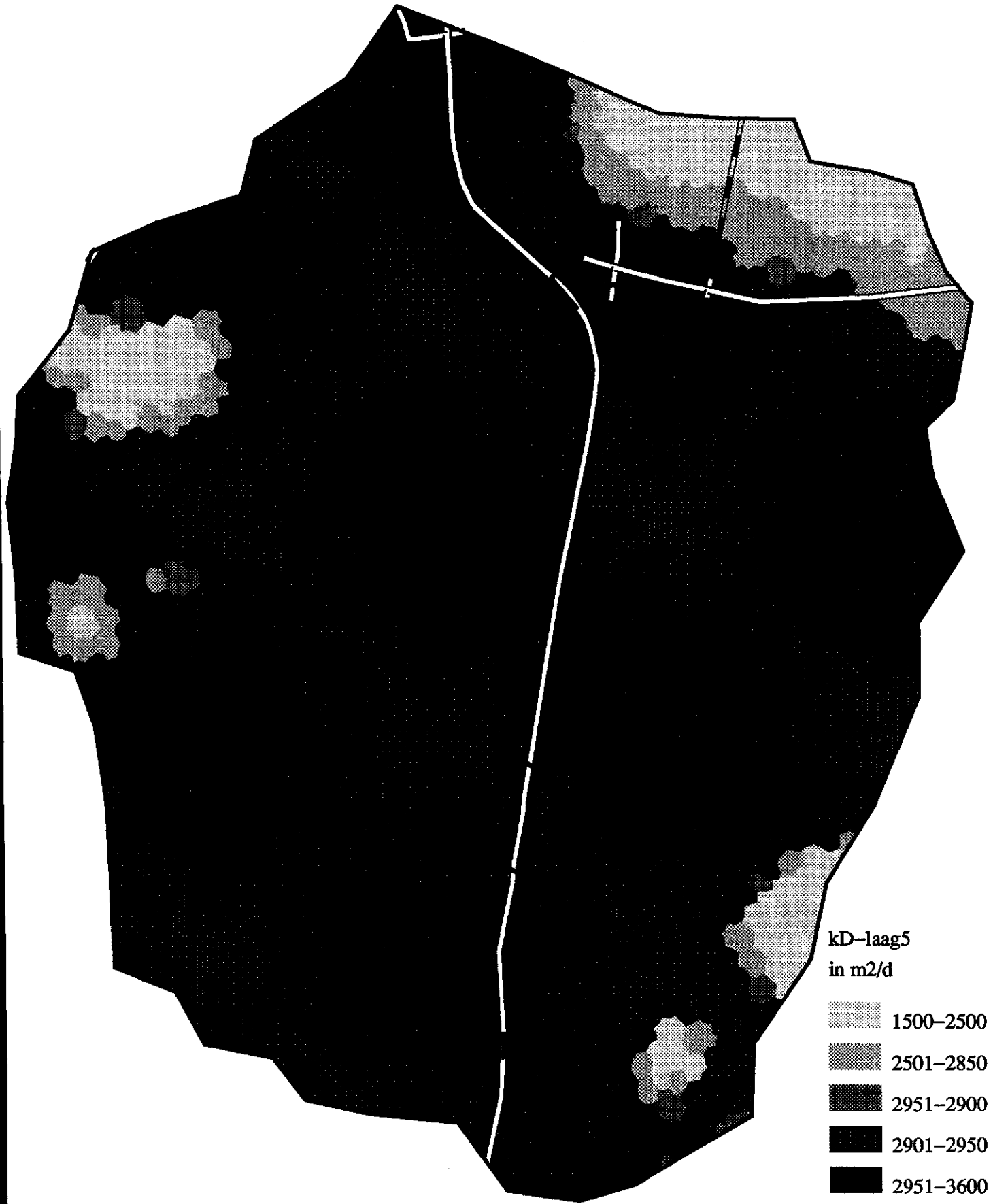
Aanhangsel 2 Geohydrologische parameterwaarden


kD–laag1
in m2/d
0–1
1–2
2–3
3–4
4–6


c-laag2
in dagen
0-250
251-500
501-2000
2001-10000
10001-2000


kD–laag3
in m2/d
0–150
151–200
201–500
501–600
601–900


c–laag4
in dagen
0–500
501–1000
1001–2000
2001–5000
5000–4200


kD–laag5
in m2/d
1500–2500
2501–2850
2951–2900
2901–2950
2951–3600

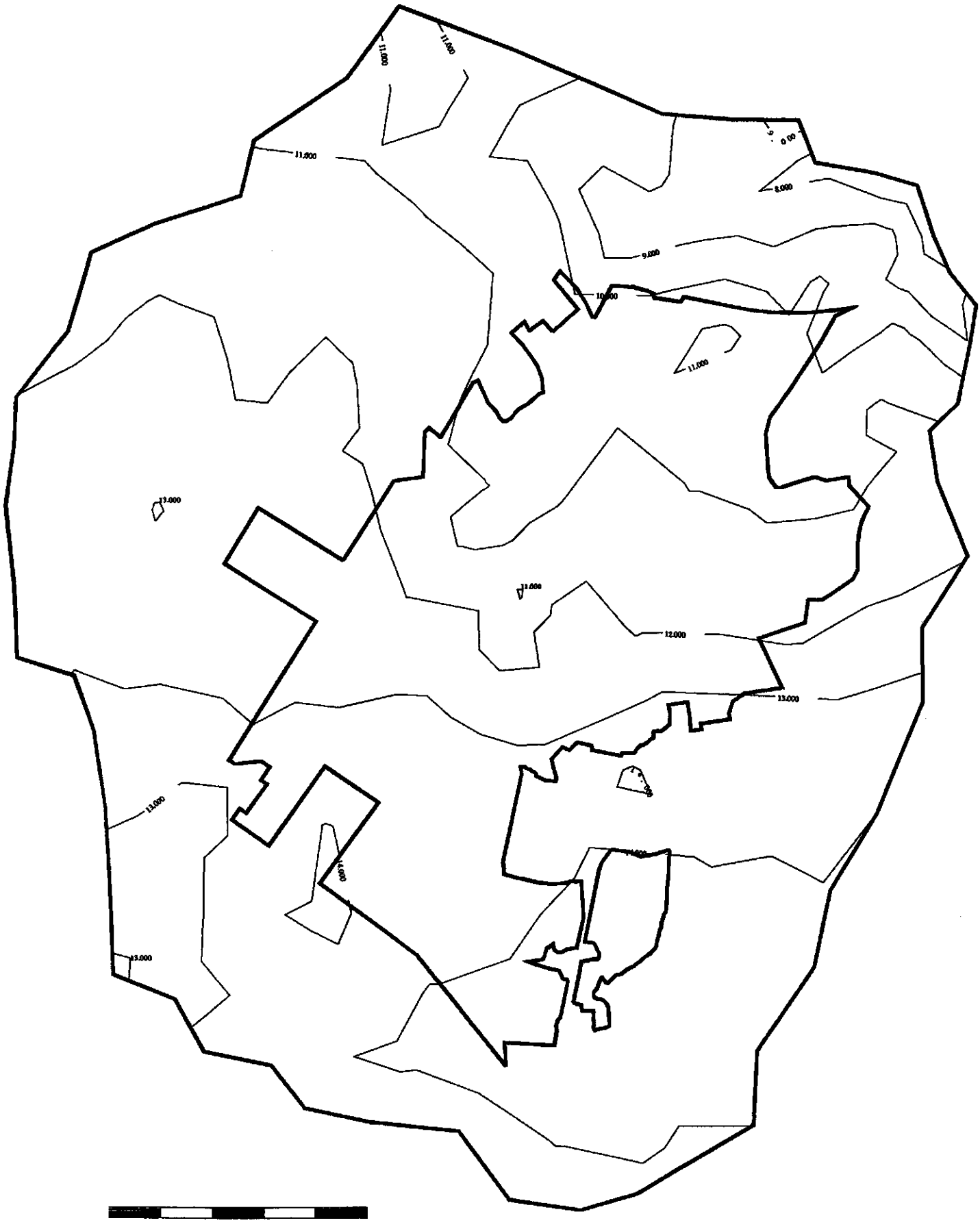
Aanhangsel 3 Voedingstypen per knooppunt (indeling volgens de Technische Werkgroep Grondwaterplan, 1985)


A2
B
C1
C2

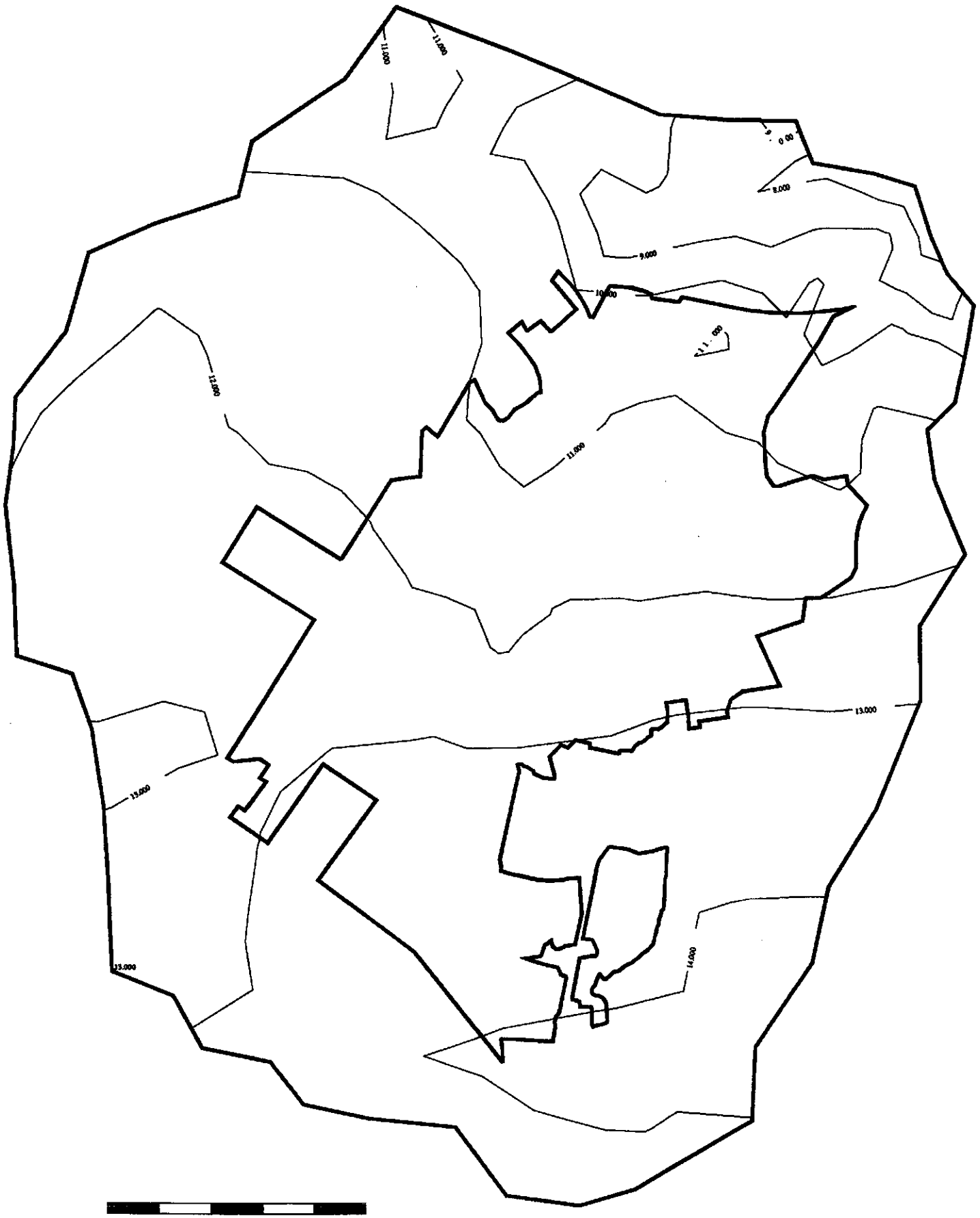
Aanhangsel 4 Drainageweerstanden per meter waterloop voor de knooppunten


Weerstanden in
dagen per meter
0–5
6–20
21–50
51–100
>100

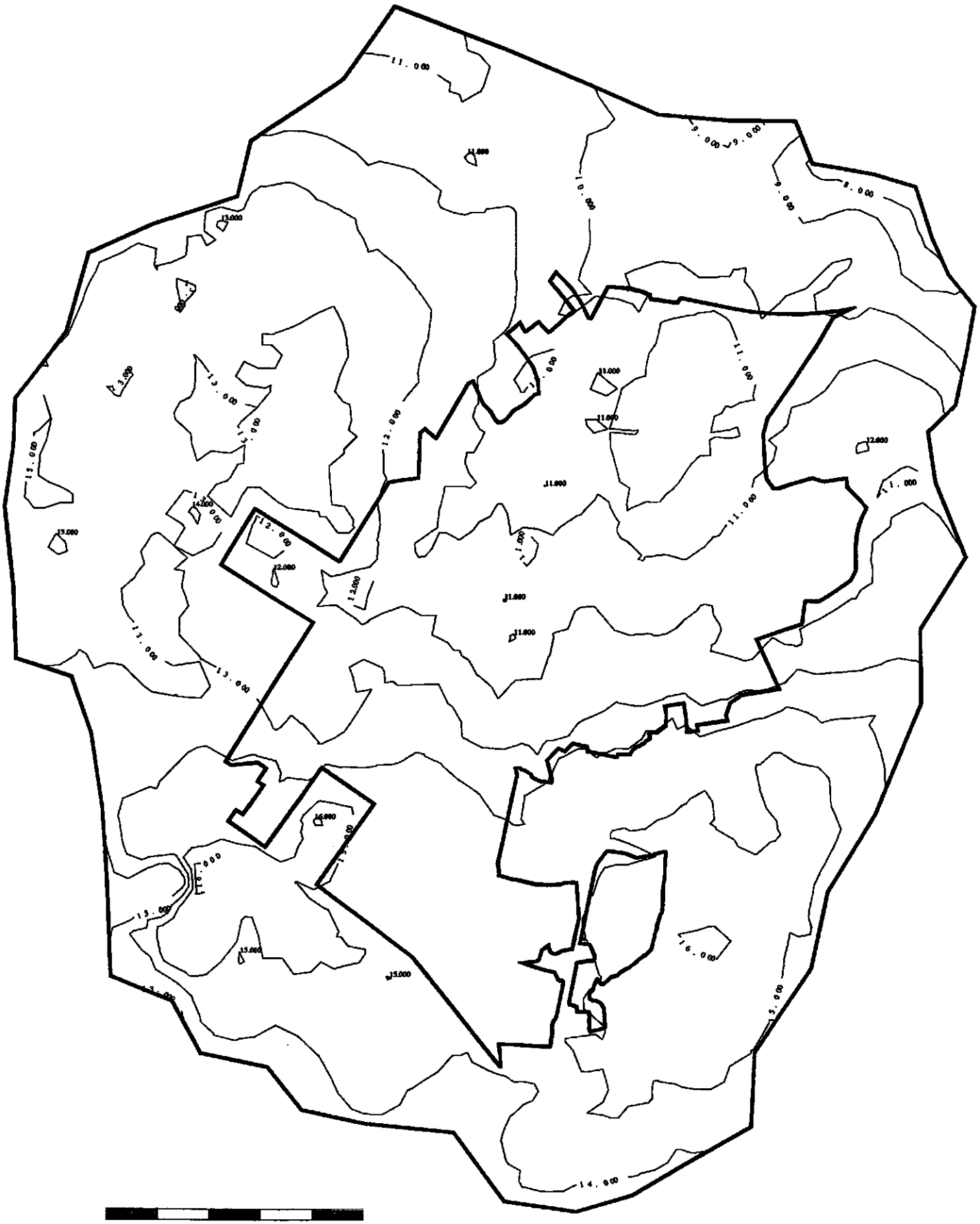
Aanhangsel 5 Berekende isohypsen (m + NAP) in het eerste watervoerende pakket op 14 april 1987, uitgebreide Drentse Aa-model


11.000
11.000
11.000
8.000
9.000
10.000
11.000
13.000
13.000
12.000
13.000
13.000
14.000
13.000
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

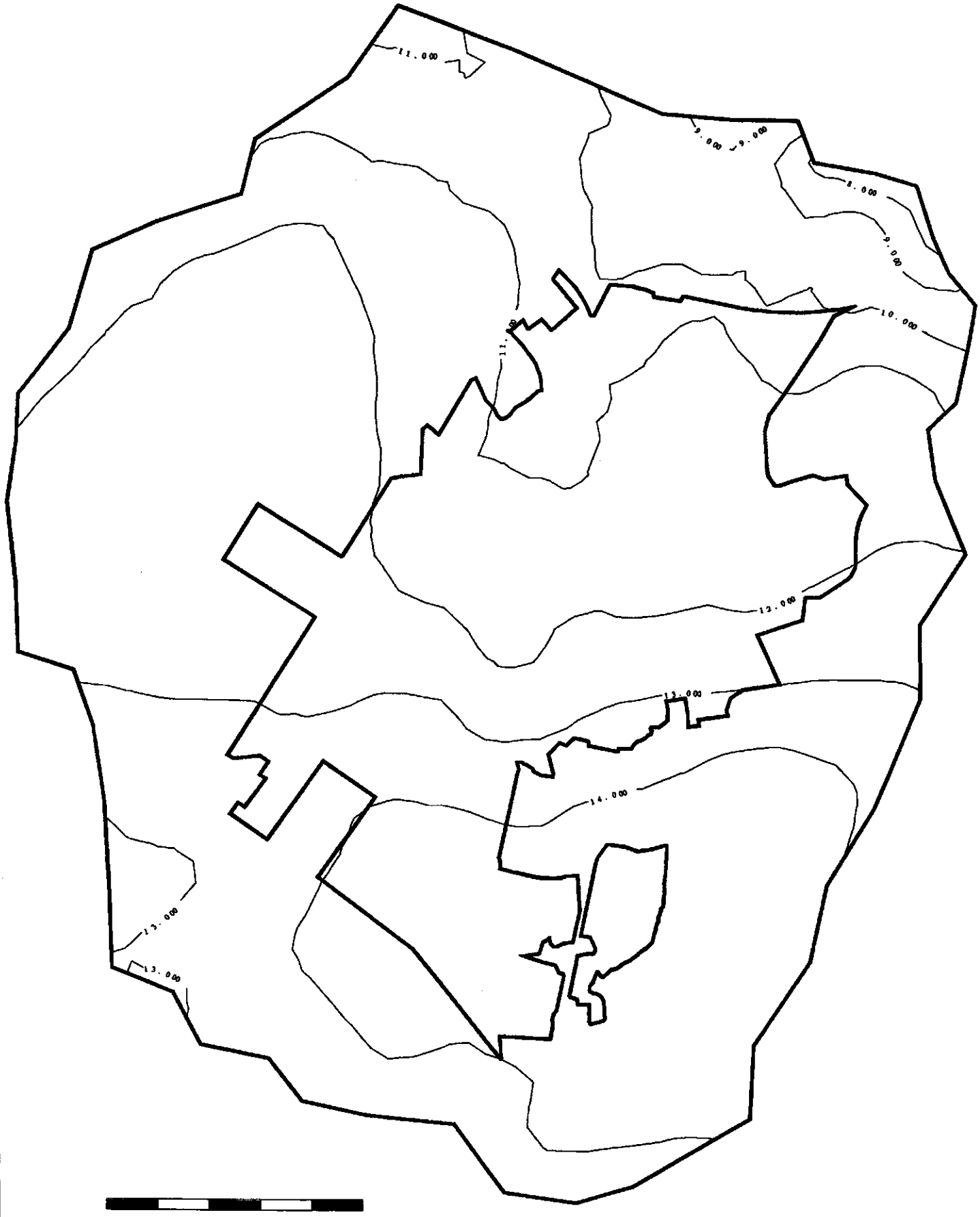
Aanhangsel 6 Berekende isohypsen (m + NAP) in tweede watervoerende pakket op 14 april 1987, uitgebreide Drentse Aa-model


11.000
11.000
8.000
9.000
10.000
12.000
11.000
13.000
14.000
0 0.5 1 1.5 2 2.5 km

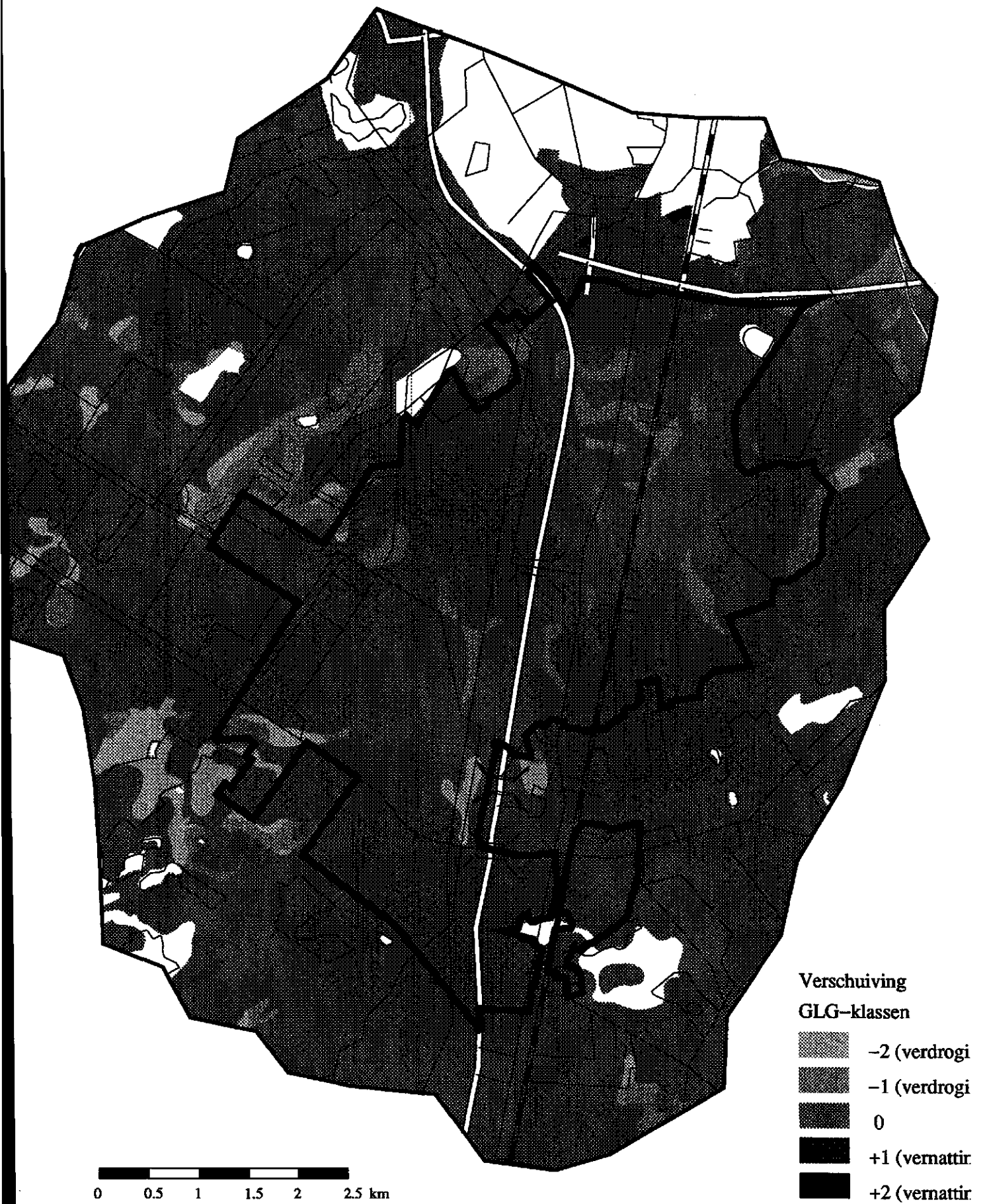
Aanhangsel 7 Berekende isohypsen (m + NAP) in eerste watervoerende pakket op 14 april 1987, Laaghalen-model


0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 8 Berekende isohypsen (m + NAP) in tweede watervoerende pakket op 14 april 1987, Laaghalen-model


11.000
9.000
8.000
10.000
12.000
13.000
14.000
15.000
13.000
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 9 Verschil tussen de berekende GLG en de GLG volgens de bodemkaart 1:50.000 (gebieden waarvoor de bodemkaart geen informatie over de GLG bevat zijn wit gelaten)


Verschuiving
GLG-klassen
-2 (verdrogi
-1 (verdrogi
0
+1 (vernattir
+2 (vernattir
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 10 Verschil tussen de berekende GHG en de GHG volgens de bodemkaart 1:50.000 (gebieden waarvoor de bodemkaart geen informatie over de GHG bevat zijn wit gelaten)


Verschuiving
GHG–klassen
–2 (verdrogi
–1 (verdrogi
0
+1 (vernattir
+2 (vernattir
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

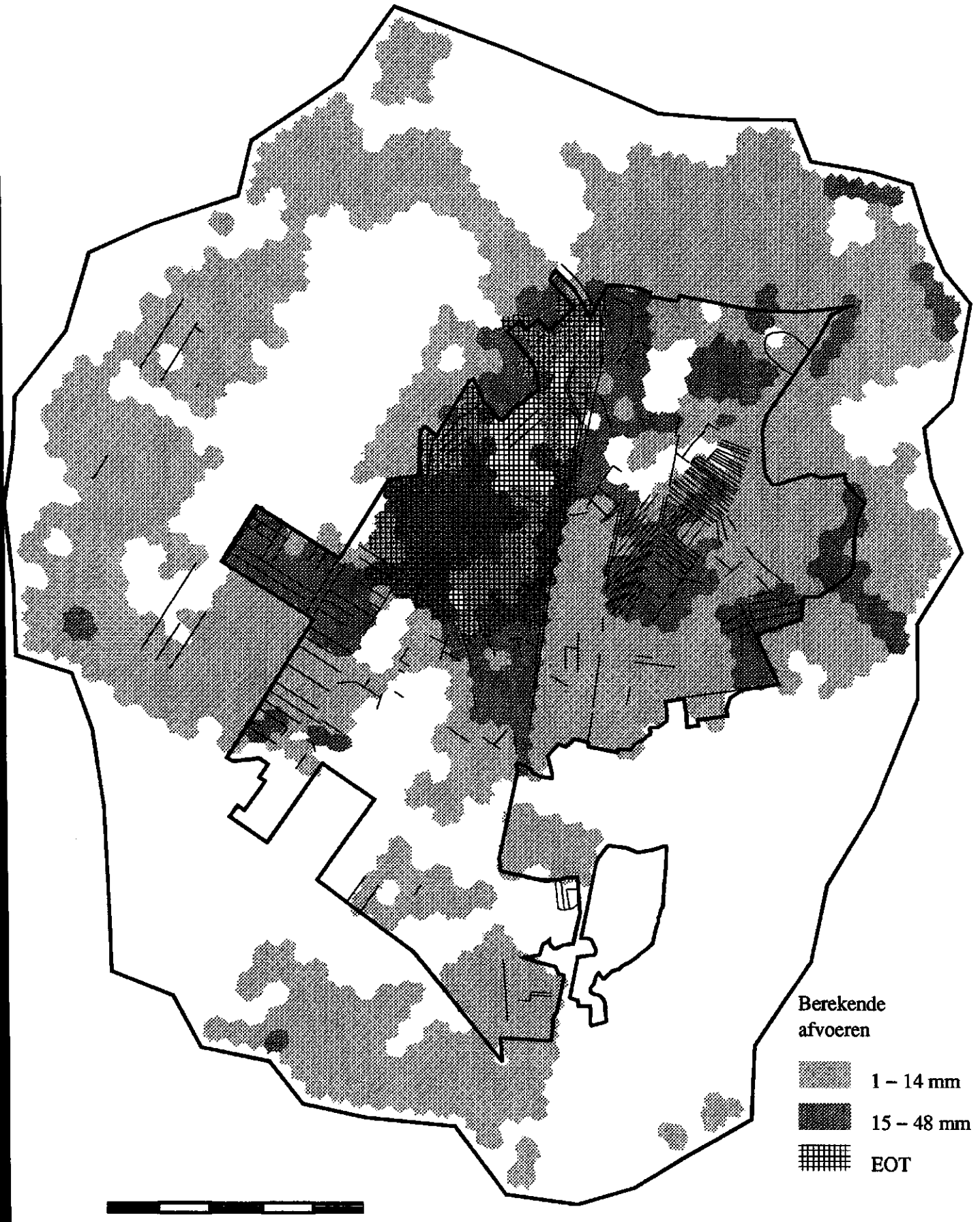
Aanhangsel 11 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname januari 1994


Berekende afvoeren
1 – 43 mm
44 – 138 mm
EOT
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

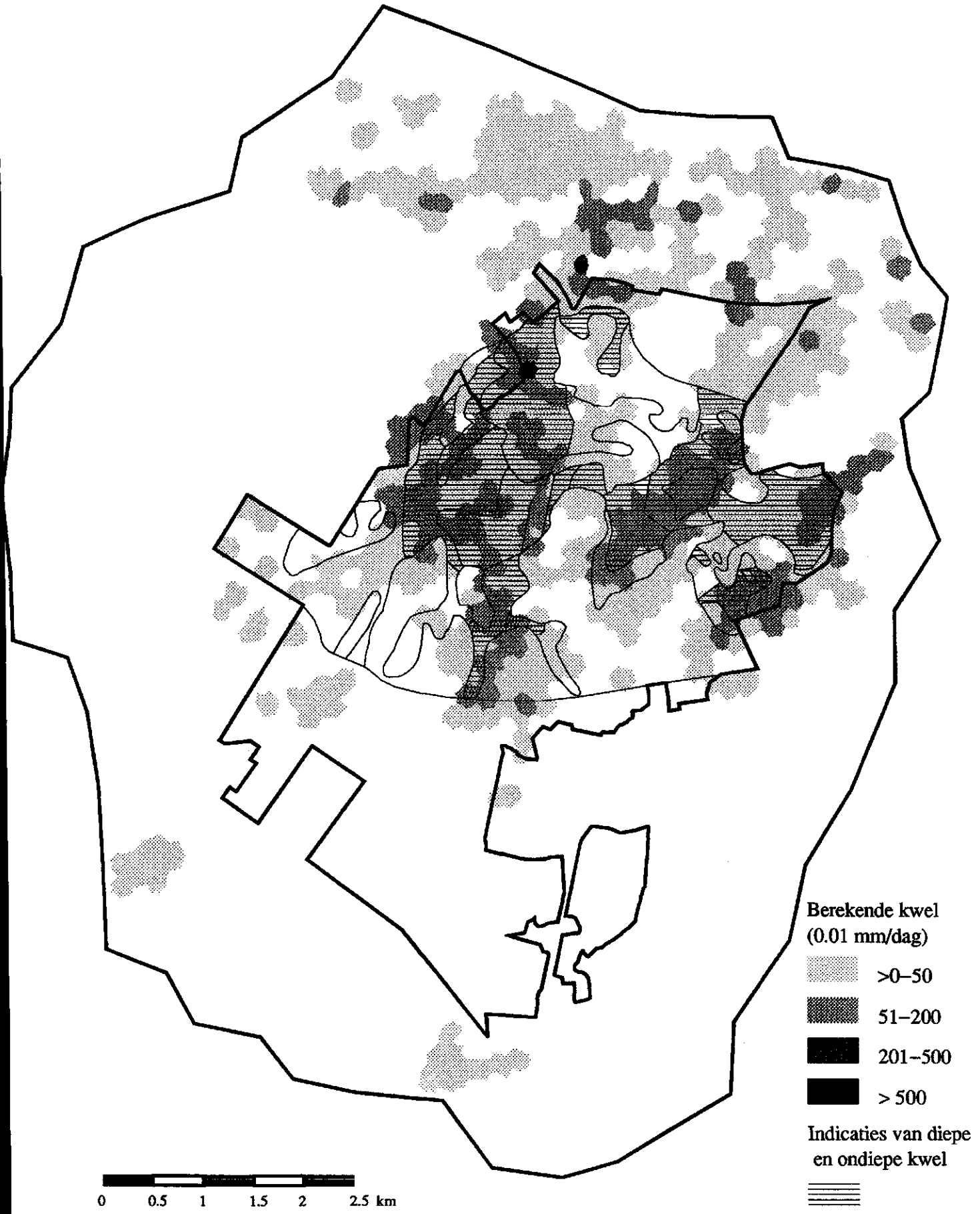
Aanhangsel 12 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname mei 1994


Berekende
afvoeren
1 – 28 mm
29 – 82 mm
EOT
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

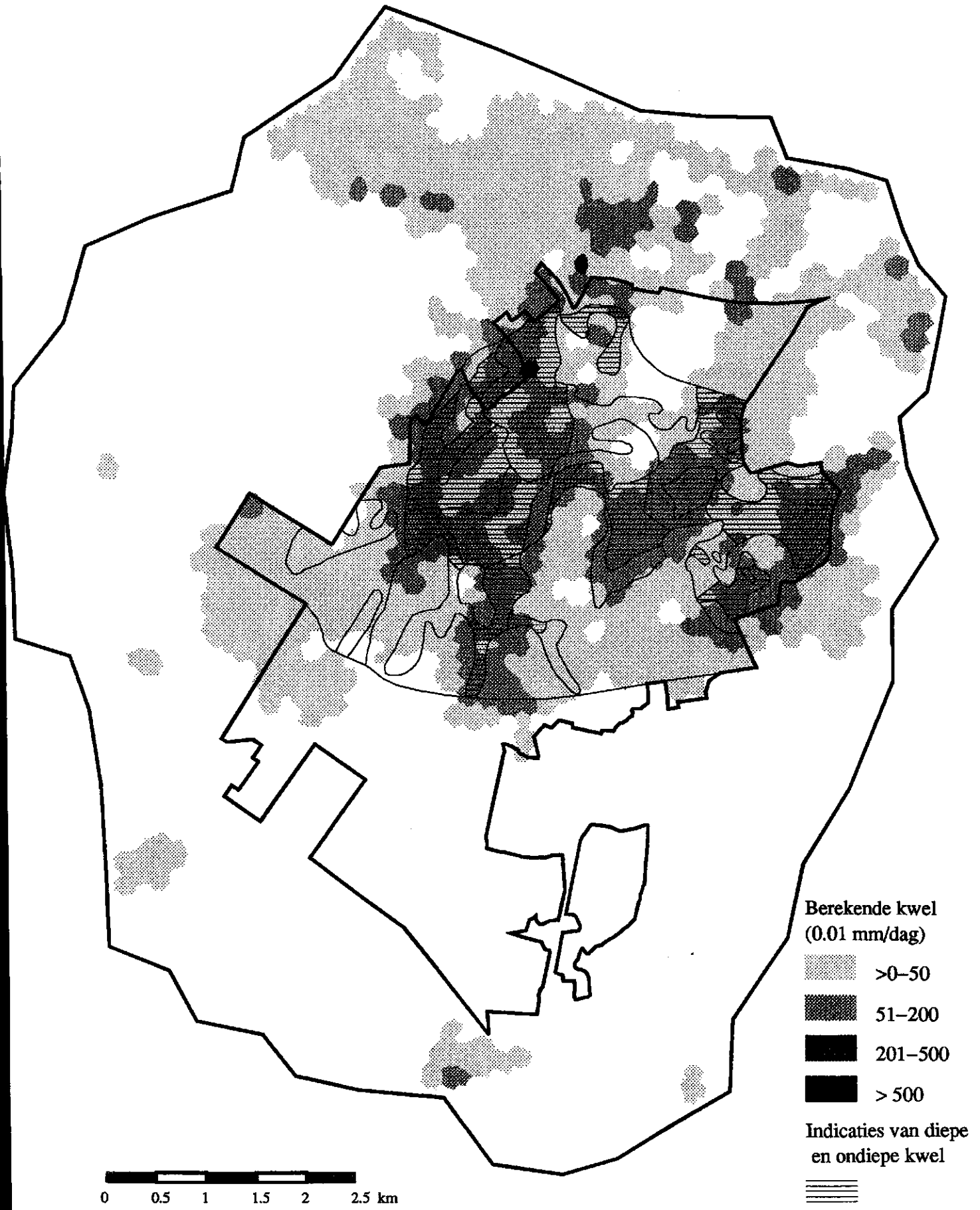
Aanhangsel 13 Berekende afvoeren in vergelijking met de geïnventariseerde watervoerendheid van tertiare waterlopen; opname juli 1994


Berekende
afvoeren
1 – 14 mm
15 – 48 mm
EOT
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

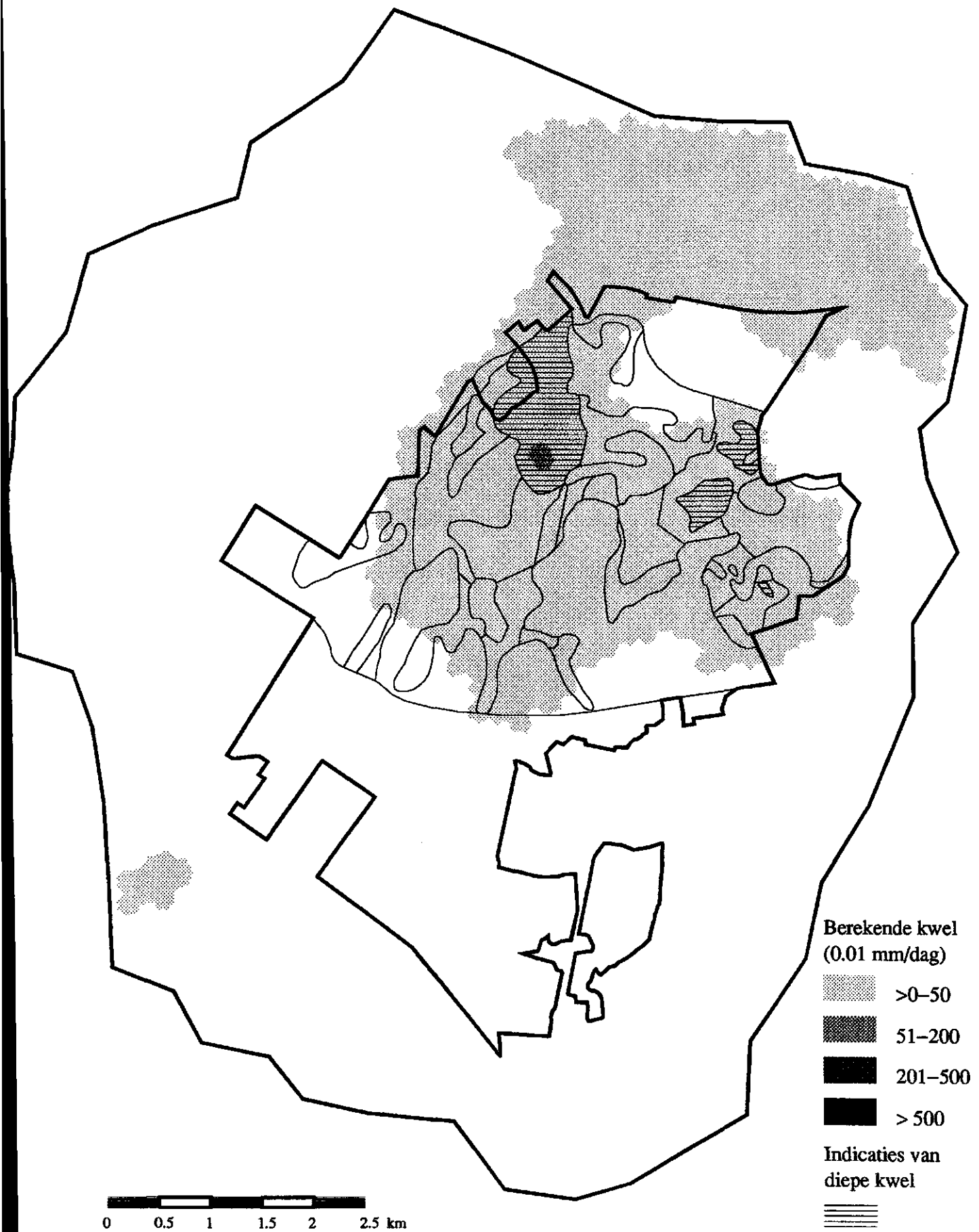
Aanhangsel 14 Langjarig gemiddelde berekende diepe en ondiepe kwel in het winterhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van soort-opnamen


Berekende kwel
(0.01 mm/dag)
>0–50
51–200
201–500
> 500
Indicaties van diepe
en ondiepe kwel
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

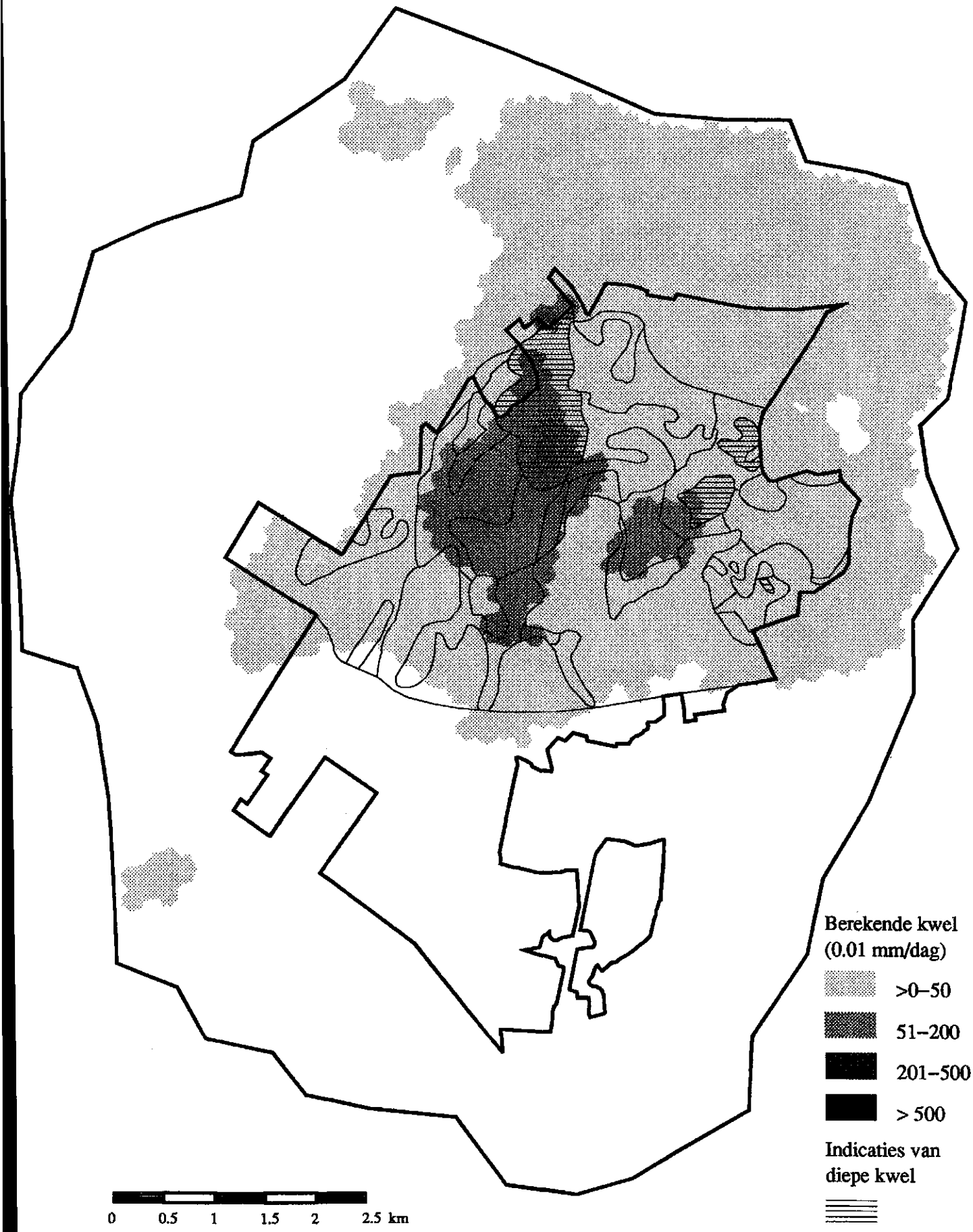
Aanhangsel 15 Langjarig gemiddelde berekende diepe en ondiepe kwel in het zomerhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van soort-opnamen

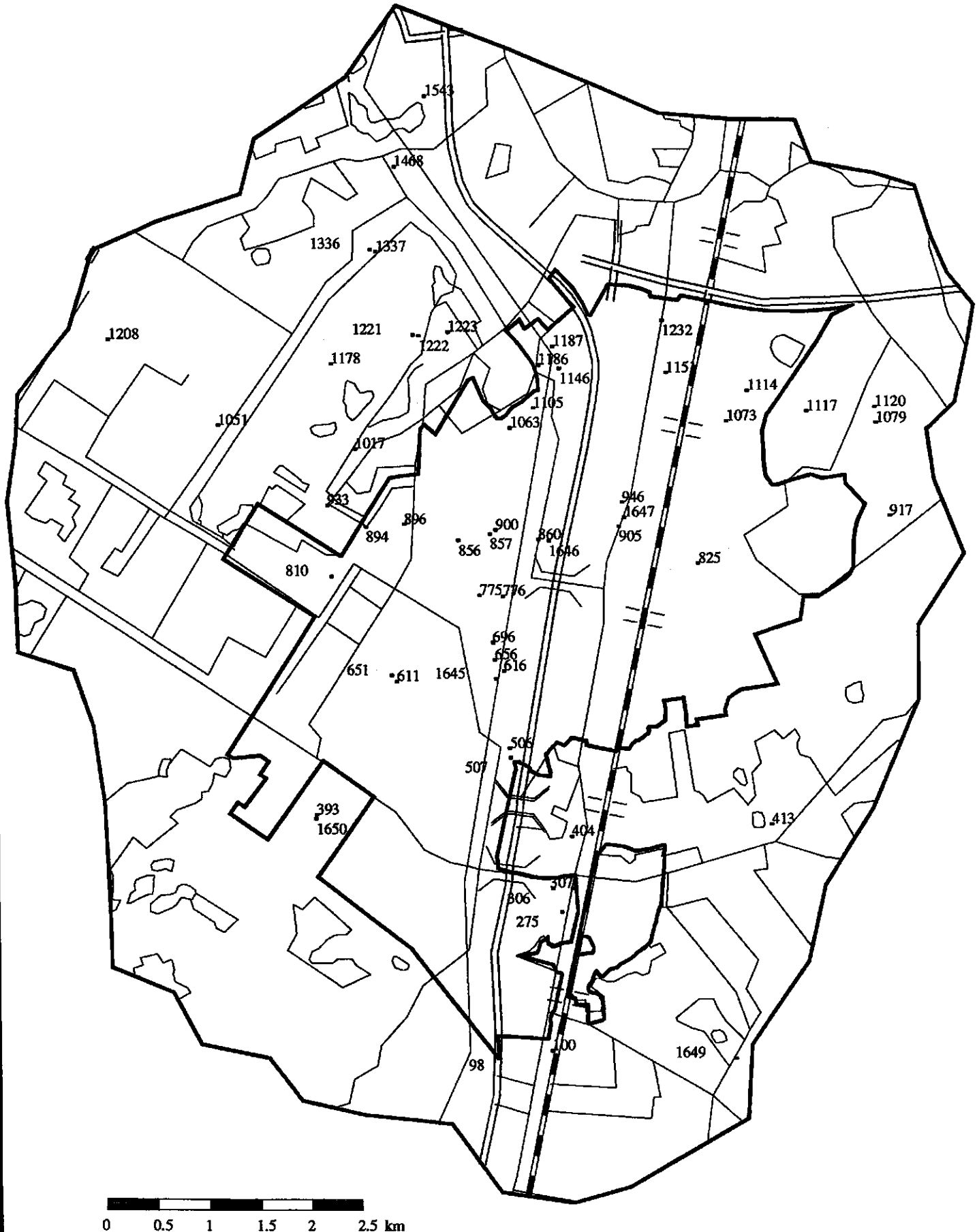

Berekende kwel
(0.01 mm/dag)
>0–50
51–200
201–500
> 500
Indicaties van diepe
en ondiepe kwel
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 16 Langjarig gemiddelde berekende diepe kwel in het winterhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van soort-opnamen


Berekende kwel
(0.01 mm/dag)
>0–50
51–200
201–500
> 500
Indicaties van
diepe kwel
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 17 Langjarig gemiddelde berekende diepe kwel in het zomerhalfjaar vergeleken met kwel-indicaties op basis van soort-opnamen


Berekende kwel
(0.01 mm/dag)
>0–50
51–200
201–500
> 500
Indicaties van
diepe kwel
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km


1543
1468
1336
1337
1208
1221
1222
1223
1178
1187
1186
1146
1232
1151
1114
1105
1063
1073
1117
1120
1079
1051
1017
933
896
894
900
857
856
860
1646
946
1647
905
917
825
810
775
776
696
656
616
651
611
1645
506
507
393
1650
404
413
307
306
275
100
98
1649
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 19 Verschil tussen berekende en in peilbuizen gemeten gemiddelde stijghoogten t.o.v. NAP (m) voor de periode waarin waarnemingen beschikbaar zijn.

node	knooppuntsnummer
wvp	watervoerend pakket waarin het filter zich bevindt
nr	aantal waarnemingen
H_m	gemeten potentiaal
H_b	berekende potentiaal
ΔH	verschil tussen de berekende en de gemeten potentiaal
$H_b$min	laagste 'berekende' potentiaal binnen knooppunt
$H_b$max	hoogste 'berekende' potentiaal binnen knooppunt

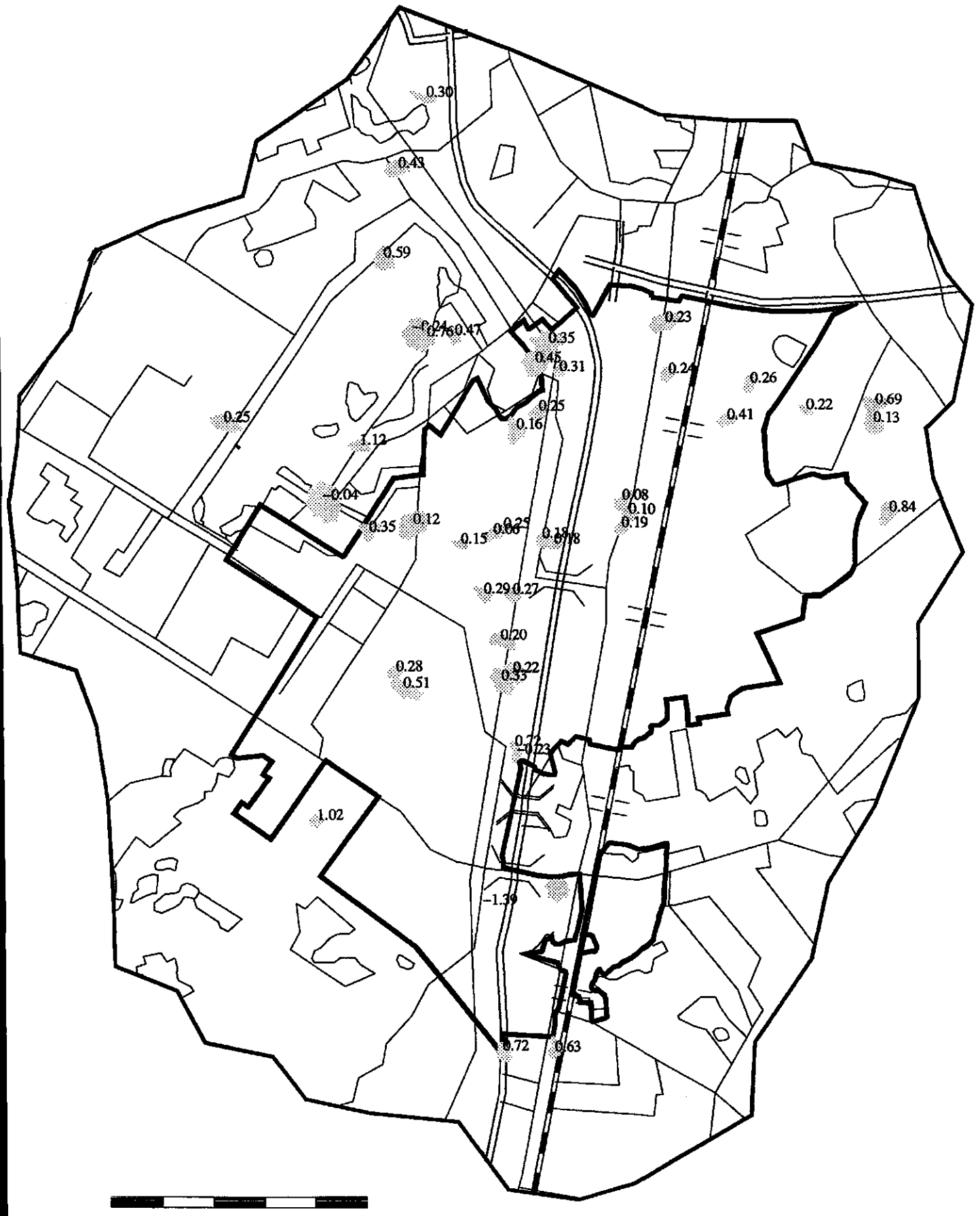
node	wvp	Aantal	H_b	H_m	ΔH	$h_b$min	$H_b$max
1208	3	23	11,04	10,76	0,29	10,65	11,16
1051	1	33	13,00	13,22	-0,21	12,87	13,16
1051	2	105	12,15	11,90	0,25	12,02	12,31
1051	3	105	11,51	11,80	-0,30	11,38	11,67
1543	2	109	10,59	10,29	0,30	10,59	10,59
1543	2	109	10,59	10,28	0,30	10,59	10,59
1543	3	109	10,23	10,25	-0,02	10,23	10,23
1468	2	161	10,94	10,51	0,43	10,94	10,94
1336	1	22	12,01	12,18	-0,16	11,48	12,48
1337	2	28	11,75	11,16	0,59	11,42	12,03
1178	1	29	13,03	13,20	-0,17	12,54	13,46
1221	2	27	11,75	11,99	-0,24	11,66	11,88
1222	2	31	11,64	10,88	0,76	11,52	11,74
1223	2	27	11,26	10,79	0,47	11,00	11,41
1017	2	22	12,34	11,21	1,12	12,11	12,50
0933	2	132	12,27	12,31	-0,04	12,27	12,27
0933	2	170	12,19	10,83	1,36	12,19	12,19
0894	2	174	11,89	11,54	0,35	11,89	11,89
0894	2	176	11,88	11,36	0,52	11,88	11,88
0896	2	161	11,49	11,38	0,12	11,49	11,49
0896	2	99	11,55	11,70	-0,15	11,55	11,55
0810	1	101	11,85	11,74	0,11	11,85	11,85
0651	2	24	12,83	12,55	0,28	12,83	12,83
0611	2	19	12,97	12,46	0,51	12,97	12,97
1187	2	155	10,63	10,27	0,35	10,36	10,93
1186	2	145	10,63	10,19	0,45	10,50	10,79
1146	2	130	10,73	10,42	0,31	10,66	10,89
1105	2	108	10,77	10,53	0,25	10,70	10,80
1063	2	91	10,80	10,63	0,16	10,62	10,93
0900	2	75	11,03	10,78	0,25	11,03	11,03
0900	2	74	11,03	10,79	0,23	11,03	11,03
0857	2	43	11,04	10,98	0,06	11,04	11,04

0856	2	59	11,06	10,91	0,15	11,06	11,06
0856	2	28	11,09	11,00	0,09	11,09	11,09
0860	2	98	11,13	10,95	0,18	11,13	11,13
1646	2	98	11,17	10,99	0,18	10,99	11,40
0775	2	56	11,89	11,60	0,29	11,89	11,89
0775	2	128	11,62	11,20	0,42	11,62	11,62
0776	2	71	11,28	11,01	0,27	11,28	11,28
0776	2	54	11,50	11,10	0,40	11,50	11,50
0776	2	24	11,73	11,60	0,13	11,73	11,73
0696	2	80	11,77	11,58	0,20	11,77	11,77
0656	1	66	11,23	11,39	-0,16	11,23	11,23
0616	2	115	11,96	11,74	0,22	11,96	11,96
1645	2	76	12,00	11,68	0,33	11,83	12,08
0946	2	30	11,09	11,01	0,08	11,09	11,09
1647	2	122	11,22	11,11	0,10	11,04	11,35
0905	2	122	11,25	11,06	0,19	11,25	11,25
0825	1	101	11,24	11,34	-0,10	11,24	11,24
1232	2	57	10,58	10,35	0,23	10,38	10,78
1151	2	183	11,08	10,84	0,24	10,95	11,39
1114	2	69	11,06	10,80	0,26	10,98	11,13
1073	2	24	11,20	10,80	0,41	11,13	11,32
1073	2	23	11,19	10,74	0,45	11,12	11,31
1117	2	45	10,99	10,77	0,22	10,78	11,20
1120	2	38	11,31	10,63	0,69	11,15	11,50
1079	2	59	11,14	11,01	0,13	10,99	11,34
0917	2	57	11,67	10,83	0,84	11,67	11,67
0393	1	36	16,03	14,60	1,43	16,03	16,03
1650	3	60	12,47	12,21	0,25	12,24	12,64
1650	2	60	13,24	12,22	1,02	13,01	13,41
0506	2	132	12,97	12,25	0,72	12,97	12,97
0507	2	84	13,37	13,60	-0,23	13,37	13,37
0404	3	183	13,18	12,76	0,42	13,18	13,18
0306	3	111	13,54	13,38	0,15	13,54	13,54
0306	2	66	14,36	15,75	-1,39	14,36	14,36
0307	3	70	13,53	13,70	-0,17	13,53	13,53
0307	2	45	14,29	14,61	-0,32	14,29	14,29
0275	1	67	14,71	15,54	-0,83	14,71	14,71
0413	3	163	13,39	12,90	0,49	13,39	13,39
0098	2	143	13,64	12,92	0,72	13,64	13,64
0100	2	24	13,81	13,17	0,63	13,81	13,81
1649	3	60	13,18	13,20	-0,02	12,83	13,48

Aanhangsel 20 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp = 1 (m)


0.16
0.17
0.21
0.11
0.10
0.16
1.43
0 0.5 1 1.5 2 2.5 km

Aanhangsel 21 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp = 2 (m)


0.30
0.43
0.59
0.24
0.76
0.47
0.35
0.45
0.31
0.23
0.24
0.26
0.25
0.16
0.41
0.22
0.69
0.13
1.12
0.04
0.08
0.10
0.19
0.84
0.35
0.12
0.15
0.06
0.18
0.78
0.29
0.27
0.20
0.28
0.51
0.22
0.33
0.72
0.23
1.02
1.39
0.72
0.63
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 22 Gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogten in wvp = 3 (m)


0.02
0.29
0.30
0.25
0.42
0.49
0.17
0.02
0 0.5 1 1.5 2 2.5 km

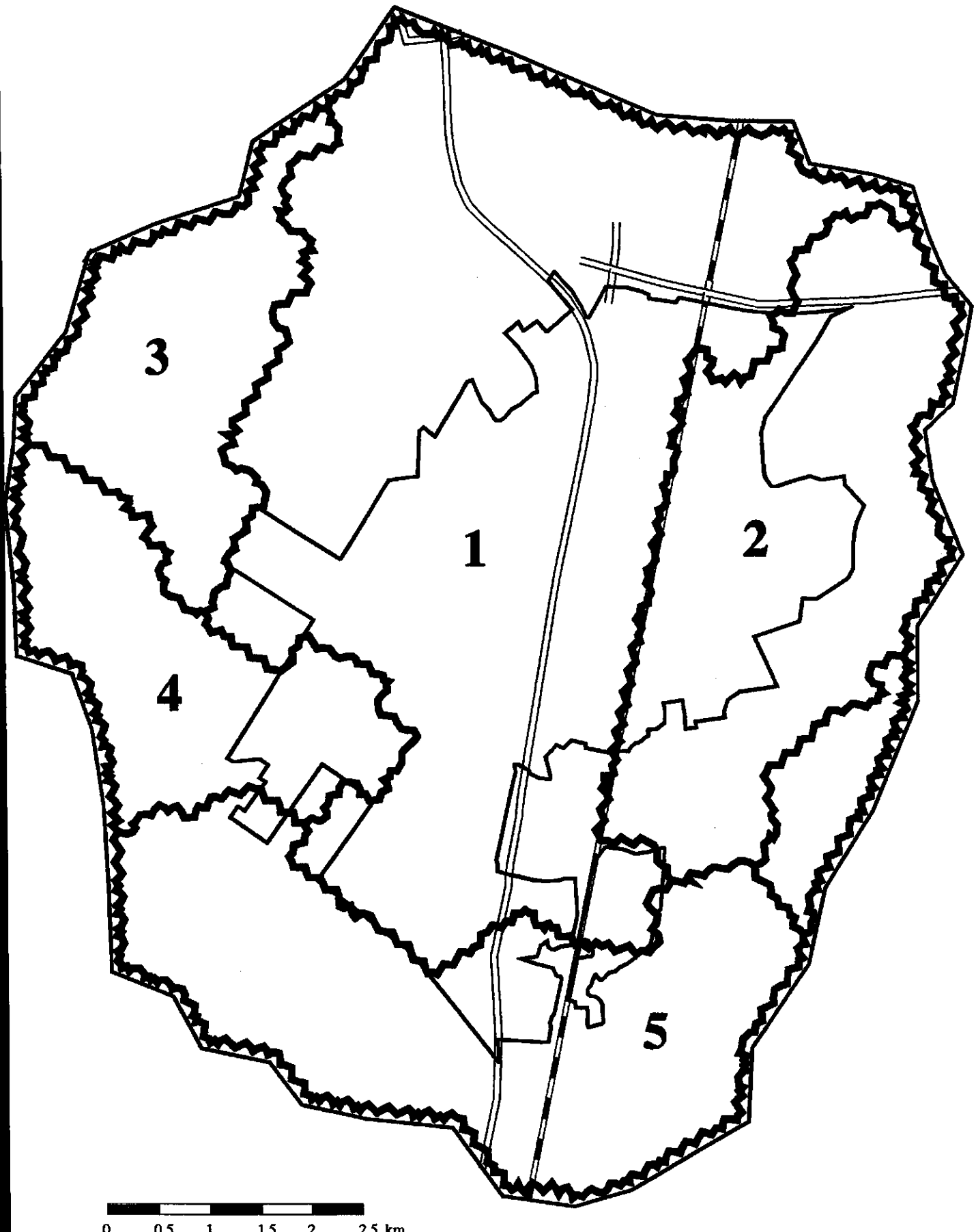
Aanhangsel 23 Verschil tussen berekende en in peilbuizen gemeten GLS en GHS voor de periode waarin waarnemingen beschikbaar zijn.

node	knooppuntsnummer
wvp	watervoerend pakket waarin het filter zich bevindt
GLG_m	gemeten GLG
GLG_b	berekende GLG
ΔGLG	verschil tussen berekende en gemeten GLG
GHG_m	gemeten GHG
GHG_b	berekende GHG
ΔGHG	verschil tussen berekende en gemeten GHG

node	wvp	GLG_m	GLG_b	ΔGLG	GHG_m	GHG_b	ΔGHG
1208	3	2,49	2,32	0,16	2,42	2,26	0,16
1051	1	1,10	1,26	-0,16	0,83	0,98	-0,14
1051	2	2,81	2,57	0,23	2,16	1,98	0,18
1051	3	2,90	3,16	-0,26	2,26	2,71	-0,44
1543	2	1,67	1,34	0,33	0,78	0,54	0,23
1543	2	1,67	1,34	0,33	0,79	0,54	0,24
1543	3	1,70	1,57	0,13	0,83	1,08	-0,25
1468	2	1,41	0,98	0,42	0,57	0,26	0,31
1336	1	1,04	1,45	-0,40	0,70	0,73	-0,03
1337	2	2,15	1,49	0,65	1,31	0,80	0,51
1178	1	1,70	1,88	-0,18	0,68	0,90	-0,22
1221	2	1,26	1,24	0,02	0,14	0,58	-0,44
1222	2	2,24	1,47	0,76	1,48	0,74	0,73
1223	2	1,53	1,02	0,50	1,27	0,83	0,44
1017	2	2,42	1,32	1,09	1,90	0,82	1,72
0933	2	2,17	1,79	0,38	0,89	1,22	-0,34
0933	2	3,34	1,91	1,43	2,40	1,29	1,19
0894	2	1,71	1,25	0,46	0,69	0,50	0,18
0894	2	1,90	1,26	0,64	0,96	0,50	0,45
0896	2	0,88	0,80	0,07	0,15	0,05	0,09
0896	2	0,62	0,65	-0,02	-0,26	0,10	-0,37
0810	1	1,73	1,52	0,21	0,62	0,51	0,11
0651	2	1,43	1,03	0,40	0,48	0,39	0,08
0611	2	1,20	0,63	0,56	0,75	0,29	0,45
1187	2	0,81	0,58	0,23	0,34	-0,09	0,44
1186	2	0,66	0,36	0,29	0,31	-0,28	0,59
1146	2	0,78	0,60	0,18	0,38	-0,04	0,43
1105	2	0,71	0,57	0,14	0,27	-0,02	0,29
1063	2	0,49	0,43	0,05	0,15	-0,03	0,19
0900	2	0,88	0,74	0,13	0,56	0,22	0,33
0900	2	0,88	0,74	0,13	0,53	0,23	0,29

0857	2	0,66	0,65	0,01	0,26	0,22	0,04
0856	2	0,73	0,70	0,03	0,41	0,19	0,21
0856	2	0,62	0,64	-0,02	0,39	0,24	0,14
0860	2	0,78	0,65	0,13	0,20	-0,01	0,21
1646	2	0,96	0,87	0,09	0,42	0,17	0,25
0775	2	1,00	0,68	0,32	0,63	0,41	0,22
0775	2	1,61	1,22	0,38	0,73	0,40	0,33
0776	2	0,59	0,32	0,26	0,29	0,04	0,25
0776	2	0,76	0,35	0,41	-0,08	-0,31	0,22
0776	2	0,14	-0,06	0,20	-0,29	-0,31	0,01
0696	2	0,89	0,69	0,20	0,31	0,07	0,24
0656	1	1,03	1,13	-0,09	0,73	0,87	-0,14
0616	2	1,46	1,21	0,25	0,73	0,59	0,14
1645	2	1,51	1,20	0,31	0,78	0,59	0,18
0946	2	0,63	0,55	0,08	0,39	0,31	0,08
1647	2	0,87	0,71	0,16	0,00	0,01	-0,00
0905	2	1,05	0,90	0,15	0,40	0,19	0,20
0825	1	1,38	1,23	0,14	0,32	0,54	-0,22
1232	2	1,15	0,90	0,24	0,70	0,49	0,20
1151	2	2,09	1,71	0,37	0,85	0,75	0,09
1114	2	1,07	0,77	0,30	0,33	0,16	0,16
1073	2	1,16	0,88	0,27	0,78	0,27	0,51
1073	2	1,20	0,88	0,31	0,84	0,28	0,55
1117	2	1,27	0,95	0,31	0,14	0,11	0,03
1120	2	2,31	1,77	0,53	1,83	1,02	0,81
1079	2	1,78	1,73	0,05	1,40	1,30	0,09
0917	2	2,19	1,37	0,82	1,45	0,65	0,80
0393	1	2,34	1,16	1,17	2,08	0,35	1,73
1650	3	4,46	4,03	0,43	3,89	3,67	0,21
1650	2	4,46	3,27	1,18	3,88	2,85	1,03
0506	2	2,94	2,25	0,68	1,88	1,23	0,65
0507	2	1,64	1,76	-0,12	0,78	1,16	-0,37
0404	3	5,01	4,47	0,53	3,82	3,71	0,10
0306	3	3,56	3,33	0,23	2,89	2,90	-0,01
0306	2	1,03	2,35	-1,31	0,61	2,13	-1,51
0307	3	2,09	1,94	0,14	1,52	1,71	-0,19
0307	2	1,00	1,17	-0,16	0,60	0,92	-0,31
0275	1	1,57	2,30	-0,73	1,14	2,09	-0,95
0413	3	3,35	2,77	0,57	2,31	2,04	0,26
0098	2	3,31	2,62	0,69	2,21	1,57	0,63
0100	2	2,26	1,72	0,54	2,10	1,59	0,50
1649	3	2,35	2,19	0,16	1,87	1,75	0,12

Aanhangsel 24 Indeling van het studiegebied in stroomgebieden


3
1
2
4
5
0
0.5
1
1.5
2
2.5 km

Aanhangsel 25 Berekende afvoeren (m^3) per stroomgebied

AFVOEREN [1000 M^3] VOOR HET ZOMERHALFJAAR (DAG 91-274)

	1	2	3	4	5	totaal
91-86/274-86	1499,1	624,4	118,9	151,6	199,5	2595,8
91-87/274-87	2569,9	1099,0	146,8	221,2	255,9	4294,6
91-88/274-88	2697,7	1125,9	213,4	272,3	343,6	4656,6
91-89/274-89	1681,3	690,3	150,8	197,8	252,2	2974,8
91-90/274-90	1211,3	524,8	69,5	96,1	126,7	2029,1
91-91/274-91	1523,9	626,3	80,3	103,4	147,6	2481,9
91-92/274-92	1564,0	662,4	79,0	105,8	126,7	2538,0
GEMIDDELD	1249,8	525,4	82,2	110,7	139,2	2108,3

AFVOEREN [1000 M^3] VOOR HET WINTERHALFJAAR (DAG 274- 91)

	1	2	3	4	5	totaal
74-86/ 91-87	6290,3	2747,1	358,6	563,9	522,9	10494,2
74-87/ 91-88	9952,1	4354,3	736,3	1162,1	1303,5	17578,2
74-88/ 91-89	6732,2	2894,8	432,1	712,1	730,1	11513,7
74-89/ 91-90	3781,1	1668,9	152,3	239,8	254,5	6099,0
74-90/ 91-91	5195,1	2280,8	250,3	398,1	342,9	8471,1
74-91/ 91-92	3090,0	1376,8	94,7	147,4	154,6	4864,2
74-92/ 91-93	5473,9	2423,4	254,7	405,9	309,9	8871,7
GEMIDDELD	4278,1	1874,9	240,1	383,2	386,9	7174,7

AFVOEREN [1000 M^3] VOOR HET HYDROLOGISCH JAAR

	1	2	3	4	5	totaal
91-86/ 91-87	7789,4	3371,5	477,5	715,5	722,4	13090,0
91-87/ 91-88	12522,0	5453,3	883,1	1383,3	1559,4	21872,8
91-88/ 91-89	9429,9	4020,7	645,5	984,4	1073,7	16170,3
91-89/ 91-90	5462,4	2359,2	303,1	437,6	506,7	9073,8
91-90/ 91-91	6406,4	2805,6	319,8	494,2	469,6	10500,2
91-91/ 91-92	4613,9	2003,1	175,0	250,8	302,2	7346,1
91-92/ 91-93	7037,9	3085,8	333,7	511,7	436,6	11409,7
GEMIDDELD	5684,1	2466,0	332,5	507,8	543,5	9546,6

Aanhangsel 26 Peilbuis-discussie

Naar aanleiding van de analyse van de gemiddelde afwijkingen tussen de berekende en gemeten stijghoogten, staan een aantal peilbuizen ter discussie. Bij de volgende peilbuizen zijn de filterdieptes opgegeven door de beherende instanties. Daaruit is bepaald in welk watervoerend pakket het peilfilter zich bevindt. Indien iets anders geldt is dit vermeld.

– Knooppunt 933. Dit knooppunt bevat 2 peilfilters (12D/6-2 en 12D/6-3). Beide filters bevinden zich in het Witterveld op een met sintels verharde parkeerplaats, in het tweede watervoerende pakket. Het verschil in waargenomen potentialen (resp. 10,83 en 12,31) m) op korte afstand in hetzelfde pakket is indicatief voor de onnauwkeurigheden die kunnen optreden in de waarnemingen.

– Knooppunt 656. Dit knooppunt komt overeen met peilfilter 12D-257. Het bevindt zich binnen het landinrichtingsblok ten noorden van het dorp Laaghalen. Volgens de gegevens van het waterschap bevindt het peilfilter zich in het derde watervoerende pakket. De afwijking bedraagt 69 cm met een de standaarddeviatie 15 cm. Wordt veronderstelt dat het filter zich in het eerste watervoerende pakket bevindt dan is de afwijking nog slechts 16 cm. Dit kan erop duiden dat de weerstanden van de scheidende lagen in het model ter plekke te hoog zijn, dat de buis slecht geplaatst is waarbij de scheidende lagen ter plaatse zijn doorstoken, of dat de buis in een ander pakket staat dan dat is geregistreerd.

– De knooppunten 1017, 1222 en 1337. Deze knooppunten bevatten respectievelijk de peilfilters WB20, WB17 en WB15. De filters staan onder beheer van Witteveen en Bos en bevinden zich binnen het Witterveld in het tweede watervoerende pakket. De berekende stijghoogten zijn veel hoger dan de gemeten waarden. Dit kan betekenen dat de weerstand van de eerste scheidende laag ter plekke veel hoger is dan op dit moment in het model ingevoerd.

– Knooppunt 393. Dit knooppunt komt overeen met peilfilter WB22. Het filter bevindt zich in het Hijkerveld in het eerste watervoerende pakket. De gemiddelde afwijking is 143 cm. Wanneer het filter in het tweede watervoerende pakket wordt verondersteld, wordt een hoge negatieve afwijking geconstateerd (-91 cm). Hoewel de afwijking groter is geworden door verhoging van de weerstand van de eerste waterscheidende laag ter plaatse van natuurgebieden, zijn de afwijkingen zonder deze weerstandsverhoging nog steeds respectievelijk circa 60 en -40 cm. Het lijkt alsof de weerstand ter plekke eerde te hoog is geschat. Mogelijk zijn de geschematiseerde en werkelijke geohydrologie niet in overeenstemming.

– Knooppunt 1650 komt overeen met de peilfilters P95-1 en P95-2. Beide filters komen in het Hijkerveld naast knooppunt 393 voor. Peilfilter P95-1 bevindt zich in het tweede en peilfilter P95-2 in het derde watervoerende pakket. De afwijking tussen de berekende en gemeten stijghoogten zijn resp. 1.02 en 0.25 meter. De gemeten stijghoogten verschillen nauwelijks. Dat duidt erop dat in het model een te hoge wwerstand voor de tweede scheidende laag is gebruikt. Het verschil met

de waargenomen potentiaal in peilfilter WB22 bedraagt bijna 2.5 meter. Dat betekent dat de weerstand van de eerste scheidende laag erg groot moet zijn.

– Knooppunt 306 en knooppunt 275. Knooppunt 306 komt overeen met de peilfilters 17B/2-4 en 17B/2-5. Knooppunt 275 is gelegen in de nabijheid van knooppunt 306 en komt overeen met peilfilter 17B/2-2. Beide buizen bevinden zich binnen het landinrichtingsblok ten zuiden van Hooghalen en zijn in beheer bij waterschap. Van deze drie filters is de diepte niet bekend. Daardoor is ook niet bekend in welk pakket de filters zijn geplaatst. Het verschil in de gemeten potentialen bedraagt meer dan 2 meter. De berekende potentialen zijn lager dan de gemeten potentialen. Hoewel niet af te leiden uit de bodemkaart en de geohydrologische schematisering, wijkt mogelijk de lokale geohydrologie af van het regionale beeld. De te laag berekende grondwaterstanden doen vermoeden dat de plaatselijke weerstanden van de waterscheidende lagen hoger en/of de doorlatendheden van de watervoerende lagen lager zouden moeten zijn.

– Knooppunt 98. Dit knooppunt komt overeen met filter L10. Het bevindt zich vlak buiten het ruilverkavelingsblok ten zuiden van het dorp Laaghalen. Volgens de gegevens van het waterschap bevindt het filter zich in het tweede watervoerende pakket. De afwijking is dan 77 cm. Vergeleken met de berekende potentialen van het derde watervoerend pakket bedraagt de afwijking maar 10 cm.

Bijlage 1 Transparant deelgebieden; schaal 1:50000

