HYDROLOGISCHE SYSTEMEN IN ZW-DRENTHE

Een modelstudie met FLOSA-FD

gecombineerd met geohydrochemisch onderzoek

J.M.J. GIESKE

Simulaties van hydrologische systemen in Z.W.-Drenthe met het rekenprogramma FLOSA-FD

J.M.J. Gieske

mei 1987

blz.

Inhoudsopgave

Lijst van figuren, tabellen en bijlagen 3
List of figures, tables and supplements. 5

Samenvatting 7
Summary 8

Inleiding 9

1. Hydrogeologie en hydrologische systemen
   1.1. Hydrogeologie van het onderzoeksgebied 10
   1.2. Hydrologische systemen 10

2. Het programma FLOSA-FD
   2.1. Beschrijving van FLOSA-FD 12
   2.2. Z.W.-Drenthe 14
      2.2.1. Modellering van het onderzoeksgebied 14
      2.2.2. Aanpassingen en simulaties 16
   2.3. Resultaten 17
   2.4. Konklusies m.b.t. de toepassing van FLOSA-FD in de regionale hydrologische systeemanalyse 21

3. Het tweedimensionale programma FLOWNET 22

4. Chemie
   4.1. Inleiding 23
   4.2. Het Dwingeloose Heide systeem 23
   4.3. Het Echtenerveld systeem 25
   4.4. Het Centraal Plateau systeem 26
   4.5. Het Reest systeem en het Ruinerwold systeem 27
   4.6. Konklusies 27
   4.7. Aanbevelingen voor verder onderzoek 28

Dankwoord 29

Literatuur 30

Lijst van figuren, tabellen en bijlagen.

		blz.
Figuren:		
1.	Topografische kaart van het onderzoeksgebied met de door Oude Munnink vastgestelde systeemgrenzen.	47 a
2.	Hydrogeologisch schema van het onderzoeksgebied (uit Oude Munnink)	48
3.	Isohypsenkaart voor het freatisch vlak op 24 april 1980.	49
4.	Stijghoogtewaarden voor de roosterpunten op het bovenvlak van het modelgebied op 14 april 1980.	50
5.	Geologische formaties per rosterlaag.	51
6.	Modellering van het keileempakket m.b.v. overgangswaarden.	52
7.	Het keileempakket.	52
8.	Infiltratie- en kwelkaart zoals door FLOSA-FD berekend.	53
9.	Infiltratie- en kwelgebieden zoals door Oude Munnink onderscheiden.	54
10.	Het Dwingeloose Heide systeem vanuit het zuiden gezien.	55
11.	Het Dwingeloose Heide systeem vanuit het noord-oosten gezien.	56
12.	Het Echtenerveld systeem vanuit het zuiden gezien.	57
13.	Het Echtenerveld systeem vanuit het noord-oosten gezien.	58
14.	Het Echtenerveld systeem in het blok gezien.	59
15.	Lokaal hydrologisch systeem binnen het Echtenerveld systeem.	60
16.	Het systeem van Zuidwolde.	61
17.	Infiltratie van Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart.	62
18.	Het Havelterberg systeem.	63
19.	Het Reest systeem.	64
20.	Stroomlijnen van lokale systemen gesuperponeerd op het kwelgebied van het Centraal Plateau systeem.	65
21.	Stroomlijnen vanuit het oostelijk grensvlak.	66
22.	Stroomlijnen eindigend in het kwelvenster achterwaarts teruggerekend naar hun punt van infiltratie.	67
23.	Begin- en eindpunten van de stroomlijnen van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het systeem van Zuidwolde, en eindpunten van de stroomlijnen van het oostelijk grensvlak.	68
24.	Eindpunten van de stroomlijnen in het kwelvenster en hun infiltratiepunten.	69
25.	Verblijftijdzones afgeleid uit de door FLOSA-FD berekende verblijftijden per stroomlijn en herkomstzones van deze stroomlijnen in de infiltratiegebieden.	70
26.	Zones van maximaal bereikte diepte, afgeleid uit door FLOSA-FD per stroomlijn berekende maximale diepte.	71
27.	Stromingsrichtingen in het Dwingeloose Heide systeem en het Echtenerveld systeem.	72
28.	Systeemgrenzen, aangepast m.b.v. FLOSA-FD.	73
29. a t/m e.	Horizontale projekties van de stroomsnelheidsvektoren.	74
30.	Profielen waarvoor de stroomsnelheden zijn berekend.	79
31. a t/m e.	West-oost profielen door het stroomsnelheidsveld.	80
32. a t/m e.	Noord-zuid profielen door het stroomsnelheidsveld.	82
33. a t/m d.	Isohypsen van lagen 1, 2, 3 en 6.	85
34. a, b	Isohypsen in west-oost profielen.	87

35.	N.O.-Z.W. profiel, berekent met FLOWNET, K-waarden als in tabel 1.	88
36.	N.O.-Z.W. profiel, K-waarden Eem- en Drenthe klei verhoogd tot 0,1 m/dag.	
37.	Lokaties van boringen.	89
38.	Stuifzandklassifikatie voor de monsters tot 20 m diepte.	90
39.	Stuifzandklassifikatie voor de monsters van 20 tot 40 m diepte.	91
40.	Stuifzandklassifikatie voor de monsters dieper dan 40 m.	92
41.	Het Ca-gehalte van het grondwater tot 20 m diepte.	93
42.	Het Ca-gehalte van het grondwater van 20 tot 40 m diepte.	94
43.	Het Ca-gehalte van het grondwater dieper dan 40 m.	95
44.	Stiff-diagrammen van de monsters uit de t.b.v. deze studie geplaatste boringen.	96

Tabellen:

1.	K-waarden van de geologische formaties.	33

Bijlagen:

1.	Vergelijkingen en oplosmethoden van FLOSA-FD.	34
2.	Klassifikatiesysteem van Stuifzand.	36
3.	Chemische analyses van grondwatermonsters uit het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het Centraal Plateau systeem.	38

List of figures, tables and supplements.

Figures:

		blz.
1.	Topographical map of the study area with boundaries of groundwater flow systems as defined by Oude Munnink.	47
2.	Hydrogeological schematisation of the study area (from Oude Munnink).	48
3.	Map with isohypses of the phreatic water table on 24 april 1980.	49
4.	Hydraulic head values at the gridpoints of the upper boundary plane of the model block on 24 april 1980.	50
5.	Geological formations per grid layer.	51
6.	Modeling of the glacial till using transitional K-values.	52
7.	Location of the glacial till.	52
8.	Map with infiltration and exfiltration areas as computed by FLOSA-FD.	53
9.	Map with infiltration and exfiltration areas as defined by Oude Munnink.	54
10.	The Dwingeloose Heide system, seen from the south.	55
11.	The Dwingeloose Heide system, seen from the north-east.	56
12.	The Echtenerveld system, seen from the south.	57
13.	The Echtenerveld system, seen from the north-east.	58
14.	The Echtenerveld system, looking into the block.	59
15.	Local groundwater flow system in the Echtenerveld system.	60
16.	The system of Zuidwolde.	61
17.	Infiltration from the Drentse Hoofdvaart and the Oude Vaart.	62
18.	The Havelterberg system.	63
19.	The Reest system.	64
20.	Streamlines of local groundwater flow systems superponed on the exfiltration area of the Centraal Plateau system.	65
21.	Streamlines from the eastern boundary plane.	66
22.	Streamlines ending in the exfiltration area of the Centraal Plateau system computed backwards to their points of infiltration.	67
23.	Infiltration and exfiltration points of streamlines of the Dwingeloose Heide system, the Echtenerveld system and the system of Zuidwolde and exfiltration points of streamlines from the eastern boundary plane.	68
24.	Exfiltration points of streamlines in the Centraal Plateau exfiltration area and their points of infiltration.	69
25.	Residence time zones deducted from residence times of the streamlines computed bij FLOSA-FD and zones of origin of these streamlines in the infiltration areas.	70
26.	Zones of maximum depth reached by the streamlines deducted from FLOSA-FD computations.	71
27.	Directions of groundwater flow in the Dwingeloose Heide system and the Echtenerveld system.	72
28.	Groundwater flow system boundaries as adapted with information form FLOSA-FD.	73
29. a to e.	Horizontal projections of velocity vectors.	74
30.	Profiles for which velocity vectors have been plot. Profiles for which streamlines are computed with FLOWNET.	79
31. a to e.	West-east profiles through the velocity field.	80
32. a to e.	North-south profiles through the velocity field.	82
33. a to d.	Isohypses of gridlayers 1, 2, 3 and 6.	85

34. a, b	Isohypses in west-east profiles.	87
35.	Streamlines in N.E.-S.W. profile, computed by FLOWNET. K-values as in table 1.	88
36.	Streamlines in N.E.-S.W. profile, K-values of the Eem and Drenthe clay formations enlarged to 0,1 m/day.	
37.	Locations of borings.	89
38.	Stuifzand classification for groundwater samples until 20 m depth.	90
39.	Stuifzand classification for groundwater samples from 20 m till 40 m depth.	91
40.	Stuifzand classification for groundwater samples from depths over 40 m.	92
41.	Ca-content of the groundwater until 20 m depth.	93
42.	Ca-content of the groundwater from 20 m till 40 m depth.	94
43.	Ca-content of the groundwater deeper than 40 m.	95
44.	Stiff-diagrams of the samples from the new borings.	96

Table:

1.	K-values of the geological formations.	33

Supplements:

1.	Equations and solutions of FLOSA-FD.	34
2.	Classification system of Stuifzand.	36
3.	Chemical analyses of groundwater samples from the Dwingeloose Heide system, the Echtenerveld system and the Centraal Plateau system.	38

Samenvatting.

Het doel van deze studie was het nader onderzoeken van de hydrologische systemen zoals deze door Oude Munnink (Oude Munnink, 1985) zijn aangegeven voor zuid-west Drenthe. Hiertoe is aanvullend hydrochemisch onderzoek verricht en zijn m.b.v. het tweedimensionale rekenprogramma FLOWNET en het driedimensionale rekenprogramma FLOSA-FD hydrologische systeemsimulaties uitgevoerd.

Deze studie concentreerde zich grotendeels op het rekenen met het door D.G.V.-T.N.O. ontwikkelde driedimensionale eindige-verschillen programma FLOSA-FD.

Hiertoe werd de hydrogeologie van het onderzoeksgebied van 19 bij 20 km2 en met een diepte van 90 m geschematiseerd in 11.400 roosterpunten. Als randvoorwaarden werden stijghoogten ingevoerd voor alle grensvlakken, behalve voor het ondervlak waar een vertikale snelheidskomponent van nul werd ingevoerd. Met FLOSA-FD werden voor alle roosterpunten stroomsnelheidsvektoren berekend. Daar het programma zich bij aanvang van de stage nog in het stadium van ontwikkeling bevond en in het kader van deze studie voor het eerst op regionale schaal werd toegepast deden zich aanvankelijk problemen voor. Toen een nieuwe oplosmethode voor de door FLOSA-FD te berekenen matrixvergelijkingen gebruiksklaar was konden evenwel goede resultaten bereikt worden. Een goed driedimensionaal beeld werd verkregen van de vorm, ligging, diepte, en inwendige opbouw van de verschillende systemen. Tevens werden de verblijftijden voor de stroomlijnen van de verschillende systemen berekend. Op grond van deze resultaten en na herevaluatie van reeds beschikbare informatie konden de door Oude Munnink onderscheiden systeemgrenzen aangepast worden en werden twee nieuwe hydrologische systemen gelokaliseerd.

Met FLOWNET, ontwikkeld op het Instituut voor Aardwetenschappen van de Vrije Universiteit (van Elburg en Engelen 1986) werd een N.O.-Z.W.-profiel door het onderzoeksgebied doorgerekend. Door de doorlatendheid van een kleilaag bij de zuidwest rand te variëren kon zowel een simulatie van de door Oude Munnink onderscheiden systemen bereikt worden, als een simulatie waarin ook een van de in deze studie gelokaliseerde nieuwe ondiepe systemen voorkomt. Op grond van alle andere informatie werd gekozen voor de laatstgenoemde variant.

Bij het hydrochemisch onderzoek werden, behalve de gegevens uit een aantal nieuw geplaatste boringen, ook alle chemische analyses uit het D.G.V.-T.N.O.-bestand betrokken. Hierdoor werd een beter inzicht verkregen in de waterkwaliteit van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het Centraal Plateau systeem. De kontrole van de aangepaste systeemgrenzen vormde een belangrijk onderdeel van de hydrochemische studie.

Summary.

The purpose of this study was to investigate further the groundwaterflow systems as defined for S.W.-Drenthe by Oude Munnink (Oude Munnink, 1985). Supplementary hydrochemical data was collected and the groundwater flow systems were simulated using the twodimensional computercode FLOWNET and the three dimensional code FLOSA-FD.

This study concentrated mainly on the computations with the three dimensional finite difference program FLOSA-FD, as developed by D.G.V.-T.N.O.
The study area, of 19 x 20 km2 and 90 m depth, was divided into gridblocks of 1000 x 1000 x 3 m3, and permeability values were attributed to the 11.400 gridpoints in the blocks as well as on the boundary planes. Hydraulic heads were entered for alle boundaries, except for the lower boundary where the impervious base was modeled by entering a zero normal flux. Velocity vectors were computed for alle gridpoints.
Infiltration areas of the Dwingeloose Heide system, the Echtenerveld system and the system of Zuidwolde were distinguished well bij FLOSA-FD, as well as the infiltration area of two new local groundwater flow systems superimposed on the exfiltration area of the Centraal Plateau system as defined by Oude Munnink. For these flow systems streamlines were computed and plotted in threedimensional figures. Together with the computed residence times and maximum depths of the streamlines this supplied new information concerning form, location and internal structure of each system and concerning flow directions within the systems.
The Havelterberg system and the local infiltration systems of the Drentse Hoofdvaart and the Hoogeveense Vaart could not be modeled well, due to problems concerning proper hydraulic head input data. The Centraal Plateau system could be modeled partly.

Streamlines in a N.E.-S.W. profile of the study area were computed using the program FLOWNET, developed at the Free University of Amsterdam. The Dwingeloose Heide system and the Central Plateau system could be modeled well. By slightly varying the K-values of clayish formations at the south-west side of the profile one of the new local groundwater flow systems could be modeled as well.

Groundwater analyses from new borings supplied extra data on water quality of the Dwingeloose Heide system, the Echtenerveld system and the Centraal Plateau system. This data, and hydrochemical data from the D.G.V.-T.N.O. databank, was reconsidered in the light of the new information available from the modeling.

Inleiding.

Dit rapport omvat een vervolgstudie naar hydrologische systemen in het gebied zuid-west Drenthe (fig. 1), in het kader van een doctoaraal stage bij provinciale waterstaat van Drenthe voor het hoofdvak hydrogeologie aan de Vrije Universiteit.

In het onderzoeksgebied heeft Oude Munnink een regionale hydrologische systeemanalyse uitgevoerd. Op grond van de analyse van bestaand kaartmateriaal (isohypsen-, bodem-, grondwatertrappenkaarten, e.d.) een aanvullend boorprogramma en informatie over de chemische- en isotopen samenstelling van het grondwater werden de volgende regionale, subregionale, en lokale systemen onderscheiden.

1. Centraal Plateau systeem (regionaal)
2. Dwingeloose Heide systeem (subregionaal)
3. Echtenerveld systeem (subregionaal)
4. Havelterberg systeem (subregionaal)
5. Systeem van Zuidwolde (subregionaal)
6. Systeem van de Drentse Hoofdvaart (lokaal)
7. Systeem van de Hoogeveense Vaart (lokaal).

De door Oude Munnink gevonden hydrologische systemen werden gesimuleerd met behulp van het driedimensionale, stationaire, eindige verschillen programma FLOSA-FD van T.N.O.-D.G.V. De berekeningen zijn uitgevoerd bij T.N.O.-D.G.V. te Delft. De wijze van modellering van het onderzoeksgebied en de resultaten van de berekeningen worden beschreven in hoofdstuk 2.
In hoofdstuk 3 wordt een profiel door het Dwingeloose Heide systeem en het Centraal Plateau systeem beschreven dat berekend is met het tweedimensionale, stationaire eindige-verschillen programma FLOWNET.
Naar aanleiding van de resulaten van haar onderzoek heeft Oude Munnink aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Deze omvatten o.a. ook een uitbreiding van het meetnet, waarvoor een konkreet voorstel is gedaan.
Daartoe werden in opdracht van provinciale waterstaat Drenthe 13 boringen uitgevoerd tot verschillende diepten. In de boorgaten zijn peilbuizen geplaatst waarvan een aantal zijn voorzien van minifilters. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het hydrochemisch onderzoek gepresenteerd.

1. Hydrogeologie en hydrologische systemen.

1.1. Hydrogeologie van het onderzoeksgebied.

De hydrologische basis van het onderzoeksgebied wordt gevormd door de tertiaire mariene kleien van de formaties van Breda en Oosterhout, op een diepte van ± 150 m -N.A.P. In het Mioceen werd in een marien-kontinentaal overgangsmilieu de formatie van Scheemda afgezet. De bovengrens van deze formatie ligt op ongeveer 100 m -N.A.P. Hierop zijn resp. de pleistocene fluviatiele formaties van Harderwijk, Enschede en Urk afgezet, die door hun grofzandige karakter goed doorlatend zijn. In het zuiden van het gebied wordt de ondergrens van de formatie van Harderwijk gevormd door een kleilaag van 10 à 20 m dikte die tot de formatie van Tegelen gerekend wordt.
In de hoger gelegen delen van het onderzoeksgebied komt vanaf ongeveer 10 m -N.A.P. tot 10 m +N.A.P. de fijnzandige Midden-Pleistocene formatie van Eindhoven voor. Lokaal komt tussen de formaties van Urk en van Eindhoven nog de formatie van Peelo voor, die hier zandig ontwikkeld en matig doorlatend is. Op de formatie van Eindhoven is de formatie van Drenthe afgezet, die grotendeels bestaat uit slecht doorlatende, enkele meters dikke keileem.
In het zuidwestelijke deel van het gebied (het oude Vechtdal) komt boven de formatie van Urk de grofzandige formatie van Kreftenheye voor, met aan de basis plaatselijk wat Eemklei. Dekzanden van de formatie van Twente met een dikte van enkele meters komen over het hele gebied voor. In fig. 2 is het hydrogeologisch schema gegeven.

1.2. Hydrologische systemen.

Op grond van isohypsenpatronen, topografische patronen, grondwatertrappen, afwateringspatronen en de chemische- en isotopen samenstelling van het grondwater zijn de volgende systemen onderscheiden door Oude Munnink (zie fig. 1):

1. Centraal Plateau systeem.
   Dit is een regionaal systeem, dat wordt gevoed in het gebied ten noordoosten van het onderzoeksgebied; het centrale keileem plateau van Drenthe. In het zuidwestelijke deel van het gebied en een aansluitend deel tussen de waterlopen de Oude Vaart en de Wold Aa kwelt het water van dit systeem op. De grondwatersamenstelling wordt gekenmerkt door hoge Ca- en HCO3-concentraties, lage Na- en Cl-gehalten (namelijk die van het ingedampte en geïnfiltreerde regenwater), afwezigheid van vervuilingsinvloeden (geen NO3 en NO2) en door -als gevolg van sulfaatreduktie- lage SO4-gehalten.
2. Het Dwingeloose Heide systeem.
   Dit is een subregionaal systeem waarvan het infiltratiegebied wordt gevormd door de Dwingeloose Heide. Het kwelgebied grenst aan de Oude Vaart, de Wold Aa, en het kwelgebied van het Centraal Plateau systeem. EG's en Ca-concentraties zijn laag in het infiltratiegebied, maar lopen op naar de randen van het systeem. Aan de randen van het systeem is ondiep een geringe invloed van vervuiling merkbaar.
3. Het Echtenerveld systeem.
   Dit is eveneens een subregionaal systeem waarvan het infiltratiegebied iets ten zuidwesten aan het topografisch hoogste deel ligt. Het kwelgebied grenst aan de waterlopen de Wold Aa, de Koekanger Aa, de Hoogeveensche Vaart en het Oude Diep. De Ca-gehalten en EG's komen overeen met die van het Dwingeloose Heide systeem. De invloed van vervuiling vanuit de landbouwgebieden is echter veel groter.

4. Het Havelterberg systeem.
   Dit is ook een subregionaal systeem, met als infiltratiegebied de Havelterberg, en als kwelgebied het gebied langs de Wapserveense Aa, de Oude Vaart en het kwelgebied van het Centraal Plateau systeem. Het grondwater onder het infiltratiegebied is laag gemineraliseerd, maar Ca- en HCO3-concentraties nemen weer toe in de stroomrichting. Er zijn weinig vervuilingsinvloeden.
5. Het systeem van Zuidwolde.
   Dit systeem ligt in het zuiden van het onderzoeksgebied. Het infiltratiegebied wordt gevormd door het gebied rondom Zuidwolde, het kwelgebied wordt begrensd door de Hoogeveense Vaart en de Reest.
6. Het systeem van de Drentse Hoofdvaart.
   Dit is een lokaal systeem, veroorzaakt door ten opzichte van de grondwaterpeilen in het aangrenzende gebied relatief hoge stuwpeilen bij de sluizen bij Havelte en Uffelte.
7. Het systeem van de Hoogeveense Vaart.
   Dit lokale systeem wordt eveneens veroorzaakt door een verhoogd waterpeil nabij de Ossesluis.

Een uitgebreide beschrijving van de systemen wordt gegeven in het rapport van Oude Munnink (op. cit.)

2. Het programma FLOSA-FD.

2.1. Beschrijving van FLOSA-FD.

FLOSA-FD (FLOW Systems Analysis - Finite Differences) is een driedimensionaal eindige verschillen programma. De basisvergelijkingen, waarop het programma is gebaseerd, zijn afgeleid van de wet van Darcy en de kontinuïteitsvergelijking. Deze vergelijkingen beschrijven de potentiaalgradiënten in de x- en y-richting en de Darcy-snelheid in de Z-richting. Uiteindelijk berekent het proramma in elke roosterpunt de drie komponenten van de Darcy-snelheid. In de nieuwere versie van het programma worden ook de zogenaamde werkelijke snelheden uitgerekend met behulp van de opgegeven porositeit.
Tevens worden infiltratie- en kwelgebieden berekend. Dit zijn aansluitende roostervakken waarin resp. een naar binnen en een naar buiten gerichte vertikale snelheidskomponent optreedt.
Vanuit de infiltratiegebieden kunnen de bijbehorende stroomlijnen berekend worden. Dit kan ook vanuit de kwelgebieden, waarbij de stroomlijnen achterwaarts berekend worden tot aan het punt van infiltratie. Per stroomlijn worden ook verblijftijd, lengte van de stroomlijn, gemiddelde stroomsnelheid en maximale diepte berekent. Tevens kunnen de potentialen voor ieder roosterpunt worden berekend en kunnen isohypsen getekend worden. In tegenstelling tot andere grondwaterrekenprogramma's wordt de potentiaalgradiënt of de snelheid rechtstreeks berekend met behulp van uit bovengenoemde vergelijkingen afgeleide vergelijkingen. Het is namelijk gebleken dat, wanneer de snelheid op "traditionele" wijze vanuit het berekende potentiaalveld werd afgeleid, de fout in de vertikale snelheidskomponent in de orde van grootte van de komponent zelf kan liggen. Het programma FLOSA-FD is ontwikkeld door D.G.V.-T.N.O. De theorie is ontwikkeld door Zijl (Zijl, 1984, 1985); zie ook Zijl en Waardenburg (1987).
De eerste versie is uitgewerkt en geprogrammeerd door Overboom (Overboom, 1985). Deze eerste versie heette Dartex en was bedoeld als prototype om de wensen van de gebruikers te leren kennen en de eisen die dit stelde aan de programmatuur en de apparatuur te onderkennen. Ook FLOSA-FD was tijdens de stageperiode een prototype programma en een aantal hieronder te bespreken is in later ontwikkelde versies grotendeels opgeheven.

Voor de simulatie moet een rechthoekig gebied gekozen worden, dat wordt opgedeeld in roosterblokken. Ten tijde van de modellering bedroeg het maximum aantal roosterblokken in de X- en Y-richting 20 en in de Z-richting 30 (nu is 30 roosterblokken voor de X- en Y-richting en 60 roosterblokken in de Z-richting mogelijk).

In het centrum van ieder roosterblok ligt een roosterpunt. Voor ieder roosterpunt dient een permeabiliteitswaarde te worden ingevoerd.
De grensvlakken worden gevormd door de zijvlakken van de buitenste roosterblokken. In het midden van zo'n zijvlak ligt een extra roosterpunt, waarvoor eveneens een permeabiliteitswaarde én een waarde voor de stijghoogte moet worden opgegeven. Het is ook mogelijk voor de roosterpunten van de grensvlakken normale snelheidskomponenten op te geven. Door bv. voor het onderste grensvlak als normale snelheidskomponent nul op te geven wordt een ondoorlatende basis gemodelleerd. Tevens kan worden gedacht aan de modellering van infiltratie en kwel, en in- en uitstroming over de randen.

Invoer vindt plaats d.m.v. de "preprocessor". Dit deel van het programma maakt het de gebruiker mogelijk d.m.v. menu's een nieuwe dataset in te voeren, of een bestaande dataset te wijzigen.

Ingevoerd worden het aantal roosterblokken en hun afmetingen, een anisotropiefaktor Kv/Kh, die voor het hele modelgebied geld en de porositeit per formatie. De permeabiliteiten worden per laag roosterpunten ingevoerd, waarna de permeabiliteiten vanuit het rooster op de grensvlakken gekopieerd kunnen worden. Per grensvlak worden de potentialen of e.v. de normale snelheidskomponenten opgegeven.
De preprocessor zorgt vervolgens voor het formateren van de dataset en voor verwerking door de "processor".

De "processor" is het rekengedeelte van FLOSA-FD. Bij aanvang van de stage werden de matrixvergelijkingen iteratief opgelost m.b.v. een kombinatie van de blok Gauss-Seidel methode ("outer iterations") en de gekonjugeerde geprecon-ditioneerde gradiëntenmethode I.C.C.G. ("inner iterations") (Overboom, 1985, Vreebrug, 1986). Hierbij wordt voor ieder roosterpunt de gradiënt van de potentiaal in de X- en Y-richting berekend en in de Z-richting de snelheid.

Deze oplosmethode resulteerde aanvankelijk pas na enkele aanpassingen in de oorspronkelijke modellering (zie par. 2.2.2. en bijlage 1) in een konvergerende oplossing van de matrixvergelijkingen. Hierbij bleef echter een met name voor de onderste roosterlagen aanzienlijke fout in de massabalansen voor de roosterlagen bestaan. Later is een nieuwere oplosmethode ontwikkeld, waarbij een kombinatie van CGEIS (inkomplete choleski/conjugate gradient method) en PKPCG (petravic/kuo/petravic conjugate gradiënt) iteraties gebruikt wordt (van Kalmthout, 1987). Inmiddels is ook deze nieuwere methode weer sterk verbeterd (Kuppen, in voorb.; zie ook Kaasschieter, 1987). De in dit rapport beschreven resultaten zijn bereikt met de "nieuwere" oplosmethode, echter wel met de aangepaste dataset.

De berekende snelheden worden weggeschreven in een "resultsfile". Verder maakt het programma ook een "plotfile" aan, en een bestand met potentialen voor ieder punt, mits gebruik is gemaakt van de opties hiervoor in het preprocessor programma.

Het "postprocessor" programma biedt de mogelijkheid om via menu's verschillende afbeeldingen te maken. De berekende snelheden kunnen in tweedimensionale XY- XZ- of YZ-doorsneden door het gebied uitgezet worden, waarbij de komponenten van de snelheidsvektoren in het gekozen vlak afgebeeld worden. Om kwel- en infiltratie afbeeldingen te verkrijgen worden de normale snelheidskomponenten ingedeeld in klassen, die d.m.v. arcering worden weergegeven. Deze afbeeldingen kunnen voor ieder horizontaal of vertikaal vlak gemaakt worden. Isohypsen kunnen berekend en getekend worden, zowel voor horizontale XY- en vertikale XZ- en YZ-doorsneden door het modelgebied. Stroomlijnen worden berekend en getekend in quasi-driedimensionale afbeeldingen. Hiertoe worden vanuit de infiltratievakken op de grensvlakken m.b.v. de Engeland-methode (Nawalany, 1986) stroomlijnen berekend. Het is mogelijk per roostervlak max. 9 stroomlijnen te berekenen. Ook vanuit de "kwelvlakken" kunnen stroomlijnen achterwaarts berekend worden tot het punt waar het betreffende water infiltreert.

Tevens worden per stroomlijn de lengte, de verblijftijd, de maximale diepte en de gemiddelde stroomsnelheid berekend. Ook is het mogelijk een maximale verblijftijd voor een stroomlijn te specificeren waarbij de stroomlijn eindigt op het punt in het modelgebied waar de maximale verblijftijd bereikt wordt.

Er bestaat nog een aantal beperkingen bij het op regionale schaal gebruiken van FLOSA-FD. De invoer van oppervlaktewater is moeilijk, daar nog geen lokale netwerkverdichting mogelijk is, en de roosterblokgrootte bij toepassing voor

een regionale situatie vele malen groter is dan de breedte van een waterloop. Onttrekkingen konden alleen worden ingevoerd door middel van de potentialen, of door een flux op de rand voor te schrijven. Momenteel is een uitbreiding naar invoering van onttrekkingen wel beschikbaar (Pruis, in voorb.). De topografie wordt benaderd met een projektie van de stijghoogten op het horizontale modelbovenvlak. Bij de geringe vertikale snelheden is dit geoorloofd. De hydrogeologie van de ondergrond (de K-waarden) voor de topografisch hoger gelegen delen van het modelgebied kan op deze manier echter niet worden ingevoerd.

2.2. Z.W.-Drenthe.

2.2.1. Modellering van het onderzoeksgebied

Voor de modellering van het gebied Z.W.-Drenthe werd een rechthoekig gebied gekozen, van 20 bij 19 km2 dat het gebied dat door Oude Munnink is onderzoek, grotendeels overlapt. Dit gebied werd opgedeeld in roosterblokken van 1 km bij 1 km, samenvallend met de kilometervakken van de topografische kaart. Er werd gekozen voor een diepte van 90 m, ongeveer de bovengrens van de matig doorlatende formatie van Scheemda. De roosterblokdikte wordt hierdoor 3 m. Deze geringe dikte is noodzakelijk om de dunne formaties van Drenthe en Twente goed te kunnen modelleren.

Voor het bovenvlak werd een gedetaileerde isohypsenkaart gemaakt (fig. 3). Hierbij werd gekozen voor de voorjaarssituatie van het jaar 1980, hetgeen een representatief jaar was (technische werkgroep grondwaterplan, 1985). Voor de datum 24 april 1980 werden alle stijghoogten uitgezet. Van de waterschappen werden winter stuwpeilen verkregen met de bij de stuwen behorende stroomgebieden. Tevens werd gebruik gemaakt van de isohypsenkaarten van het Dwingeloose Heide gebied (Bakker, 1984) en van het gebied van het waterschap de Wold Aa (Post en van Bakel, 1986). De aan de hand van deze informatie en de topografische patronen vervaardigde isohypsenkaart werd vervolgens gediskretiseerd voor de roosterpunten van het bovenvlak (fig. 4).

Opgemerkt dient te worden dat geen opbolling van de freatische grondwaterspiegel kon worden aangetoond in het Haverterberggebied. Ter kontrole werd een gedetaileerde isohypsenkaart van het Havelterberggebied gemaakt voor de wintersituatie van 1986, m.b.v. meetgegevens van de Waterleiding Maatschappij Overijssel. Ook hierin kwam geen opbolling voor. Dit is hoogstwaarschijnlijk het gevolg van de afpomping t.g.v. de drinkwaterwinning.
De drinkwateronttrekking bedroeg namelijk in 1982 in totaal 5.446.470 m3. Bij een gemiddelde nuttige neerslag van 350 mm/jaar over het infiltratiegebied van ± 18 km2 bedraagt de jaarlijkse grondwatervoeding 6.300.000 m3/jaar. Hiervan wordt dus het grootste deel afgepompt. Op de Havelterberg zelf zijn echter geen peilbuizen aanwezig en in het gebied ten noorden er van zeer weinig. Aan de roosterpunten in het Havelterberggebied zijn geen verhoogde potentialen toegekend.

Een andere benadering is een isohypsenkaart te maken voor een langjarig gemiddelde wintersituatie, door m.b.v. de grondwatertrappen (Stiboka, 1978) en de topografie per roosterpunt van het bovenste grensvlak de gemiddeld hoogste grondwaterstand te bepalen. Deze benadering stuit echter op het probleem dat in het onderzoeksgebied grondwatertrap VII veel voorkomt, (GHG > 80 cm beneden maaiveld), waardoor de grondwaterstand daar niet op deze wijze vastgesteld kan worden.

Voor een driedimensionale modellering van de geologie werd gebruik gemaakt van hydrogeologische profielen (werkgroep geohydrologisch onderzoek in Drenthe, 1978), van geologische profielen en beschrijvingen van de geologische formaties (Ter Wee, 1978, 1979), en van boorbeschrijvingen (archief provinciale waterstaat).
Per laag roosterblokken werd de ligging van de verschillende formaties zo nauwkeurig mogelijk bepaald. K-waarden per formatie werden bepaald aan de hand van literatuurgegevens (technische werkgroep grondwaterplan, deel +, 1985) en een K-waarden tabel van T.N.O.-D.G.V. Voor de formaties van Harderwijk en Urk werd ook gebruik gemaakt van de gegevens van een pompproef nabij Weerwille (technische werkgroep grondwaterplan, deel +, 1985). De K-waarden voor de verschillende geologische formaties worden gegeven in tabel 1.

Voor de anisotropie faktor (Kv/Kh) werd 0.7 gekozen, daar voor de meeste formaties in Nederland geldt dat de horizontale en de vertikale doorlatendheden zich verhouden als 4:3 (De Vries, 1974).

Daar de topografie niet gemodelleerd kan worden werd voor de volgende benadering gekozen: Het bovenste grensvlak werd gekozen ongeveer ter hoogte van de laagst gelegen gebieden, d.i. 0-2,5 m +N.A.P. In de hoger gelegen delen komen de formaties van Twente, Drenthe en Eindhoven voor. Laatstgenoemde formatie komt niet in het lager gelegen deel voor, en heeft een dikte van 10 à 15 m en een K-waarde van 5 m/dag. Door nu deze formatie te reduceren tot een dikte van 3 m (de K-waarde wordt dan 15 à 25 m/dag) wordt de topografie grotendeels "gladgestreken".

Zo ontstond het volgende model. In de eerste laag roosterpunten op 1,5 m diepte werd de formatie van Twente gemodeleerd (K-waarde is 5 m/dag). In de tweede laag roosterpunten werd het keileempakket ingebouwd. Alle roosterpunten behorend tot het keileempakket kregen als K-waarde 0,001 m/dag. Verder komt in deze laag nog de formatie van Twente voor. In de derde laag komt de formatie van Kreftenheye, met K = 10 m/dag, voor in het zuid-westelijk deel, en in de rest van de laag de "samengedrukte" formatie van Eindhoven, met K = 20 m/dag. De formatie van Kreftenheye zet zich voort in de vierde laag. In deze laag komt in het noord-oostelijk deel de formatie van Peelo voor (K = 5 m/dag) en verder de formatie van Urk (K = 30 m/dag). In laag 5 en 6 komt hier nog de Eem-formatie bij, met K = 0,05 m/dag. Vanaf laag 7 tot laag 10 komt alleen de formatie van Urk voor. Hierna neemt de formatie van Harderwijk, met K = 60 m/dag, vanuit de zuidoostelijke hoek een steeds groter deel van de opeenvolgende lagen in (deze formatie helt naar het noordwesten). Lagen 19 t/m 25 bestaan volledig uit de formatie van Harderwijk. In lagen 26, 27 en 28 komt in het zuidelijk deel Tegelenklei voor, met K = 0,05 m/dag. In de onderste twee lagen is de formatie van Scheemda gesimuleerd met K = 5 m/dag. Zie fig. 5.

Als randvoorwaarden werden voor het bovenvlak de per roosterpunt gediscretiseerde potentialen opgegeven. Voor de waterlopen werden de winterstuwpeilen opgegeven. Voor de zijvlakken werd een potentiaalsprong over de keileem ingevoerd, waarna de potentiaal in de diepte konstant werd gehouden. Dit laatste is gedaan omdat het verloop van de potentiaal in de diepte niet voldoende bekend is, slechts 3 waarnemingspunten met filters op verschillende dieptes bevinden zich dichtbij een grens. Voor het ondervlak werd een normale snelheidskomponent van 0 m/dag ingevoerd, waardoor een ondoorlatende basis werd gemodelleerd.

2.2.2. Aanpassingen en simulaties

Bij de eerste berekeningen met bovenbeschreven invoer bleek de oplossingsmethode van de matrixvergelijkingen niet te konvergeren. De oorzaak hiervan bleek te zijn dat met de toen in FLOSA-FD gebruikte oplosmethode (de blok Gauss-Seidel methode) problemen ontstonden wanneer de permeabiliteiten in één roosterlaag sterk verschilden. Grote laterale permeabiliteitsverschillen komen vooral voor in de tweede roosterlaag waarin keileem (K = 0,001 m/dag) en de formatie van Twente (K = 5 m/dag) naast elkaar voorkomen.
Daar de ontwikkeling van een andere oplosmethode naar verwachting enige tijd zou vergen werden mogelijkheden onderzocht om de oorspronkelijke modellering zodanig aan te passen dat toch met de blok Gauss-Seidel methode gerekend kon worden. Een konvergerende oplossing werd gevonden door gebruik te maken van overgangspermeabiliteiten tussen het keileempakket en de formatie van Twente. De overgangswaarde moest dan de wortel uit het produkt van twee naast elkaar liggende permeabiliteiten zijn (zie bijlage 1). Ook bleek empirisch dat dan het permeabiliteitsverschil hoogstens een faktor 5 mag bedragen, en dat het keileempakket niet te grillige vormen mag hebben. Uiteindelijk bleek een rechthoekige modellering van het keileempakket, met voor het keileempakket van de Havelterberg een K-waarde van 0,008 m/dag en voor het oostelijk keileempakket een K-waarde van 0,04 m/dag en overgangswaarden van 0,04, 0,2 en 1 m/dag, te kunnen worden opgelost. In figuur 7 is het keileempakket weergegeven, in figuur 6 de modellering.
Voor de Eem-klei in lagen 6 en 7 werd een K-waarde van 0,05 m/dag ingevoerd, met een overgangswaarde van 0,707 m/dag naar de Kreftenheye formatie met K = 10 m/dag. Tussen de Tegenlenklei in lagen 26, 27 en 28 met een K-waarde van 0,05 m/dag en de Harderwijkformatie met K = 60 m/dag is een overgangswaarde gebruikt van 17 m/dag.

Hiernaast kon door de toenmalige wijze van berekening van de snelheden op de randen de potentiaalsprong niet direkt onder de keileemlaag ingevoerd worden, maar pas enkele roosterlagen daaronder. Een eis die bij gebruik van FLOSA-FD aan het hydrogeologisch model wordt gesteld is dat de snelheden op de randen een voldoende glad verloop hebben (deze eis geldt overigens voor elk nummeriek model). Randsnelheidskomponenten parallel aan het randvlak (de tangentiële snelheidskomponenten) worden door de gebruiker niet zelf opgegeven, maar in FLOSA-FD berekend uit de door de gebruiker opgegeven potentialen (stijghoogten) en K-waarden op de rand. Deze berekening gebeurt m.b.v. een eindige verschillenbenadering van de wet van Darcy. Problemen kunnen nu ontstaan bij relatief glad voorgeschreven potentialen maar sprongen in de K-waarden. In dat geval ontstaan er namelijk (grote) sprongen in de tangentiële randsnelheden op de plaats van de sprong en de K-waarde. Er werd besloten de potentiaalsprong er uit te laten en voor de zijvlakken de freatische potentialen konstant in de diepte in te voeren, hetgeen overeenkomt met het invoeren van een vertikale snelheidskomponent gelijk aan nul op deze randen.

Een laatste aanpassing van de oorspronkelijke modellering bleek nodig voor de potentialen van de waterlopen. De aanvankelijk ingevoerde winterstuwpeilen, die in het geval van de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart relatief hoog boven de freatische waterpeilen in de omgeving liggen, hadden, doordat ze voor het hele roosterblok gelden, een te grote invloed. Daar de infiltrerende of drainerende werking van de waterlopen weerspiegelt wordt in het isohypsenpatroon, zijn voor de roosterpunten van de waterlopen de freatische potentialen ingevoerd.

Hoewel met de op bovenbeschreven wijze aangepaste modellering wel een konvergerende oplossing werd bereikt bleef een aanzienlijke fout optreden in de massabalansen, waardoor onzekerheid bleef bestaan over de juistheid van de berekende snelheden. Daarom werd, toen de gekombineerde CGEIS/PKPCG methode gebruiksklaar was, het programma nogmaals met bovenbeschreven invoer gedraaid. De totale (inflow - outflow): inflow ratio bedraagt nu 1,7 %, een voldoende betrouwbaar resultaat.

2.3. Resultaten.

Voor het bovenvlak werd een infiltratie en kwelkaart getekend (zie fig. 8). Hierin is de mate van infiltratie en kwel d.m.v. arcering weergegeven. De infiltratiegebieden zijn omkaderd en gerasterd en de waterlopen zijn eveneens aangegeven. Opgemerkt moet worden dat voor deze kaart, in tegenstelling tot de tweedimensionale doorsneden en de quasi-driedimensionale stroomlijnen figuren, de Darcy-snelheidskomponenten zijn gebruikt. In de driedimensionale figuren is een vertikale schaalvergroting toegepast van 200. Bij de interpretaties van de figuren moet in gedachten worden gehouden dat de totale diepte van het modelgebied minder dan 1/10 van een zijde van een van de op het bovenvlak getekende roostervlakken bedraagt. De snelheidsvektoren zijn niet meegeschaald. In de vertikale tweedimensionale doorsneden komt de richting van de getekende vektor dus overeen met de werkelijke stromingsrichting.

In fig. 8 zijn drie belangrijke infiltratiegebieden te onderscheiden, overeenkomend met de infiltratiegebieden van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het systeem van Zuidwolde, zoals die door Oude Munnink onderscheiden zijn (zie fig. 9). Vanuit ieder infiltratiegebied werden stroomlijnen berekend en getekend. Het Dwingeloose Heide systeem is weergegeven in fig. 10, gezien vanuit het zuiden en in fig. 11, gezien vanuit het noord-oosten. Het Echtenerveld systeem is weergegeven in figuur 12 en 13, eveneens gezien vanuit het zuiden en vanuit het noord-oosten. In figuur 14 ligt het bovenvlak bijna op ooghoogte, waardoor in het blok gekeken kan worden. In figuur 15 is een klein lokaal systeem weergegeven dat binnen het Echtenerveld systeem ligt. Het systeem van Zuidwolde is weergegeven in figuur 16. In figuur 8 zien we verder in het noord-westelijk deel een groot infiltratiegebied, echter met zeer geringe infiltratie. Een langgerekte strook van infiltratievakken duidt op infiltratie vanuit de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart. De stroomlijnen vanuit deze infiltratievakken zijn weergegeven in figuur 17. Vanuit de resterende infiltratievakken zijn eveneens stroomlijnen getekend en weergegeven in figuur 18. Dit infiltratie gebied komt echter niet geheel overeen met het door Oude Munnink onderscheiden infiltratiegebied van het Havelterbergsysteem. Dit wordt veroorzaakt doordat ook het isohypsenbeeld geen duidelijk infiltratiepatroon vertoont (zie pag. 14).
Een kleiner infiltratiegebied ligt net ten zuiden van de Koekanger Aa. Oude Munnink (fig. 9) geeft hier ook een infiltratiegebied weer, en een overgangsgebied. De stroomlijnen vanuit dit gebied zijn getekend in figuur 19.
Ook in het kwelvenster bevindt zich een infiltratiegebied, echter met zeer geringe infiltratie (zie fig. 20). In figuur 9 zijn in het kwelvenster eveneens enkele overgangsgebieden met zeer lokaal wat infiltratie weergegeven.
Om tot een modellering van het regionale Centraal Plateau systeem te komen, dat door het oostelijk grensvlak het gebied instroomt, zijn op het oostelijk grensvlak roostervakken berekend met een naar binnen gerichte normale snelheidskomponent. Voor deze laterale instroomvakken zijn stroomlijnen berekend en getekend in figuur 21. We zien dat de stroomlijnen, op een enkele na, niet in het kwelvenster terecht komen. Om na te gaan waar de stroomlijnen uit het

kwelvenster dan wel vandaan komen zijn vanuit de kwelvakken achterwaarts stroomlijnen berekend en getekend in figuur 22.
In figuur 23 zijn begin- en eindpunten weergegeven van de stroomlijnen van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het systeem van Zuidwolde. Verder zijn de eindpunten van de stroomlijnen van het oostelijk grensvlak getekend. In figuur 24 is hetzelfde gedaan voor de stroomlijnen die in het kwelvenster eindigen.

Interpretatie van de figuren.

Het Dwingeloose Heide systeem (figuren 8, 10, 11, 23, 25, 26 en 27).

Het infiltratiegebied van het Dwingeloose Heide systeem vertoont een zuid-westelijke oriëntatie. De gemiddelde infiltratie bedraagt 1,4 mm per dag.
In het kwelgebied zijn zones te onderscheiden van stroomlijnen met verschillende verblijftijden en diepten (zie fig. 25 en 26). Deze zones zijn ten westen van het infiltratiegebied goed ontwikkeld, doch ten zuiden van het infiltratiegebied nogal samengedrukt. Deze asymmetrie in de opbouw van het systeem weerspiegelt zich ook in de herkomstzones: zones in het infiltratiegebied waar de beginpunten liggen van de stroomlijnen behorend tot de verschillende verblijftijdenzones. We zien dat bv. de 200-jaars herkomstzone zeer dicht langs de zuidelijke grens van het infiltratiegebied ligt. De opbouw van het systeem in driedimensionale zin wordt wellicht beter beschreven door de term "schil" i.p.v. "zone", immers, ook in de diepte zijn deze "zones" van verschillende maximale verblijftijd te onderscheiden, die elkaar als min of meer concentrische schillen omvatten, zie ook fig. 10 en 11. Achtereenvolgens zijn schillen onderscheiden met een maximale verblijftijd van resp. 25, 25 tot 50, 50 tot 100, 100 tot 200, en meer dan 200 jaar. De maximale diepte van deze schillen is resp. ± 20 m, ± 50 m, ± 65 m, ± 70 m en ± 75 m.
De stroomrichting binnen het systeem is weergegeven in fig. 27. Opvallend is dat in de eerste drie schillen een overwegend radiale stroomrichting voorkomt; ± noord-west in het noordelijke deel van het systeem, west in het westelijk deel en zuid-west in het zuidelijk deel. De stroomrichting in de buitenste schillen is echter uitsluitend zuid-west. Opvallend is ook dat de stroomlijnen behorend tot deze buitenste schillen in twee takken langs de benedenlopen van de Oude Vaart en de Wold Aa opkwellen, dit is ver buiten de door Oude Munnink vastgestelde systeemgrenzen. Enkele stroomlijnen eindigen nog buiten deze "takken" (stroomlijnen 17, 18 en 24 in fig. 24). Mogelijk wijst dit op het optreden van kleine kwelvensters van het Dwingeloose Heide systeem. Uit fig. 10 en 11 blijkt tenslotte dat een tweetal stroomlijnen het modelgebied via het westelijk grensvlak verlaten. Stroomsnelheden binnen dit systeem liggen tussen 0,1 en 0,35 m/dag.

Het Echtenerveld systeem (figuren 8, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26).

Het infiltratiegebied van het Echtenerveld systeem is eveneens zuid-westelijk georiënteerd. De gemiddelde infiltratie bedraagt 0,9 mm per dag.
Ook binnen het kwelgebied van dit systeem kunnen zones onderscheiden worden met verschillende maximale verblijftijden, en in het infiltratiegebied de bijbehorende herkomstzones. Dit systeem is meer symmetrisch van opbouw en omsluit een kleiner, lokaal systeem dat zich in het zuid-westen van het subregionale systeem bevindt. Achtereenvolgens komen schillen voor met een maximale verblijftijd van resp. 25, 25-50, 50-100 en meer dan 100 jaar. De maximale diepte van deze schillen is resp. ± 25 m, ± 50 m, ± 70 m en ± 75 m. De stroomlijnen van het lokale systeem hebben een maximale verblijftijd van 50 jaar en een maximale diepte van ± 45 m.

De stroomrichting binnen het systeem is overwegend zuid-west, hoewel in de eerste twee schillen wel een meer radiale stroming optreedt. De stroomsnelheden binnen dit systeem komen overeen met die van het Dwingeloose Heide systeem en liggen eveneens tussen 0,1 en 0,35 m/dag.

Het systeem van Zuidwolde (figuren 8, 16, 23, 25).

De gemiddelde infiltratie in dit systeem bedraagt 2,6 mm per dag, de maximale verblijftijd ± 55 jaar en de maximale diepte ± 50 m. De stroomrichting is overwegen west. De gemiddelde stroomsnelheid ligt tussen 0,1 en 0,3 m/dag.

Het Havelterberg systeem en het systeem van de Drentse Hoofdvaart (figuren 8, 17 en 18).

Zoals boven beschreven (pag. 17) komt het infiltratiegebied dat door FLOSA-FD berekend is niet geheel overeen met het infiltratiegebied van het Havelterberg systeem.
Het door FLOSA berekende infiltratiegebied is gescheiden in een lange strook waarin de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart liggen, en het deel ten westen ervan. De stroomlijnen vanuit beide gebieden zijn weergegeven in figuur 17 en 18. In figuur 17 zien we dat enkele stroomlijnen uit het gebied van beide waterlopen erg diep reiken. Een deel van de stroomlijnen eindigt weer in het kwelvenster, een deel verlaat het modelgebied door het oostelijk grensvlak en enkele stroomlijnen eindigen ten oosten van de Havelterberg. Waarschijnlijk horen de laatstgenoemde stroomlijnen eigenlijk bij het Havelterberg systeem. Het lijkt onwaarschijnlijk dat er in werkelijkheid een dergelijk diep infiltratiesysteem onder de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart bestaat. Wellicht zijn de op grond van de stuwpeilen aangepaste stijghoogten nog te hoog. Ook het stroomlijnenpatroon in figuur 18 kan slechts als indikatie beschouwd worden voor het werkelijk optredende stroomlijnenverloop. De kwelzone tussen de Drentse Hoofdvaart/Oude Vaart infiltratiestrook en het ten westen ervan gelegen infiltratiegebied (fig. 8) bestaat in werkelijkheid niet. Ook het zuidelijk deel van het berekende infiltratiegebied (vakken X2-Y11, X3-Y11, X2-Y12, X3-Y12 in fig. 8) is in werkelijkheid een kwelgebied.

Het Reest systeem (figuur 8, 19, 24, 25 en 26).

In het gebied tussen de Reest en de Koekanger Aa wordt door FLOSA-FD een infiltratiegebied berekend. Hoewel Oude Munnink hier eveneens een infiltratiegebied aangeeft rekent ze dit gebied toch tot het kwelgebied van het Centraal Plateau systeem, waarschijnlijk op grond van de analyses van het grondwater in twee boringen in het gebied, nl. boring 21F-2 en 21F-60 (zie bijlage 2). Grondwatertrappen, bodemgebruik en isohypsenpatroon wijzen echter wel op een infiltratiegebied. De infiltratie is gering, gemiddels 0,2 mm/dag. Ook de stroomsnelheden zijn gering, tussen 0,01 en 0,07 m/dag. Dit verklaart ook de uitzonderlijk lange verblijftijden; twee zones kunnen onderscheiden worden, met maximale verblijftijden van resp. 100 en 200 jaar. De maximaal bereikte diepten van beide zones zijn resp. ± 30 en ± 50 m. De stroomrichting is zuidwest.

Systeem van Ruinerwold (figuren 8, 20, 24, 25 en 26).

In het oorspronkelijke door Oude Munnink onderscheiden kwelgebied van het Centraal Plateau systeem berekent FLOSA-FD een strook met infiltratievakken. De infiltratie in dit gebied is gering, gemiddeld, 0,2 mm/dag. Evenals in het Reest systeem komen ook hier zeer lange verblijftijden voor, tot maximaal 200

jaar. De stroomsnelheden zijn dan ook laag, 0,03-0,05 m/dag. De diepte van het systeem is gemiddeld 20 m, tot maximaal ± 45 m langs de zuidwestelijke systeemgrens. Dit lokale systeem ligt gesuperponeerd op het diepere Centraal Plateau water. Ook de topografie (de weg door Ruinerwold ligt op een lange, N.O.-Z.W. lopende rug), de grondwatertrappen (fig. 9, en Oude Munnink, kaartblad 8 en 11) en het isohypsenpatroon wijzen op de aanwezigheid van een smal, langerekt infiltratiegebied. Vooruitlopend op de bespreking van de chemie van de systemen moet worden vastgesteld dat chemisch bewijs voor het bestaan van dit systeem niet aanwezig is, mede doordat de filters in dit gebied zich allemaal op minimaal 20 m diepte bevinden. Wel geeft Oude Munnink op grond van isotopen onderzoek bij Ruinerwold recent geïnfiltreerd water aan tot ± 12 m diepte (Oude Munnink, 1986).

Het Centraal Plateau systeem (figuren 21, 22, 23 en 24).

Uit figuur 21 blijkt dat bijna alle stroomlijnen vanaf het oostelijk grensvlak eindigen langs de Wold Aa, de Hoogeveense Vaart en het Oude Diep. Dat in het gebied langs deze waterlopen inderdaad kwelwater wordt aangetroffen dat van buiten het gebied afkomstig is zal blijken bij de bespreking van de chemie in hoofdstuk 4. Kennelijk is het niet mogelijk op deze wijze het diepere deel van de regionale stroming vanuit het Centraal Plateau te modelleren, die onder de subregionale en lokale grondwaterstromingsstelsels in het modelgebied doorloopt, en het modelgebied grotendeels over de westelijke rand verlaat. Wellicht moet daarvoor het modelgebied nog worden uitgebreid tot het infiltratiegebied van het Centraal Plateau systeem.

Op grond van de informatie uit de bovenbeschreven figuren en berekeningen kunnen de systeemgrenzen worden aangepast (zie fig. 28). Kontrole van de aangepaste systeemgrenzen dient te geschieden m.b.v. de hydrochemie. Dit wordt in hoofdstuk 4 besproken.

Tweedimensionale afbeeldingen van de stroomsnelheden.

Voor enkele roosterlagen werden de horizontale komponenten van de werkelijke stroomsnelheidsvektoren uitgezet. In figuur 29a is dit voor het bovenvlak gedaan. Opvallend zijn de hogere snelheden in de systemen van de Dwingeloose Heide, het Echtenerveld en Zuidwolde en de geringe horizontale snelheden in de overige systemen. In de figuren 29b t/m 29e is duidelijk de invloed van de doorlatendheden van de verschillende formaties te zien.
Verder werden enkele vertikale profielen getekend. Zie voor de ligging van de profielen figuur 30. In figuur 31a t/m e zijn de west-oost profielen weergegeven. De snelheidsvektoren zijn bijna overal horizontaal en naar het westen gericht. Ook hier weer is de invloed van de verschillende doorlatendheden op de grootte van de snelheden zichtbaar. Bv. in de Harderwijkformatie (met K = 60 m/dag) is de maximale snelheid ± 0,33 m/dag in de Urkformatie (met K = 30 m/dag) is deze 2x zo klein.
De noord-zuid profielen (figuur 32 a t/m e) laten wel tegengestelde stromingsrichtingen zien. Bv. in figuur 32 c is de tegengestelde richting van de snelheidsvektoren van het Echtenerveld systeem en van het systeem van Zuidwolde te zien. Uit figuur 32 e blijkt dat binnen het infiltratiegebied van het Dwingeloose Heide systeem "tegengestelde" stromingsrichtingen voorkomen. Vergelijk met de figuren 29 a t/m e en met figuur 27.

Isohypsen.

Voor de roosterlagen 1, 2, 3 en 6 zijn isohypsen getekend (fig. 33 a t/m d). Wanneer de isohypsenpatronen over elkaar gelegd worden blijkt een potentiaalsprong op te treden over de keileem in de infiltratie gebieden van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het Havelterberg systeem. Voor de rest van de roosterlagen is het isohypsenpatroon konstant, zodat deze hier niet zijn weergegeven. Alleen de Eemklei in de lagen 5 en 6 veroorzaakt nog een geringe toename van de potentiaal, hetgeen duidt op een kwelsituatie. In de figuren 34 a en b zijn de isohypsen in twee west-oost profielen afgebeeld. Ook hierin is de potentiaalsprong over de keileem zichtbaar.

2.4. Konklusies m.b.t. de toepassing van FLOSA-FD in de regionale hydrologische systeemanalyse.

Met behulp van de met FLOSA-FD berekende en getekende infiltratiegebieden en de bijbehorende stroomlijnen is een goed visueel beeld verkregen van de vorm, onderlinge ligging, inwendige opbouw en de diepte van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het systeem van Zuidwolde. De maximale verblijftijden van de genoemde systemen zijn resp. ca. 200, ca. 110 en ca. 55 jaar. De systeemgrens van het Dwingeloose Heide systeem werd aangepast.
Twee nieuwe grondwaterstromingsstelsels werden m.b.v. FLOSA-FD gelokaliseerd; het Reest systeem, gelegen tussen de Koekanger Aa en de Reest, en het systeem van Ruinerwold, een lokaal systeem in het oorspronkelijke kwelvenster van het Centraal Plateau systeem.
FLOSA-FD geeft diepe infiltratie aan onder de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart. Dit wordt veroorzaakt door een in het model te grote invloed van de stuwpeilen op de ingevoerde freatische stijghoogten. In werkelijkheid reikt dit systeem veel minder diep. Het infiltratiegebied van het Havelterberg systeem zoals dat door FLOSA-FD berekend is komt niet helemaal overeen met het werkelijke infiltratiegebied. Dit komt doordat het isohypsenpatroon geen opbolling in het infiltratiegebied weerspiegelt. Het berekende stroomlijnenpatroon kan als indikatie van het in werkelijkheid optredende verloop worden beschouwd. Het diepere deel van het Centraal Plateau systeem bleek eveneens moeilijker te simuleren. Wel was het mogelijk het water van dit systeem dat opkwelt in de Wold Aa, de Hoogeveense Vaart en het Oude Diep te lokaliseren. Hierdoor konden ook langs deze waterlopen de systeemgrenzen worden aangepast. De stroomlijnen die eindigen in het oorspronkelijke kwelvenster van het Centraal Plateau systeem zijn afkomstig van het lokale systeem van Ruinerwold, van het Reest systeem, en van het Dwingeloose Heide systeem.
Een inzicht in het verloop van de richting en de grootte van de stroomsnelheden in de ondergrond is verkregen d.m.v. het tekenen van een aantal horizontale doorsneden en van tweedimensionale noord-zuid en west-oost profielen. Uit de isohypsenpatronen die door FLOSA-FD berekend zijn voor de roosterlagen boven en onder de keileem is een potentiaalsprong over de keileem duidelijk af te leiden.

3. Het tweedimensionale model FLOWNET.

Het tweedimensionale, stationaire, eindige-elementen programma FLOWNET (van Elburg en Engelen, 1986) berekent en tekent voor een profiel door een inhomogene anisotrope ondergrond stroomlijnen en equipotentiaallijnen. Als randvoorwaarden worden potentialen ingevoerd langs alle randen of kunnen randen gesloten (ondoorlatend) worden gekozen.

Met dit model werd een N.O.-Z.W. profiel berekend door het Dwingeloose Heide systeem en het oorspronkelijke kwelvenster van het Centraal Plateau systeem. Een gevoeligheidsanalyse op veranderingen van de permeabiliteiten van weerstandbiedende lagen werd uitgevoerd. De ligging van het profiel is weergegeven in figuur 30. Het profiel is 19 km lang (19 kolommen roosterpunten) en 90 m diep (30 rijen).
Voor K-waarden en potentialen zijn de in hoofdstuk 2.2.1. beschreven waarden gebruikt. Voor de vertikale K-waarden is 0,7 x de horizontale K-waarden ingevoerd.

In fig. 35 is het profiel weergegeven met de oorspronkelijke K-waarden. De stroombanen van het regionale Centaal Plateau systeem komen over de noord-oostelijke rand het profiel in, lopen onder het subregionale Dwingeloose Heide systeem door, en kwellen gedeeltelijk op in het kwelgebied van het Centraal Plateau systeem en verlaten verder het profiel door de zuidwestelijke rand. De gekozen en ingevoerde kombinatie van potentiaalverdeling en het patroon van de doorlatenheden is bepalend voor aantal, vorm en ligging van de systemen. Wanneer voor de Eem- en Drenthe formatie aan de zuidwest kant hogere K-waarden worden ingevoerd ontstaan er twee extra hydrologische systemen (zie fig. 36). Het systeem direkt ten zuidwesten van het Dwingeloose Heide systeem komt overeen met het Ruinerwold systeem. Het Reest systeem kan echter niet goed gesimuleerd worden, daar de hoofdstromingskomponent van dit systeem een hoek maakt met de richting van het profiel.
We zien dat met FLOWNET zowel een modellering van de systemen zoals ze door Oude Munnink onderscheiden zijn bereikt kan worden, als een modellering van de m.b.v. FLOSA-FD onderscheiden extra systemen. Op grond van alle andere informatie die gebruikt wordt bij een regionale hydrologische systeemanalyse kan nu gekozen worden voor de meest waarschijnlijke modelleringsvariant. Zoals uit hoofdstuk 4 zal blijken, benadert figuur 36 de werkelijke situatie het best.

4. Chemie.

4.1. Inleiding.

N.a.v. de resultaten van de regionale hydrologische systeemanalyse heeft Oude Munnink (op. cit.) aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Onder andere werd een uitbreiding van het meetnet wenselijk geacht om meer gegevens over de watersamenstelling van de verschillende systemen te verzamelen en de systemen nader te begrenzen.
Er werden 13 boringen uitgevoerd; drie boringen in het Dwingeloose Heide systeem, drie boringen in het Echtenerveld systeem en zes ondiepe filters ter weerszijde van de Wold Aa. Zie figuur 37. In het navolgende wordt een beschrijving van de chemie van de verschillende hydrologische systemen gegeven. Hierin zijn ook alle analyses uit het T.N.O.-D.G.V. bestand betrokken. De chemische processen in de ondergrond die van invloed zijn op de watersamenstelling zijn beschreven in Oude Munnink.
Bij de interpretatie van de chemische gegevens zal de informatie verkegen uit de berekeningen met FLOSA-FD meegenomen worden.

In bijlage 3 zijn de analyseresultaten van de grondwatermonsters van de t.b.v. het huidige onderzoek verrichte boringen gegeven, evenals een groot aantal analyseresultaten uit het T.N.O.-D.G.V. bestand, echter uitsluitend voor het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het Centraal Plateau systeem. Het Havelterberg systeem en het systeem van Zuidwolde zijn in deze studie buiten beschouwing gebleven. Voor alle in de bijlage opgenomen monsters is het watertype bepaald, op basis van het klassifikatiesysteem van Stuifzand (Stuifzand, 19). Het klassifikatie systeem van Stuifzand is in het kort weergegeven in bijlage 2. De watertypen zijn uitgezet in fig. 38, 39 en 40 voor de diepten tot 20 m, van 20 tot 40 m en groter dan 40 m. Ditzelfde is gedaan voor de Ca-gehaltes, in fig. 41, 42 en 43. Stiff-diagrammen van de geanalyseerde monsters zijn weergegeven in fig. 44.

4.2. Het Dwingeloose Heide systeem.

In het Dwingeloose Heide systeem bevinden zich 13 boringen, wanneer we boring a, in het gebied waar door FLOSA-FD kwelwater van het Centraal Plateau systeem wordt aangegeven, meerekenen. Zie figuur 37. Hiervan zijn 8 volledige chemische analyses bekend, die allen zijn vermeld in bijlage 3.

Zoals reeds door Oude Munnink werd gekonstateerd is het grondwater in het infiltratiegebied laag gemineraliseerd. Het Ca-gehalte bedraagt enkele mg/l, de EG maximaal 100 µS en pH's zijn eveneens laag, rond 5,7. Het sulfaatgehalte is relatief hoog, ± 20 mg/l, en de Na- en Cl-concentraties zijn die van ingedampt en geïnfiltreerd regenwater, resp. ± 10 mg/l en ± 12 mg/l. Zie ook boring 17C-157 in bijlage 3 en figuren 41 en 42. Het watertype is F*-NaMIS. Opvallend is echter de relatief hoge mineralisatie van het water uit boring 17C-8, op ± 37 m diepte. Het Ca-gehalte in deze van 1955 daterende analyse bedraagt 48 mg/l en het watertype is F1-CaHCO3. Wellicht behoort dit water tot het Centraal Plateau systeem. Een nieuwe bemonstering verdient echter aanbeveling.
In het kwelgebied van dit systeem neemt de mineralisatiegraad toe. De nieuwe boringen a, b, c en d dragen in belangrijke mate bij aan de kennis omtrent de waterkwaliteit in dit gebied.

Boring b ligt net buiten de 25-jaars verblijftijdzone, en de maximale diepte van de stroomlijnen naar dit punt bedraagt 30 à 35 m. We zien dan ook dat het Ca-gehalte in de filters tot 34 m oploopt van 23,5 mg/l tot 32,7 mg/l, de pH

van 6,2 naar 6,6 en het SIO2-gehalte van 16 mg/l naar 21 mg/l. Het sulfaatgehalte is hoog, gem. 45 mg/l. Het watertype is FO-CaMICL. In het bovenste filter (op 2 m diepte) komt vervuild water voor, het nitraat gehalte is 44,3 mg/l en ook het K-gehalte is hoog. In de filters tussen 40 en 60 m diepte wordt veel hoger gemineraliseerd water aangetroffen, met Ca-gehaltes tot 54 mg/l, pH's van ± 7,2 en SIO2-gehalten van ± 27 mg/l. Het sulfaatgehalte is (door sulfaatreduktie) veel lager, gem. 10 mg/l. Het watertype is F1-CaHCO3. Het diepste filter, op 64 m diepte bevat Centraal Plateau water.

Boring c, met een diepte van 38 m, ligt bijna op de grens van de 50-jaars verblijftijdzone, en de hier opkwellende stroomlijnen hebben een maximaal diepte-bereik van ± 60 m. Het Ca-gehalte bedraagt ongeveer 35 mg/l, de pH is ± 7,9, het SiO2-gehalte is ± 21 mg/l. Het sulfaatgehalte is laag, gem. 6 mg/l. Het watertype is FO-CaHCO3.

Boring d, met een diepte van 25 m, ligt op de grens van de 100-jaars verblijftijdzone en het hier opkwellende water heeft een maximale diepte bereikt van ± 65 m. Het Ca-gehalte is gem. 58 mg/l, de pH is gem. 7,2 en het SIO2-gehalte is gem. 28 mg/l. Het sulfaatgehalte is laag, gem. 2 mg/l. Het watertype is F1-caHCO3.

Boring 504 bevindt zich in de westelijke uitloper van het Dwingeloose Heide systeem, en heeft een diepte van 50 m. Het water in deze boring heeft een maximale verblijftijd van ongeveer 120 jaar, en heeft een maximale diepte bereikt van ongeveer 70 m. Het Ca-gehalte is gem. 67 mg/l en de pH is gem. 6,9. Het SIO2-gehalte is niet bepaald. Het sulfaat-gehalte is gem. 5 mg/l. Het watertype is F1-CaHCO3.

Uit de tot dusverre besproken boringen blijkt een geleidelijke toename van de mineralisatie van het grondwater naar de randen van het Dwingeloose Heide systeem. Het Ca-gehalte vertoont een lineair verband met de verblijftijd. Het Ca-gehalte neemt toe van ± 25 mg/l bij een verblijftijd van ongeveer 25 jaar naar ± 65 mg/l bij een verblijftijd van ongeveer 120 jaar. Ook het SiO2-gehalte neemt toe naarmate het water een langere weg heeft afgelegd tussen het punt van infiltratie en het punt waar het opkwelt aan de oppervlakte, bij bovengenoemde verblijftijden van ± 15 mg/l naar ± 30 mg/l. Sulfaat-gehalten nemen af, van ± 45 mg/l tot ± 2 mg/l. De watertypen die achtereenvolgens voorkomen zijn F*-NaMIS (in het infiltratiegebied), FO-CaMICl, FO-CaHCO3 en F1-CaHCO3. Een dergelijke opeenvolging van watertypen treffen we ook aan in de diepte, bv. in boring b. Behalve in het ondiepste filter van laatstgenoemde boring worden nergens verhoogde nitraat-gehalten aangetroffen.

Boring a is volgens de m.b.v. FLOSA-FD berekende systeemgrenzen in een gebied met opkwellend Centraal Plateau water geplaatst. Wanneer het ondiepste filter even buiten beschouwing wordt gelaten blijkt echter dat in het filter op 13 m diepte laag gemineraliseerd water voorkomt, van het type F*-CaSO4. Het Ca-gehalte is 7 mg/l. Het SiO2-gehalte is relatief hoog, nl. 29 mg/l. In het filter op 23 m komt het FO-CaHCO3 watertype voor, met een Ca-gehalte van 19 mg/l. Op 38 m diepte treffen we het F1-CaHCO3 type water aan, met een Ca-gehalte van 36 mg/l. Hieronder komt, tot in het diepste filter op 71 m onder maaiveld, nog hoger gemineraliseerd water voor van het type F1-CaHCO3, met Ca-gehalte van gem. 46 mg/l, SiO2-gehaltes van gem. 23 mg/l en SO4-gehaltes van gem. 7 mg/l. We zien dus dat tot ± 15 m diepte infiltratie voorkomt. Het water in de filters tot ± 40 m diepte is nog Dwingeloose Heide water, doch is gezien de zuidwestelijke stromingsrichting op deze diepte wellicht afkomstig van buiten het modelgebied, waar het infiltratiegebied van het Dwingeloose Heide systeem zich

voortzet. Het water hieronder behoort tot het Centraal Plateau systeem. De m.b.v. FLOSA-FD vastgestelde systeemgrens en de begrenzing van het infiltratiegebied moeten hier dus iets aangepast worden.

4.3. Het Echtenerveld systeem.

In het Echtenerveld systeem bevindt zich een dertigtal boringen, waarvan 19 volledige analyses bekend zijn, inklusief de raai van 3 ondiepe boringen en de drie ondiepe filters die t.b.v. het huidige onderzoek geplaatst zijn. Zie figuur 37.

Boring 96 en 29 liggen in het grote infiltratiegebied van het Echtenerveld systeem, en boring 33 ligt in het lokale infiltratiegebied in het zuidwesten van dit systeem. Ze vertonen tot resp. 30 35 en 47 m diepte nog zeer lage Ca-gehalten (gem. 5 mg/l). De pH is gem. 6, de EG gem. 100 µS. Sulfaat-gehalten zijn relatief laag, gem. 9 mg/l. Boring 96 vertoont tot 40 m diepte het F*-CaMIS watertype. In boring 29 komt het F*-MgMIC watertype voor en in boring 33 het F*-CaHCO3 type. Zie ook de figuren 39 en 42. Ook de ondiepe boring f, in de noordelijke rand van het grote infiltratiegebied bevat water met lage Ca-gehalten (6 mg/l) en lage pH's (4,7). In dit water is echter wel een nitraatvervuiling aanwezig (± 22 mg/l). Het water in deze boring is van het F1-AlSO4 type.
In het noordelijk deel van het grote infiltratiegebied bevinden zich verder de boringen 48, 49 en 50 en de ondiepe boring 9. De boringen 48, 49 en 50 hebben echter filters van 40 tot 60 m diepte, zodat hier Centraal Plateau water wordt aangetroffen van het watertype F1-CaHCO3. In boring g worden eveneens hoge Ca-gehalten aangetroffen, in het filter op 10 m diepte zelfs 112 mg/l. Na- en Cl-concentraties zijn bijzonder hoog, zodat in ieder geval sprake is van vervuiling door opgelost wegenzout, o.i.d. Ook de K-concentraties zijn hoog, hetgeen wijst op invloed van bemesting. De hoge Ca-gehalten in deze boring zijn waarschijnlijk ook door landbouwaktiviteiten ontstaan. Het watertype is B1-NaCl en B2-NaCl !

In het kleine infiltratiegebied in het zuidwesten van het systeem bevindt zich verder boring 26. Op 5 m diepte komt water van het type Fo-CaMICl voor en op 19 m diepte het watertype Fo-CaCl. Het hoge Cl-gehalte wijst samen met de iets verhoogde Na-gehalten weer op vervuiling met bv. wegenzout. Het Ca-gehalte is hoger dan verwacht voor het infiltratiewater, nl. gem. 16 mg/l. Uit figuur 23 blijkt dat deze boring zich dan ook juist buiten het infiltratiegebied bevindt, zie stroomlijn 32.

Ook boring 10 bevindt zich net buiten het infiltratiegebied, nog binnen de 25-jaars verblijftijdzone. Het Ca-gehalte is dan ook laag, 12,4 mg/l, en de pH is 6,9, het sulfaatgehalte is 22 mg/l en het watertype is F*-CaMIC.
In boring 34 wordt water aangetroffen met een verblijftijd van ongeveer 35 jaar, dat een maximale diepte bereikt heeft van ongeveer 40 m. Het Ca-gehalte is 20 mg/l, de pH 7,9, het sulfaatgehalte is 12 mg/l en het watertype FO-CaHCO3.

In de verblijftijdzone van 50 tot 100 jaar bevinden zich de boringen 99, 67, 65 en 79.
In boring 99 wordt water aangetroffen met een verblijftijd van ± 50 jaar. De maximale diepte die dit water bereikt heeft is ongeveer 45 m. Het Ca-gehalte in het diepste filter op 37 m onder maaiveld is 32 mg/l, de pH is 7,2 het sul-

faat-gehalte is 23 mg/l en het watertype is F1-CaHCO3. Het water in het bovenste filter, op 7 m, is sterk vervuild, met hoge concentraties van Na, Cl, Ca, SO4 en nitraat. Het watertype is F2-CaMICl.
Boring 67 bevat water met een verblijftijd van ± 70 jaar, en met een maixmaal bereikte diepte van ongeveer 60 m. In de filters tot 31 m diepte is het gem. Ca-gehalte 57 mg/l, de gem. pH 6,9 en het gem. sulfaat-gehalte 4,2 mg/l. Het watertype is F1-CaHCO3. In de filters op 46 en op 75 m diepte is het Ca-gehalte gem. 81 mg/l, de pH gem 7 en het sulfaatgehalte gem. 1,6 mg/l. Dit water is van het type F2-CaHCO3 en behoort tot het Centraal Plateau systeem.
In boring 70 bevindt zich water met een verblijftijd van ± 80 jaar. De maximaal bereikte diepte is ongeveer 70 m. Het Ca-gehalte van dit water is 64 mg/l, de pH is 7 en het sulfaatgehalte is 9 mg/l. Het water is van het F2-CaHCO3 type.
Boring 65 bevat water met een verblijftijd van eveneens ± 80 jaar en met een maximaal bereikte diepte van ongeveer 70 m. Het Ca-gehalte in het bovenste filter op 21 m diepte is echter relatief laag, nl. 16 mg/l, en het watertype is F*-CaHCO3. Hoewel FLOSA-FD geen noord-westelijke komponent aangeeft vanuit het lokale infiltratiegebied (zie figuur 23) is het water in het bovenste filter waarschijnlijk toch hiervan afkomstig. Het filter op 42 m diepte bevat water met een Ca-gehalte van 55 mg/l, een pH van 6,9 en een sulfaatgehalte van 0,6 mg/l. Het watertype is F1-CaHCO3. Het water in het filter op 73 m heeft een Ca-gehalte van 82 mg/l, een pH van 7,1 en een sulfaatgehalte van 0,7 mg/l. Het water is van het F2-CaHCO3 type en behoort tot het Centraal Plateau systeem.

Boring 80 bevindt zich in de zone met verblijftijden van 100 tot 200 jaar. Het Ca-gehalte is echter slechts 47 mg/l, hetgeen erop wijst dat het water in deze boring afkomstig is vanuit het lokale infiltratiegebied. Het watertype is F1-CaHCO3.

In de ondiepe filters k en j wordt (resp. 3,5 en 4,5 m onder maaiveld) echter wel een relatief hoog Ca-gehalte aangetroffen, nl. gem. 66 mg/l. Het water in filter j is echter sterk vervuld, het nitraatgehalte is 185 mg/l. De watertypes in k en j zijn resp. F1-CaHCO3 en F1-CaNO3. Mogelijk zijn de hoge Ca-gehaltes veroorzaakt door landbouwinvloeden.
De ondiepe filters h en i (± 3 m onder maaiveld) bevatten water met relatief lage Ca-gehaltes, nl. gem. 28 mg/l. Het water is in beide filters vervuild, met resp. 41 en 123 mg/l nitraat. De lage Ca-gehaltes worden waarschijnlijk veroorzaakt door lokale infiltratie invloeden. De filters zijn wellicht te ondiep geplaatst.

Uit het bovenstaande blijkt dat het Echtenerveld systeem komplexer van opbouw en chemie is dan het Dwingeloose Heide systeem, door het voorkomen van een extra lokaal infiltratiegebied. Toch is ook hier de algemene opbouw van het systeem herkenbaar; de Ca-gehaltes nemen toe van ca. 15 mg/l in water met een verblijftijd van ca. 20 jaar tot ± 60 mg/l bij een verblijftijd van ca. 80 jaar, en de sulfaatgehaltes dalen van ± 22 mg/l naar enkele mg/l. Het SIO2-gehalte is in de beschrijving niet meegenomen, daar dit bij de meeste analyses niet is bepaald. De watertypes die in het kwelgebied voorkomen zijn achtereenvolgens F*-CaMIC, Fo-CaHCO3, F1-CaHCO3 en F2-CaHCO3.

4.4. Het Centraal Plateau systeem.

M.b.v. de berekeningen met FLOSA-FD konden de oorspronkelijke systeemgrenzen zoals vastgesteld door Oude Munnink, worden aangepast. In het Centraal Plateau kwelgebied zijn twee nieuwe hydrologische systemen gelokaliseerd, het systeem

van Ruinerwold en het Reest systeem. Het Centraal Plateau systeem dagzoomt nu nog uitsluitend in twee lange stroken langs de Wold Aa en de Hoogeveense Vaart en het Oude Diep.

We treffen het Centraal Plateau water aan onder het lokale Ruinerwold systeem, in de boringen 15, 30 en 32, op een diepte van ± 20 m. Het Ca-gehalte van het water in deze boringen is gem. 81 mg/l, de pH is 7,4 en de EG is gem. 500 µS. Het SO4-gehalte is door de sulfaatreduktie in de ondergrond laag; gem. 3,7 mg/l.
Ook in de boring 20, 17, 2 en 60 worden vanaf ongeveer 25 m diepte Centraal Plateau water aangetroffen, met een Ca-gehalte van gem. 90 mg/l.
Boring 55 bevindt zich in de strook met dagzomend Centraal Plateau water langs de Wold Aa, en bevat in de bovenste filters (van 10 tot 70 m) water met een gem. Ca-gehalte van 86 mg/l. Alleen in het bovenste filter wordt een onverwacht hoog SO4-gehalte aangetroffen. Het onderste filter van deze boring (op 175 m) bevat zout water. Het watertype in deze boringen is F2-CaHCO3. Alleen in het onderste filter van boring 55 komt het B2-NaCl watertype voor.
Bij de bespreking van het Dwingeloose Heide systeem en het Echtenerveld systeem werd al vermeld dat resp. in de diepere filters van boring a, en in de boringen 48, 49 en 50 vrij hoog gemenaraliseerd water wordt aangetroffen. Dit water beheert eveneens tot het Centraal Plateau systeem, en heeft een Ca-gehalte van 40-50 mg/l.
De ondiepe filters m en l bevatten water met een Ca-gehalte van resp. 54 en 44 mg/l. Het watertype in deze boringen is F1-CaHCO3.
We zien dus dat het Ca-gehalte van het Centraal Plateau water toeneemt van 40-50 mg/l in het oostelijk deel van het gebied tot 80-90 mg/l in het zuidwestelijk deel van het gebied. De watertypes zijn achtereenvolgens F1-CaHCO3 en F2-CaHCO3.

4.5. Het Reest systeem en het Ruinerwold systeem.

In deze beide systemen zijn helaas geen ondiepe boringen aanwezig. Verifikatie van deze systemen is gebeurd door topografie, landgebruik, grondwatertrappen en isohypsenpatroon. Het verdient echter aanbeveling een aantal boringen in beide systemen te plaatsen om de waterkwaliteit van deze systemen vast te stellen.

4.5. Konklusies.

Het Dwingeloose Heide systeem heeft een langgerekte, zuidwestelijke georiënteerde vorm. Twee "armen" omsluiten het lokale systeem van Ruinerwold. De inwendige opbouw kon worden afgeleid uit de berekeningen en de figuren van FLOSA-FD, en gekoppeld worden aan de chemie.
Het water in het infiltratiegebied is laag gemineraliseerd; tot zeker 40 m diepte is het Ca-gehalte enige mg/l, en zijn pH, EG en SiO2-gehalte laag (resp. 5,6 mg/l, 100 µS) en het sulfaat-gehalte relatief hoog (± 20 mg/l). Het watertype is F*-NaMIS. Naar de randen van het systeem toe nemen de verblijftijden en daarmee de mate van mineralisatie toe. Het Ca-gehalte neemt toe van ± 25 mg bij een verblijftijd van ± 25 jaar naar ± 65 mg/l bij een verblijftijd van ± 120 jaar. PH, EG en SiO2-gehalte nemen eveneens toe, tot resp. ± 7, 300 à 400 µS en 30 mg/l. Het SO4-gehalte neemt af tot enkele mg/l. De watertypes die voorkomen in het kwelgebied zijn achtereenvolgens F0-CaMICl, F0-CaHCO3 en F1-CaHCO3. De maximale verblijftijd in de tak van het systeem langs de Oude Vaart is ± 250 jaar, de maximale bereike diepte is ± 75 m.

Het Echtenerveld systeem heeft eveneens een langgerekte, zuidwestelijk georiënteerde vorm. Een lokaal, ondiep systeem bevindt zich in het zuidwesten van het systeem. Het water onder de infiltratiegebieden is laag gemineraliseerd, met Ca-gehalten van ± 5 mg/l, een pH van ± 6, een EG van ± 100 µS en een relatief laag SO4-gehalte van ± 10 mg/l. Afhankelijk van de verblijftijd neemt de mate van mineralisatie toe. Bij een verblijftijd van ± 20 jaar bedraagt het Ca-gehalte ± 15 mg/l, bij een verblijftijd van ± 80 jaar is dit toegenomen tot ± 60 mg/l. De pH neemt toe tot ongeveer 7 en het sulfaat-gehalte neemt af tot enkele mg/l. Vervuiling door landbouwinvloeden en wegenzout komt regelmatig voor. In het infiltratiegebied komen de watertypes F*-CaMIS, F*-MgMIC en F*-CaHCO3 voor, in het kwelgebied zijn dit achtereenvolgens F*-CaMIC, F0-CaHCO3, F1-CaHCO3 en F2-CaHCO3.
Het Echtenerveld systeem heeft een maximale diepte van ± 70 m, en een maximale verblijftijd van ± 200 jaar.

Het Centraal Plateau systeem dagzoomt in twee lange stroken langs de Wold Aa en de Hoogeveense Vaart en het Oude Diep. In het oostelijk deel van het gebied wordt Centraal Plateau water aangetroffen in de diepe filters van boring 48, 49 en 50 en van boring a, en in de ondiepe filters m en l. Het Ca-gehalte bedraagt hier 40-50 mg/l, de pH is gem. 7,2 en de EG is gem. 370 µS. Het watertype is hier F1-CaHCO3. In het westelijk deel van het gebied treffen we het Centraal Plateau water aan in de boringen 55, 15, 30, 32, 20, 17, 2 en 60. Het Ca-gehalte bedraagt hier 80-90 mg/l, de pH is gem. 7,4, en de EG is gem. 490 µS. Het watertype is F2-CaHCO3.

Van de twee "nieuwe" hydrologische systemen, het Ruinerwold systeem en het Reest systeem zijn geen chemische gegevens beschikbaar.

4.6. Aanbevelingen voor verder onderzoek.

Het verdient aanbeveling om hydrochemische gegevens te verzamelen over het Ruinerwold systeem en het Reest systeem d.m.v. enkele ondiepe boringen (tot ± 10 m diepte).
Een gevoeligheidsanalyse van FLOSA-FD m.b.t. veranderingen in de K-waarden van de dataset is van belang, met name om de invloed van de K-waarden van de keileem vast te stellen.
Fluktuaties in vorm en diepte van de systemen bij een veranderend potentiaalveld kunnen onderzocht worden door een ander isohypsenpatroon in te voeren en de berekeningen met FLOSA-FD nogmaals uit te voeren.
De gebruikte anisotropiefaktor (Kv/Kh = 0,7) is wellicht te hoog, daar bij het modelleren van bv. de Harderwijk- of de Urkformatie geen rekening wordt gehouden met het voorkomen van kleilagen. De vertikale doorlatendheid van de hele formatie wordt hierdoor kleiner. Ook hiervoor verdient het aanbeveling een gevoeligheidsanalyse uit te voeren.
Om tot een betere simulatie van het Centraal Plateau systeem te komen wordt aanbevolen het modelgebied uit te breiden tot het infiltratiegebied van dit systeem.
In het Havelterberggebied bevindt zich slechts een gering aantal peilbuizen. Om een nauwkeuriger isohypsenpatroon te kunnen vaststellen is het nuttig een aantal peilbuizen bij de te plaatsen.

Dankwoord.

Ik dank ir. H. Hiemstra van de provinciale waterstaat van Drenthe, prof, dr. G.B. Engelen van de Vrije Universiteit en dr. ir. W. Zijl van D.G.V.-T.N.O. voor de begeleiding van dit onderzoek;
ing. J. Hullegie, drs. F. Waardenburg, drs. F. Vreeburg en drs. S. van Kalmthout voor hun hulp en diskussies;
en de collega's van "ondersteuning" voor hun begeleiding van het veldwerk.
Verder dank ik alle collega's in Assen en Delft voor hun belangstelling en prettige samenwerking gedurende mijn stage.

Literatuur.

Bakker, T.W.M., 1984
Het Dwingelderveld, deelrapport: Geohydrologie, Staatsbosbeheer.

Elburg, H. van, Engelen, G.B., 1986.
Two-dimensional finite difference modelling of groundwaterflow systems on micro and personal computers, in: G.B. Engelen en G.P. Jones (Ed) - Developments in the analysis of groundwaterflow systems, IASH. Publ. 163, p. 127-140.

Kaasschieter, E.F., 1986.
A Fortan Implementation of the preconditioned method of conjugente gradients, Delft Univ. of Techn. Faculty of Mathematics and Informatics.
Report 85-8, Delft.

Kaasschieter, E.F., 1987.
A practical terminalier corterion for the conjugate gradient method.
Accepted by BIT.

Kalmhout, van, 1987.
FLOSA-FD. Een simulater voor 3D-grondwaterstorming in poreuze media.
T.N.O.-D.G.V. publikatie nr. OS 87-10.

Kuppen, W.
Oplossing van niet positief definite stelsel van vergelijking m.b.v. de geprekonditioneerde methode van gekonjugeerde gradienten, T.N.O.-D.G.V. rapport in voorbereiding.

Nawalany, M., 1984.
Pathline computations in groundwaterflow, Int. Conf. on Accuracy Estimates and Adoptive Refinements in Finite Element Compatations.
Lisbon, Portugal.

Nawalany, M.,1986.
FLOSA-3D Introduction to system-analysis of three-dimensional groundwaterflow, T.N.O.-D.G.V. publikatie OS 86-07.

Nawalany, M., 1986.
Numerical model for the transport velocity representation of groundwaterflow.
VIth Int. Conf. on Finite Elements in Water Resources.
Lisbon, Portugal.

Nawalany, M., 1986.
Environmental applications of the transport velocity representation of groundwaterflow.
ENVIROSOFT, Los Angelos, USA.

Overboom, G., 1985.
Numerieke berekening van transportsnelheden in poreuze medio, T.N.O.-D.G.V.-publikatie, nr. os 85-06.

Oude Munnink, J.M.E., 1985.
Geohydrochemisch onderzoek Z.W.-Drenthe, V.U.-Amsterdam.

Oude Munnink, J.M.E., 1986.
Isotopenverslag Drenthe, V.U.-Amsterdam.

Post, H. en Van Bakel, P.J.Th., 1986.
Onderzoek waterbeheer in de ruilverkaveling "Ruinerwold - Koekange". Mededeling 164 Landinrichting dienst.

Stiboka, 1978.
Bodemkaart van Nederland. Kaartbladen 17 Emmen-West en 17 Emmen-Oost.

Stuifzand, P.J., 1986
Een nieuwe hydrochemische klassifikatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing.
H2) (19), no. 23.

Technische werkgroep grondwaterplan, 1985.
Rapport van de technische werkgroep grondwaterplan, dl. +, provinciale waterstaat Drenthe.

Technische werkgroep grondwaterplan, 1985.
Grondwaterplan Drenthe, dl. III, provinciale waterstaat van Drenthe.

Vreeburg, J.F., 1986.
Een simulator voor 3D-grondwaterstroming in poreuze medio. T.N.O.-D.G.V.-publikatie, nr. OS 86-33.

Vries, J.J., de, 1974.
Grondwaterflow systems and streamnets in the Netherlands, Amsterdam.

Waardenburg, F.D.E., 1986.
Analysis of three-dimensional groundwater flow systems - finite differences, FLOSA-FD user-manual, interne T.N.O.-D.G.V. publikatie.

Wee, M.W. ter, 1978.
Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000, kaartblad Steenwijk-Oost (16 0), Rijks Geologische Dienst.

Wee, M.W. ter, 1979.
Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000, kaartblad Emmen-West (17 W), Rijks Geologische Dienst.

Zijl, W., 1984.
Finite-Element Methods Bases on a Transport Velocity Representation for Groundwater motion, Water Resources Research, vol 20 (pp 137-145).

Zijl, W., 1985.
Numerical simulation of advection in groundwaterflow systems, 1e international T.N.O. conference on contaminated soil.

Zijl, W., 1985.
Subsurface fluiddynamics and transport phenomena with vector computers, 11th IMACS Congress.

Zijl, W., 1986.
Numerical simulations based on stream functions and velocities in three-dimensional groundwaterflow.
Journal of Hydrology, vol. 85, pp. 349-365.

Zijl, W. and Waardenburg, F.D.E., 1987.
FLOSA: A code to compute fluxes in potential field problems, int. conf. on reliability and roabstnes of engineering software, Villa Olmo, Como, Italy.

Zijl, W.; Brouwer, G.K.; Waardenburg, F.D.E. and Navalany, M., 1987.
Flosa, A Tool for Regional Three-dimensional Flow Systems Analyses.
Int. Conf. on Groundwater contamination: use of models in decission-making, Amsterdam.

Formatie	K-waarde in m/dag
Twente	5
Drenthe (keileem)	0,001
(anders)	0,05
Kreftenheye	10
Eem	0,05
Eindhoven	5
(samengedrukt)	20
Peelo	5
Urk	30
Harderwijk	60
Tegelen	0,1
Scheemda	5

Tabel 1: In dit rapport gebruikte K-waarden voor de verschillende formaties, vastgesteld aan de hand van literatuurgegevens en de pompproef nabij Weerwille.

Bijlage 1.

Uitgangspunt voor de berekening van grondwaterstroming zijn de Darcy-vergelijking.

$$\underline{J} = -\lambda\,(\nabla p - \rho g \nabla \xi) \qquad (1)$$

$\underline{J} = (J_x, J_y, J_z)$ massa stroomdichtheid (kg/m2s)
λ = permeabiliteitsfaktor (s)
p = vloeistofdruk (Pa)
ρ = vloeistofdichtheid (kg/m3)
g = zwaartekrachtversnelling (m/s2)
ξ = koördinaat in de richting van de zwaartekracht (m)

$\lambda = k/\nu$ $\quad$ k = intrinisieke permeabilteit (m2)
ν = kinematische viskositeit (m2/s)

en op de kontinuïteitsvgl.:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \nabla.\underline{J} = 0 \qquad (2)$$

ϕ = porositeit (-)

als ρ en ϕ tijdsonafhankelijk zijn en ρ is konstant dan reduceren de vergelijkingen 1 en 2 tot
$\nabla \times \underline{s} = \underline{0}$ (1a)
$\nabla . \underline{q} = 0$ (2a)

(voor afleiding zie Zijl, Brouwer, Waardenburg en Nawalany, 1987).

met $\underline{s} = (s_x, s_y, s_z) = \nabla(p/\rho g - \xi) = -\nabla\Phi$ (-)
$\underline{q} = (q_x, q_y, q_z) = \underline{J}/\rho$ volumestroomdichtheid (m3/m2dag) (Darcy-snelheid)
Φ = potentiaal (m)

$\underline{q}$ is aan $\underline{s}$ gerelateerd volgens

$$\underline{s} = \beta \underline{q}$$

met $\beta = 1/\sigma$
$\sigma = \lambda g$ permeabiliteit (k-waarde) (m/dag)

de transportsnelheid $\underline{v}$ (m/dag) is gelijk aan $\underline{v} = \underline{q}/\phi$

uit 1a en 2a kunnen voor de berekening van s_x, s_y en s_z de volgende formules worden afgeleid (Zijl, 1984).

$$\begin{aligned}
&-\nabla.(\sigma\nabla s_x) + \sigma\frac{\partial^2\alpha}{\partial x^2}s_x + \sigma\frac{\partial^2\alpha}{\partial x\partial y}s_y + \frac{\partial^2\alpha}{\partial x\partial z}q_z = 0\\
&-\nabla.(\sigma\nabla s_y) + \sigma\frac{\partial^2\alpha}{\partial y^2}s_y + \sigma\frac{\partial^2\alpha}{\partial x\partial y}s_x + \frac{\partial^2\alpha}{\partial y\partial z}q_z = 0 \qquad (3)\\
&-\nabla.(\sigma\nabla s_z) - \beta\left(\frac{\partial^2\alpha}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\alpha}{\partial y^2}\right)q_z + \frac{\partial^2\alpha}{\partial x\partial z}s_x + \frac{\partial^2\alpha}{\partial y\partial z}.s_y = 0
\end{aligned}$$

met $\alpha = \ln\beta$

De termen met α maken dat de uiteindelijke matrix, die resulteert uit de eindige verschillende benadering, niet positief definiet is. Als $\sigma = \sigma(z)$ (d.w.z. bij horizontale gelaagdheid) zijn deze termen 0 en is de matrix positief definitiet. In dat geval kan de gekorrigeerde gradiëntenmethoden met prekonditionering (I.C.C.G.) met sukses worden toegepast. Dit zijn de oorspronkelijke "inner iterations". De korrekties voor laterale inhomogeniteiten werden bij aanvang van de stage opgelost d.m.v. de blok Gauss-Seidel methode (de "outer iterations"). Het is echter niet op voorhand te voorspellen wanneer deze methode konvergeert. Bij "te grote" laterale inhomogeniteiten konvergeert de blok Gauss-Seidel methode niet, hetgeen het geval was voor de voor het modelgebied zuidwest Drenthe ingevoerde data. Een verbetering in het konvergentiegedrag van de blok Gauss-Seidel iteraties werd als volgt verkregen:

De eerste term in (3) wordt in FLOSA-FD benaderd volgens:

$$\sigma_m \frac{\partial^2 \alpha}{\partial x^2} \approx \frac{\sigma_m}{(\Delta x)^2} \cdot \left[\alpha_{m+1} - 2\alpha_m + \alpha_{m-1}\right]$$

$$= \frac{\sigma_m}{(\Delta x)^2} \cdot \ln\left[\frac{\beta_{m+1} \cdot \beta_{m-1}}{\beta_m^2}\right]$$

Wanneer nu bij een permeabiliteitssprong voor de overgangswaarde β_m een waarde $\sqrt{\beta_{m+1} \cdot \beta_{m-1}}$ wordt gekozen, wordt de term binnen de vierkante haken 1 en valt de hele term weg uit vergelijking (3). Dit zijn de in par. 2.2.2. beschreven overgangswaarden tussen de keileem en de formatie van Twente. De gemengde afgeleiden vallen weg door zo veel mogelijk rechthoekige formaties te modelleren. Hoewel dit wel een konvergerende oplossing tot gevolg had bleef een aanzienlijke fout in de massabalans bestaan. Inmiddels is een nieuwere oplosmethode ontwikkeld, een kombinatie van CGEIS (inkomplete choleski/conjugate gradiënt method) iteraties en PKPCG (Petrovic/Kuo/Petravic conjugate gradient) iteraties (van Kalmthout, 1986).

Deze methode is toegepast op de dataset (met overgangswaarden) en bleek een aanzienlijke verbetering op te leveren. In de nieuwste versie van FLOSA-FD is er een nog grotere verbetering bereikt; zie Kuppen, 1987.
Een gekombineerd eindige elementen/eindige verschillen programma is in ontwikkeling bij T.N.O., FLOSA-3FE genaamd (Nawalany 1986a, 1986b, 1986c, 2, 1987).

Bijlage 2.

Het klassifikatiesysteem van Stuifzand is gebaseerd op een indeling naar hoofdtype op basis van het Cl-gehalte, type op basis van hardheid, en subtype, waarbij het belangrijkste kation en anion worden vermeld. Hieraan wordt een kodering toegevoerd die een aanwijzing geeft omtrent een mogelijke zoet- of zoutwaterintrusie. Een voorbeeld is weergegeven in figuur a.

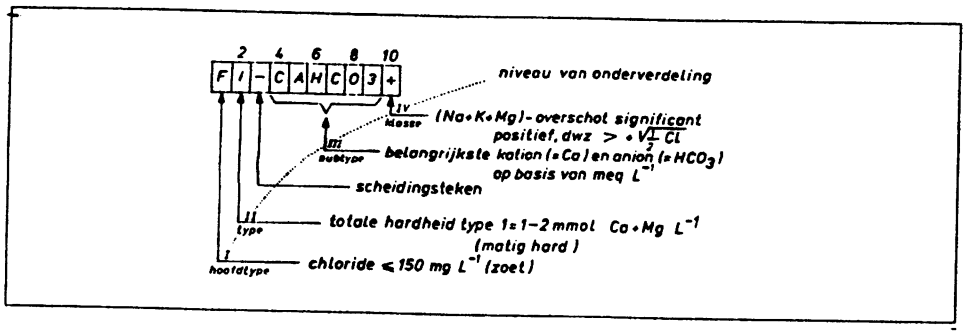


Fig. a.: Kodering van watertypen.

In tabel I wordt de indeling naar hoofdtypen weergegeven. In het onderzoeksgebied komt voornamelijk het type F voor, terwijl in een enkel filter het type B wordt aangetroffen.

Hoofdtype	Code	Cl^- (mg L^{-1})	Typische voorbeelden uit Nederland
Zoet water	F	≤ 150	Grond- en oppervlaktewater in zanderige infiltratiegebieden, regenwater.
Zoet-brak water	f	150-300	(Voorgezuiverd) water uit Lek en Haringvliet in de duinen. Recent grondwater langs de infiltrerende benedenloop van Lek, Waal en IJssel.
Brak-zoet water	b	$300-10^3$	Veel grond- en oppervlaktewater in poldergebieden.
Brak-zout water	B	10^3-10^4	
Zout water	S	$10^4-2.10^4$	Zeewater en geïntrudeerd zeewater langs huidige kust.
Hyperhalien water	H	$> 2.10^4$	Grondwater in contact met zouthorsten in Oost-Nederland.

F = fresh; B = brackish; S = salt; H = hyperhaline

Tabel I: Indeling in hoofdtypen.

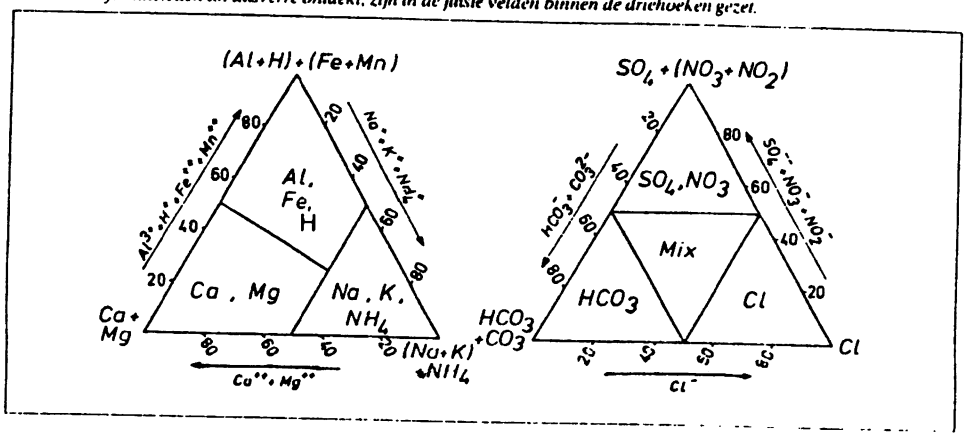
De indeling naar hardheid (vnl. Ca en Mg) wordt gegeven in tabel II. In Z.W. Drenthe komen de types *, 0, 1 en 2 voor.

Type nr.	Type naam	Code	Totale hardheid mmol L^{-1}	Natuurlijk voorkomen in hoofdtypen					
-1	zeer zacht	*	0 – ½	F					
0	zacht	0	½ – 1	F	f	b			
1	matig hard	1	1 – 2	F	f	b	B		
2	hard	2	2 – 4	F	f	b	B		
3	zeer hard	3	4 – 8	F	f	b	B		
4	extreem hard	4	8 – 16		f	b	B	S	
5	extreem hard	5	16 – 32				B	S	H
6	extreem hard	6	32 – 64				B	S	H
7	extreem hard	7	64 – 128					S	H
8	extreem hard	8	128 – 256						H
9	extreem hard	9	≥ 256						H

Tabel II: Indeling naar hardheid.

De wijze van indeling naar subtype wordt weergegeven in figuur b. Het belangrijkste subtype in de kwelgebieden van de verschillende systemen is het CaHCO3-type. Het grondwater onder de infiltratiegebieden vertoont een grote varieteit van subtypen.

Afb. 4 - Onderverdeling van typen in subtypen op basis van het procentuele aandeel van hoofdbestanddelen in de som der kationen (links) en anionen (rechts), beide in MEQ L⁻¹. Eerst wordt de sterkste geohydrochemische familie op de hoekpunten van elke driehoek vastgesteld, bijvoorbeeld de [Al + H + Fe + Mn]- en [SO_4 + NO_3 + NO_2]-familie. Vervolgens wordt het sterkste paar binnen een familie (tussen haakjes op de hoekpunten) gekozen, indien aanwezig, bijvoorbeeld [Al + H]. Als Al het nu van H wint en SO_4 van [NO_3 + NO_2], dan wordt het subtype 'AlSO_4'. De sterkste familieleden tot dusverre ontdekt, zijn in de juiste velden binnen de driehoeken gezet.



Figuur b: Onderverdeling naar subtype.

De subtypen worden verder onderverdeeld in 3 klassen op basis van (Na + K + Mg) gekorrigeerd voor zeezout. Zie tabel III.

Klasse	Code	Voorwaarden ten aanzien van Na + K + Mg corr. (MEQ L^{-1})
{Na + K+ Mg} tekort[1]	–	$< -\sqrt{1/2}$ Cl en $< 1.5\ (\Sigma K - \Sigma A)$
{Na + K+ Mg} evenwicht[2]	Ø	$\geqq -\sqrt{1/2}$ Cl en $\leqq \sqrt{1/2}$ Cl en §§
{Na + K+ Mg} overschot[3]	+	$> +\sqrt{1/2}$ Cl en $> 1.5\ (\Sigma K - \Sigma A)$

[1] = dikwijls indicatief voor een zout-waterintrusie (ooit, ergens)
[2] = veelal indicatief voor voldoende doorspoeling met water met constante samenstelling
[3] = dikwijls indicatief voor een zoet-waterintrusie (ooit, ergens)

$$\S\S = \left| (Na + K + Mg)\ corr. + \frac{(\Sigma K - \Sigma A)}{|\Sigma K - \Sigma A|} \cdot \sqrt{1/2}\ Cl \right| > 1.5 \left| \Sigma K - \Sigma A \right|$$

Tabel III: Onderverdeling van subtypen in drie klassen.

Zie verder het artikel van Stuifzand (1986). De figuren in deze bijlage zijn uit dit artikel overgenomen.

Bijlage 3.

CENTRAAL PLATEAU SYSTEEM

	16H-15	16H-30	16H-32	16H-55					21F-2	21F-60	21F-20	21F-17	L 17C	M 17C
Datum	29-4-63	29-4-1963	26-4-1963	21-8-80					9-10-57	3-11-69	9-11-61	18-7-60	10-6-86	10-6-86
diepte (m)	22-47	20.30-38.90	16.8-46.0	11-12	43-45	66-68	138-140	175-177			26-41	31-45	2.30-3.30	3.30-4.20
pH (lab)	7.4	7.4	7.37	7.33	7.08	7.4	7.65	7.66	6.73	7.39	7.33	7.41	6.5	7.16
EC (lab)	504	498	507	513	468	443	435	2730	392	733	456	455	488	311
Na	14.4	14.4	17.8	21.2	12.8	9.9	20.3	526	20.2	46.0	23.2	11.5	30.0	11.4
K													41.0	1.54
Mg	7.2	7.2	6.0	8.6	8.8	7.5	7.8	31.0	13.3	13.8	6.0	8.4	4.6	5.17
Ca	81.0	80.0	82.0	87.8	86.8	82.4	70.0	50.2	82.3	114.0	78.0	88.0	44.4	53.7
NH4		0.86	0.04	0.30	0.43	0.75	0.90	2.0	0.78		0.91	0.54	1.26	0.16
Cl	13.0	13.0	13.0	38.8	13.1	11.4	11.8	79.5	18.8	61.0	18.0	16.0	47.0	17.0
HCO3	293	293	293	246	325	311	304	364	305	323	299	305	176	194
SO4	3.3	2.9	4.9	45.9	0.7	0.6	0.3	0.7	2.9	87.6	1.0	8.6	65.0	2.0
NO3	0	0	3.0	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0.08
NO2	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	< 0.01	< 0.01
PO4	0.48	0.54	0.62	0.49	0.80	1.0	0.46	2.3	0.23	0.19	0.64	0.38	0.1	< 0.01
SIO2	22.8	17.6	21.2						23.2	20.4	15.2	20.4	30.1	27.0
Al													0.038	0.017
Fe	6.1	7.8	7.4	2.4	2.6	6.6	6.7	7.66	6.2	4.1	5.4	3.3	8.25	1.5
Mn	0.13	0.27	0.34	0.13	0.20	0.62	0.74	0.47	0.14	0.29	0.29	0.09	0.29	0.27

Opmerking: In het diepste filter van boring 16H-55 wordt water uit een dieper systeem aangetroffen. Dit water is zout.

DWINGELOOSE HEIDE SYSTEEM

	17C-157		17C-8	17A-8004 A (17C-518)								
Datum	4-2-80	12-2-81	26-10-55	15-8-86	25-8-86							
diepte (m)	12.3-14.3	23.6-25.6	36.5-38.5	?	1.00-2.00	12.00-14.00	23*	37.50-39.50	45*	55*	65*	69.50-71.5
pH (lab)	5.4	5.6	8.18	7.81	7.23	6.38	7.27	7.68	7.29	7.23	7.13	7.29
EC (lab)	105	84	243	313	349	108	145	214	298	258	202	275
Na	10.0	9.0	20.0	12.4	5.4	7.4	9.0	8.6	9.6	11.5	6.7	9.5
K	1.0	1.0		0.94	3.3	1.53	10.10	0.93	1.11	1.99	1.58	1.11
Mg	2.0	2.0	4.0	2.91	6.0	2.94	1.34	3.1	4.5	3.88	2.75	4.4
Ca	3.0	4.0	37.8	48.0	62.8	7.06	19.0	36.0	50.6	40.3	33.3	47.2
NH4	0.15	0.12	0.07	0.04	0.7	0.48	0.14	0.1	0.22	0.14	0.1	2.36
Cl	12.0	8.0	15.8	30.0	6.0	11.0	8.10	10.0	14.0	14.0	10.0	12.0
HCO3	18.0	17.0	14.0	114.1	174.	21.4	59	117	187	132	90	171.5
SO4	20.0	20.0	11.1	30.0	60.0	35.0	22.0	12.0	2.0	18.0	22.5	< 0.5
NO3	0.0	0.0	0	18.5	8.9	-	-	-	-	-	-	-
NO2			0	0.17	0.5	-	-	-	-	-	-	-
PO4	0	0.31	0.1	0	0.21	0.15	0.41	0.16	0.27	0.03	0.01	-
SIO2			10.4	22.0	12.0	29.0	19.0	22.0	26.0	18.0	13.0	25.0
Al				0	0.012	0.095	0.022 <	0.005	< 0.005	0.005	0.034 <	0.005
Fe			0.12	1.63	0.95	6.95	1.29	0.7	7.07	2.55	35.1	1.6
Mn			0	0.19	1.54	0.67	2.5	0.38	2.7	0.53	0.19	1.31

* minifilter

Opmerking:
De ionbalans van het monster uit het eerste filter van boring 17C-157 vertoont een fout van 14,5 %, die van het tweede filter van deze boring vertoont een fout van 7,7 %.
Het filter op 12-14 m van boring A bevat Dwingeloose Heide infiltratiewater. De filters tot 40 m bevatten dieper water van dit systeem. De onderste filters van deze boring bevatten Centraal Plateau water. De analyse van het water in het filter op 65 m diepte vervalt, dit filter gaf weinig water, en de fout in de ionbalans is te groot.

DWINGELOOSE HEIDE SYSTEEM

B (16H-505)

Datum	25-8-86							
diepte (m)	1.90-2.50	19.50-21.50	25*	34*	41.50-42.50	50*	60*	63.50-65.50
pH (lab)	6.20	6.42	6.62	6.56	7.15	7.17	7.19	7.09
EC (lab)	369	296	374	297	291	297	310	379
Na	20.4	19.9	29.3	18.9	27.0	10.8	9.5	27.0
K	19.0	2.6	4.4	2.0	1.05	1.14	1.06	1.05
Mg	9.9	2.0	11.8	1.59	4.0	3.39	4.3	6.1
Ca	23.5	30.8	27.3	32.7	50.3	49.7	54.2	69.6
NH4	1.3	0.14	0.06	0.12	0.14	0.14	0.32	0.32
Cl	47.0	43.0	52.0	42.0	14.0	22.0	14.0	14.0
HCO3	53.1	56	35.4	53	184	154.3	185.5	254
SO4	40.0	55.0	35.0	50.0	0.5	14.0	25.0	< 0.5
NO3	44.3	0.03	0.44	< 0.01	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01
NO2	0.13	< 0.01	52.6	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
PO4	0.12	< 0.01	0.24	0.02	< 0.01	0.02	0.07	< 0.01
SIO2	16.0	19.0	21.0	< 1.0 ?	27.0	26.0	28.0	27.0
Al	0.015	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.013	< 0.005	0.005
Fe	0.9	10.55	0.18	10.9	3.15	3.34	2.99	2.65
Mn	0.64	1.88	0.74	2.1	0.44	1.44	3.0	0.91

* minifilter

Opmerking:
Deze boring snijdt in de diepte steeds langere stroombanen aan. Het onderste filter bevat Centraal Plateau water.

DWINGELOOSE HEIDE SYSTEEM

	C (16H-506)				D (16H-507)				
Datum	25-8-86				25-8-86				
diepte (m)	4.50-5.50	21.50-23.50	32*	35.50-37.50	4-5	10*	13-15	20*	23-25
pH (lab)	7.75	7.98	7.68	7.77	7.29	7.21	7.27	7.20	7.14
EC (lab)	234	206	284	213	336	301	315	338	335
Na	9.6	8.2	10.3	8.4	9.2	10.0	9.5	9.6	9.4
K	1.44	1.34	2.29	0.85	0.7	1.17	1.19	1.6	1.35
Mg	3.02	2.72	3.58	2.76	5.15	4.37	4.76	5.2	5.26
Ca	48.6	32.2	47.7	34.7	60.5	53.4	55.6	62.7	59.4
NH4	0.4	0.62	0.72	0.2	0.5	0.16	0.36	0.22	0.44
Cl	14.0	12.0	16.0	12.0	13.0	13.0	13.0	13.0	13.0
HCO3	130	115	191	107	213.0	187.0	205	245	221
SO4	45	1.0	21.5	12.0	5.5	2.0	< 0.5	2.0	< 0.5
NO3	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
NO2	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
PO4	0.49	1.0	0.7	0.18	0.02	0.4	0.11	0.22	< 0.01
SIO2	19.0	22.0	18.0	19.0	25.0	29.0	28.0	29.0	27.0
Al	< 0.005	< 0.005	0.016	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.006	< 0.005	0.005
Fe	0.65	1.2	100.0	1.05	0.75	1.37	< 0.05	2.31	< 0.05
Mn	0.84	0.96	0.83	0.6	1.44	3.4	2.8	3.4	1.78

* minifilter

Opmerking:
De analyses van het water uit het eerste en het derde filter van boring c vervallen, de fout in de ionbalans is te groot.

DWINGELOOSE HEIDE SYSTEEM

16H-504

Datum	24-7-84										
diepte (m)	1.5-2.5	5.5*	8*	10.5*	13*	16-18	23*	28*	38*	43*	47-49
pH (lab)	7.4	6.79	6.88	6.73	6.66	6.77	6.91	7.10	7.02	7.0	6.85
EC (lab)	403	413	418	366	383	387	394	464	392	401	397
Na	10.7	10.5	10.4	10.1	10.2	0.99	11.0	10.5	10.4	10.4	9.79
K	0.52	1.32	1.82	0.43	0.45	0.75	0.33	1.12	1.09	1.03	1.01
Mg	5.81	5.4	5.3	4.59	4.79	4.4	5.49	6.20	5.30	5.49	5.81
Ca	74.5	68.9	71.3	55.7	60.9	64.9	63.3	81.3	64.9	65.7	65.7
NH4	1.6	0.9	0.72	0.72	0.54	11.9	0.54	0.36	0.18	0.36	0.36
Cl	18.0	17.0	16.0	17.0	17.0	16.0	18.0	18.0	16.0	16.0	16.0
HCO3	242	221	234	185	197	213	206	264	215	220	223
SO4	5.5	9.5	6.0	5.5	7.0	6.0	4.0	3.0	5.5	4.0	1.5
NO3											
NO2											
PO4	0.57										
SIO2											
Al	0.03	0.03	0.055	0.03	0.005	0.005	0.005	0.12	1.25	0.005	0.005
Fe	7.2	7.2	3.74	12.7	4.33	5.5	9.33	3.18	7.71	6.2	5.5
Mn	0.29	0.47	0.66	0.28	0.31	0.94	0.31	1.30	0.31	0.33	0.87

* monster uit minifilter

ECHTENERVELD SYSTEEM

	17C-96		17C-29	21F-26		16H-33	16H-34	17C-94	
Datum	9-7-84		9-10-57	9-7-84		29-4-63	1-63	26-11-65	26-11-69
diepte (m)	27.7-29.70	57.7-59.70	32-35	3- 5	17-19 m	17-47	38-50	28.6-29.6	64.2-65.2
pH (lab)	5.63	6.32	5.82	5.64	5.8	6.5	7.9	7.04	7.19
EC (lab)	106	178	90	335	249	100	147	224	395
Na	8.9	8.39	14.0	16.6	14.9	12.5	14.1	20.0	15.0
K	1.09	0.73		1.26	1.62				
Mg	2.2	2.2	3.5	7.19	4.2	1.2	1.1	3.9	6.0
Ca	4.61	23.3	4.8	15.7	17.0	7.0	20.0	30.5	74.0
NH4			0.08	0.72	0.18	0.11	0.03	0.01	0.29
Cl	10.0	12.0	16.0	51.1	39.0	13.0	11.0	17.0	15.0
HCO3	14.8	78.1	31.0	40.8	29.3	31.0	67.0	113.0	260.0
SO4	17.0	7.0	4.5	40.0	23.0	4.9	11.5	17.3	7.6
NO3			0			0	0	0	0
NO2			0			0	0	0	0
PO4		0.95	0.23			0.62	0.5	1.5	0.58
SIO2			13.6			19.6	15.6	25.4	26.2
Al	0.12	0.005		0.04	0.02				
Fe	1.86	5.3	2.5	28.0	8.99	5.8	2.1	5.8	5.2
Mn	0.04	0.2	0.05	0.29	0.21	0.06	0	0.22	0.18

Opmerking:
Het diepste filter van boring 17C-94 bevat Centraal Plateau water. De grens tussen het Echtenerveld systeem en het Centraal Plateau ligt hier dus tussen 30 en 60 m.

ECHTENERVELD SYSTEEM

	16H-65			16H-67					16H-79		16H-80	
Datum	7-6-77			28-6-78					30-7-76		29-7-76	
diepte (m)	20.5-22.5	40.5-42.5	72-74	6-8	16-18	29-31	45-47	74-76	4-5	19-21	9-10	18-20
pH (lab)	6.6	6.9	7.10	7.17	6.68	6.84	6.9	7.18	6.94	7.03	7.31	7.9
EC (lab)	165	349	488	405	301	391	433	468	410	377	351	352
Na	10.8	9.6	12.4	16.1	5.3	9.4	10.0	9.3	9.3	- 2 ?	19.4	0.4
K												
Mg	2.3	5.3	7.5	7.5	6.3	6.3	8.0	8.0	19.0	16.0	11.0	20.0
Ca	16.4	55.4	81.6	62.0	44.8	65.0	80.7	81.4	62.0	65.0	46.0	47.0
NH4	0.23	0.21	0.67	0.13	0.17	0.26	0.3	0.68	0.24	0.27	0.75	1.84
Cl	13.5	13.7	13.7	14.7	14.9	15.5	14.0	12.5	18.0	17.0	26.0	20.0
HCO3	78.0	211.0	307.0	232.0	173.2	243.0	298.0	303.0	290.0	262.0	180	220
SO4	1.1	0.6	0.7	5.6	4.9	2.2	2.3	0.9	14.2	4.5	26.3	15.0
NO3	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1
NO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PO4												
SIO2												
Al												
Fe	4.9	6.0	4.4	1.1	9.8	1.1	4.8	4.7	12.9	7.9	12.6	10.0
Mn	0.49	0.39	0.24	0.46	0.45	0.28	0.51	0.2	0.53	0.56	0.23	0.46

Opmerking:
Boring 65 bevat in het bovenste filter kwelwater van het lokale systeem in het Echtenerveld systeem. Het tweede filter van deze boring bevat Echtenerveld water. Het diepste filter bevat Centraal Plateau water. Boring 67 bevat vanaf ± 40 m diepte Centraal Plateau water.

ECHTENERVELD SYSTEEM

	E(17C-519)			F (17C-520)		G (17C-521)	
diepte	1.50-2.50	6.00-8.00	13.00-15.00	4.00-5.00	8.00-10.00	4.00-5.00	9.00-10.00
pH (lab)	5.58	6.53	5.81	4.77	4.66	6.23	7.01
EC (lab)	253	366	501	183	204	1044	1429
Na (mg/l)	19.1	18.0	26.4	11.2	13.3	177.0	216.0
K	17.0	7.8	5.0	0.62	0.99	6.4	4.8
Mg	3.69	6.7	16.7	2.52	3.47	8.3	12.3
Ca	14.3	43.2	22.8	5.96	6.65	36.4	112.4
NH4	1.08	0.7	0.36	< 0.1	< 0.1	0.88	0.6
Cl	39.0	44.0	120.0	20.0	23.0	340.0	410.0
HCO3	19.5	119	20.1	2.44	3.05	70.8	265
SO4	55.0	55.0	105.0	55.0	50.0	23.0	16.5
NO3	7.0	0.00	< 0.01	18.9	24.2	0.05	< 0.01
NO2	0.1	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
PO4	0.05	0.06	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SIO2	20.0	22.0	73.0	13.0	10.0	12.0	10.0
Al	1.0	0.094	0.087	10.0	9.0	0.14	0.020
Fe	1.2	9.1	31.6	0.8	0.7	24.2	2.1
Mn	0.65	2.0	2.8	0.08	0.07	1.97	5.0

Datum: 25-8-86

Opmerking:
Boring 9 vertoont opvallend hoge Na- en Cl-gehalten. De boring ligt vlakbij een weg, zodat dit waarschijnlijk veroorzaakt wordt door strooizout. Ditzelfde geldt voor het diepste filter van boring e.

ECHTENERVELD SYSTEEM

	17C-50	17C-48	17C-49	17C-99		17C-10	21F-I	16H-J	21F-H	16H-K
Datum	11-3-64	9-8-63	12-3-64	17-4-70		15-8-86			10-6-86	10-6-86
diepte	40.6-60.5	37.5-57.5	39.8-59.9	7-8	37-38	?	2.20-3.20	2.95-3.95	2.40-3.40	4.10-5.10
pH (lab)	7.44	7.5	7.5	7.07	7.21	6.87	6.0	6.44	6.78	7.06
EC (lab)	297	345	335	692	273	166	536	528	255	377
Na	14.0	17.0	18.5	46.0	23.0	13.1	29.9	14.5	20.3	11.2
K						1.59	58.0	22.0	12.7	1.18
Mg	5.4	6.0	6.0	16.8	7.8	2.98	5.6	7.9	3.56	6.1
Ca	46.0	42.4	50.0	93.0	32.5	12.4	32.6	64.8	23.1	66.4
NH4	0.13	0.18	0.08	0.05	0.05	0.12	0.12	0.16	0.16	0.3
Cl	18.0	20.0	20.0	75.0	14.0	24.0	214.0	27.0	24.0	15.0
HCO3	153.0	128.0	146.0	189.0	143.0	37.0	32.3	53.7	29.9	251
SO4	16.1	39.1	39.3	67.8	22.5	22.0	86.0	14.0	50.0	< 0.5
NO3	0	0	0	85.2	0	0.4	123.0	185.0	41.0	0.03
NO2	0	0	0	0.26	0	0	0.59	0.07	0.05	< 0.01
PO4	0.57	0.4	0.38	0.04	0.36	0.47	0.03	< 0.01	< 0.01	< 0.01
SIO2	23.0	22.4	25.2	12.8	0.2	35.0	16.0	14.0	13.0	25.0
Al							0.059	0.033	0.044	0.006
Fe	6.7	6.5	4.2	0.05	10.20	8.11	0.65	1.0	0.5	4.15
Mn	0.19	0.27	0.2	0.20	0.18	0.29	0.11	0.12	0.11	0.39

Opmerking:
Boring 17C-99 bevat in het bovenste filter sterk vervuild water. Ook de ondiepe filters i, j en n vertonen een hoog NO3-gehalte.

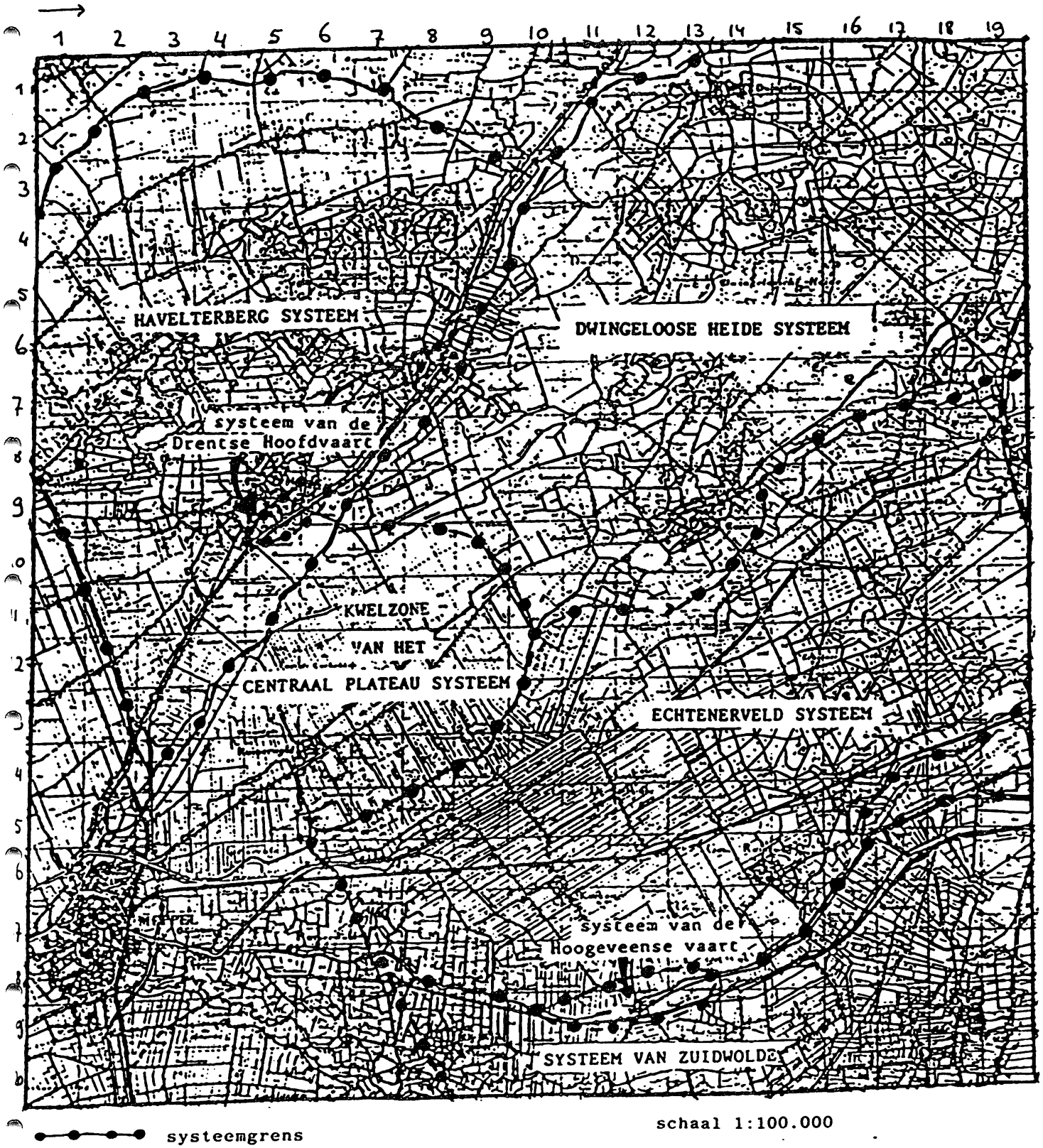


Fig. 1. Topografische kaart van het onderzoeksgebied met de door Oude Munnink onderscheiden systeemgrenzen.

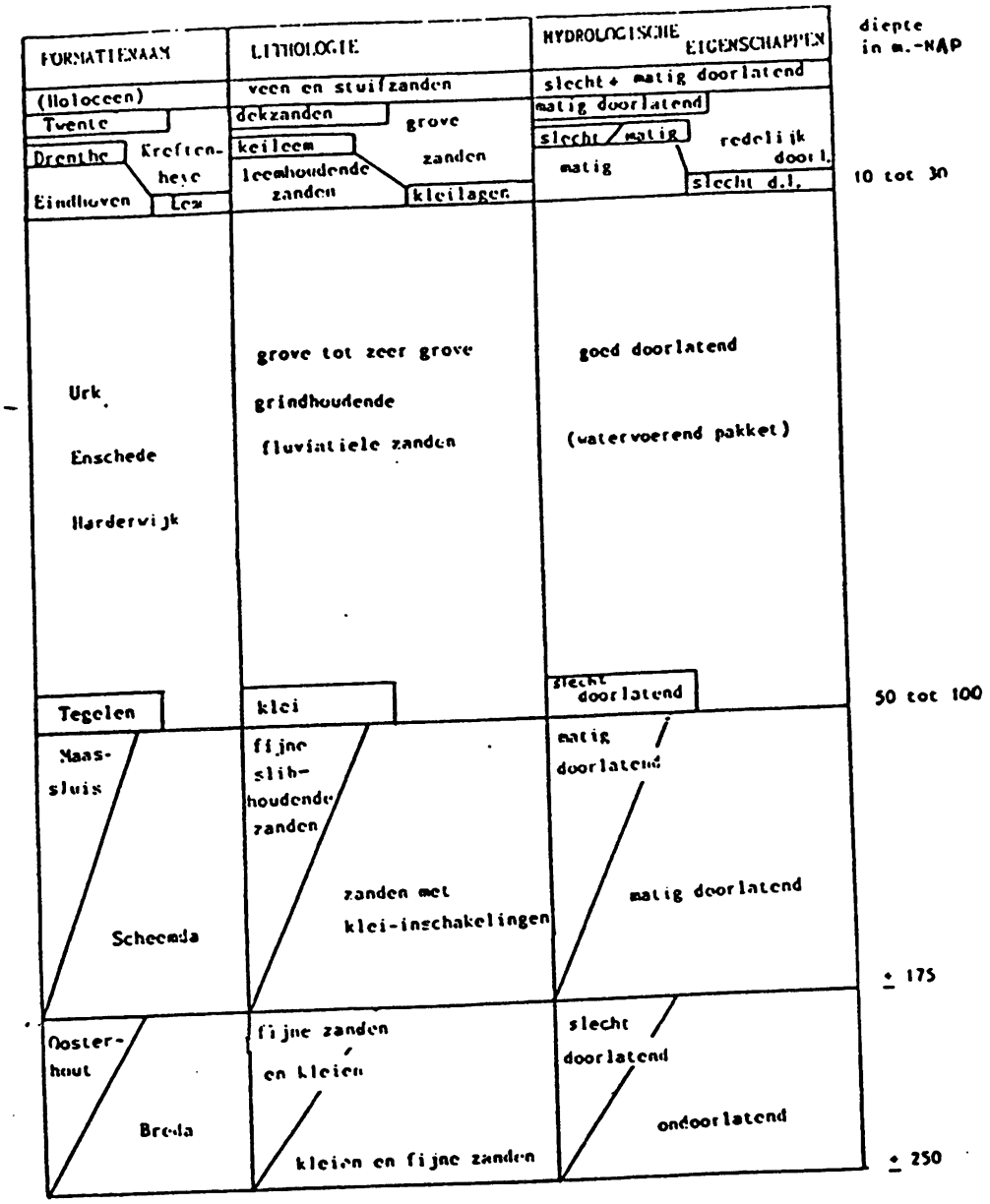
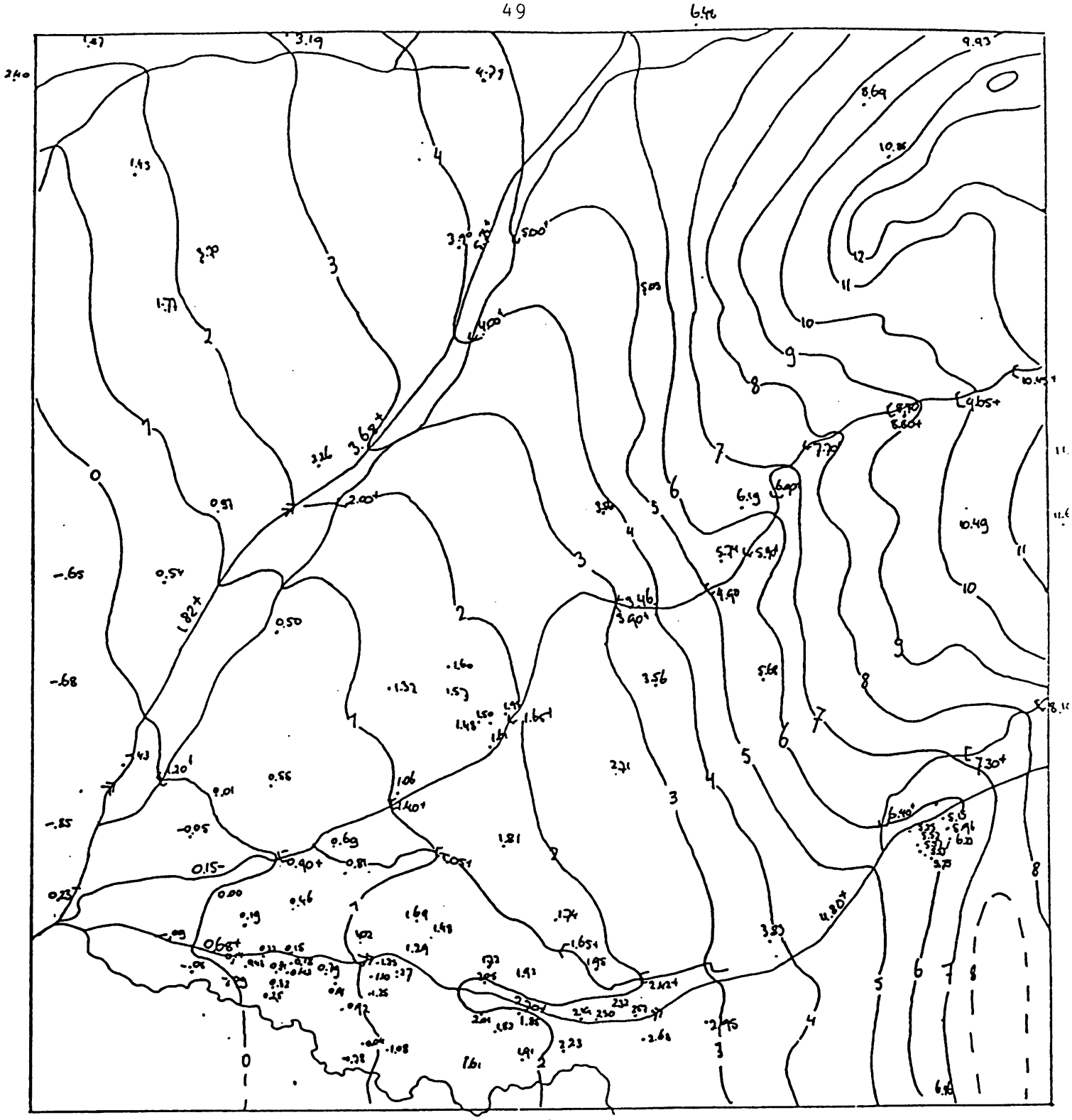


Fig.2. Hydrogeologisch schema van het modelgebied.
(Uit Oude Munnink)



schaal 1:100.000

Fig. 3. Isohypsenpatroon van het freatisch vlak op 24 april 1980.

Y \ X	2.3	2.2	2.5	2.8	3.1	3.5	4.2	4.5	5.0	5.4	5.7	6.1	6.5	7.0	7.2	8.0	8.9	8.9	10.3	
2.3	2.2	2.1	2.3	2.7	3.0	3.4	4.0	4.3	4.9	5.4	5.7	6.0	6.3	7.0	7.6	8.3	9.2	10.0	11.0	11.2
1.7	1.4	1.9	2.3	2.6	2.9	3.4	3.8	4.2	4.9	5.2	5.8	6.1	6.7	7.4	8.4	9.4	10.6	11.8	12.0	12.2
1.0	1.2	1.6	2.1	2.4	2.9	3.3	3.7	4.0	4.8	5.2	5.6	6.0	7.0	8.1	9.4	10.7	11.7	12.4	12.5	12.4
0.4	0.8	1.3	2.0	2.4	2.8	3.2	3.5	3.8	4.6	4.9	5.0	5.8	7.4	9.0	10.2	12.1	12.1	11.0	11.8	12.0
0.1	0.7	1.2	1.9	2.3	2.6	3.0	3.2	3.7	4.5	4.4	4.6	5.3	7.8	9.3	10.6	11.8	10.2	10.7	11.4	11.8
0.1	0.5	1.2	1.8	2.2	2.4	2.7	3.1	3.6	3.7	3.8	4.4	5.2	7.2	9.0	10.0	9.8	10.2	10.8	11.2	11.8
0	0.5	1.1	1.6	2.0	2.4	2.7	2.9	3.5	3.5	3.7	4.4	5.5	7.0	8.1	8.4	9.2	8.5	9.5	10.5	10.5
-.3	0.1	0.7	1.1	1.8	2.3	2.5	2.8	2.8	2.9	3.1	4.2	5.5	7.0	7.5	7.4	8.3	9.0	10.1	10.7	10.8
-.6	-.2	0.3	0.9	1.4	1.9	2.1	2.1	2.2	2.7	3.1	4.0	5.5	6.5	6.7	7.5	8.9	9.6	10.3	11.0	11.4
-.6	-.2	0	0.6	1.0	1.5	1.5	1.6	2.0	2.5	2.9	3.5	4.5	6.0	5.8	7.2	8.3	9.5	10.4	11.1	11.0
-.6	-.5	0	0.5	0.8	0.8	0.9	1.4	1.9	2.3	2.6	1.6	3.3	5.0	5.9	7.3	8.6	9.4	10.0	10.8	10.2
-.6	-.5	0	0.4	0.4	0.5	0.8	1.2	1.6	1.9	1.6	2.9	3.7	4.7	5.8	7.2	8.2	9.2	9.0	10.0	10.2
-.7	-.7	-.2	0	0.3	0.5	0.9	1.3	1.6	1.6	1.6	2.8	3.3	4.4	5.5	7.0	8.0	8.5	8.1	8.3	8.5
-.7	-.6	-.4	0	0.2	0.5	0.8	1.0	1.2	1.6	2.2	2.7	3.0	4.0	5.4	6.4	7.0	7.0	7.3	7.9	8.4
-.8	-.7	-.2	-.1	0	0.4	0.6	0.9	1.3	1.8	2.2	2.5	2.8	3.6	4.6	6.0	6.3	6.2	6.2	7.8	7.8
-.8	-.5	-.5	-.1	-.1	0.4	0.7	0.9	1.0	1.3	2.0	2.4	2.7	3.1	4.0	5.0	5.2	5.6	8.0	8.0	8.2
-.8	-.5	-.2	-.1	0.1	0.4	0.8	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	2.5	2.9	3.9	4.5	4.8	5.8	7.3	8.0	8.0
-.8	-.4	-.3	-.1	0.1	0.3	0.7	1.0	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.8	3.3	4.0	4.9	6.0	8.0	8.0	8.2
-.8	-.7	-.5	-.3	-.1	0.2	0.6	1.1	1.7	1.7	1.9	2.1	2.4	2.9	3.4	4.0	4.9	6.2	8.0	8.0	8.4
-.8	-.7	-.5	-.3	-.1	0.2	0.6	1.1	1.6	1.8	2.0	2.2	2.6	2.9	3.6	4.3	5.0	6.2	8.0	8.0	8.4
	-.8	-.6	-.4	-.2	0.2	0.6	1.0	1.3	1.6	2.0	2.4	2.6	2.8	3.4	4.2	4.9	6.2	8.0	8.0	

1 km

Fig. 4. Stijghoogten voor de roosterpunten op het bovenvlak van het modelgebied op 24 april 1980.

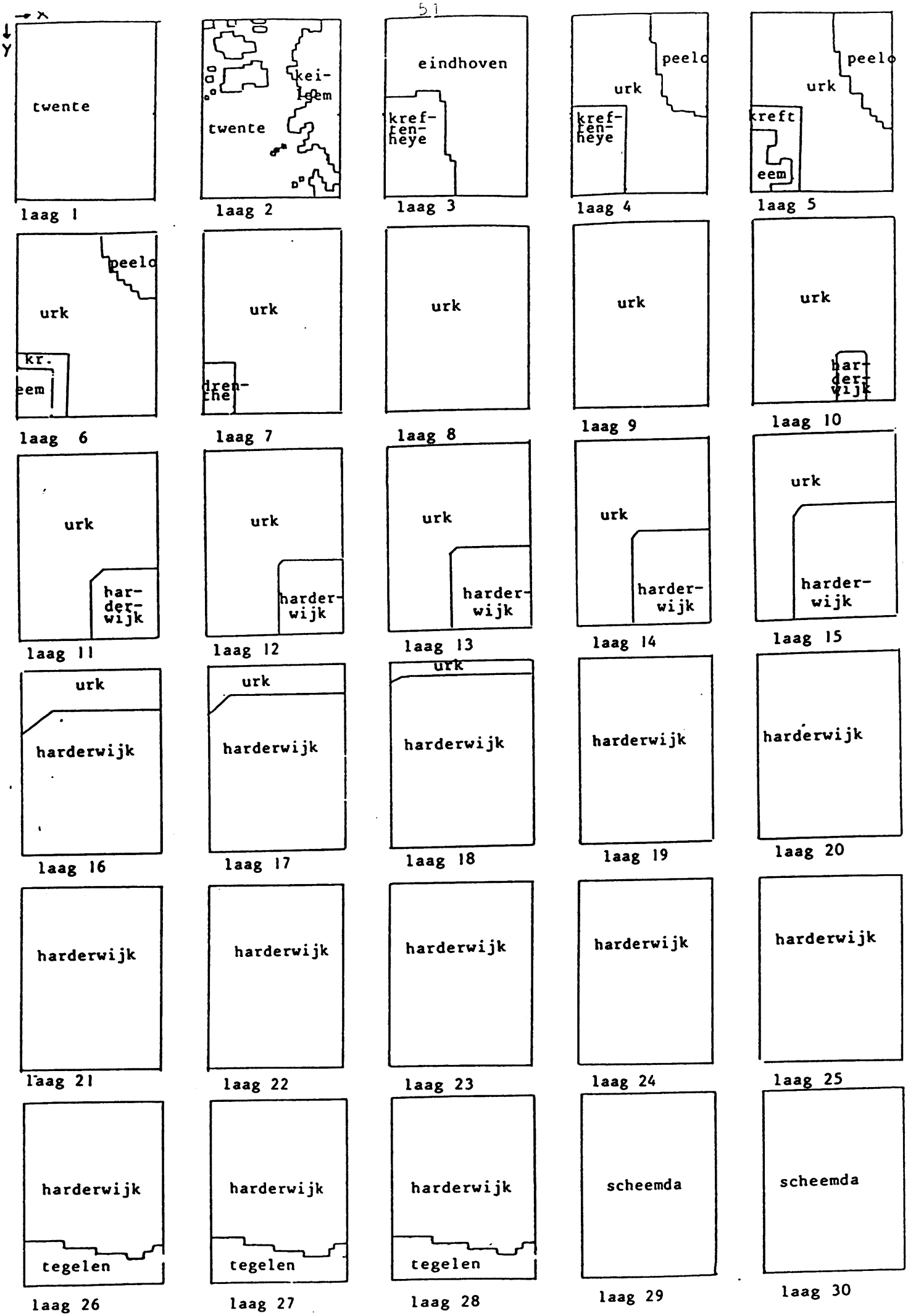


Fig. 5. Geologische formaties per roosterlaag.

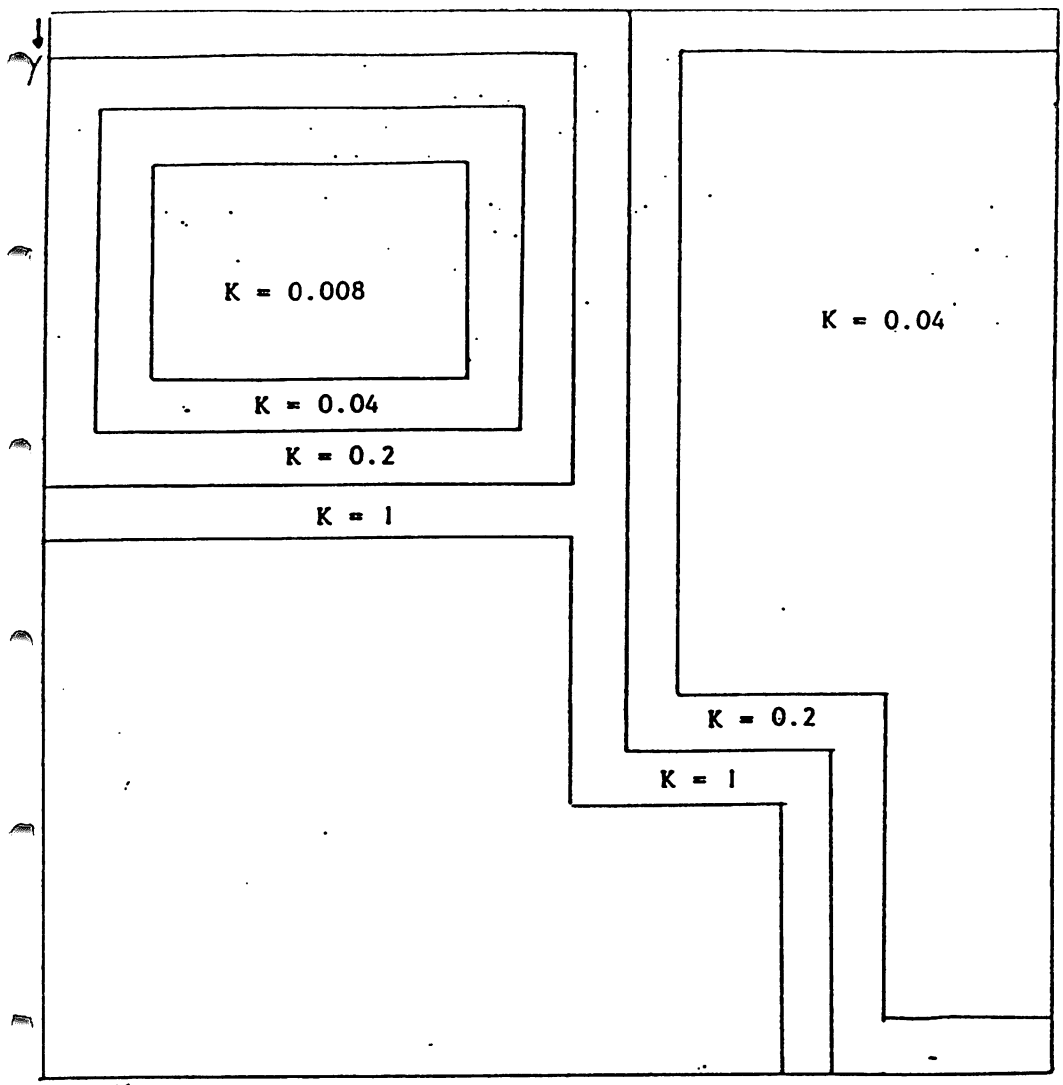
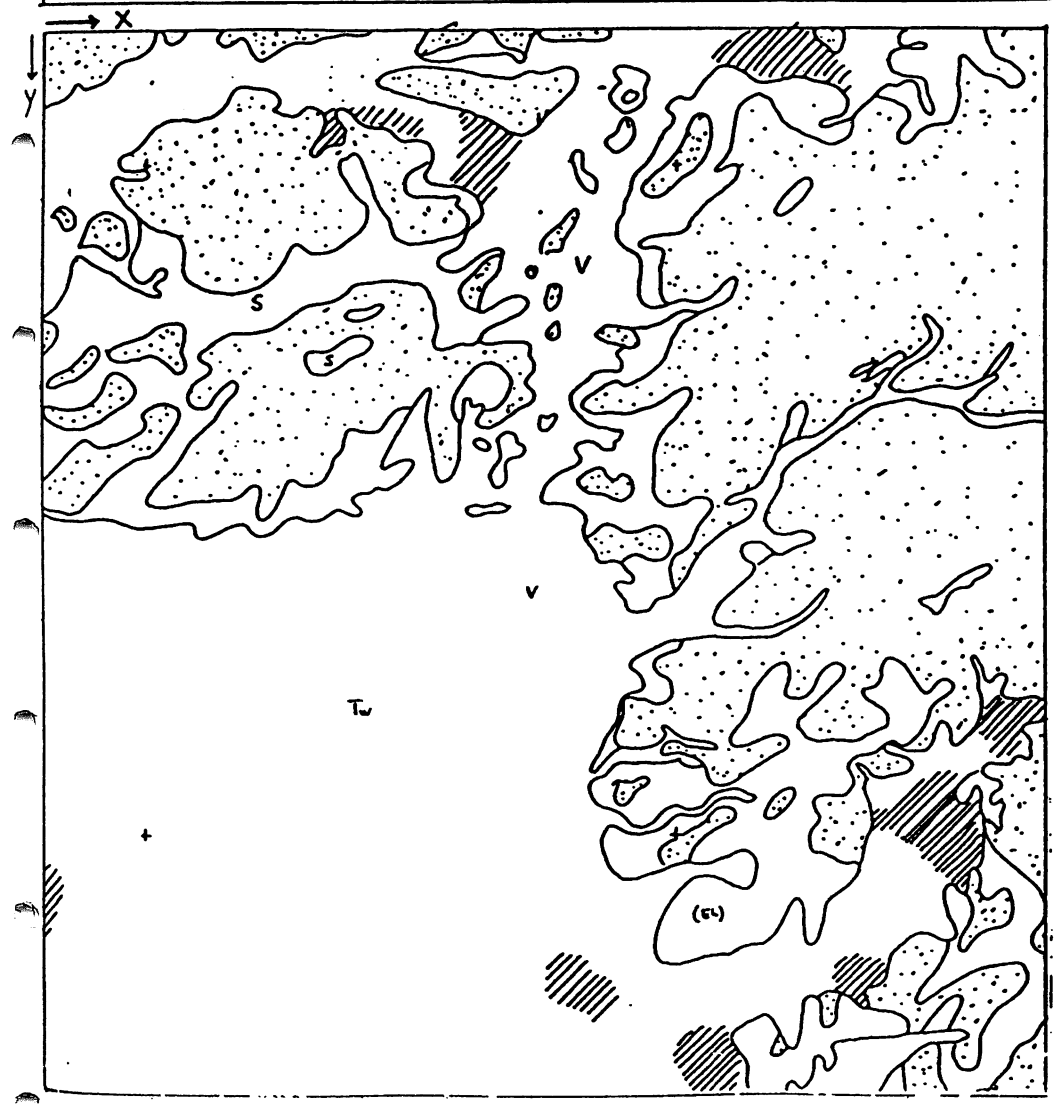


Fig. 6. Modellering van het keileempakket m.b.v. overgangswaarden.



Post-Saalien erosie geulen("beekdalen")

keileem

beekleem

dekzand dunner dan 2 m op formatie van Eindhoven

S stuifzand

V veen

Fig. 7. Het keileempakket.

AREAL SECTION X-Y , K= 0

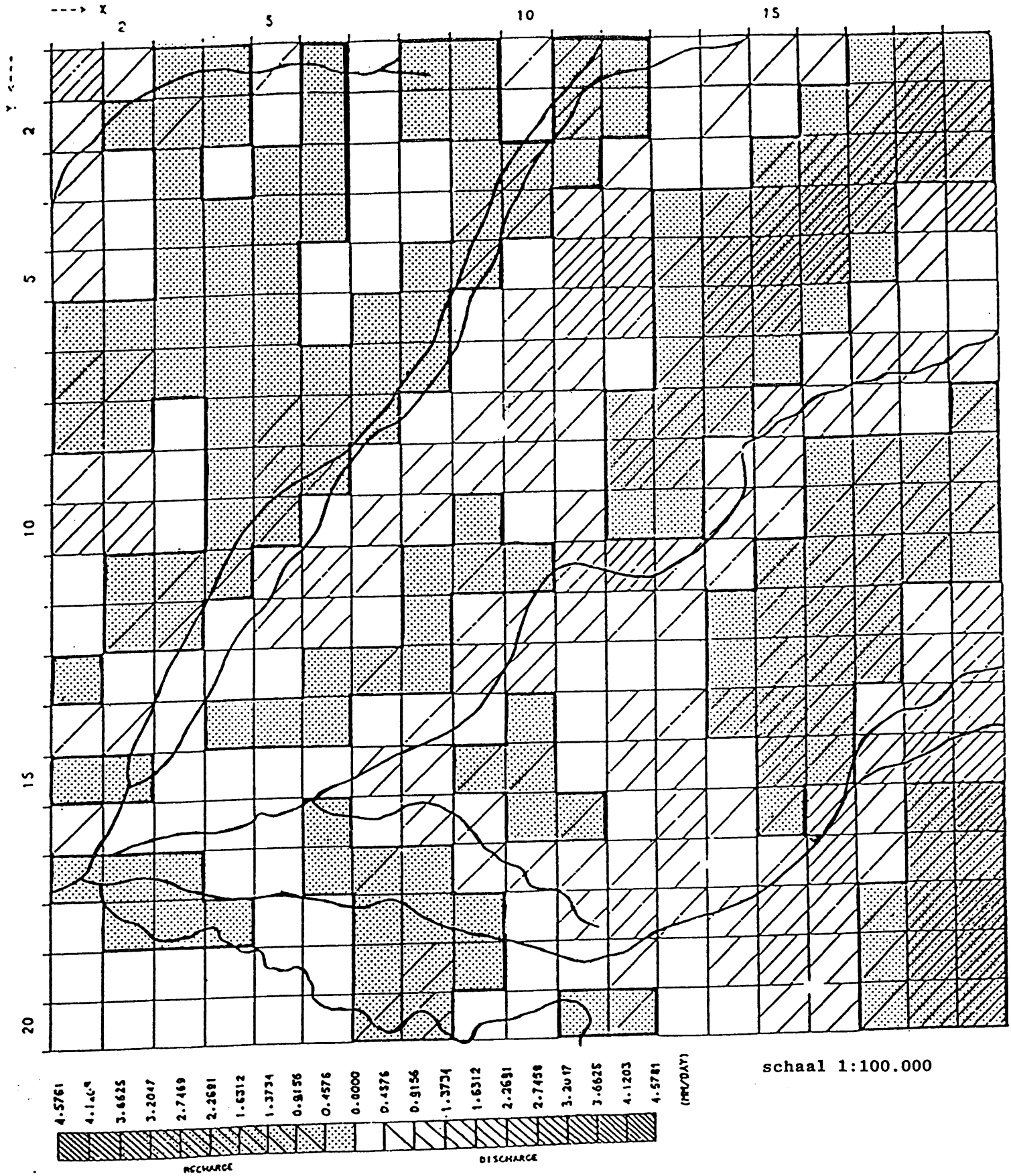


Fig. 8. Infiltratie en kwel kaart zoals door FLOSA-FD getekend. Infiltratie gebieden zijn omkaderd en gerasterd.

schaal 1:100.000

GWT II en III (kwelgebied)

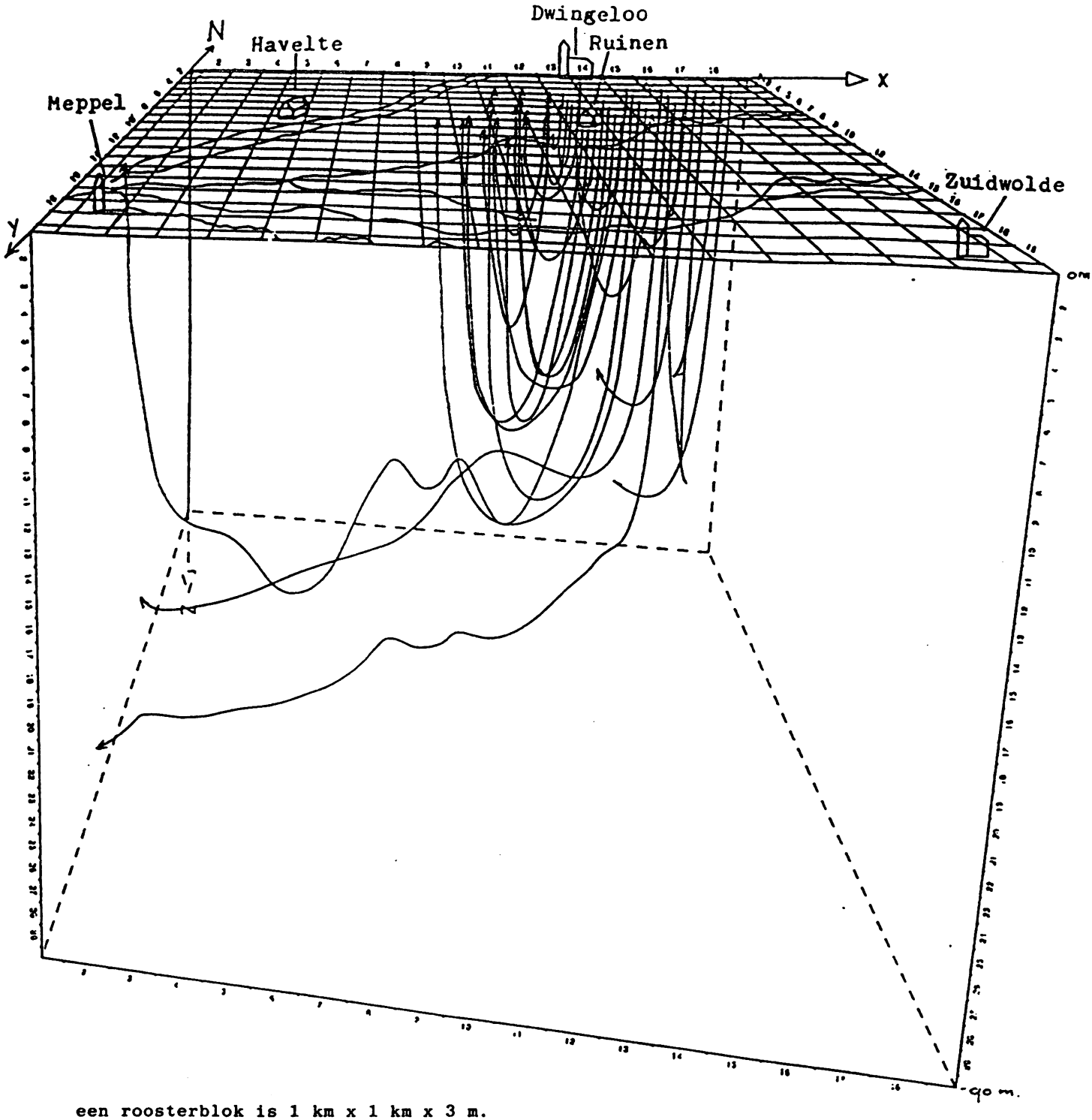
GWT IV (overgangsgebied)

GWT VI en VII (infiltratie gebied)

infiltratie gebied

Fig. 9. Infiltratie en kwelgebieden zoals door Oude Munnink onderscheiden.

dwingeloose heide systeem



een roosterblok is 1 km x 1 km x 3 m.

Fig. 10. Het Dwingeloose Heide systeem vanuit het zuiden gezien.

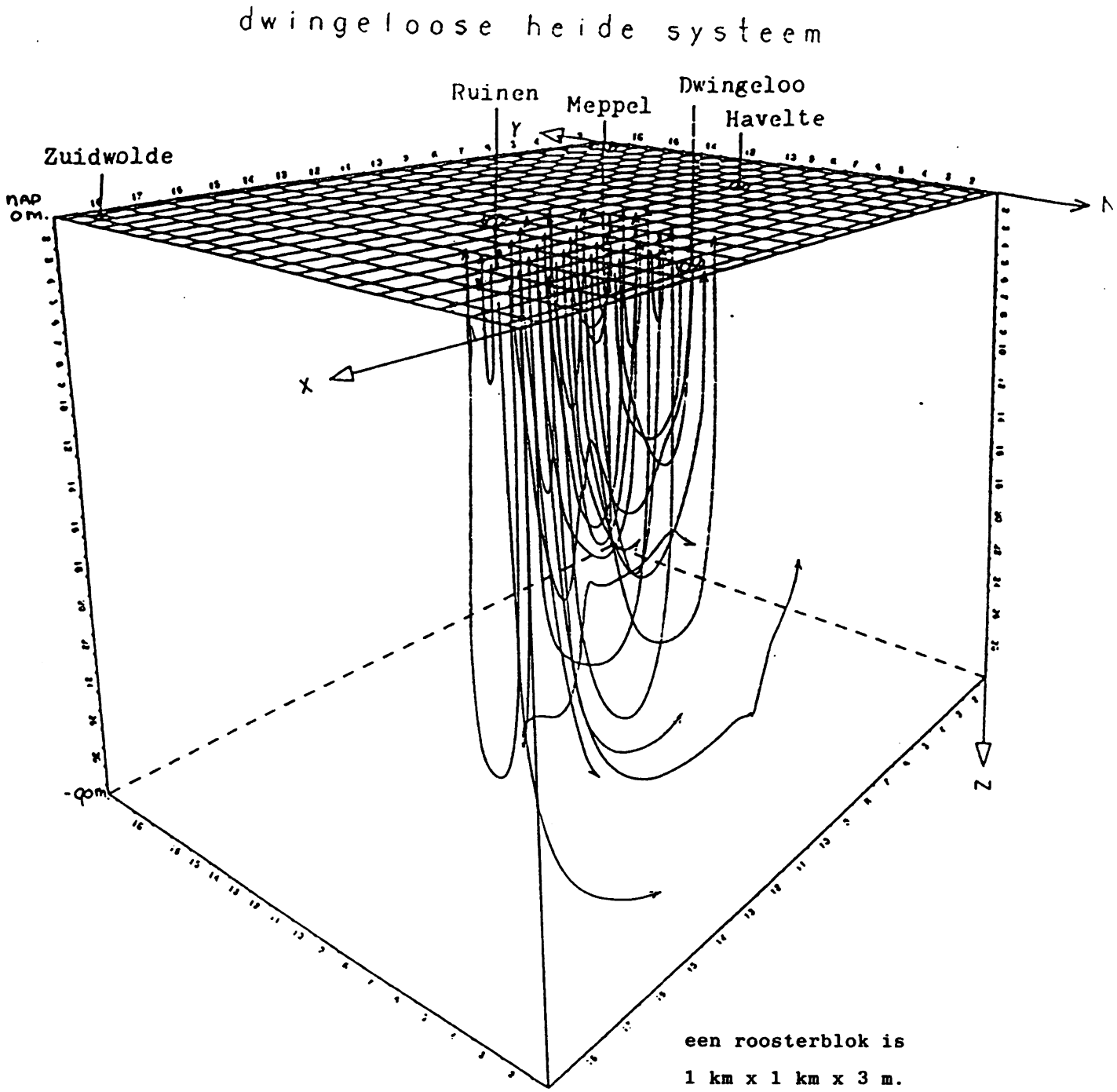


Fig. 11. Het Dwingeloose Heide systeen vanuit het noordoosten gezien.

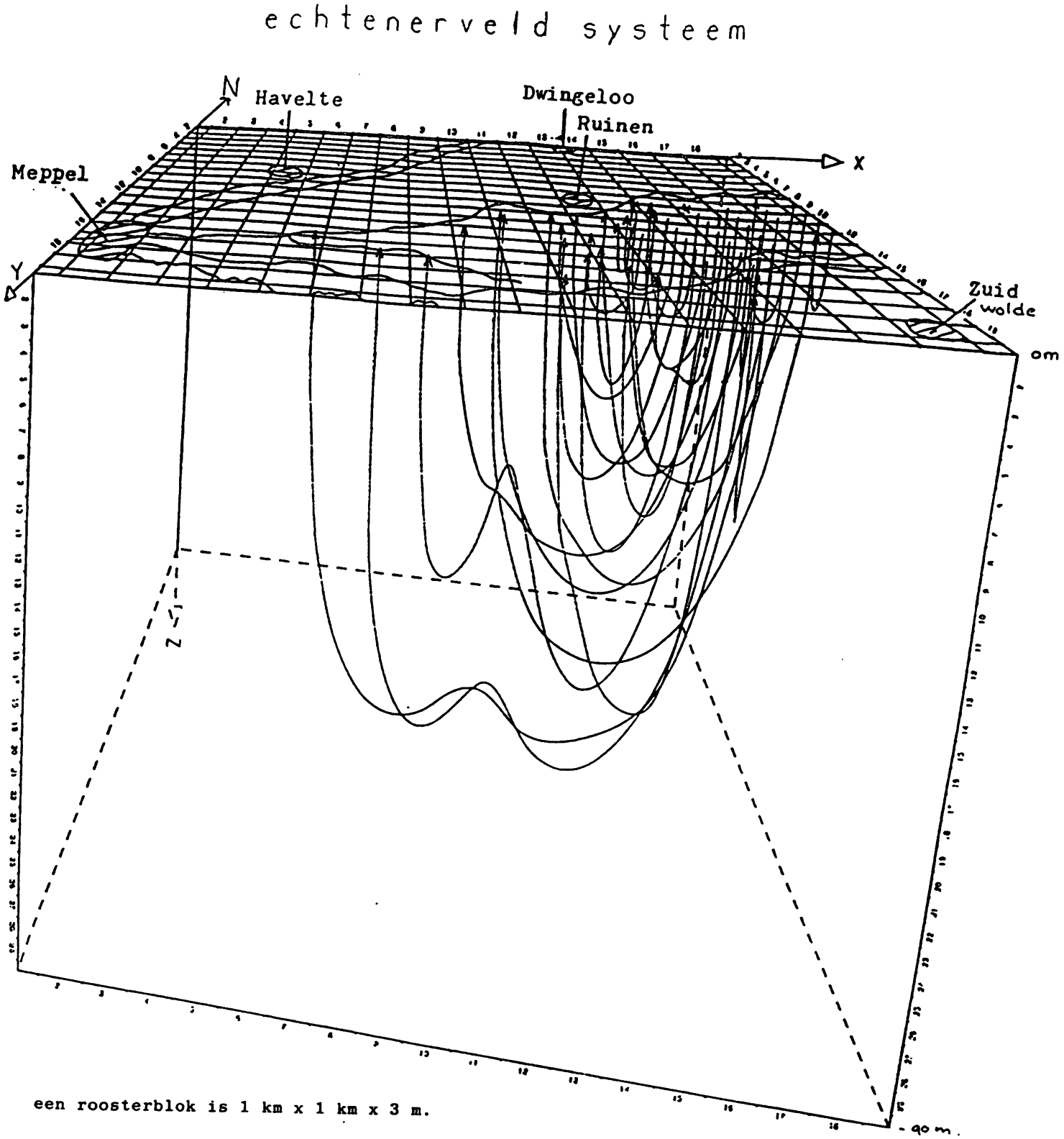


Fig. 12. Het Echternerveld systeem vanuit het zuiden gezien.

echtenerveld systeem

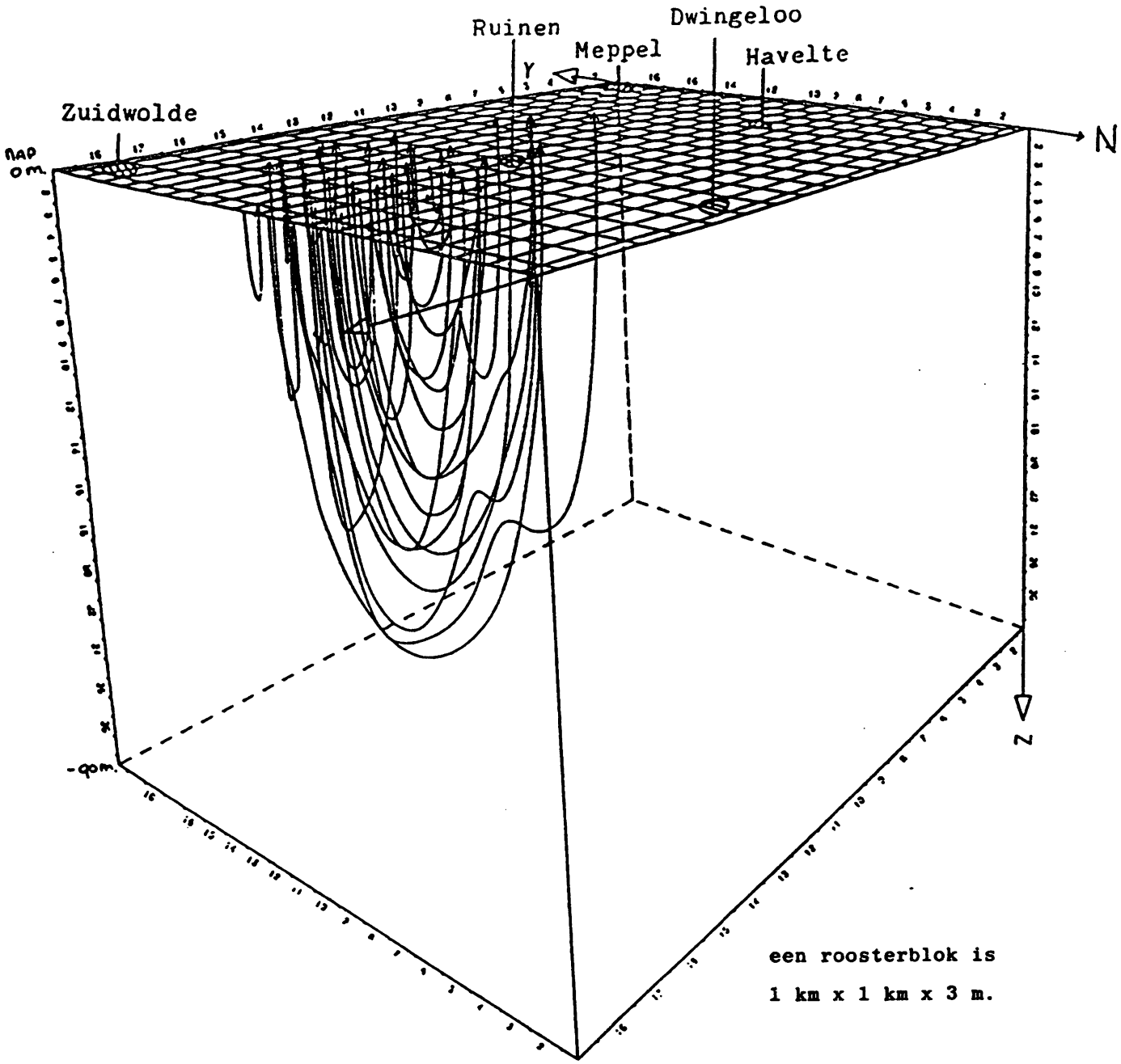
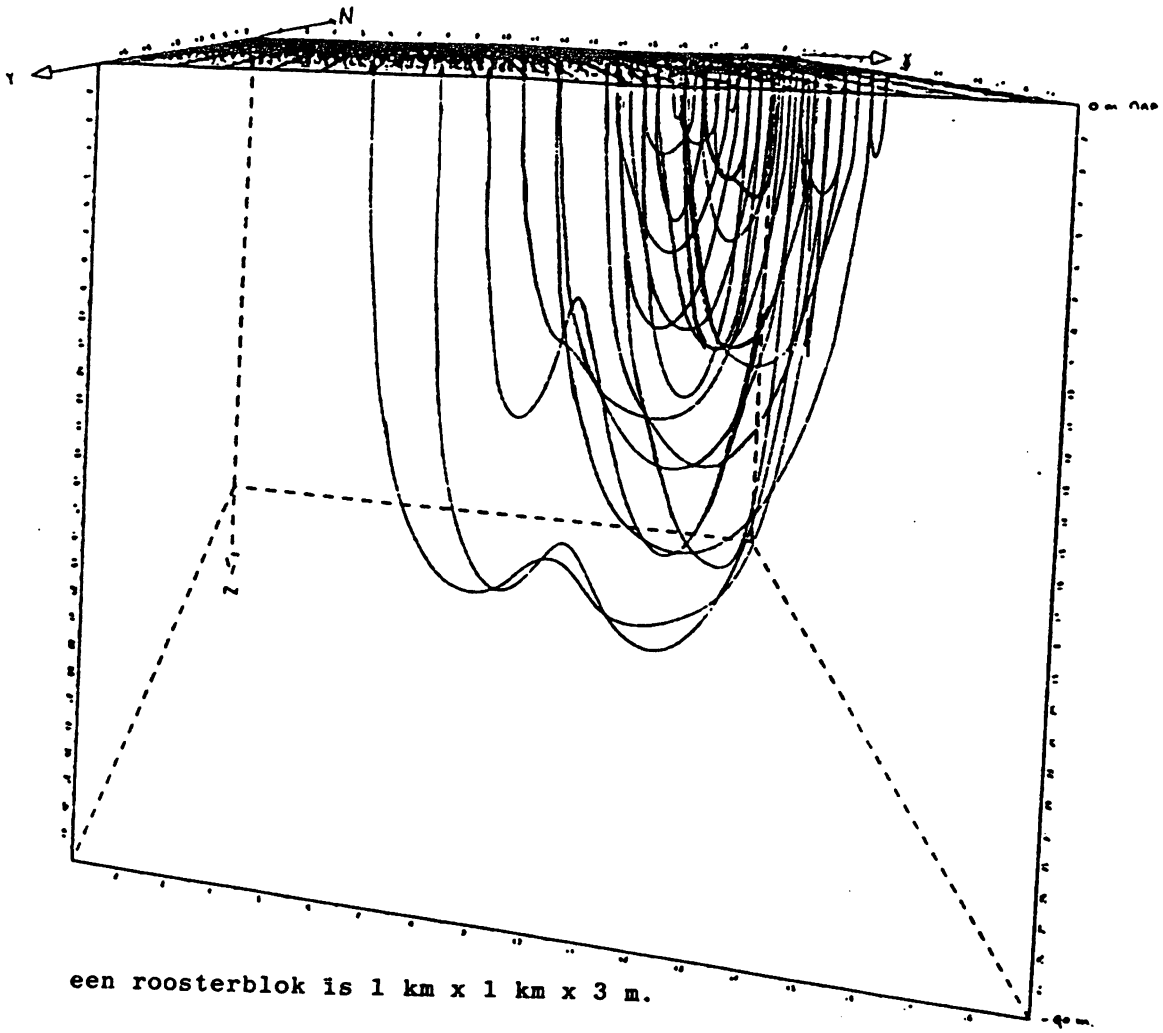


Fig. 13. Het Echtenerveld systeem vanuit het noordoosten gezien.

echtenerveld systeem



een roosterblok is 1 km x 1 km x 3 m.

Fig. 14. Het Echtenerveld systeem in het blok gezien.

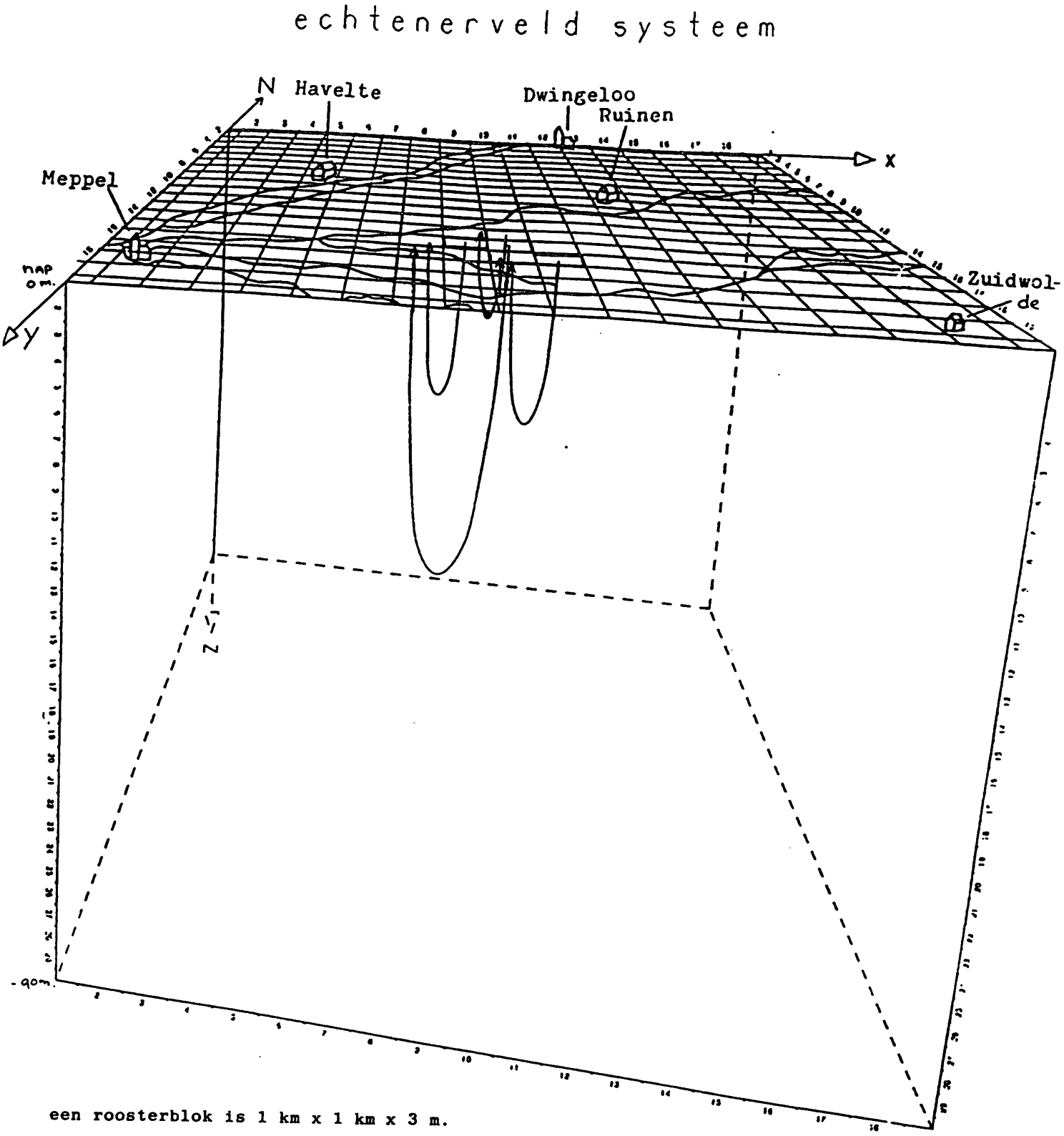


Fig. 15. Lokaal hydrologisch systeem binnen het Echtenerveld systeem.

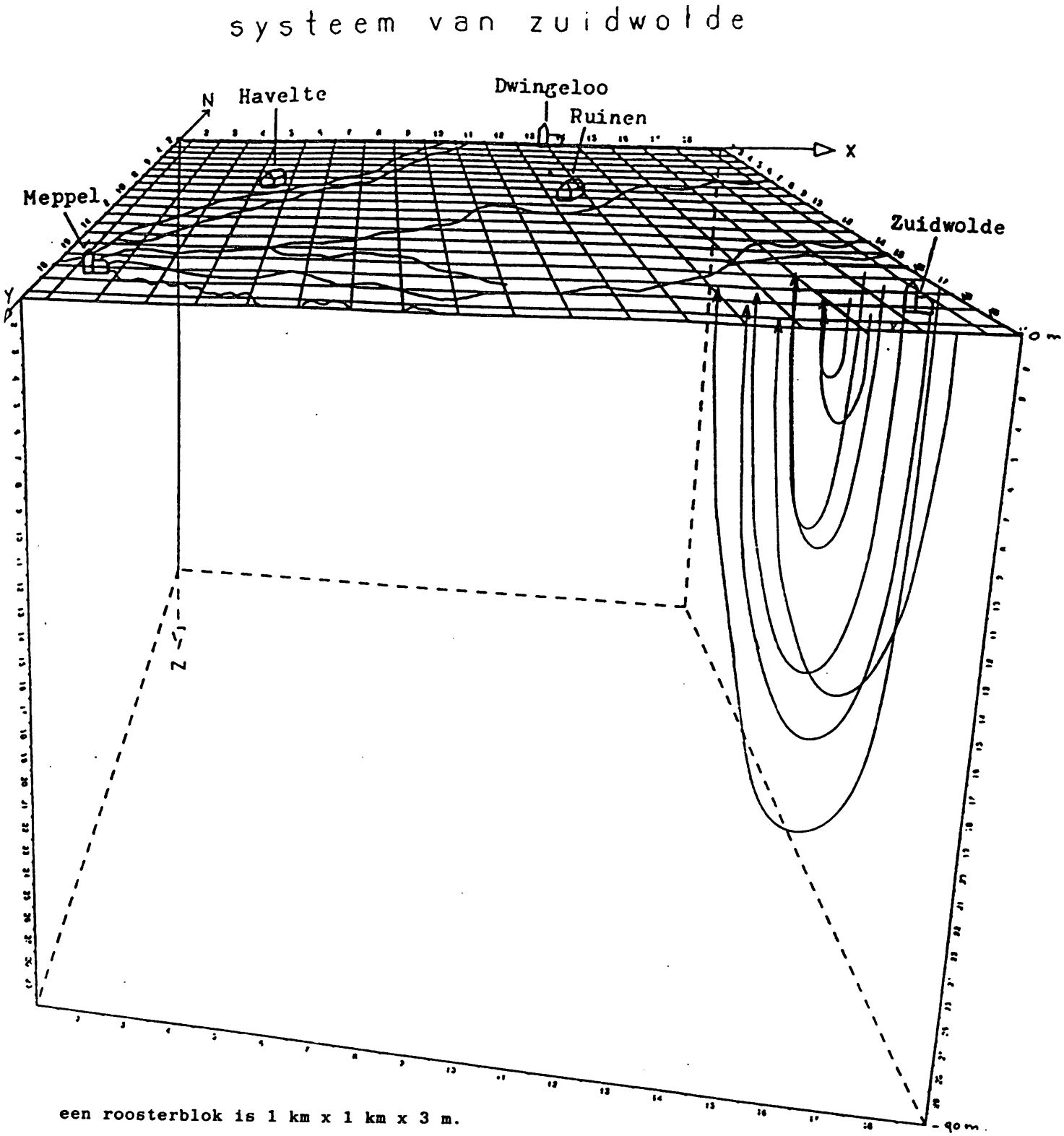
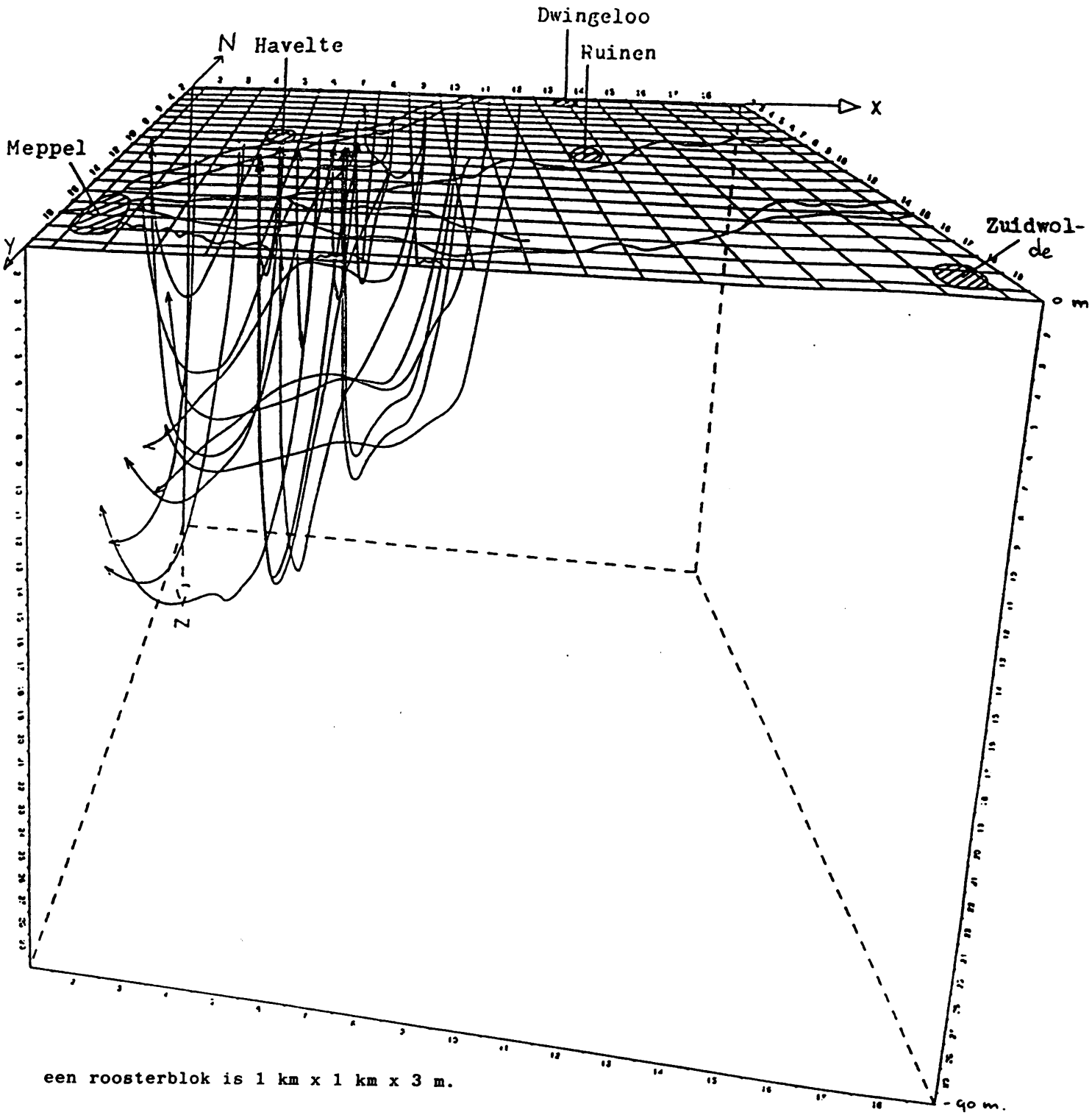


Fig. 16. Het systeem van Zuidwolde.

DRENTSE HOOFDVAART EN OUDE VAART



een roosterblok is 1 km x 1 km x 3 m.

Fig. 17 . Infiltratie van de Drentse Hoofdvaart en de Oude Vaart.

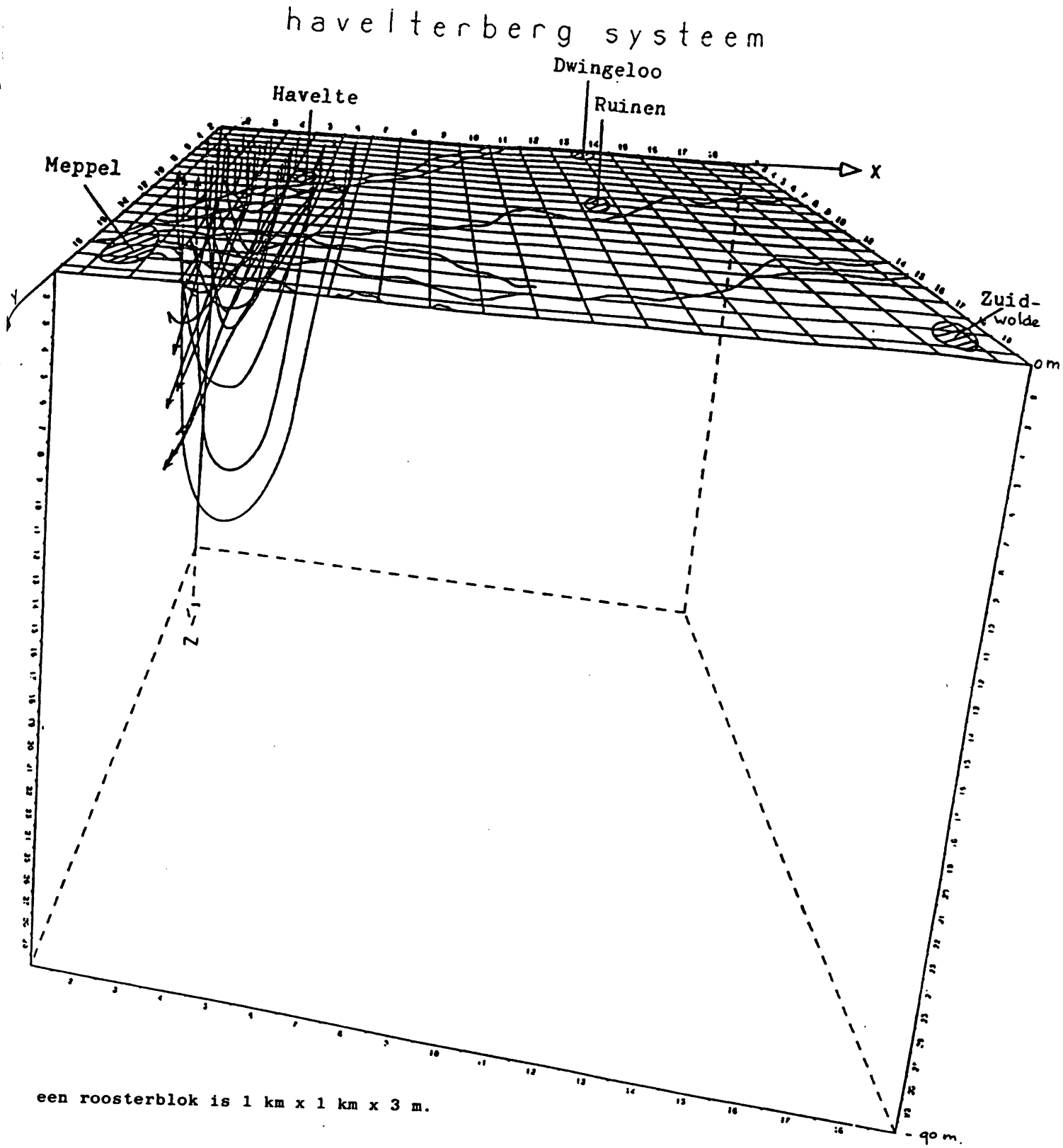


Fig. 18. Het Havelterberg systeem.

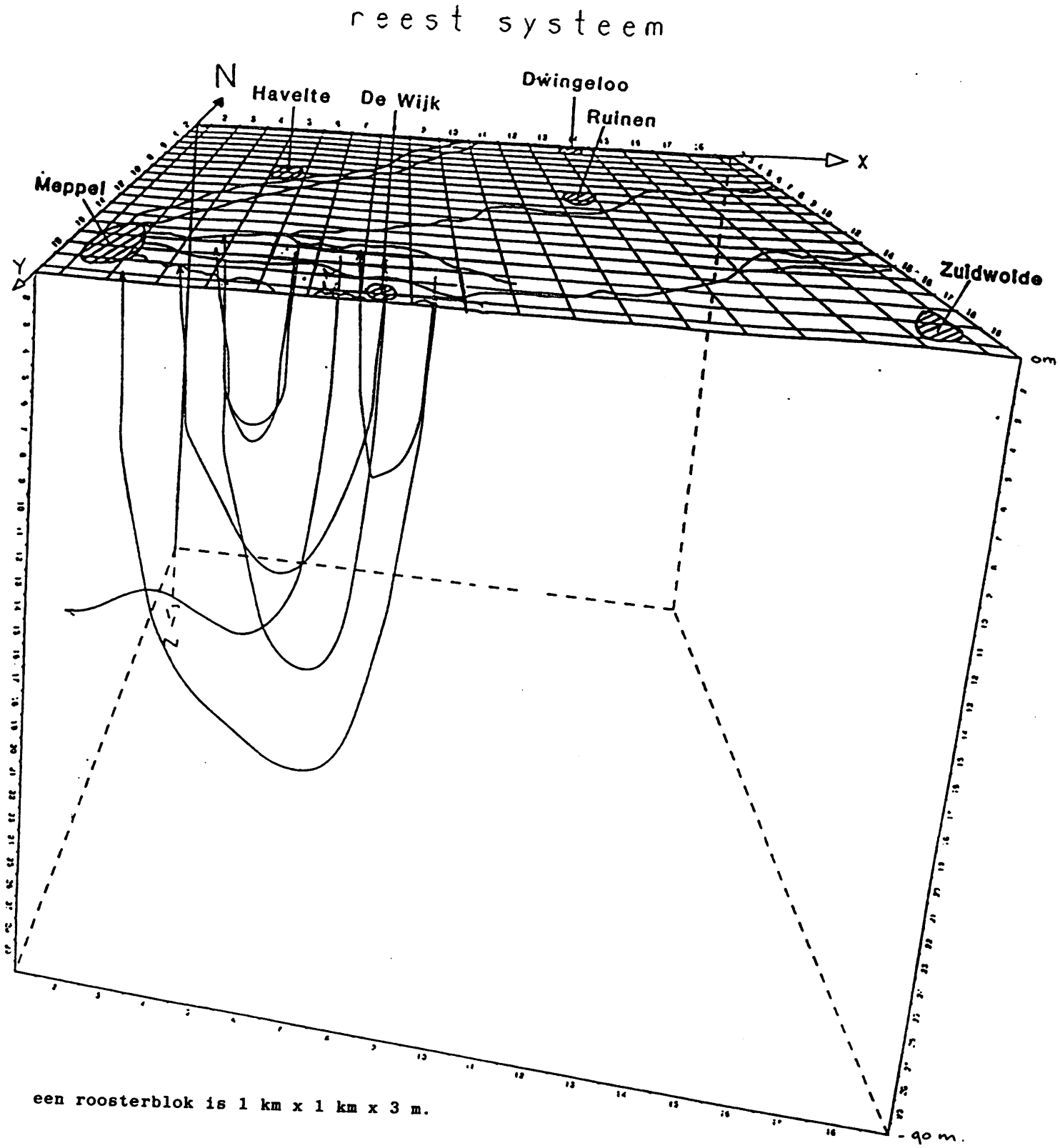


Fig. 19. Het Reest systeem.

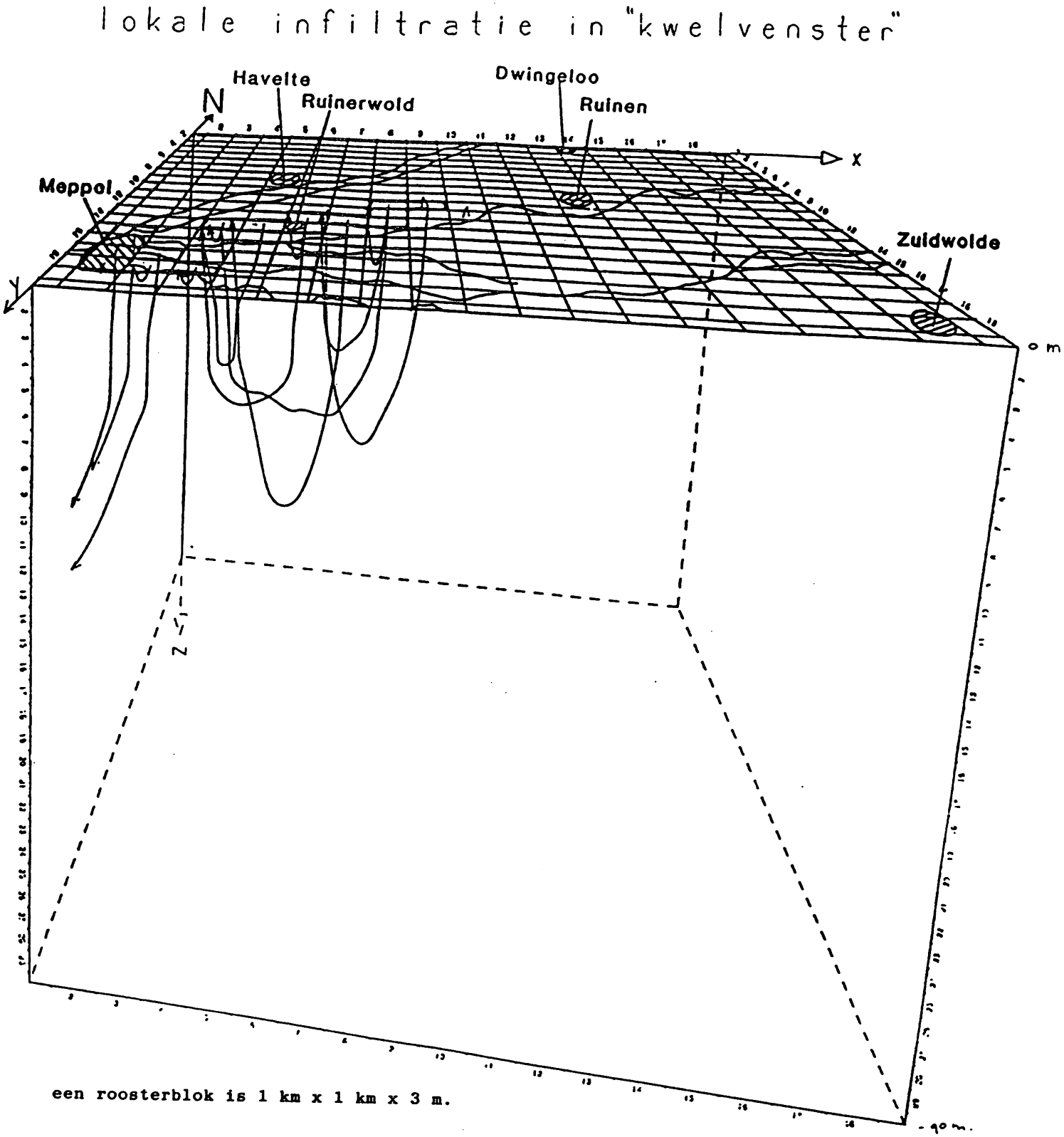


Fig. 20. Stroomlijnen van lokale systemen gesuperponeerd op het kwelvenster van het Centraal Plateau systeem.

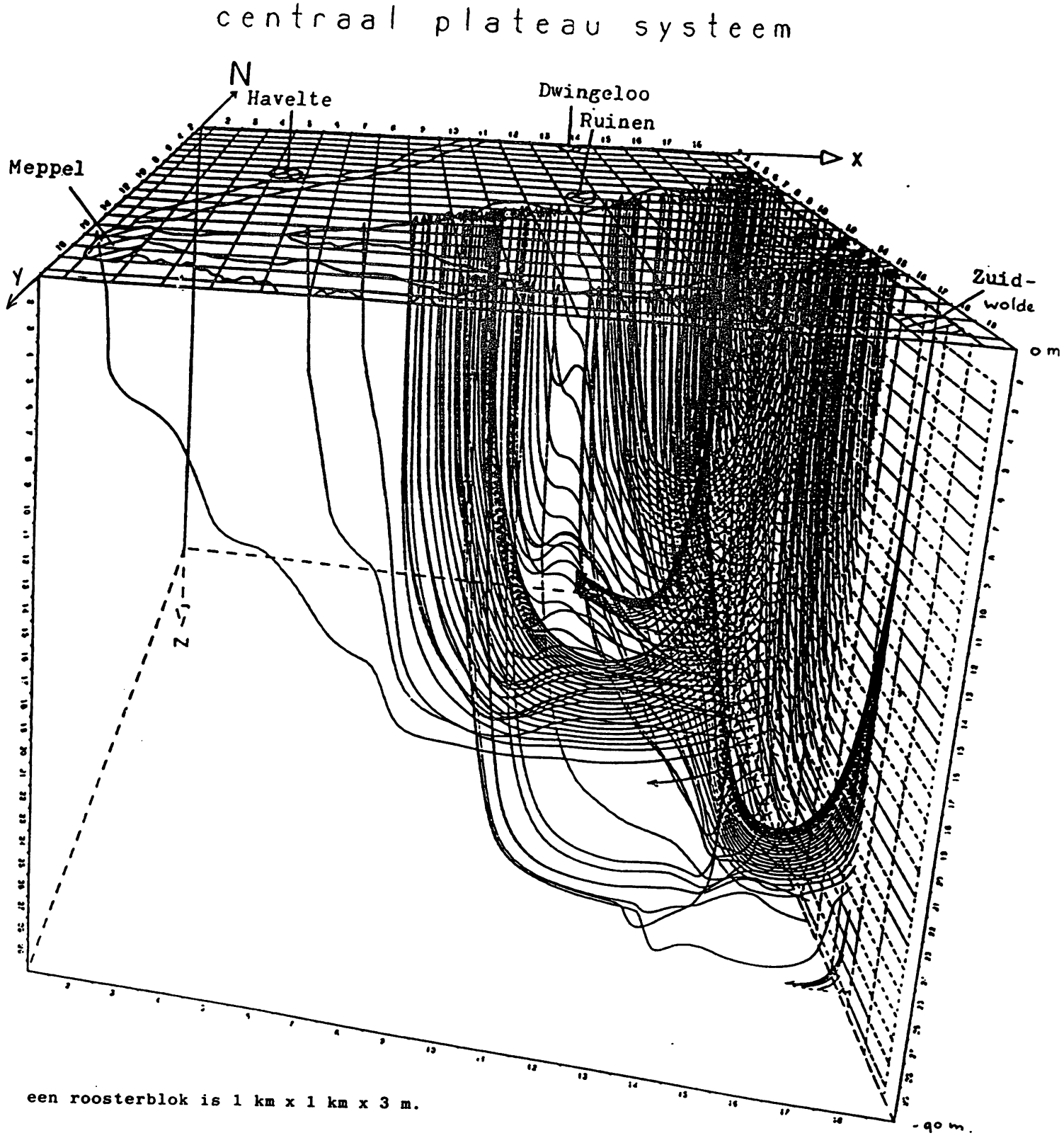
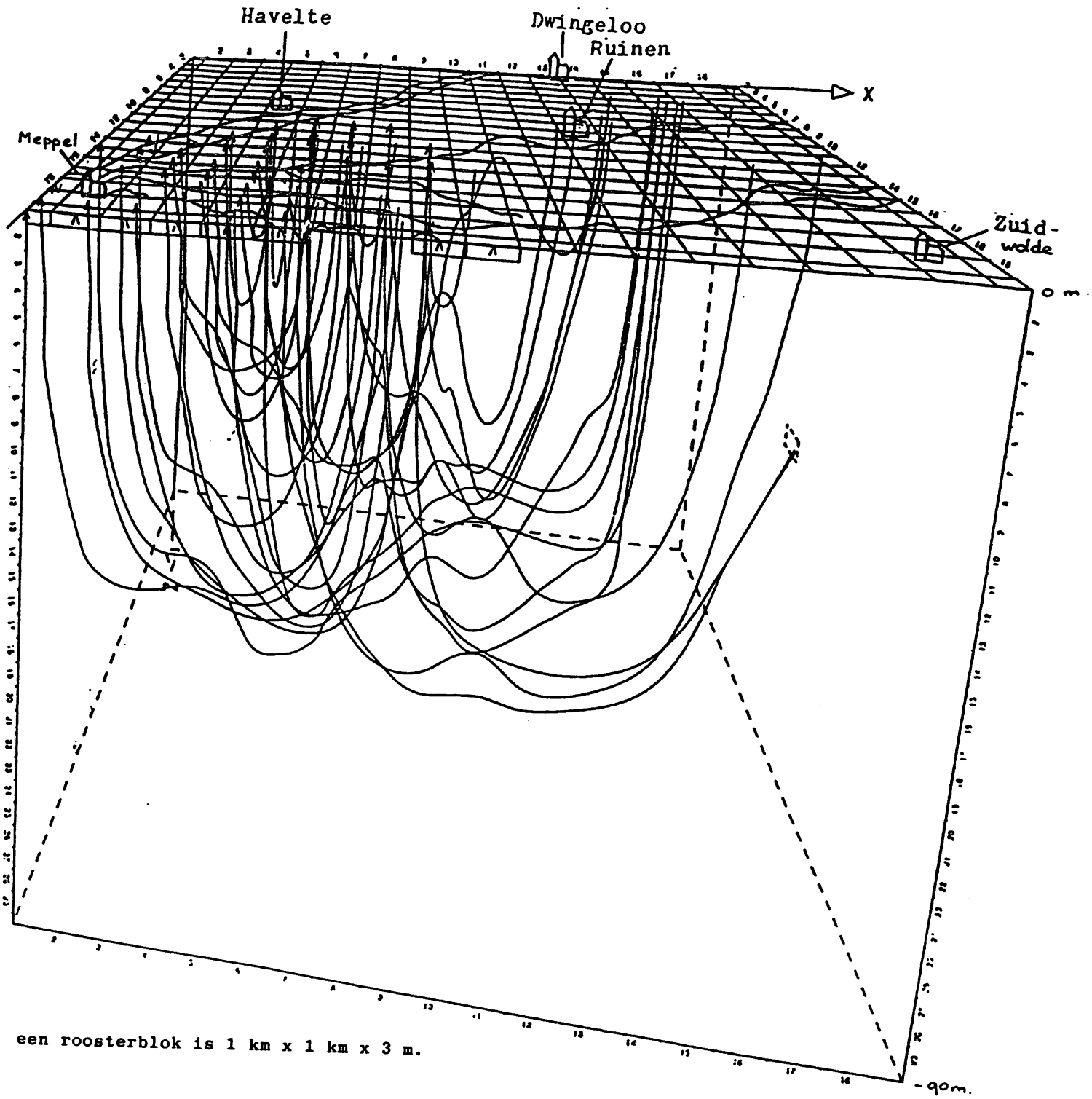


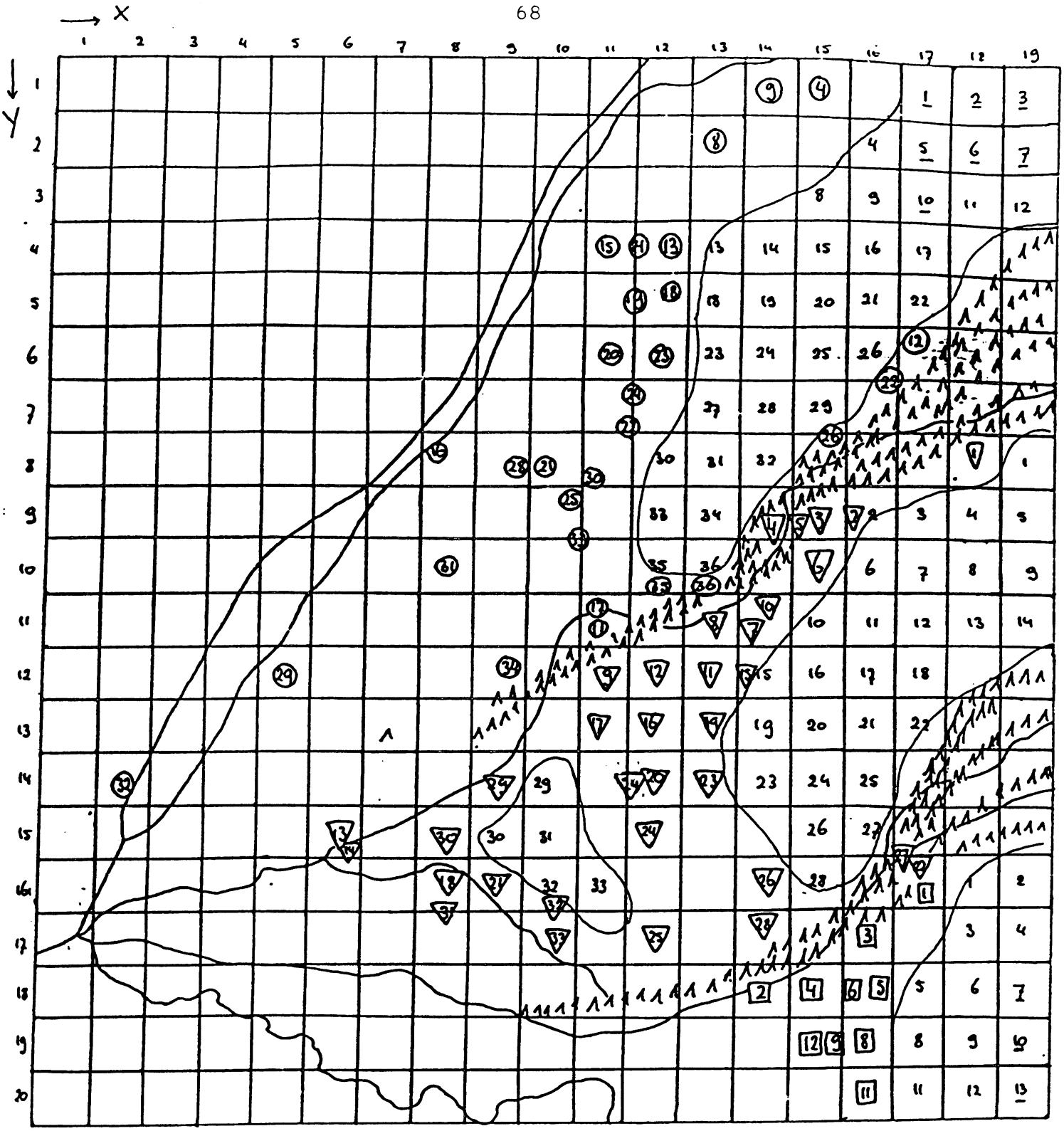
Fig. 21. Stroomlijnen vanuit het oostelijk grensvlak.

"kwelvenster"



een roosterblok is 1 km x 1 km x 3 m.

Fig. 22. Stroomlijnen eindigend in het oorspronkelijke kwelvenster achterwaarts teruggerekend naar hun punt van infiltratie.



schaal 1:100.000

(29) eindpunt stroomlijn van Dwingeloose Heide systeem

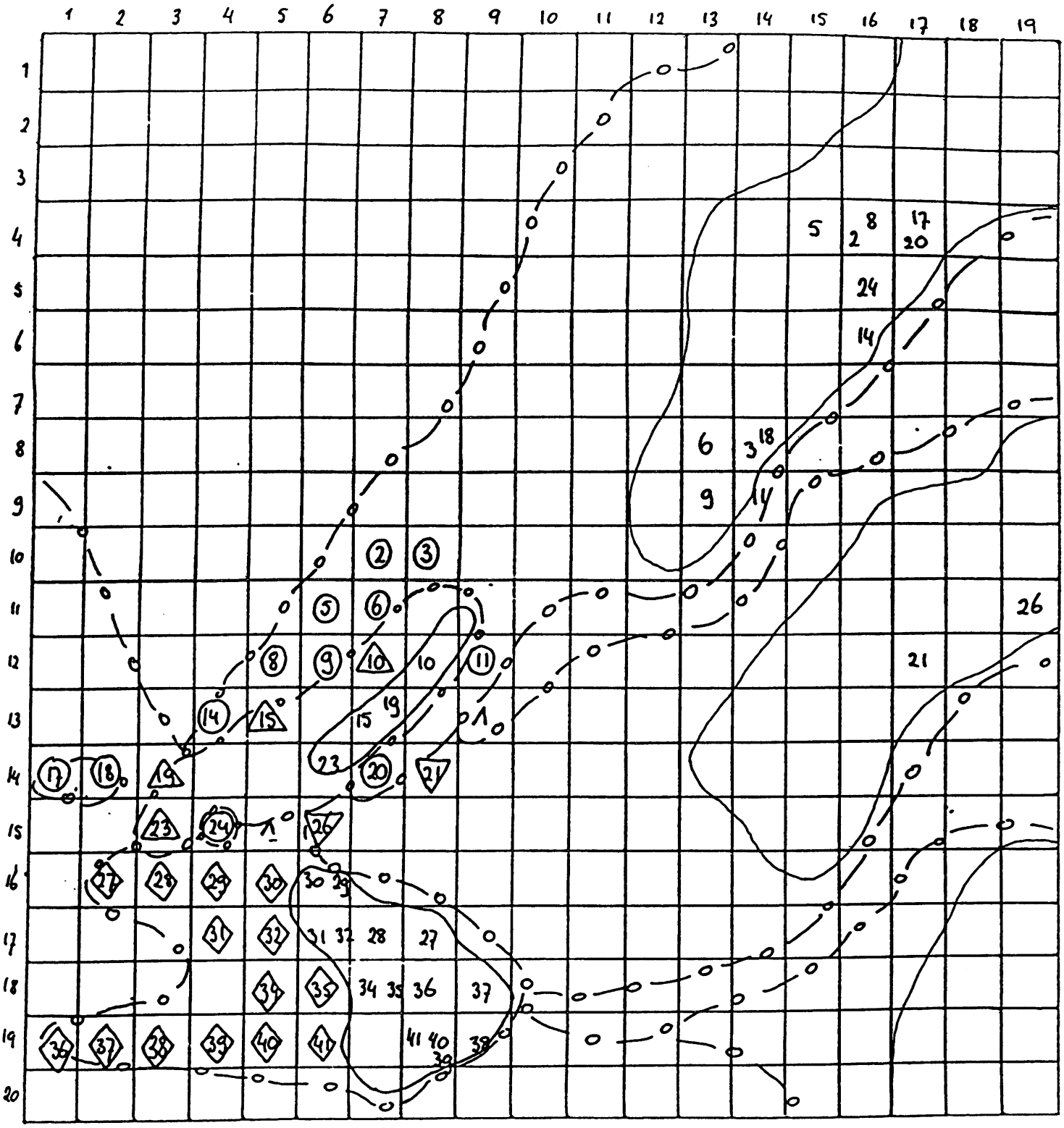
▽13 eindpunt stroomlijn van Echternerveld systeem

[12] eindpunt stroomlijn van systeem van Zuidwolde

∧ eindpunt stroomlijn van Centraal Plateau systeem

infiltratie gebied

Fig. 23. Begin- en eindpunten van de stroomlijnen van het Dwingeloose Heide systeem, het Echtenerveld systeem en het systeem van Zuidwolde, en eindpunten van stroomlijnen vanaf het oostelijk grensvlak.



schaal 1:100.000

(9) eindpunt stroomlijn van Dwingeloose Heide systeem

▽ eindpunt stroomlijn van Echtenerveld systeem

△ eindpunt stroomlijn van systeem van Ruinerwold

◇ eindpunt stroomlijn van Reest systeem

∧ eindpunt stroomlijn van Centraal Plateau systeem

o–o–o systeemgrens

infiltratratie gebied

Fig. 24. Eindpunten van de stroomlijnen in het "kwelvenster" en hun infiltratie punten.

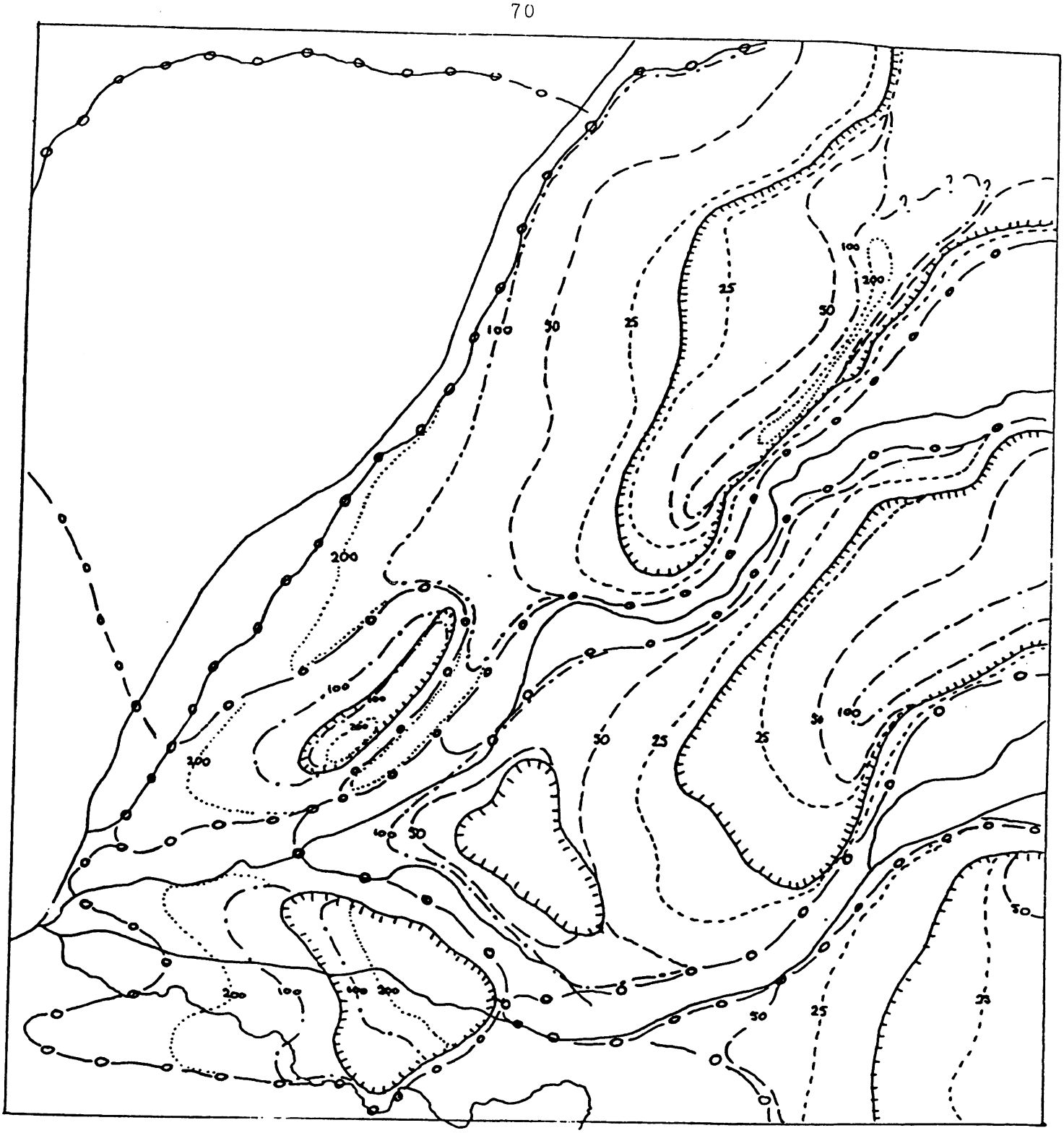
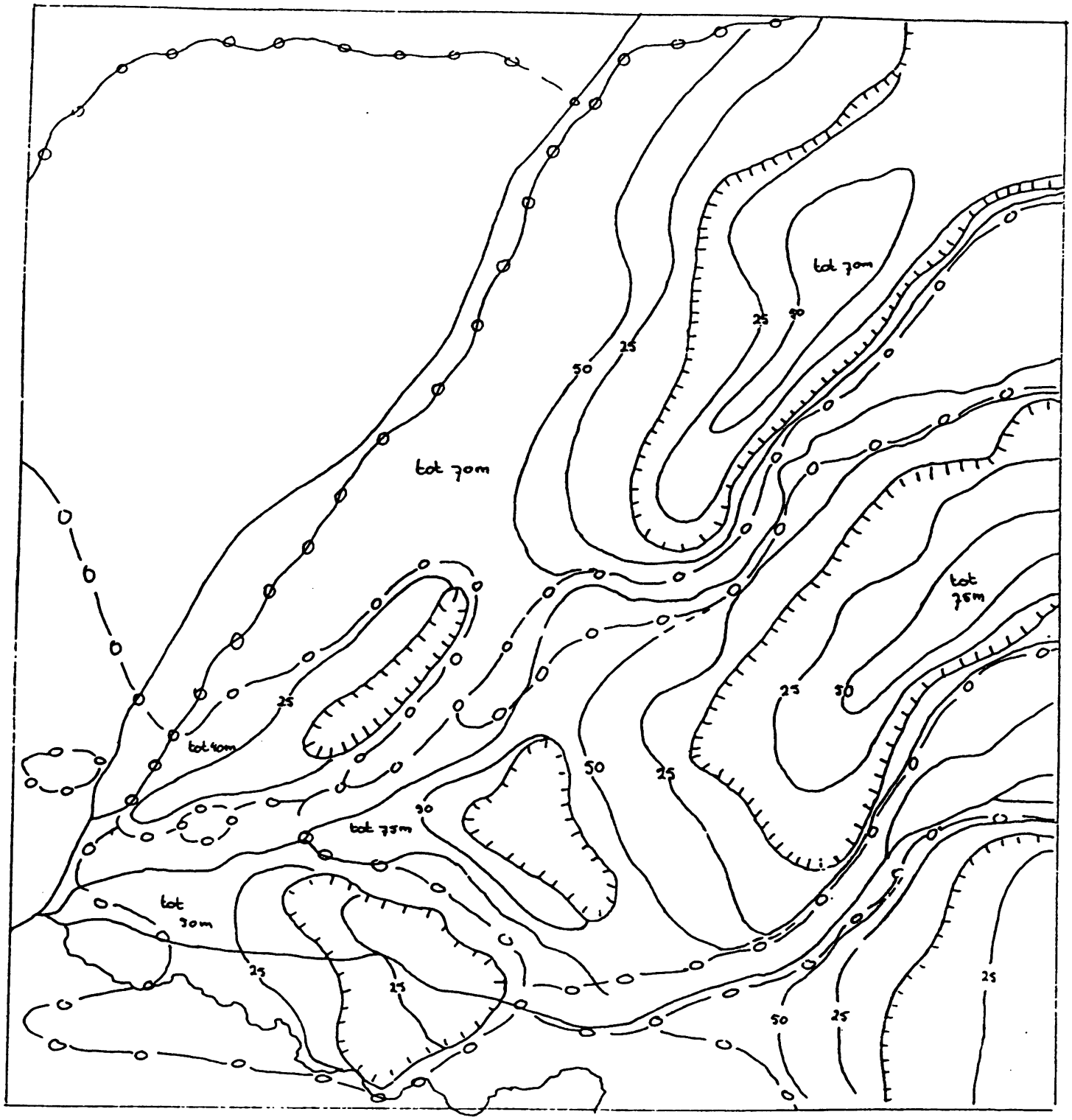


Fig. 25. Verblijftijdzones afgeleid uit de door FLOSA-FD berekende verblijftijd per stroomlijn en herkomstzones van deze stroomlijnen in de infiltratie gebieden.



schaal 1:100.000

infiltratie gebied

25 max. bereikte diepte van de stroomlijnen in m.

systeemgrens

Fig. 26. Zones van maximaal bereikte diepte, afgeleid uit door FLOSA-FD per stroomlijn berekende maximale diepte.

schaal 1:100.000

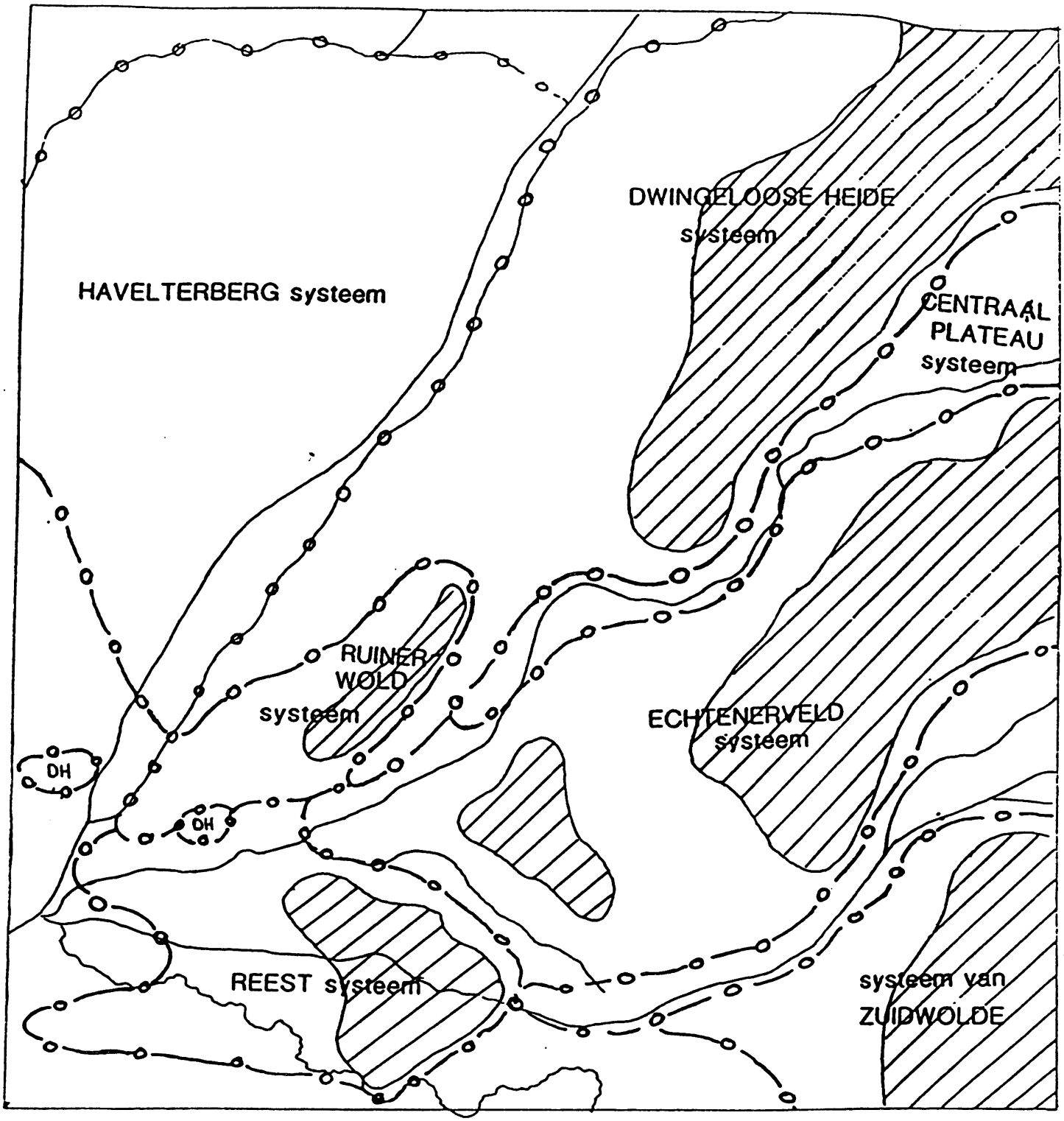
infiltratie gebied

max. verblijftijd 25 jaar

systeemgrens

verbindingslijn infiltratie en kwelpunt per stroomlijn

Fig. 27. Stromingsrichtingen in het Dwingeloose Heide systeem en het Echtenerveld systeem.



schaal 1:100.000

systeemgrens

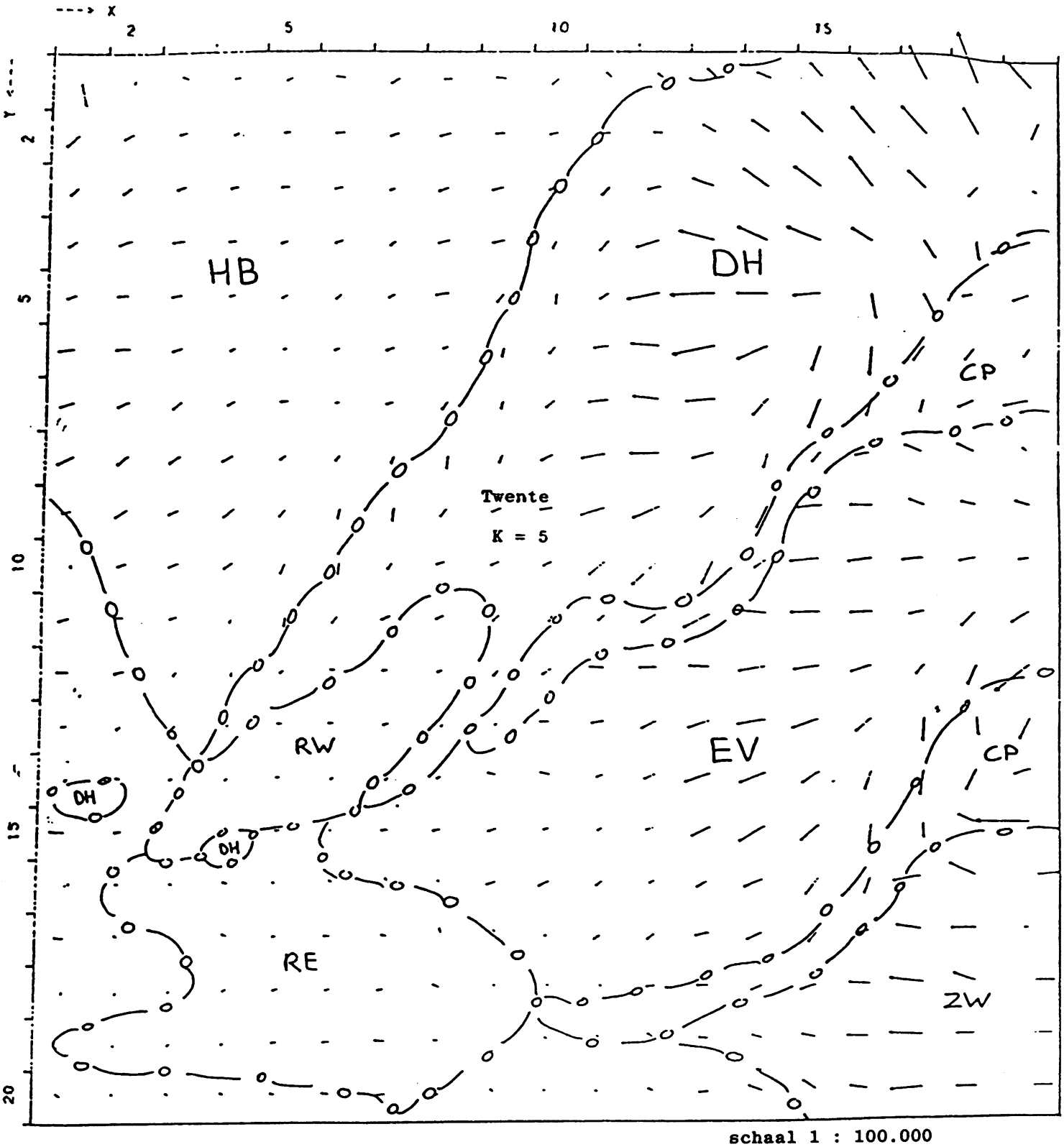
infiltratie gebied

kwelvenster Dwingeloose Heide systeem

Fig. 28. Syteemgrenzen aangepast m.b.v. FLOSA-FD.

AREAL SECTION X-Y . K= 0

0 m. NAP



schaal 1 : 100.000

⟶ = 0.04000 M/DAY (Effective velocity)

o—o—o systeemgrens

HB = Havelterberg systeem, DH = Dwingeloose Heide systeem, EV = Echternerveld systeem, ZW = systeem van zuidwolde, RW = systeem van Ruinerwold, RE = Reest systeem.

Fig. 29a. Horizontale projektie van de stroomsnelheidsvektoren.in het bovenvlak.

AREAL SECTION X-Y . K= 2

-4.5 m. NAP

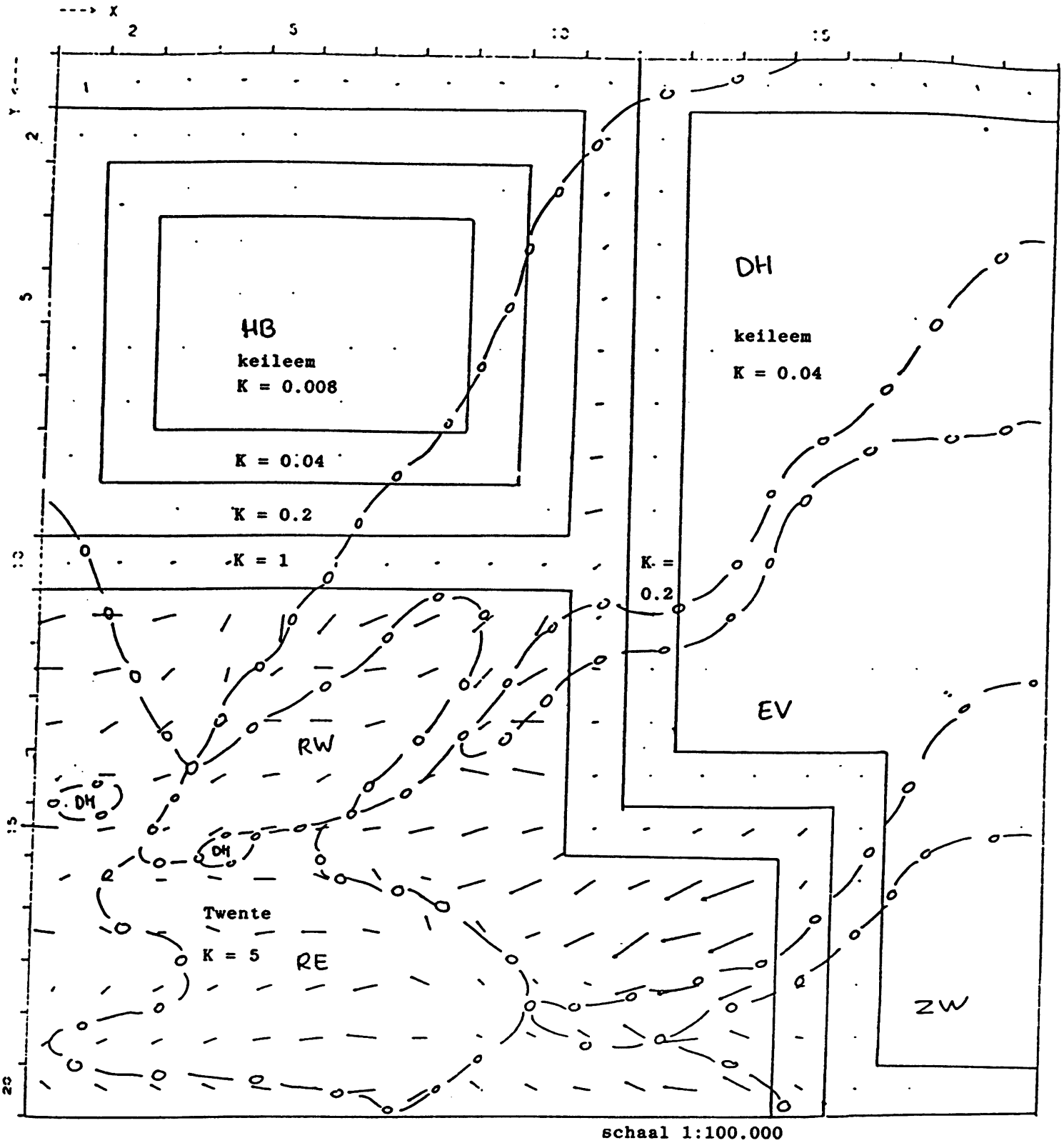
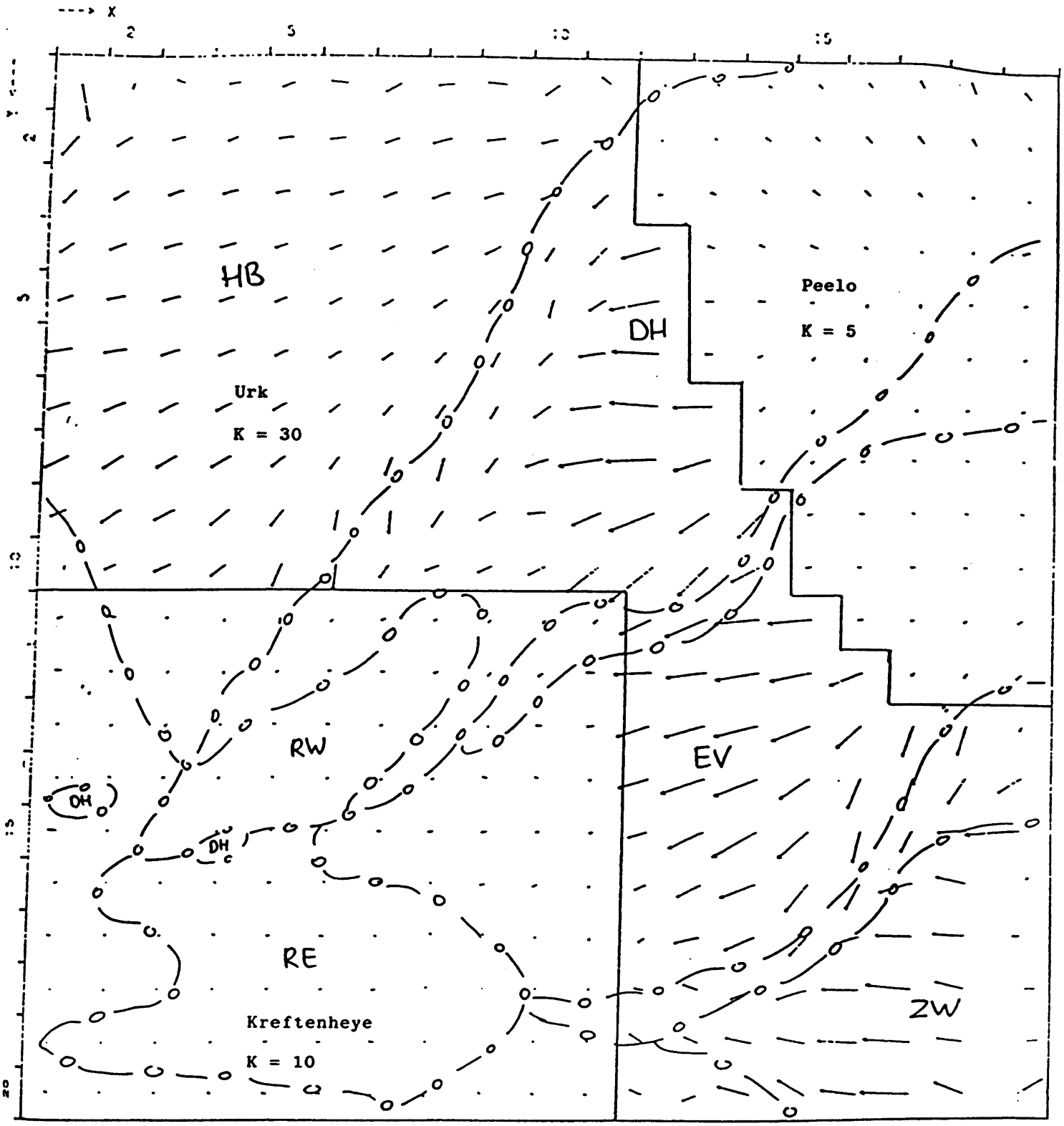


Fig. 29b. Horizontale projektie van de stroomsnelheidsvektoren op 4.5 m diepte.

AREAL SECTION X-Y . K= 4

-10.5 m. NAP



schaal 1:100.000

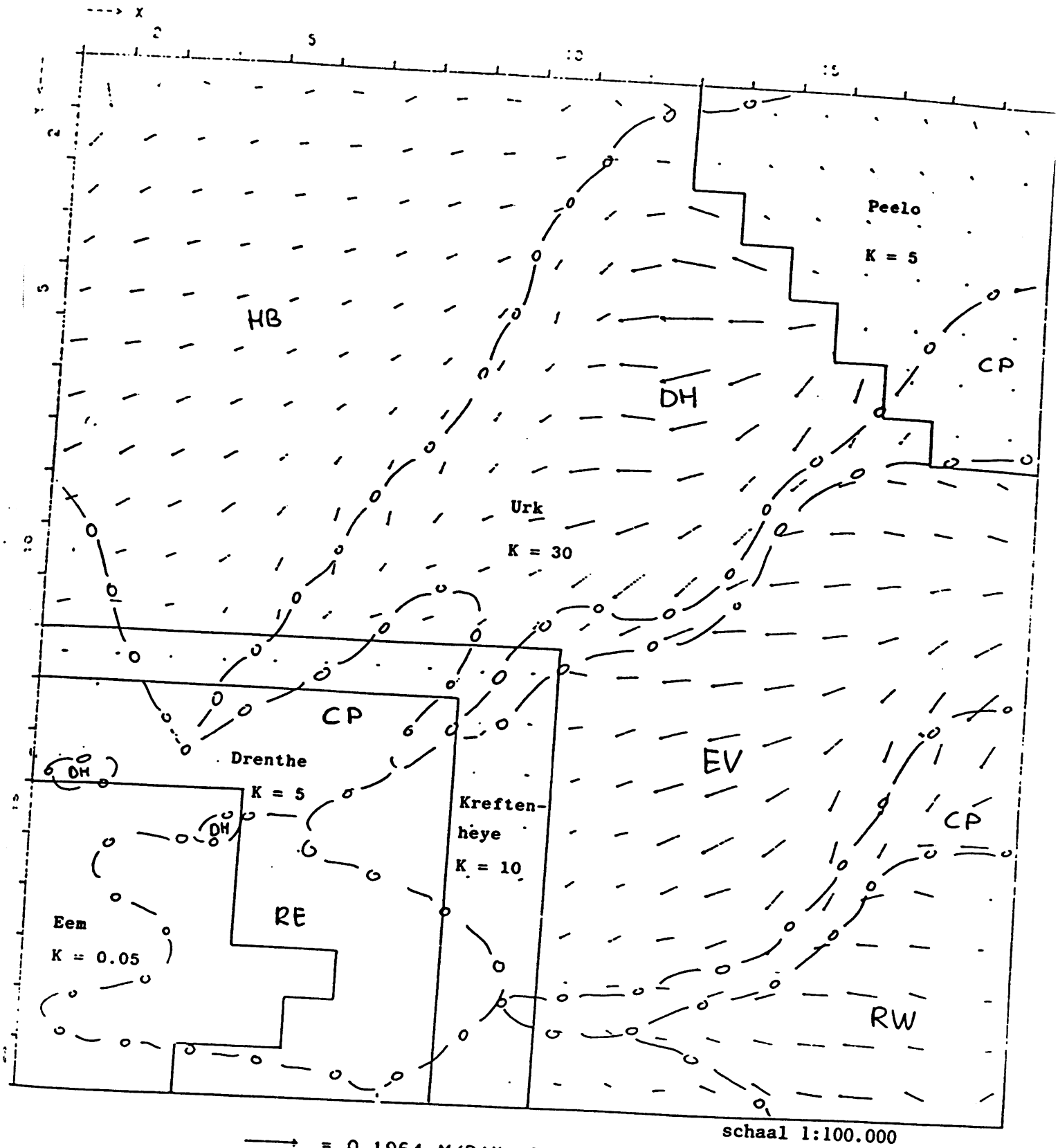
⟶ = 0.1416 M/DAY (Effective velocity)

o – o – o systeemgrens

Fig. 29c. Horizontale projektie van de stroomsnelheidsvektoren op 10.5 m diepte.

AREAL SECTION X-Y . K= 6

-16.5 m. NAP



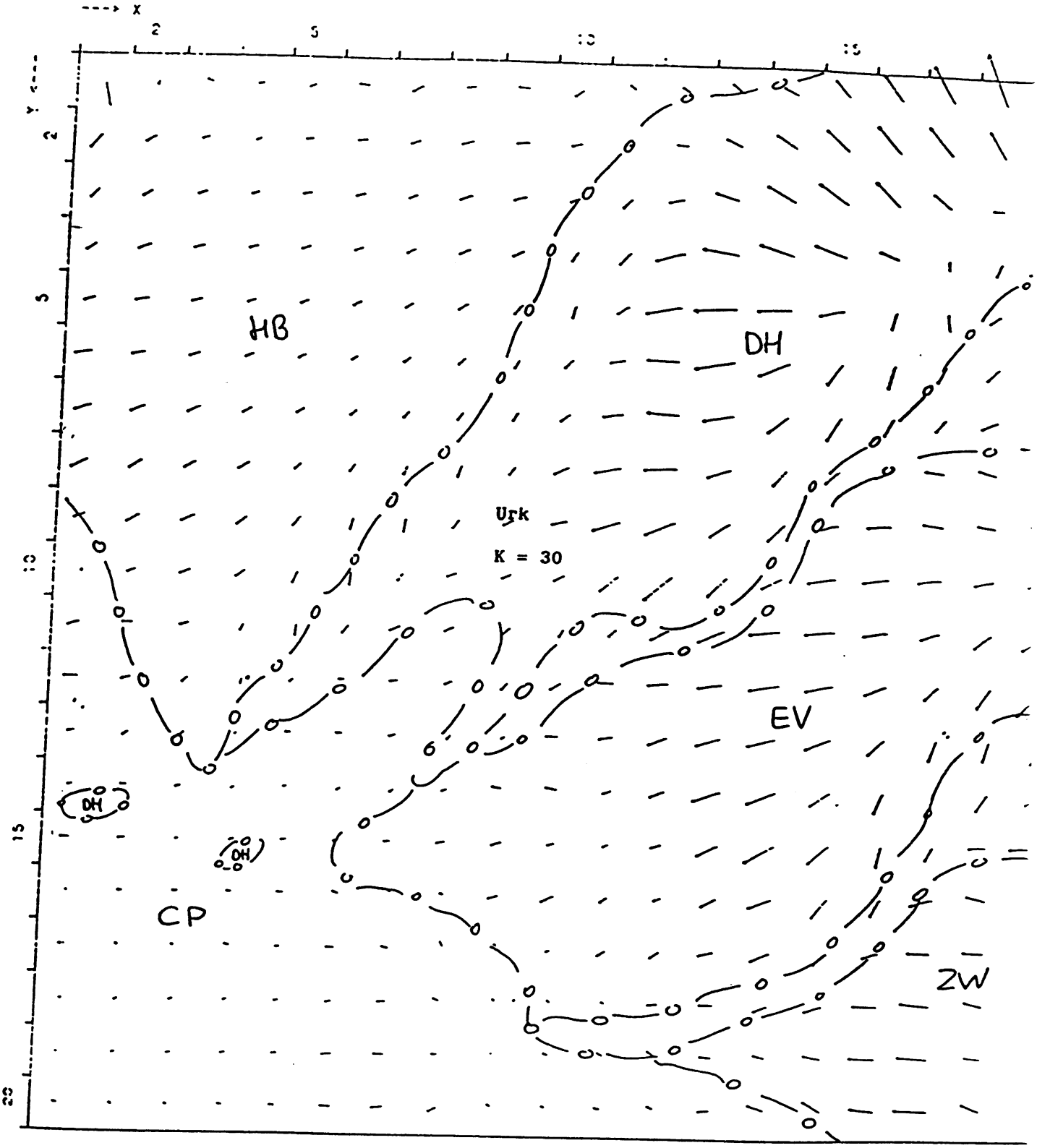
⟶ = 0.1964 M/DAY (Effective velocity)

o — o — o systeemgrens

Fig. 29d. Horizontale projekties van de stroomsnelheidsvektoren op 16.5 m diepte.

AREAL SECTION X-Y . K= 8

- 22.5 m. NAP



schaal 1:100.000

⟶ = 0.2118 M/DAY (Effective velocity)

o—o—o systeemgrens

Fig. 29e. Horizontale projekties van de stroomsnelheidsvektoren op 22.5 m diepte.

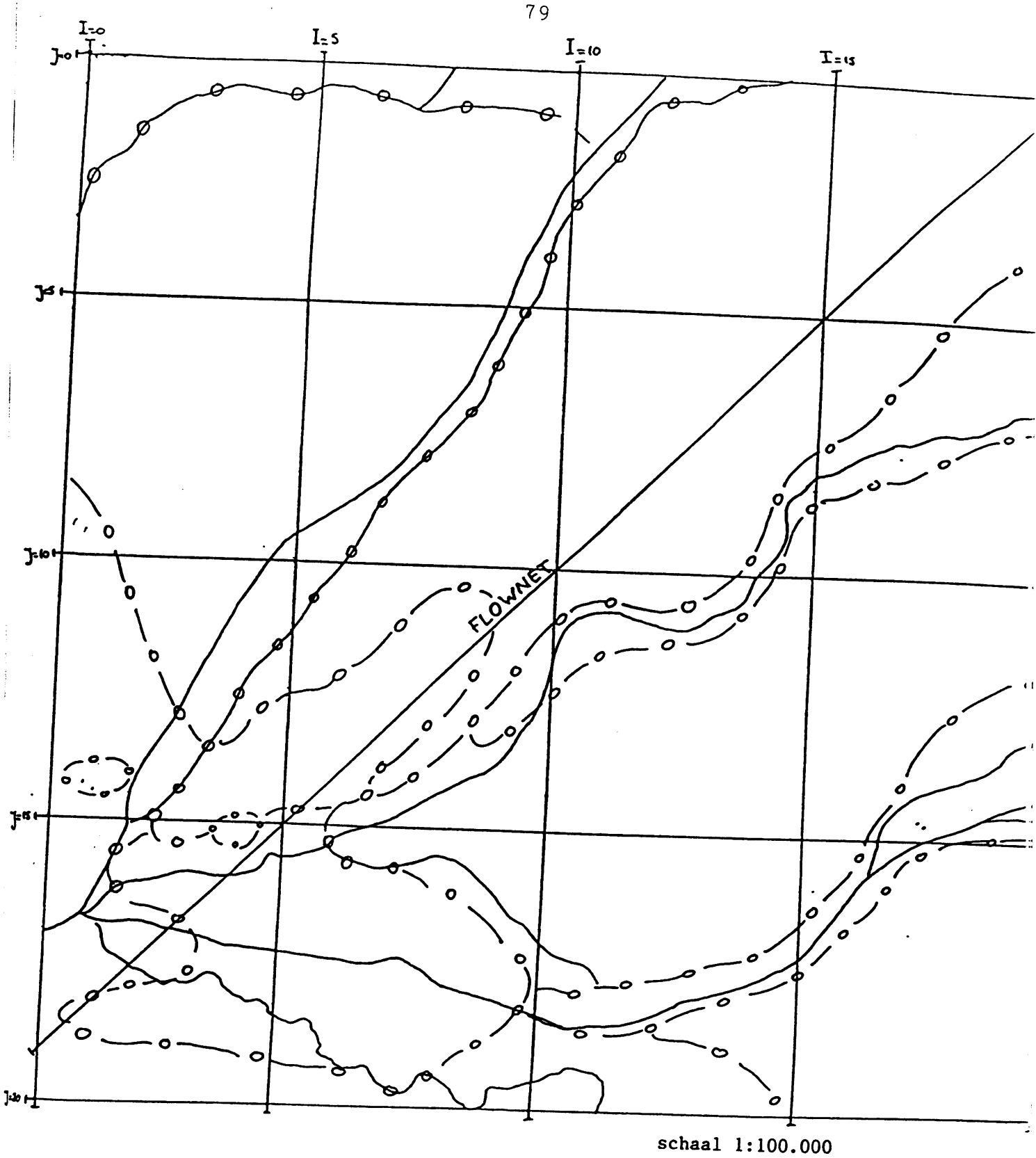
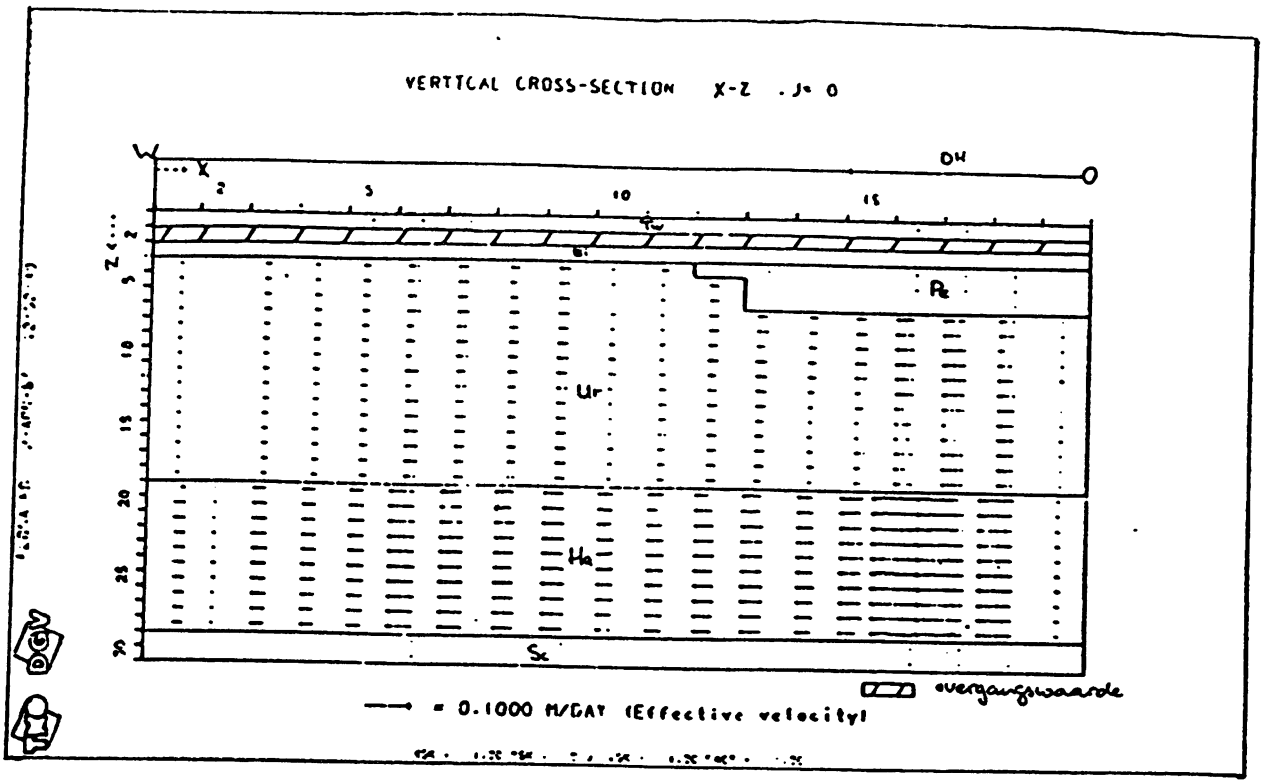
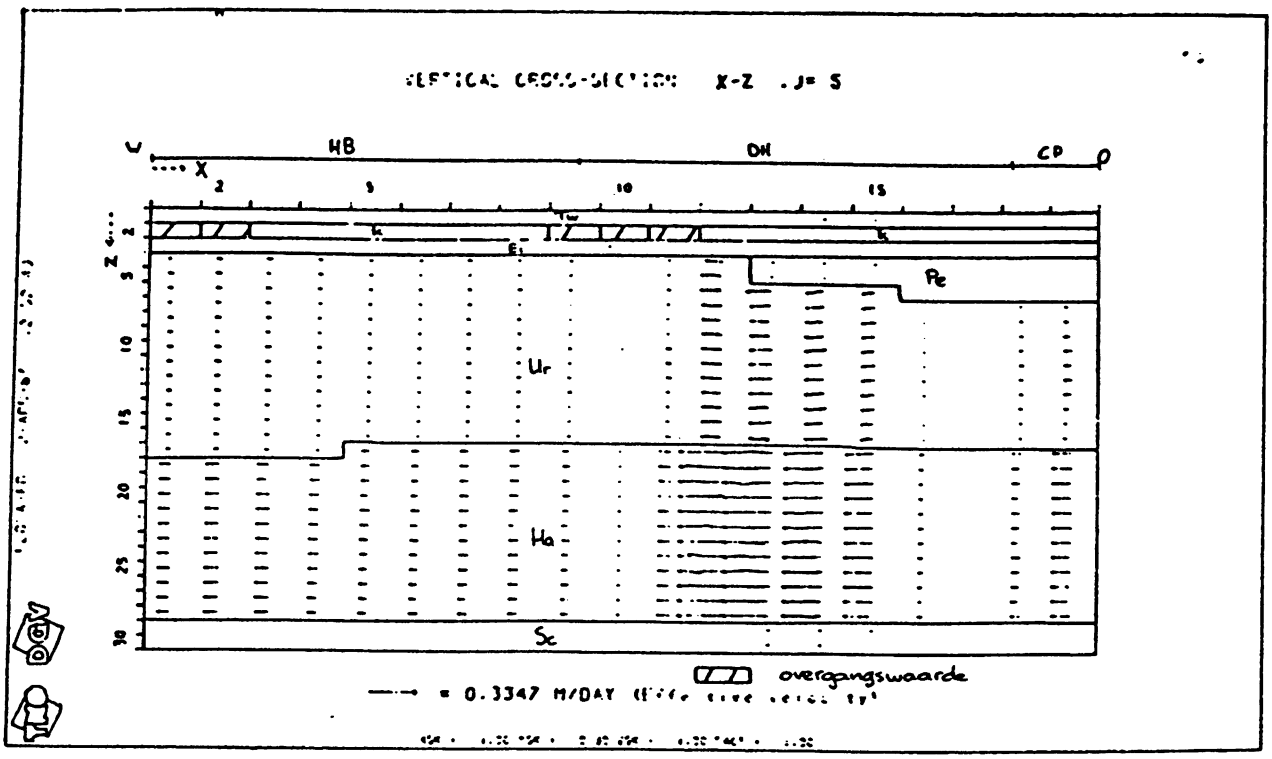


Fig. 30. Profielen waarvoor de stroomsnelheidscomponenten zijn berekend en getekend. Profiel dat met FLOWNET is doorgerekend.



Tw = formatie van Twente, Ei = formatie van Eindhoven, Pe = formatie van Peelo, Ur = formatie van Urk, Ha = formatie van Harderwijk, Sc = formatie van Scheemda.

Fig. 31a. West-oost profiel door het stroomsnelheidsveld. Noordvlak.



k = keileem

Fig. 31b. West-oost profiel door het stroomsnelheidsveld. J = 5.

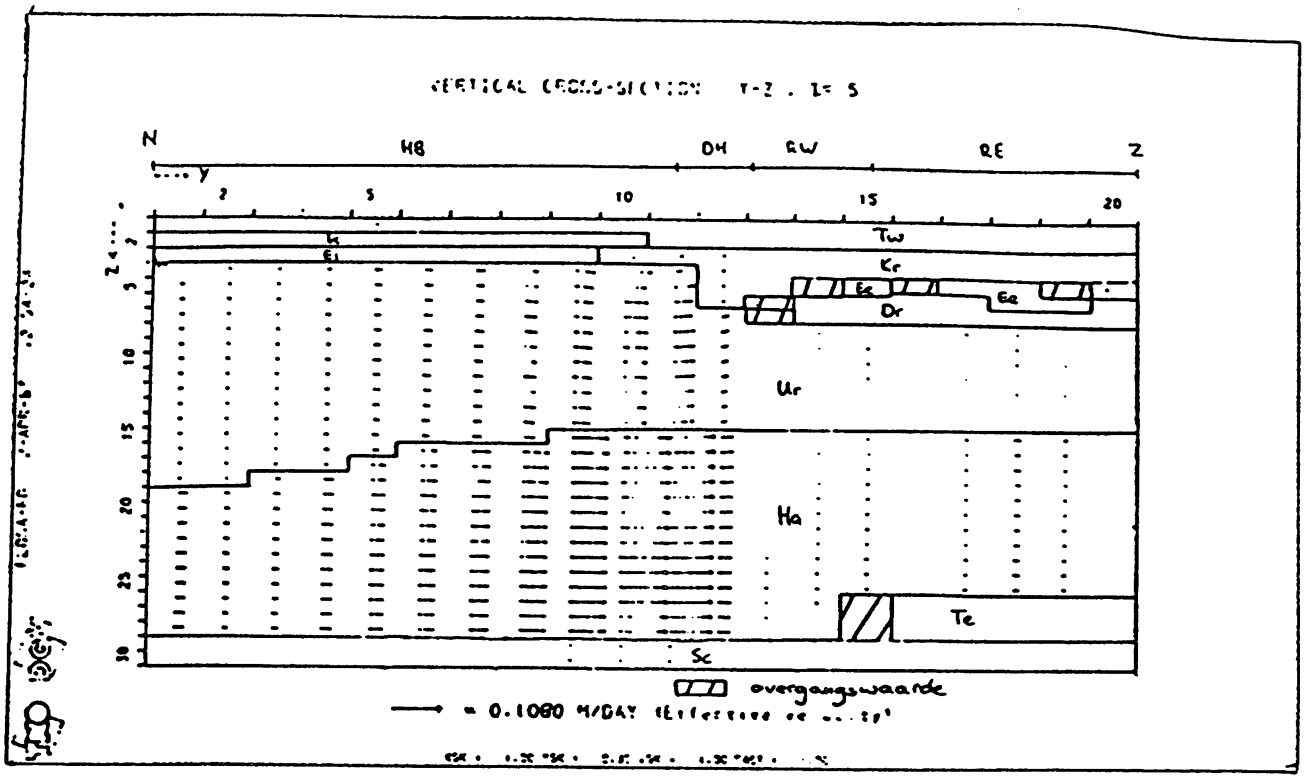


Fig. 32b. Noord-zuid profiel door het stroomsnelheidsveld. I = 5

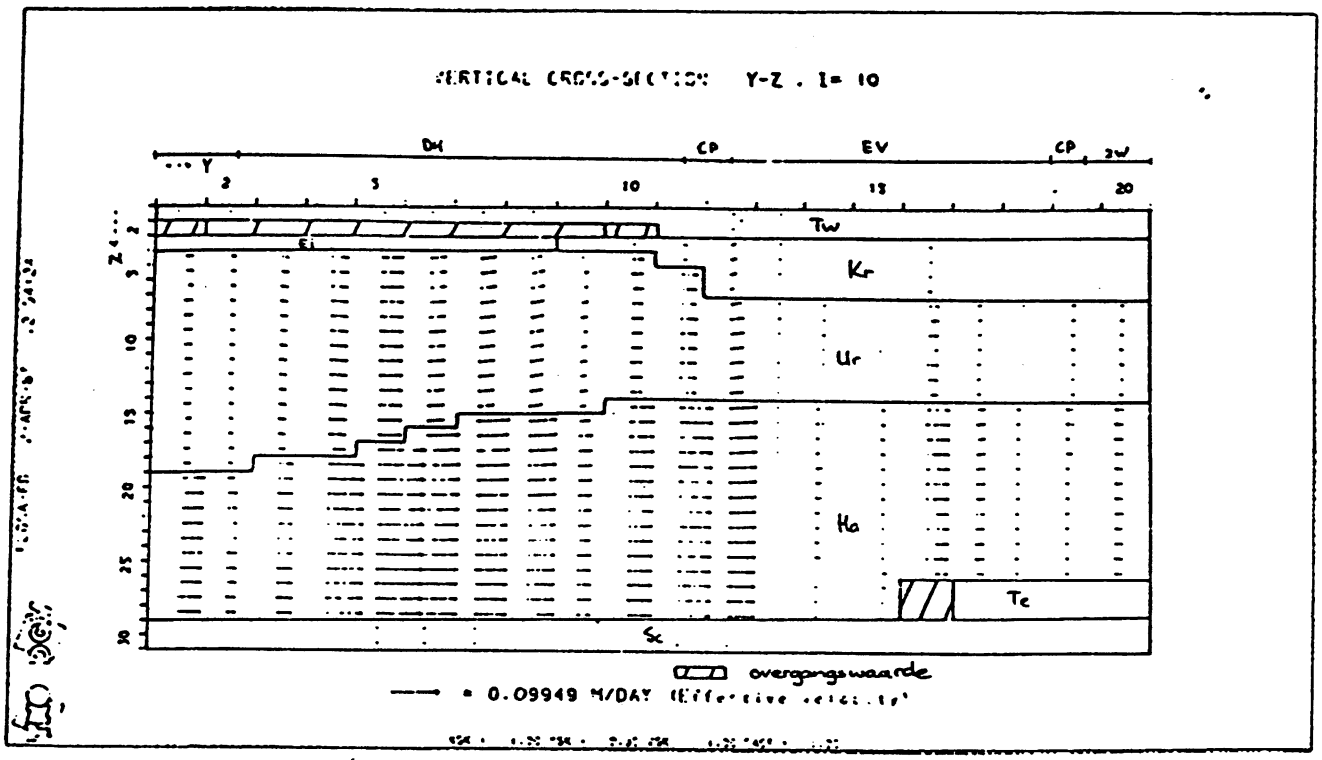


Fig. 32c. Noord-zuid profiel door het stroomsnelheidsveld. I = 10.

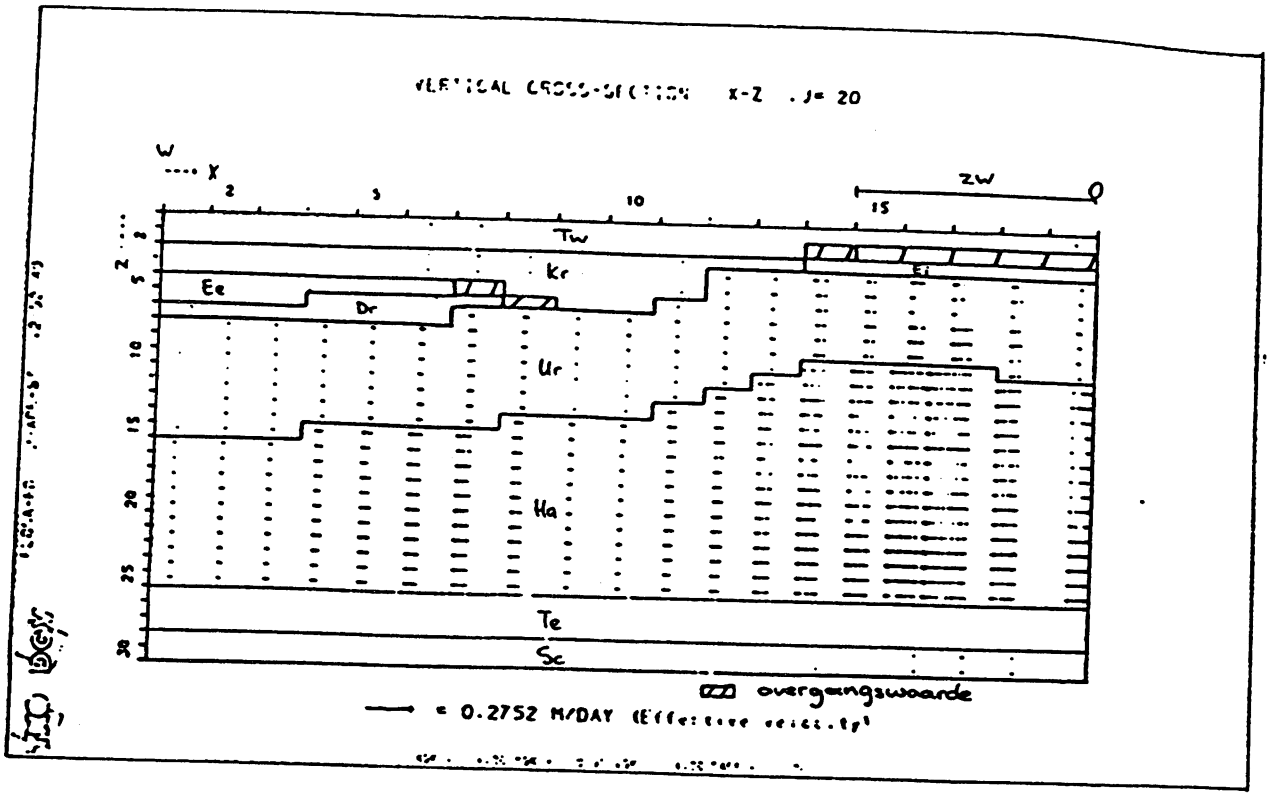


Fig. 31e. West-oost profiel door het stroomsnelheidsveld. Zuidvlak.

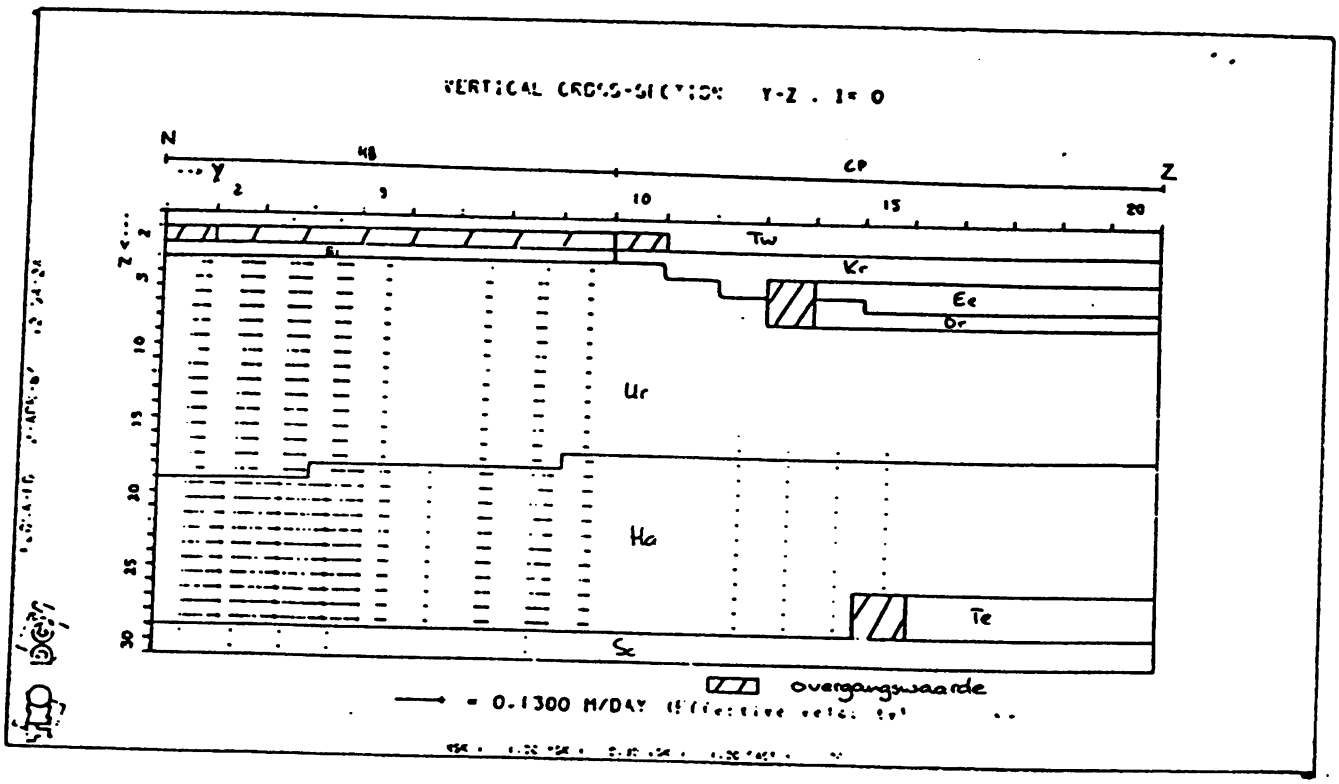
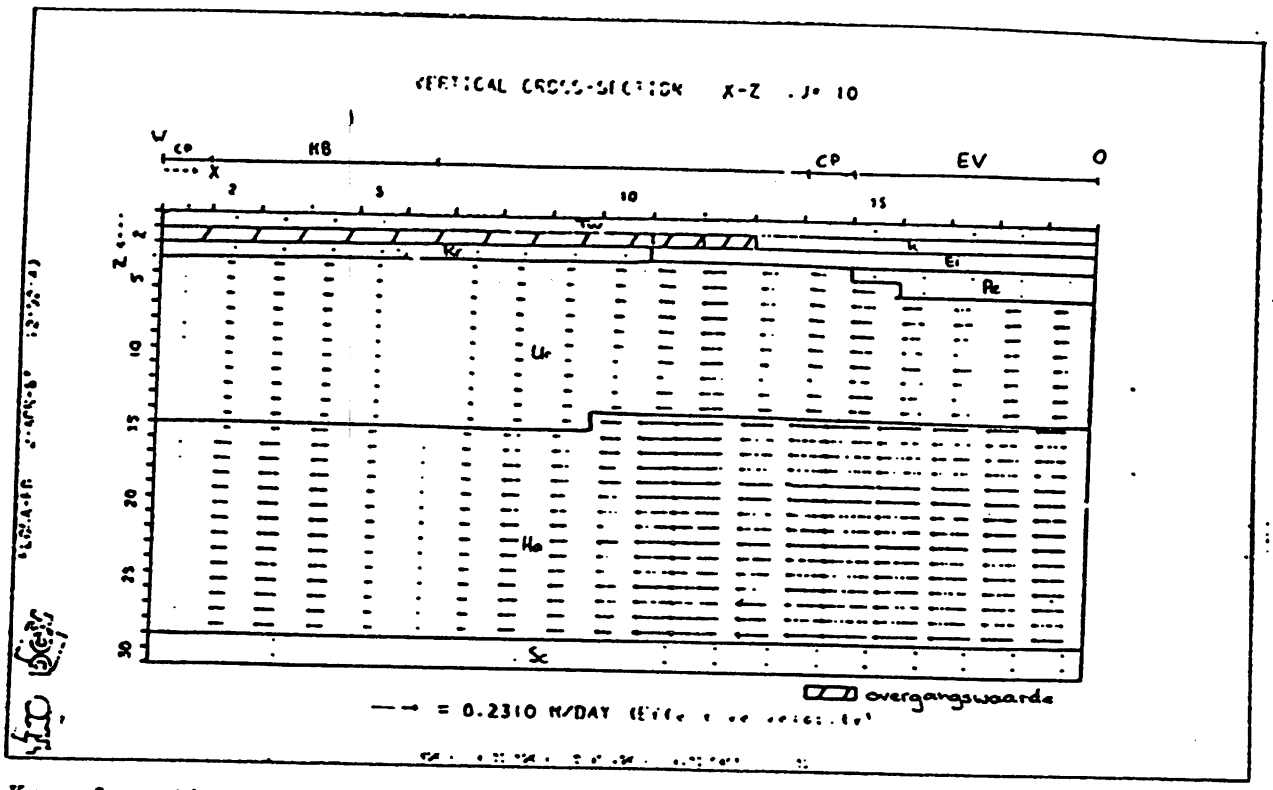
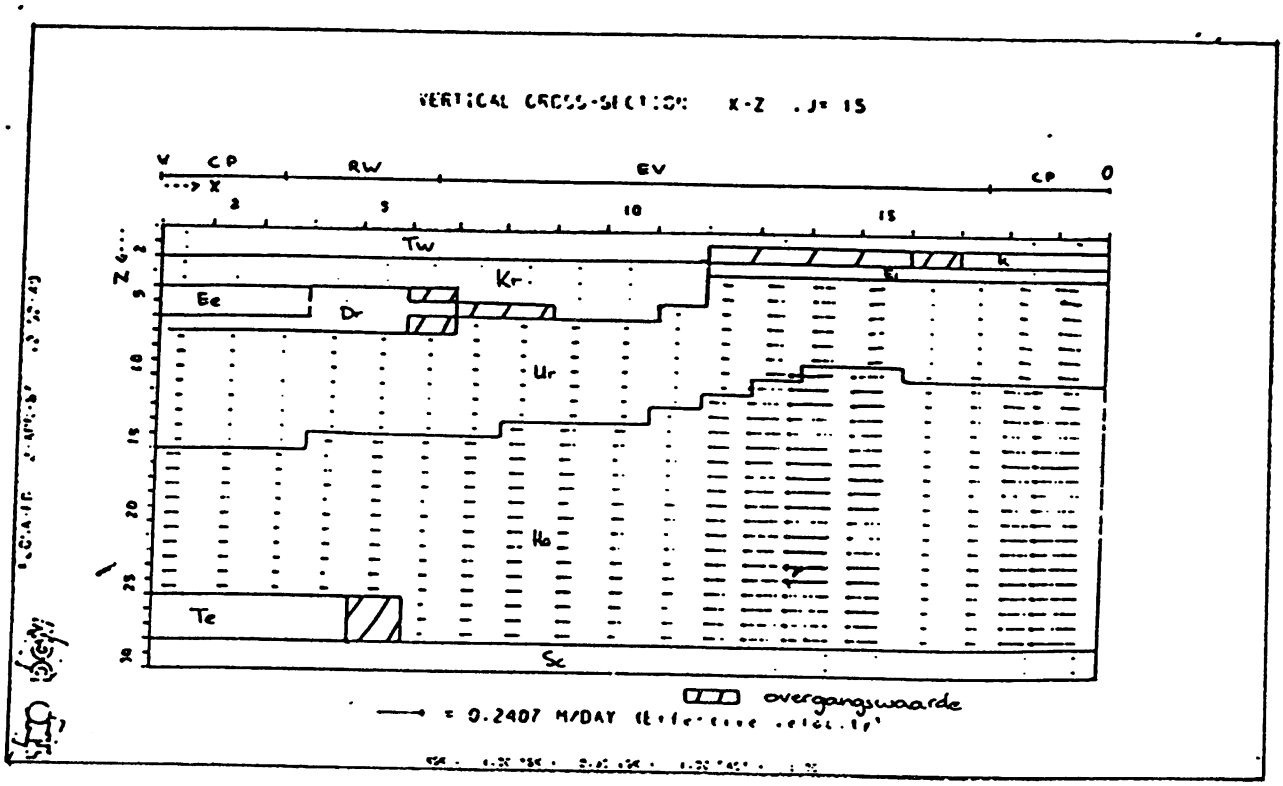


Fig. 32a. Noord-zuid profiel door het stroomsnelheidsveld. Westvlak.



Kr = formatie van Kreftenheye.

Fig. 31c. West-oost profiel door het stroomsnelheidsveld. J = 10.



Ee = Eemklei, Dr = formatie van Drenthe, Te = Tegelenklei.

Fig. 31d. West-oost profiel door het stroomsnelheidsveld. J = 15.

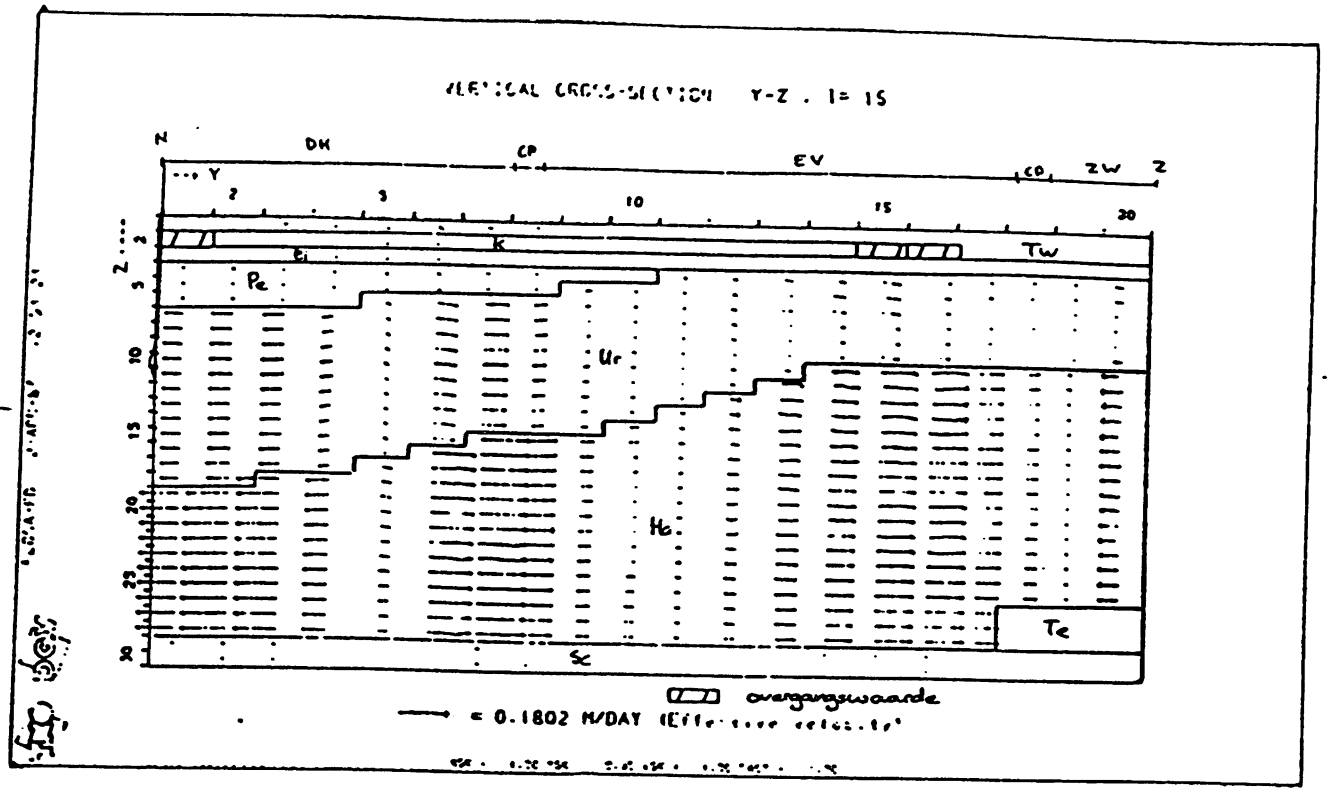


Fig. 32d. Noord-zuid profiel door het stroomsnelheidsveld. I = 15.

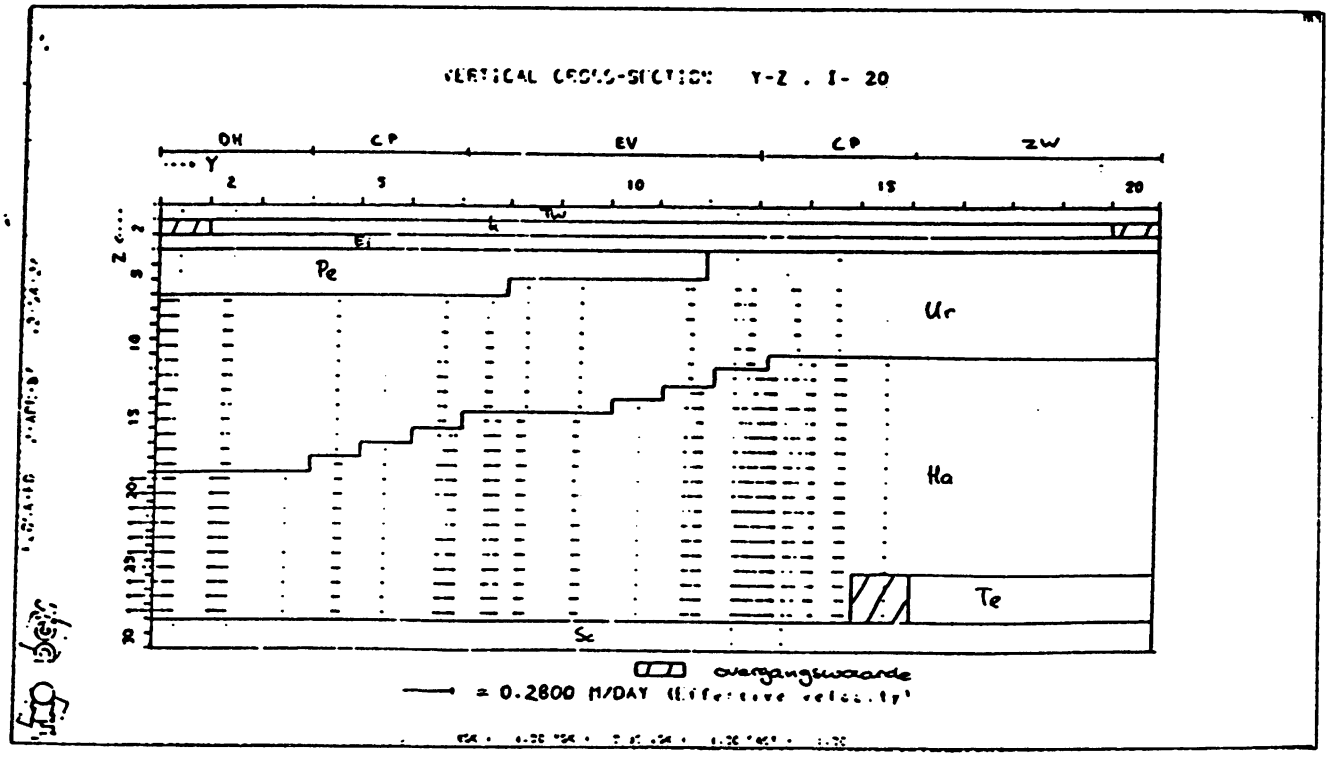


Fig. 32e. Noord-zuid profiel door het stroomsnelheidsveld. Oostvlak.

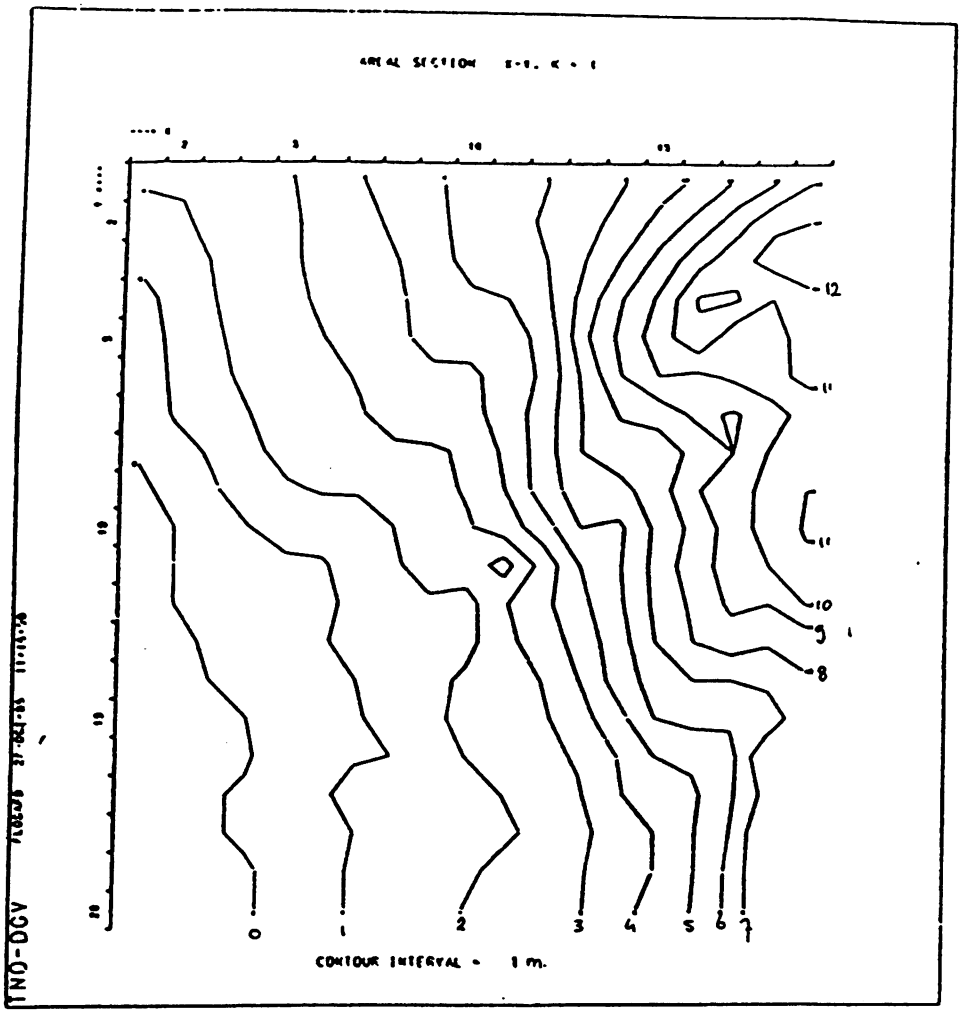


Fig. 33 a. Isohypsen van laag 1.

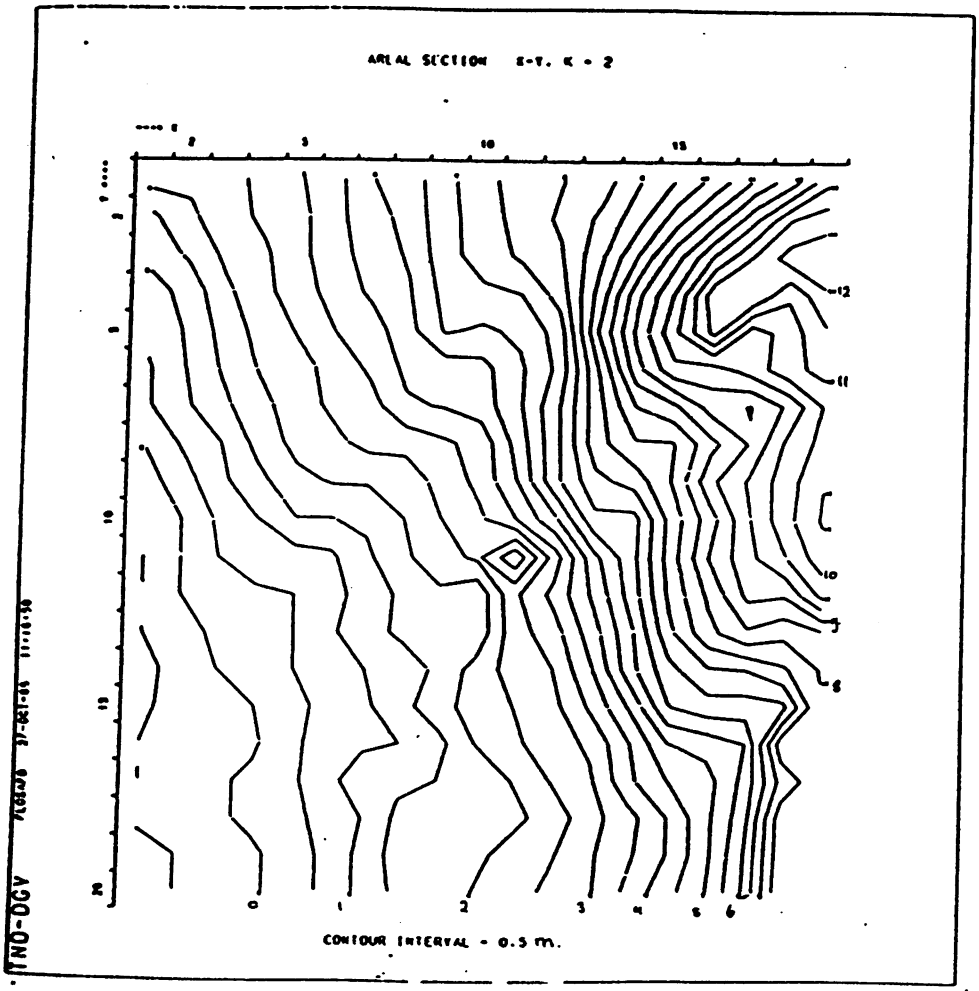


Fig. 33 b. Isohypsen van laag 2.

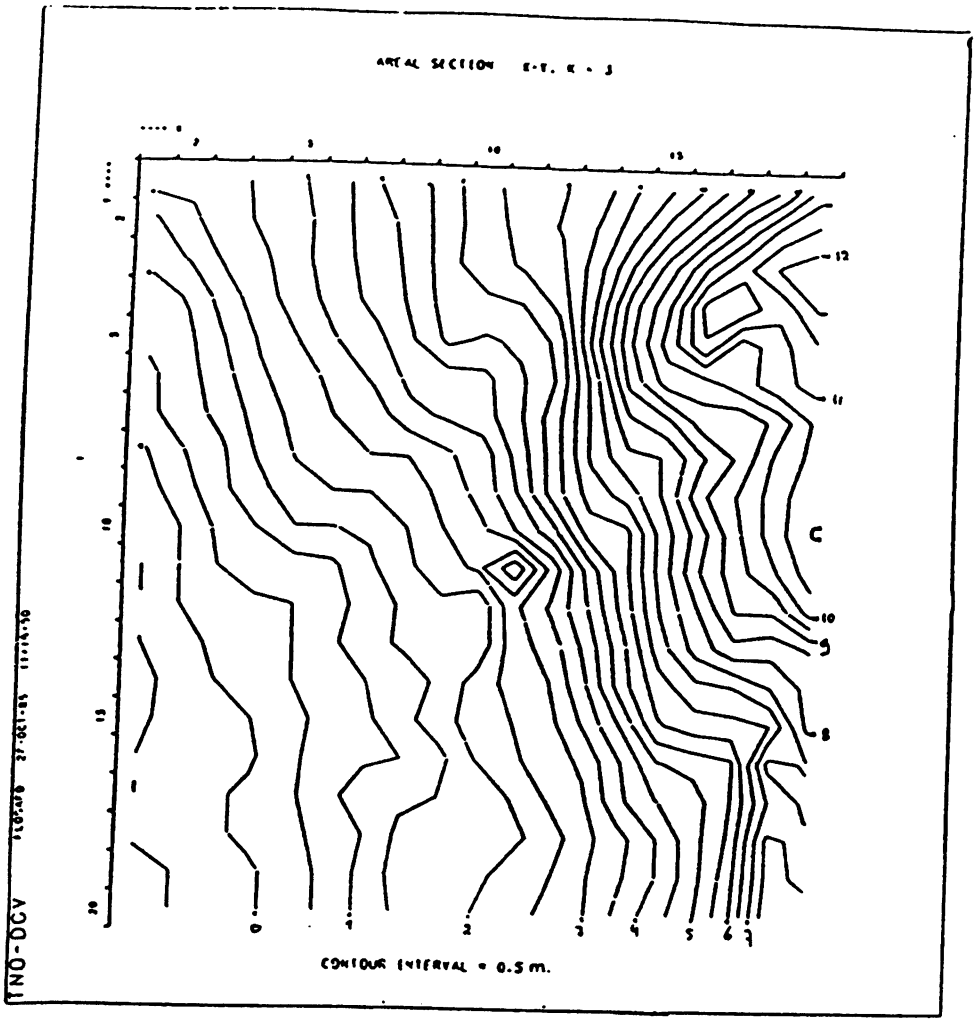


Fig. 33c. Isohypsen van laag 3.

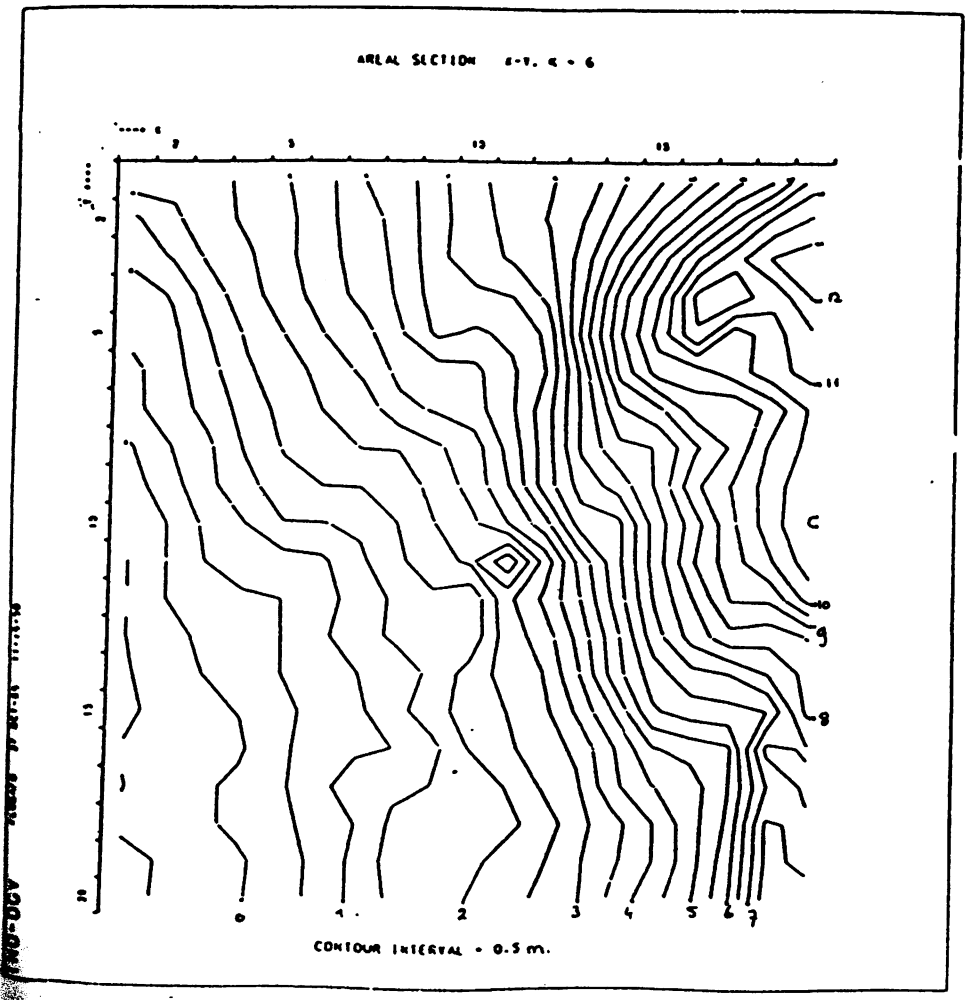


Fig. 33d. Isohypsen van laag 6.

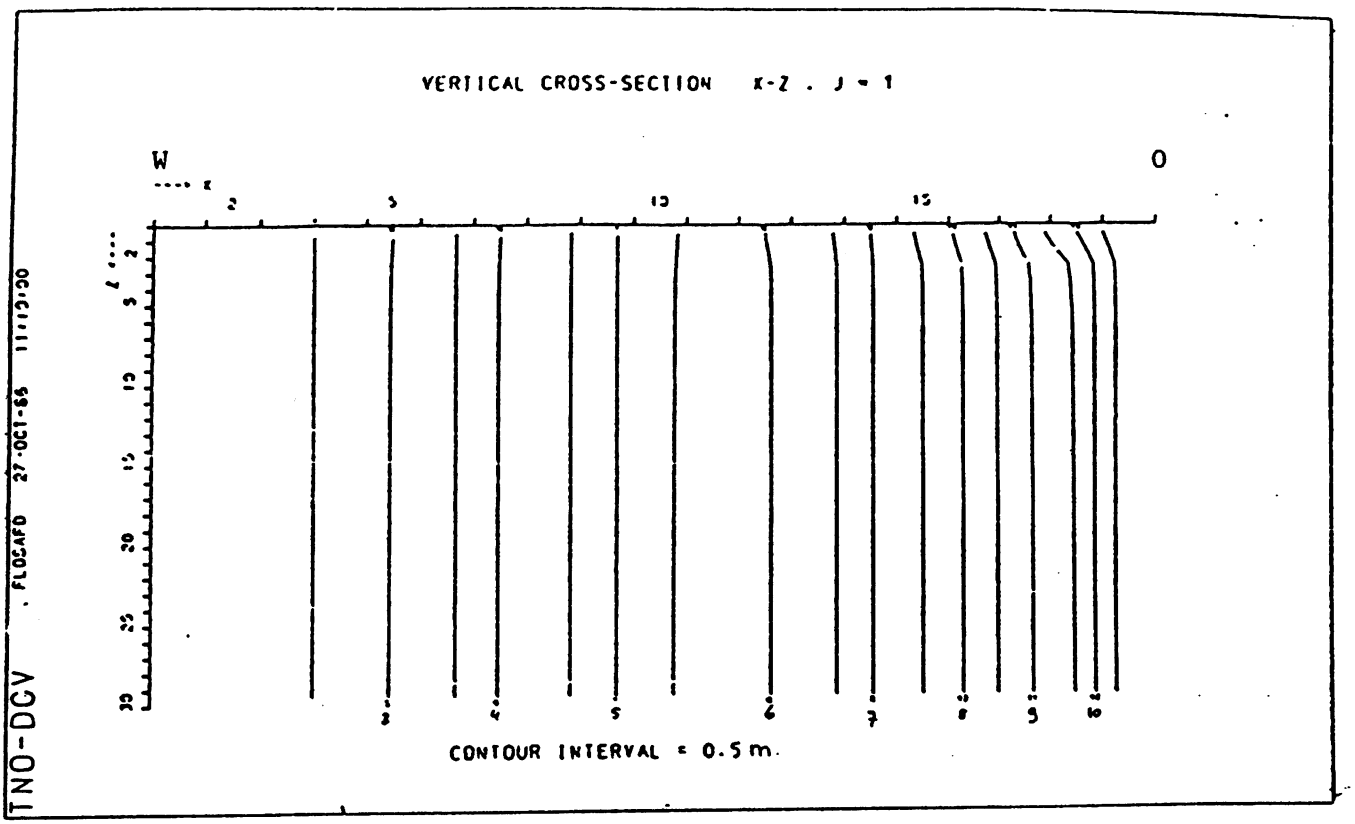


Fig. 34 a. Isohypsen in west-oost profiel. Noordvlak.

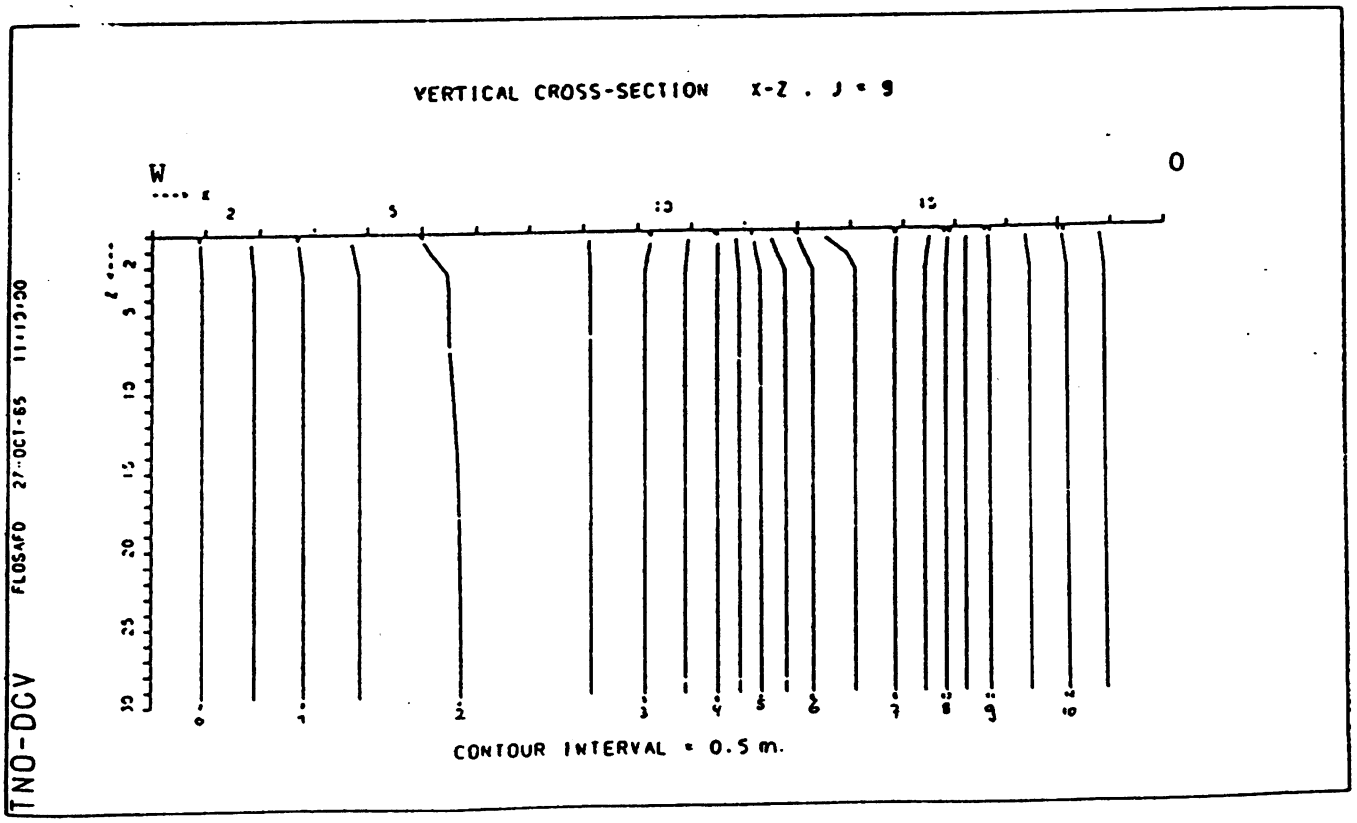


Fig. 34b. Isohypsen in west-oost profiel. Y = 9.

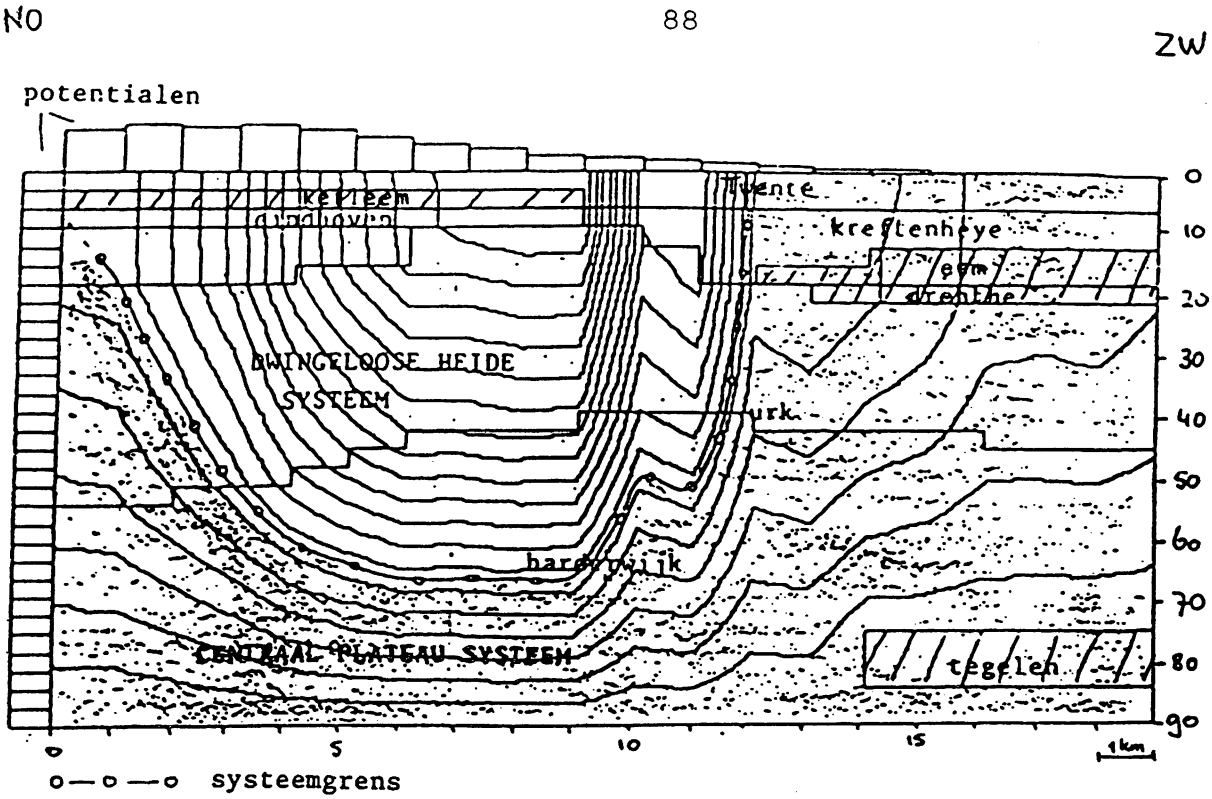


Fig. 35. NO-ZW profiel, berekend met FLOWNET, K-waarden als in tabel 1.

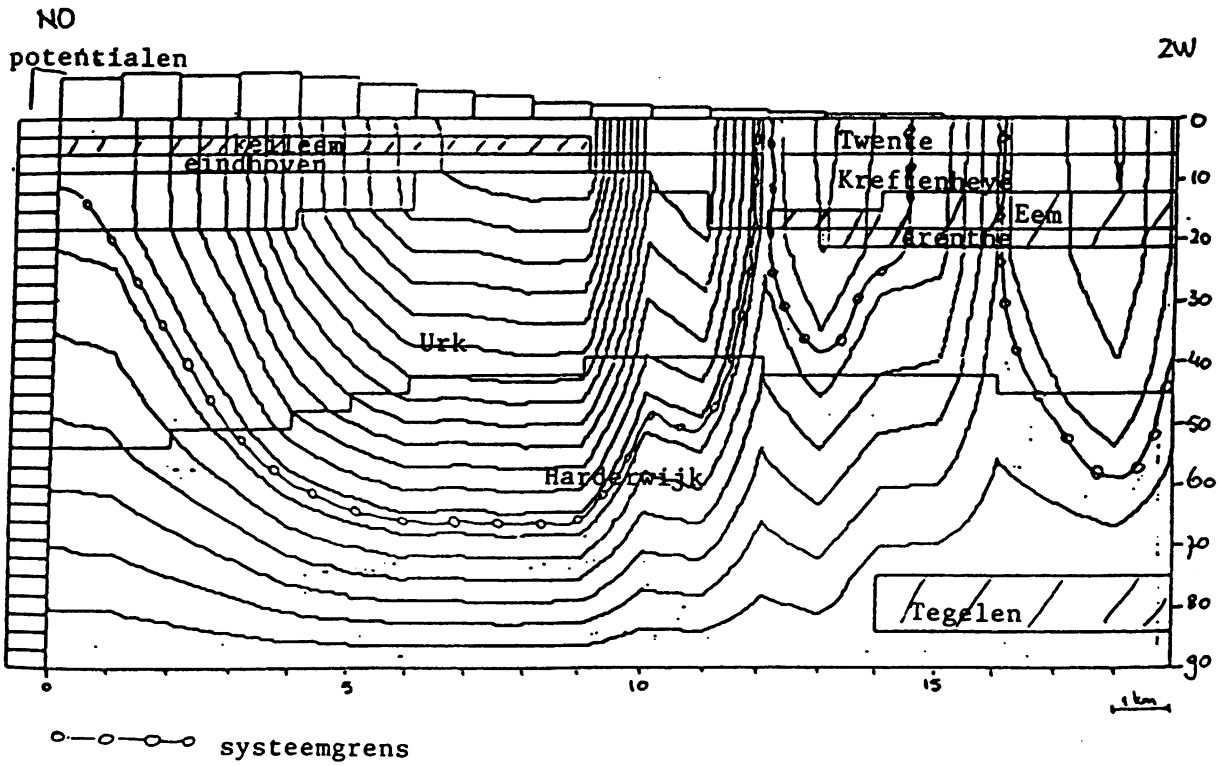
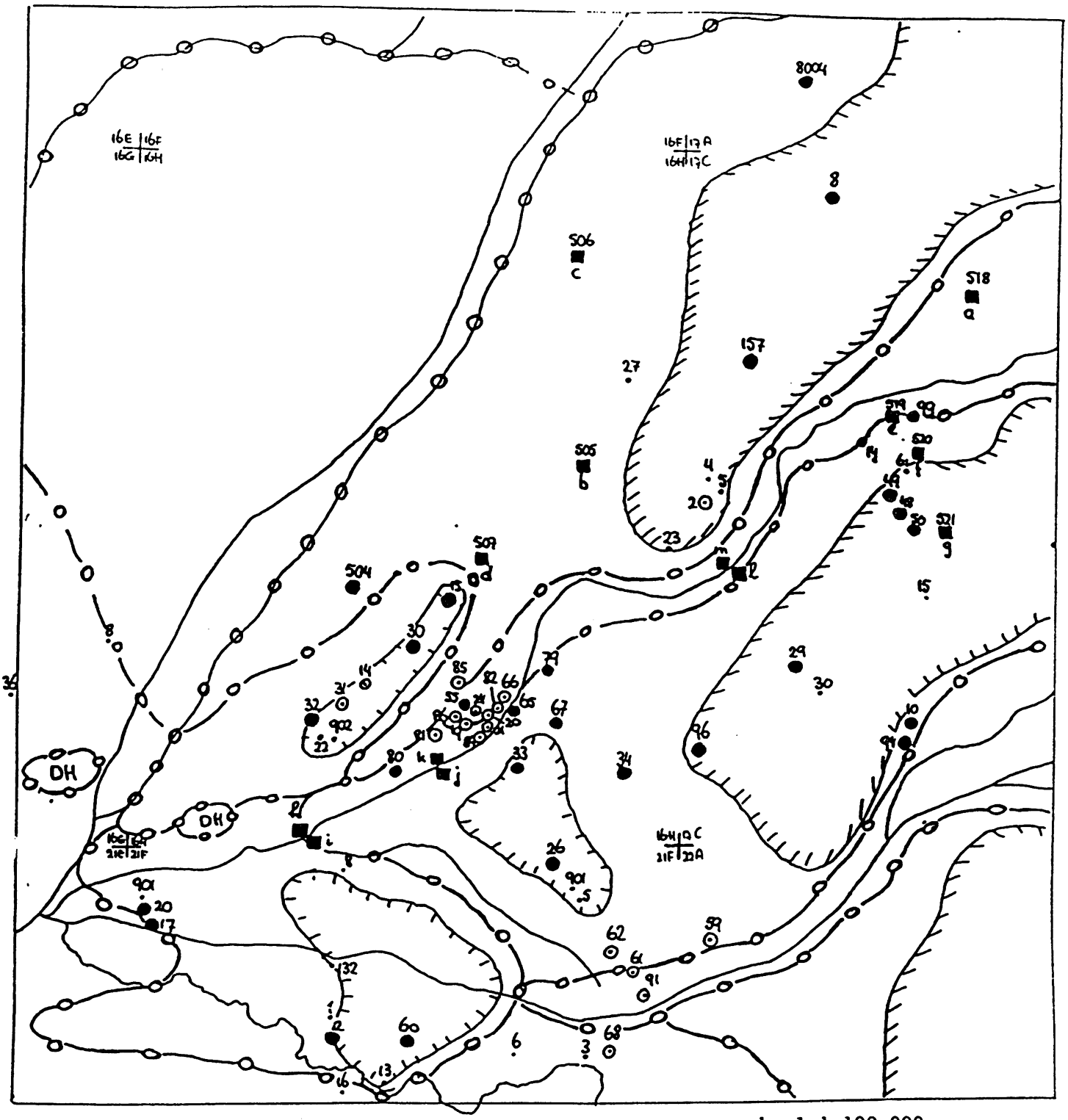


Fig. 36. NO-ZW profiel, K-waarden van Eem- en Drenthe klei verhoogd tot 0.1 m/dag.



schaal 1:100.000

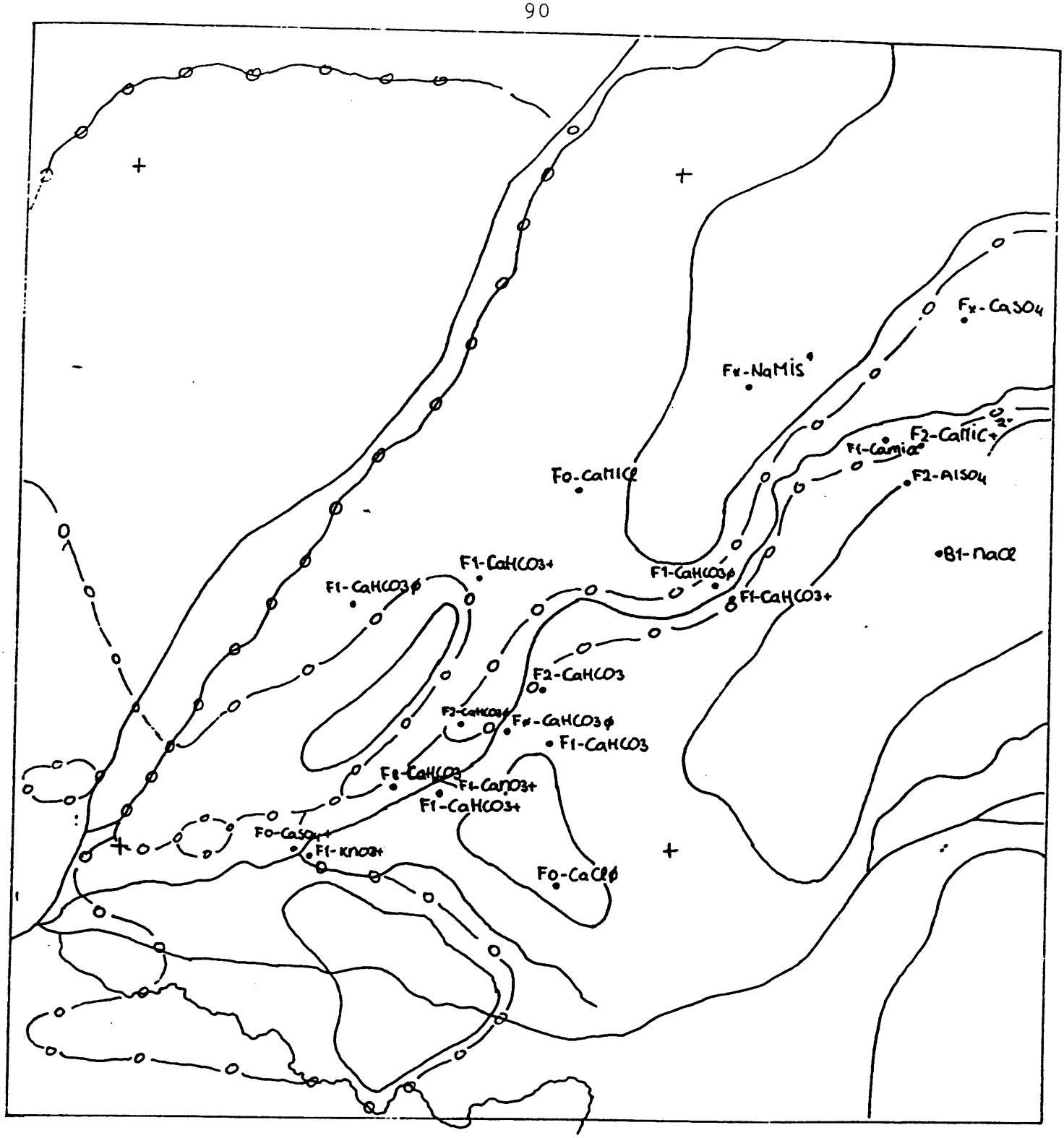
· alleen EG bekend

⊙ analyseresultaten bekend

30 ● analyseresultaten in bijlage 3.

521 ■ 9 analyseresultaten van t.b.v. onderhavige studie geplaatste boringen in bijlage 3.

Fig. 37. Lokaties van boringen.



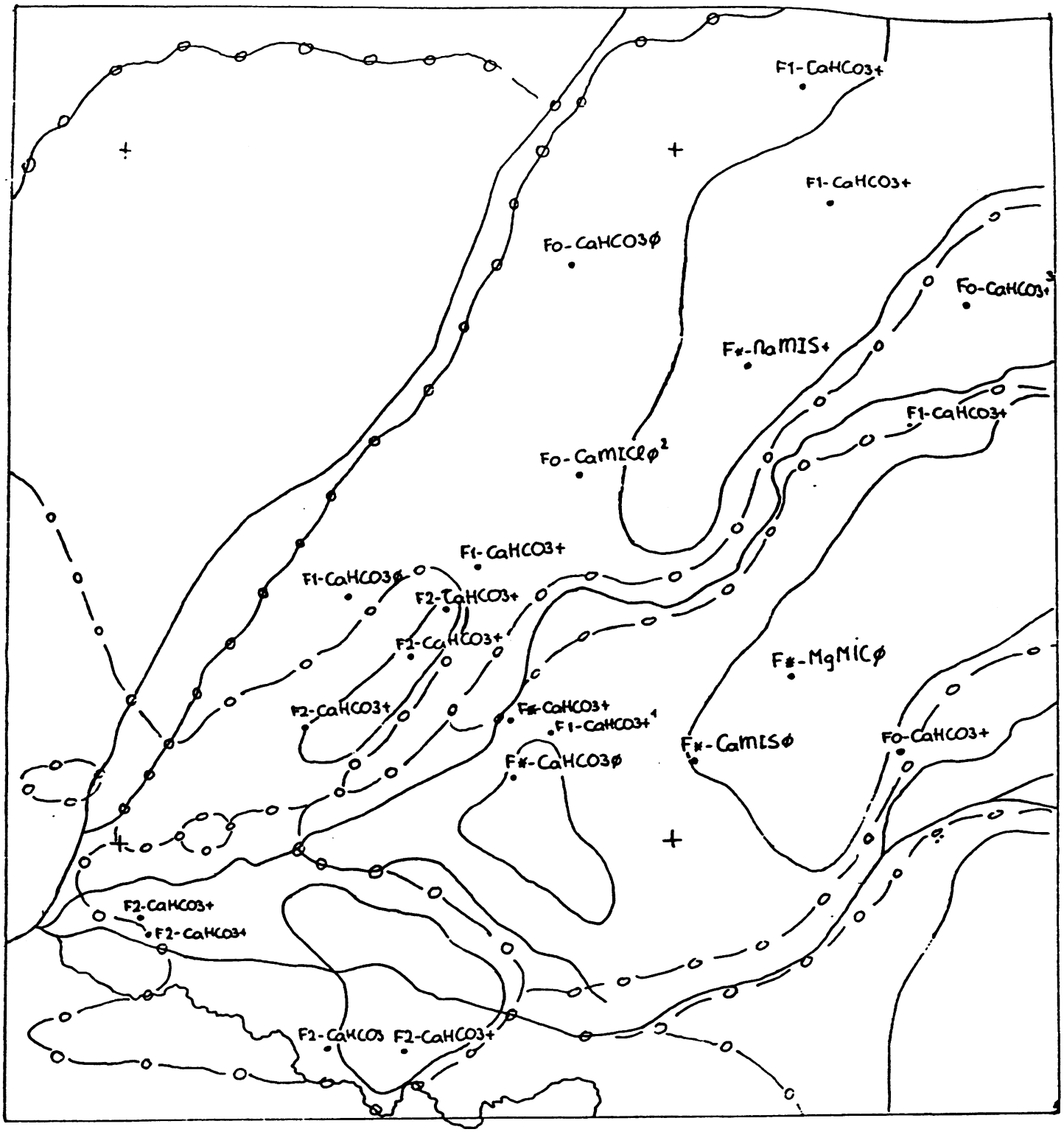
schaal 1:100.000

infiltratie gebied

systeemgrens

1. 14 % fout in ionbalans
2. vervuild

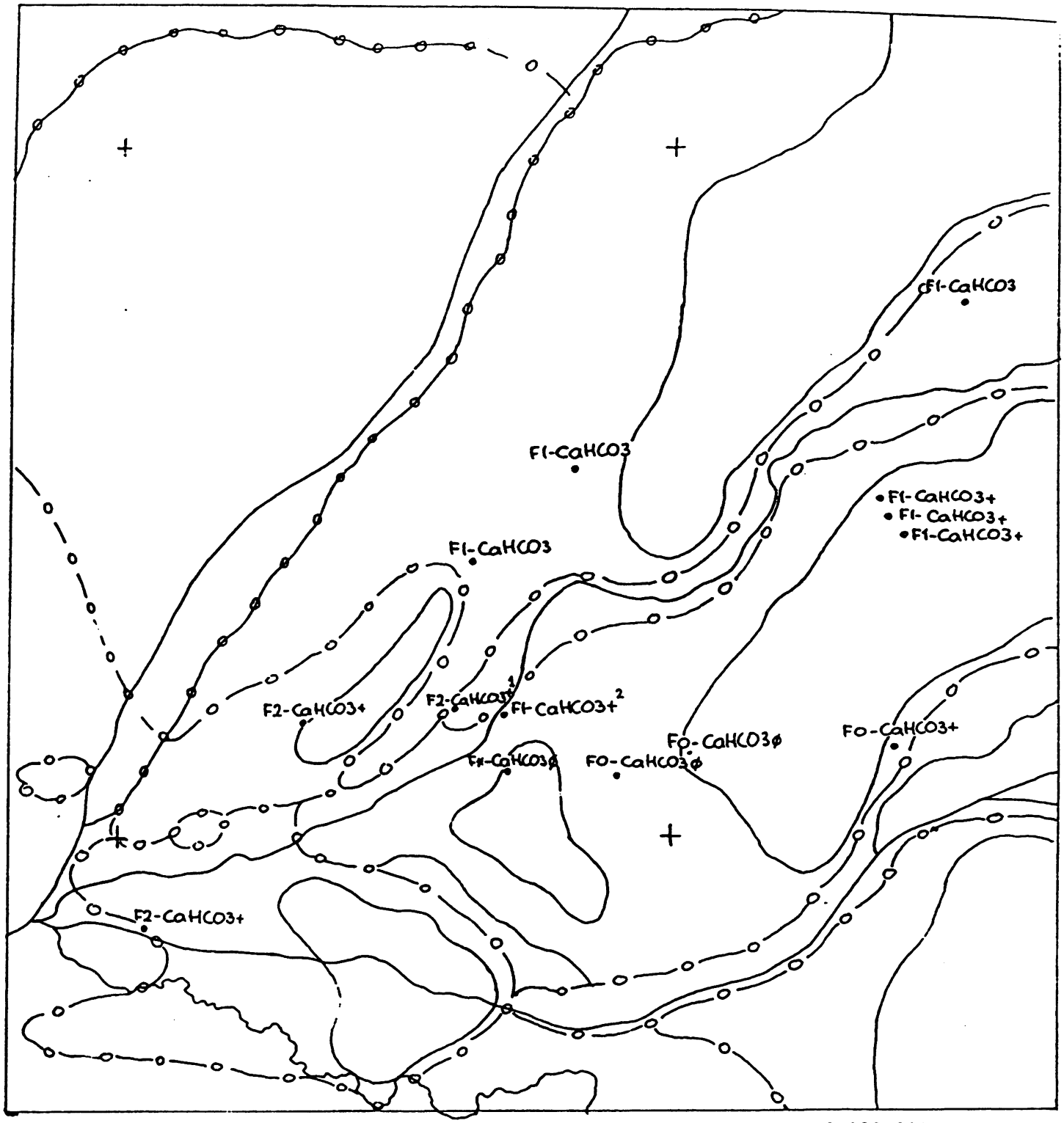
Fig. 38. Stuifzandklassifikatie voor de monsters tot 20 m diepte.



schaal 1:100.000

1. tot ± 35 m diepte F1-CaHCO3+
2. op 25 m diepte F1-CaCl, relatief hoge hardheid veroorzaakt door Mg-gehalte
3. op ± 35 m diepte F1-Ca-HCO3ϕ

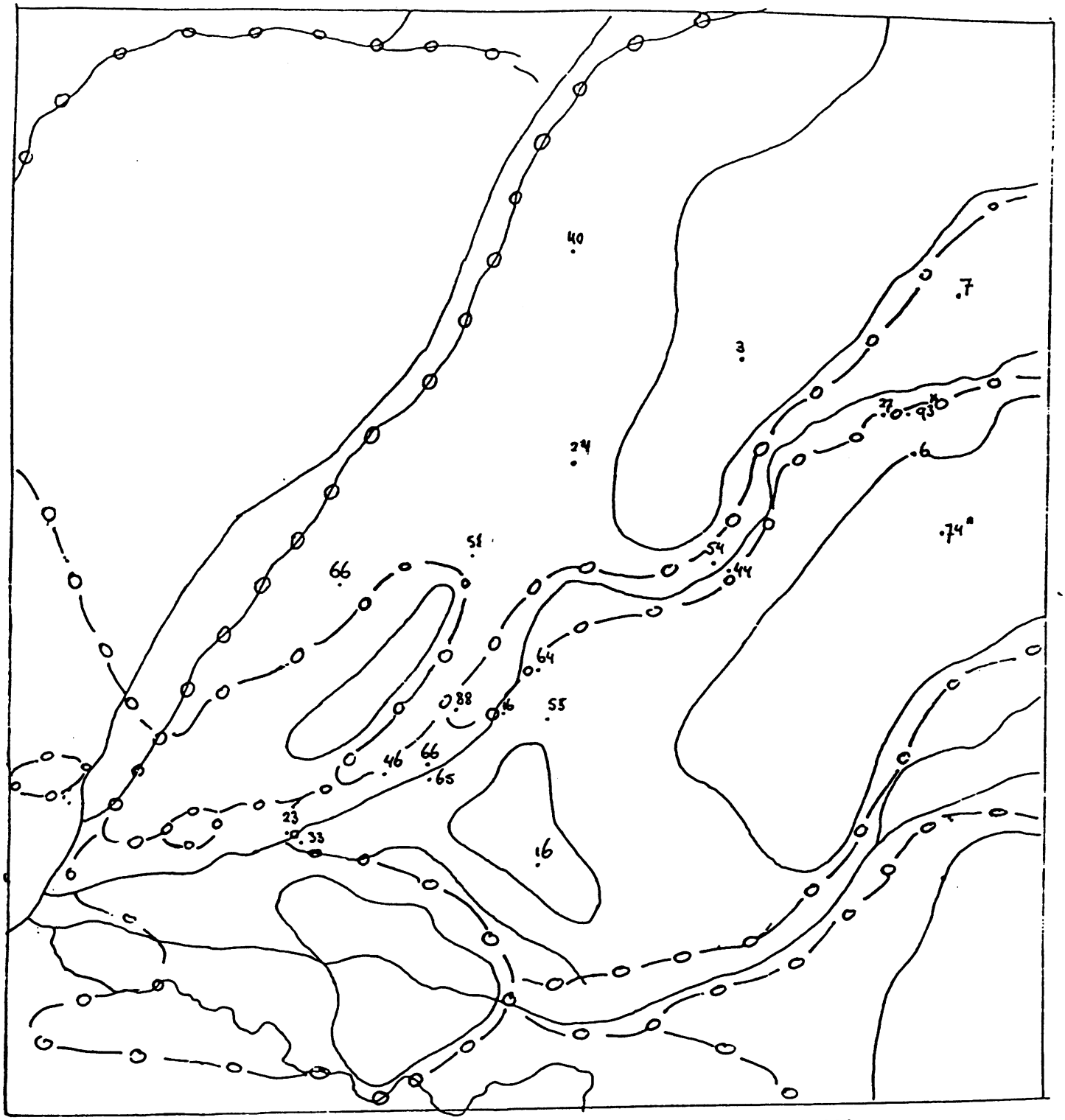
Fig. 39. Stuifzandklassifikatie voor de monsters van 20 tot 40 m diepte.



schaal 1:100.000

1. op 175 m diepte B2-NaCl
2. op 70 m diepte F2-CaHCO3+

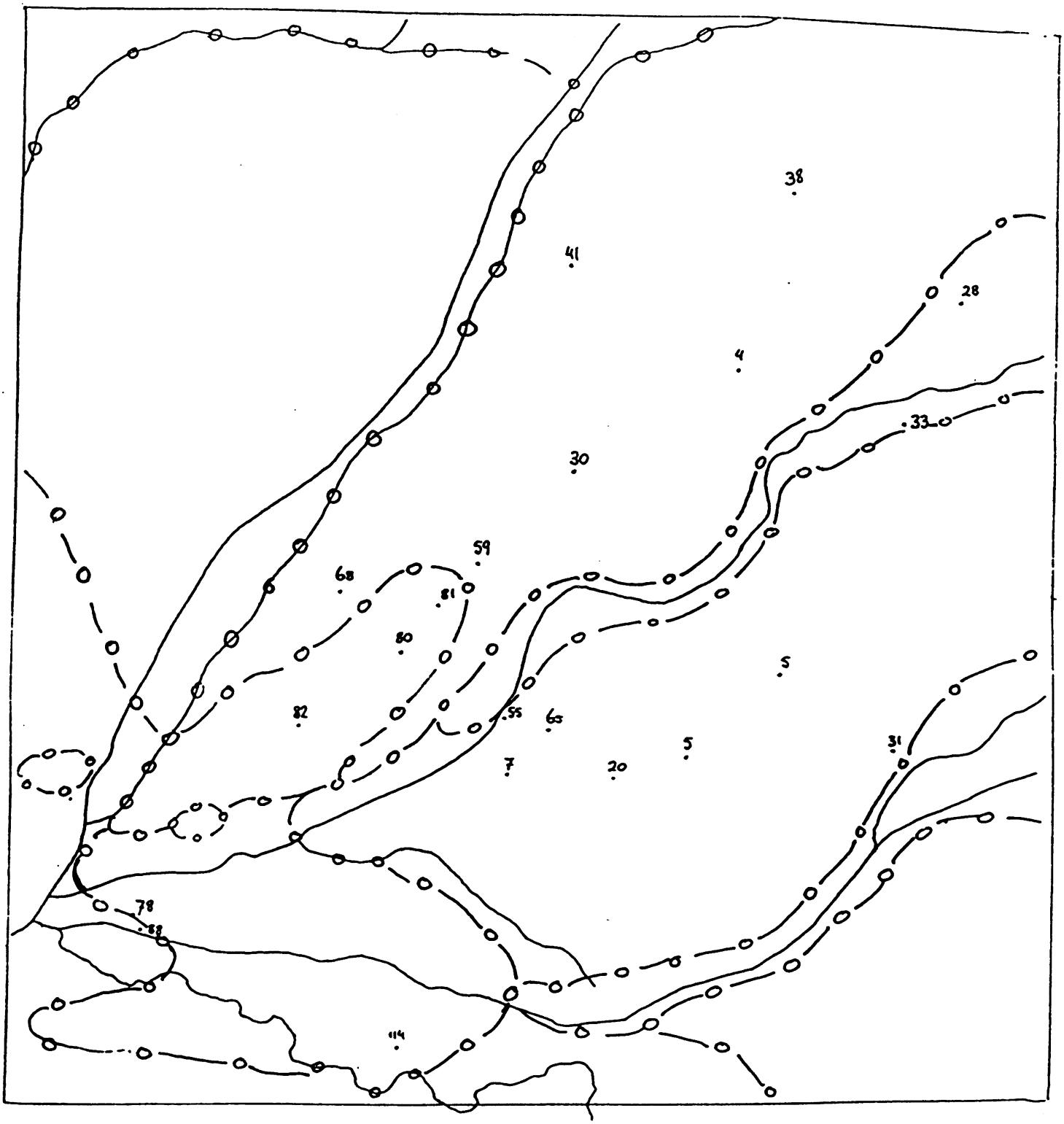
Fig. 40. Stuifzandklassifikatie voor de monsters dieper dan 40 m.



schaal 1:100.000

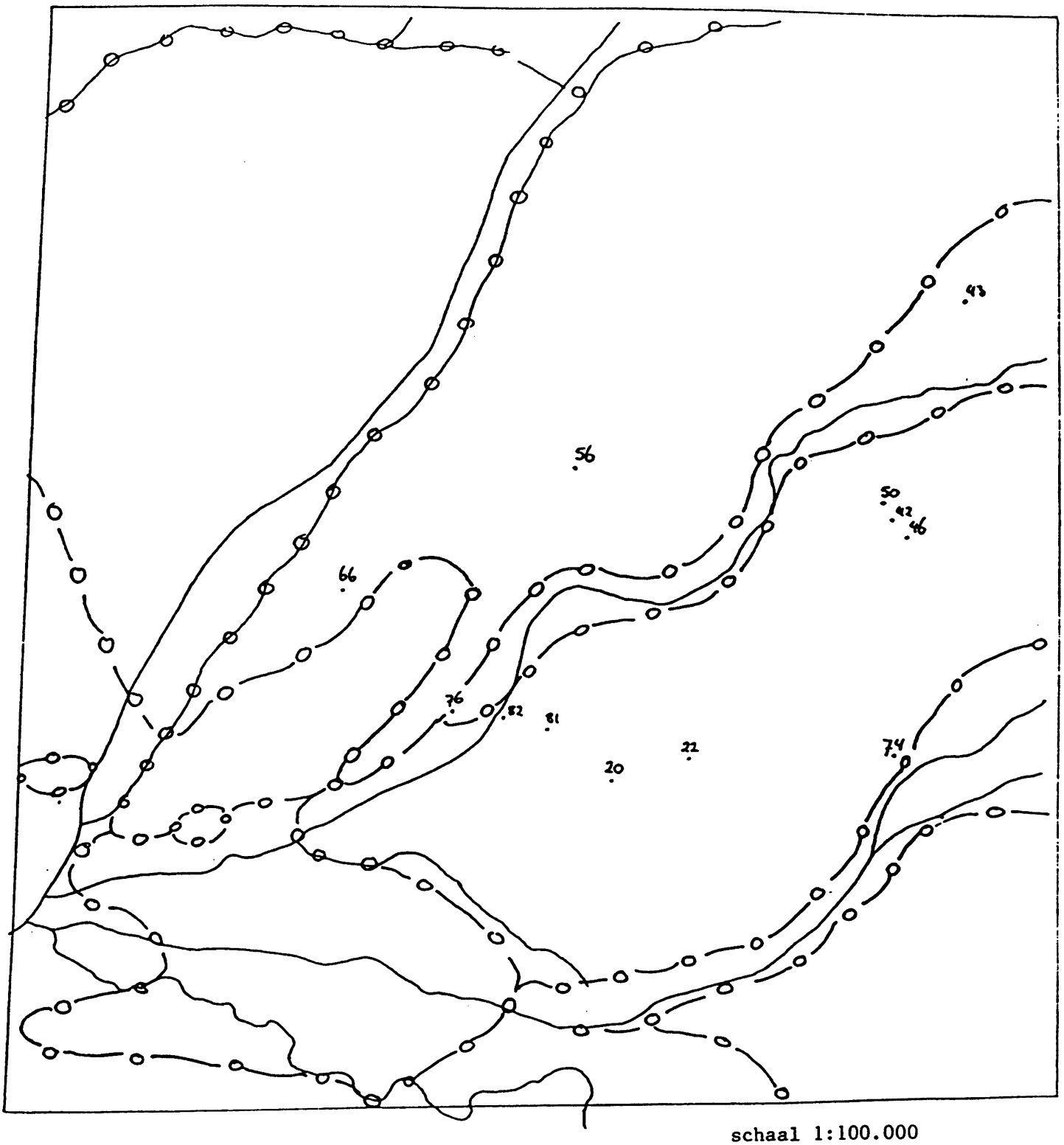
* vervuild

Fig. 41. Het Ca-gehalte van het grondwater tot 20 m diepte.



schaal 1:100.000

Fig. 42. Het Ca-gehalte van het grondwater van 20 tot 40 m diepte.



schaal 1:100.000

Fig. 43. Het Ca-gehalte van het grondwater dieper dan 40 m.

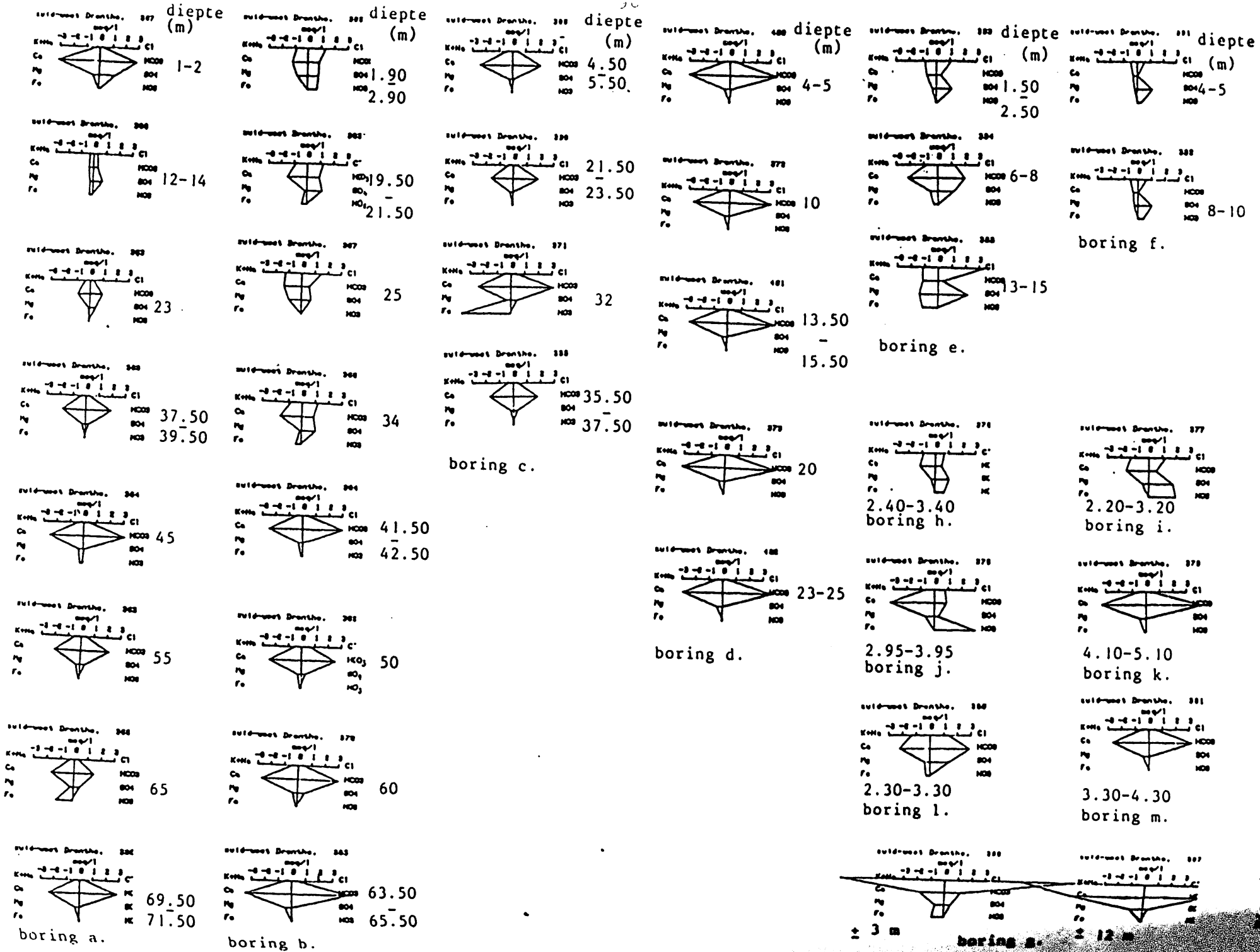


Fig. 44. Stiff-diagrammen van de monsters uit de t.b.v. deze studie geplaatste boringen.