DRINKWATER

WATERLEIDING
MAATSCHAPPIJ
OVERIJSSEL NV

BIJLAGEN
1 t/m 3

Hydrogeochemische Systeemanalyse
IJsselvallei

793E76

793 E 76
BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

BIJLAGEN
1 t/m 3

Hydrogeochemische Systeemanalyse
IJsselvallei

datum: 10-11-1995
auteur: Steef van Baalen
projectleiders: Hannie de Ruiter & Loek Stalpers
KP-nummer: 22371

WMO, afdeling Onderzoek, sectie Geohydrologie

- 3 MEI 1996

INHOUD

Bijlage 1 Geologie van de IJsselvallei B1.1
B1.1 Afzettingen gevormd vóór het Saalien B1.1
B1.2 De invloed van het landijs tijdens het Saalien B1.3
B1.3 Voorkomen en lithologie van de diverse formaties B1.5
B1.3.1 Afzettingen uit het Mioceen B1.5
B1.3.2 Afzettingen uit het Plioceen B1.5
B1.3.3 Pleistocene afzettingen van vóór het Saalien B1.5
B1.3.4 Afzettingen uit het Saalien B1.6
B1.3.5 Pleistocene afzettingen van na het Saalien B1.7
B1.3.6 Afzettingen uit het Holoceen B1.7

Bijlage 2 Geohydrologie van de IJsselvallei B2.1
B2.1 De oostelijke Veluwerand B2.3
B2.2 Het vlakke gebied rondom de IJssel B2.3
B2.3 De Sallandse Heuvelrug B2.4
B2.4 Deventer in detail B2.4

Bijlage 3 Grondwaterstroming en oppervlaktwatersystemen B3.1
B3.1 Grondwaterstroming B3.1
B3.2 Oppervlaktewatersystemen B3.1

FIGUREN

Figuur B1.1 Tabel van de boven-tertiaire en kwartaire formaties, gerangschikt naar ouderdom en genese (naar: RGD, 1975) B1.2
Figuur B1.2 Dwarsprofiel van de Veluwe tot Ootmarsum (naar: RGD, 1975) B1.3
Figuur B1.3 Glaciale landschapsvormen in midden-Nederland (naar: Stiboka, 1965) B1.4

Figuur B2.1 Geohydrologische doorsnede Veluwe-Holterberg (naar: WMO, 1981) B2.2
Figuur B2.2 Schematisch profiel Veluwe-Holten (naar: TNO-DGV, 1985) B2.1

BIJLAGEN

Bijlage B1.1 Geologisch profiel door het centrale deel van Nederland (naar: RGD, 1973a)
Bijlage B1.2 Top van de Formatie van Breda (naar: RGD, 1973a)
Bijlage B1.3 Actuele verbreiding van de gidslagen (naar: ReGIS, 1993)
Bijlage B1.4 Profielen met gidslagen en geohydrologisch standaardmodel (naar: ReGIS, 1993)
Bijlage B1.5 Verspreidingsgebied van de Formatie van Drente

Bijlage B2.1 Zoet-zout grensvlak (200 mg Cl^-/l) (naar: TNO-DGV, 1973)

Bijlage B3.1 Isohypsen diepe watervoerend pakket op 28-4-1988 in m. -N.A.P. (naar: Broks, 1992)

BIJLAGE 1 GEOLOGIE VAN DE IJSSELVALLEI

Als gekeken wordt naar de geologische opbouw van de IJsselvallei, dan is het mogelijk om een tweedeling te maken voor wat betreft aard en origine van de aanwezige afzettingen:
- afzettingen gevormd vóór het Saalien
- de invloed van het landijs uit het Saalien op al aanwezige en latere afzettingen.

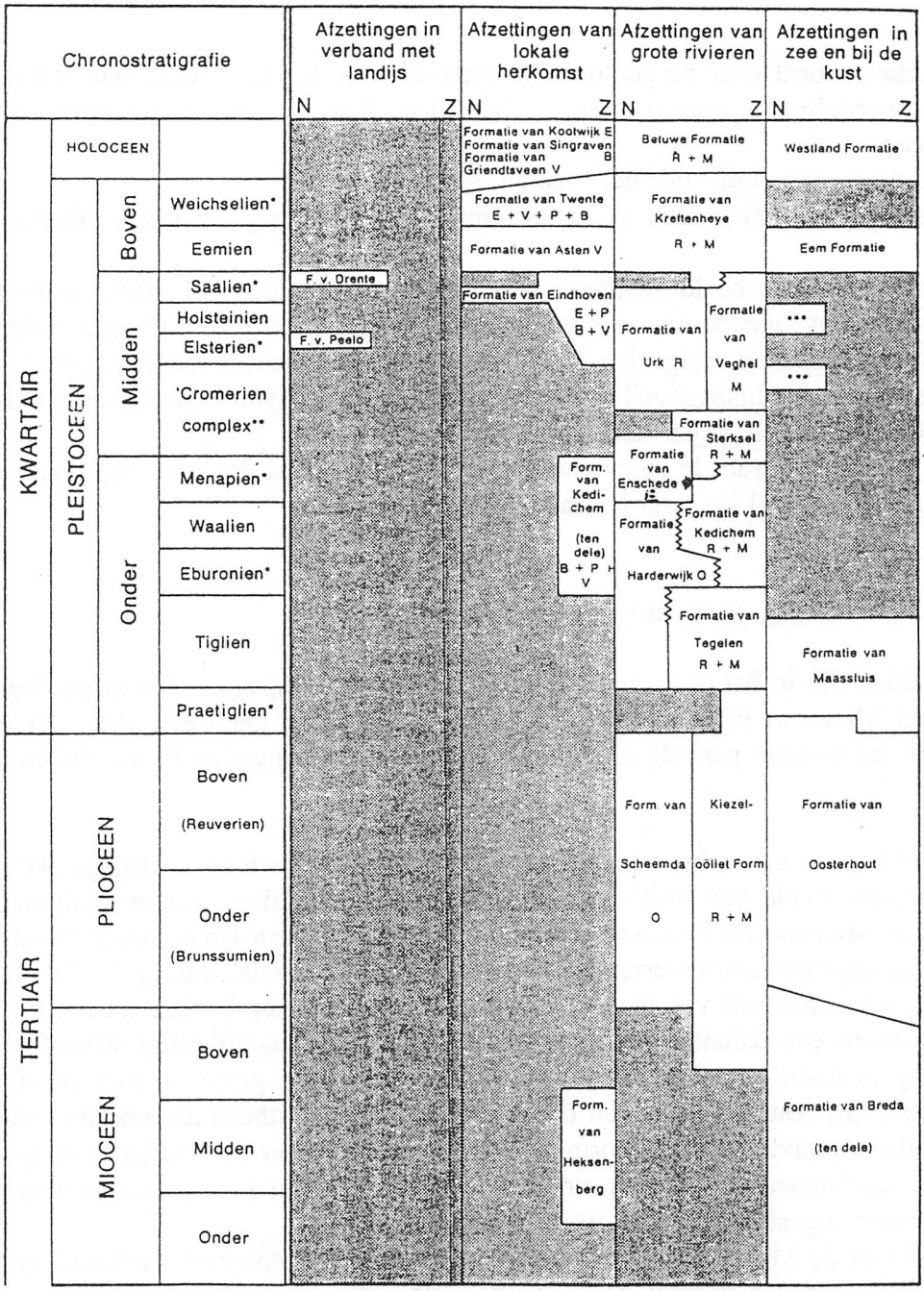
Allereerst zal er een beeld geschetst worden van de globale geologische ontwikkeling, met de twee bovengenoemde punten als leidraad (B1.1 en B1.2). Daarna zullen de in het onderzoeksgebied aanwezige lagen meer specifiek beschreven worden (§B1.3). Dit biedt tevens een goede uitgangspositie om in bijlage 2 de geohydrologische eigenschappen van de onderscheiden lagen nader toe te lichten.
Bij het beschrijven van de algemene geologie (B1.1 en B1.2) is het inventarisatierapport Schalkhaar (WMO, 1981) als leidraad gebruikt.

B1.1 Afzettingen gevormd vóór het Saalien

De formaties die in het onderzoeksgebied van belang zijn, zijn allen in het laat-Tertiair (vanaf het Mioceen) of het Kwartair afgezet. Figuur B1.1 geeft een overzicht van de formaties die in deze periode zijn afgezet in Nederland, ingedeeld naar ouderdom en genese.

Figuur B1.2 geeft een schematische doorsnede van de IJsselvallei. Bijlage B1.1 geeft een gedetailleerder beeld van vrijwel dezelfde doorsnede. Op deze figuren is duidelijk te zien dat de Miocene en Pliocene afzettingen (Formaties van Breda, Oosterhout en Scheemda) naar het noordwesten hellen (Formatie van Breda, bijlage B1.2). Nederland maakt namelijk deel uit van het Noordzeebekken, dat in het Tertiair tot het begin van het Pleistoceen een dalende beweging heeft ondergaan. Tegelijkertijd schoof echter de kustlijn op in noordwestelijke richting, als gevolg van een grote aanvoer en afzetting van sedimenten. Dit resulteerde in een oost-west verlopende lithostratigrafische overgang van de (fluviatiele) zanden van de Formatie van Scheemda naar de (mariene) zanden van de Formatie van Oosterhout (zie figuur B1.2; Haak, 1982). In de mariene formaties werd zout zeewater ingesloten (Broks,1992)
Het beeld van de Miocene en Pliocene afzettingen wordt enigzins verstoord door de aanwezigheid van een tweetal breuken (zie bijlage B1.2), die het gevolg zijn van regionale tectonische bewegingen in het verlengde van de Roerdalslenk (Broks, 1992).

Het Pleistoceen kenmerkt zich in het algemeen door forse klimaatschommelingen. Het geleidelijk aan opschuiven van de kustlijn is dan ook een proces dat enigzins schokkerig verloopt: nadat er in het laat-Plioceen al fluviatiele afzettingen zijn gevormd (Formatie van Scheemda), worden in het westelijk deel van het onderzoeksgebied alsnog mariene afzettingen gevormd (Formatie van Maassluis). Gedurende de rest van het Pleistoceen, tot de komst van het landijs in het Saalien, vindt merendeels littorale en fluviatiele

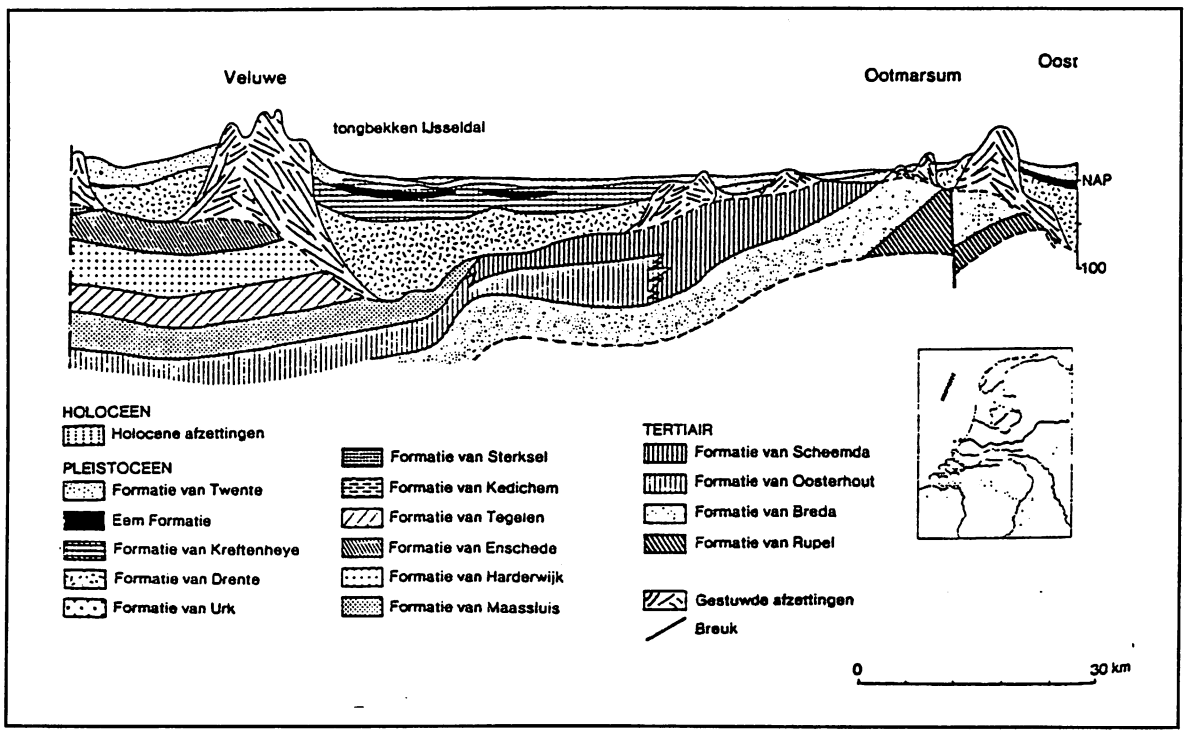


E = eolische afzettingen
P = periglaciale afzettingen
B = beekafzettingen
V = veen

R = Rijn
M = Maas
O = oostelijke noordduitse rivieren en voorlopers

*koude tijd
**complexe eenheid bestaande uit tenminste 4 warme en 3 koude tijden
***nog onbenoemd, voorlopig bij Formatie van Urk

Figuur B1.1 Tabel van de boven-tertiaire en kwartaire formaties, gerangschikt naar ouderdom en genese (naar: RGD (1975))

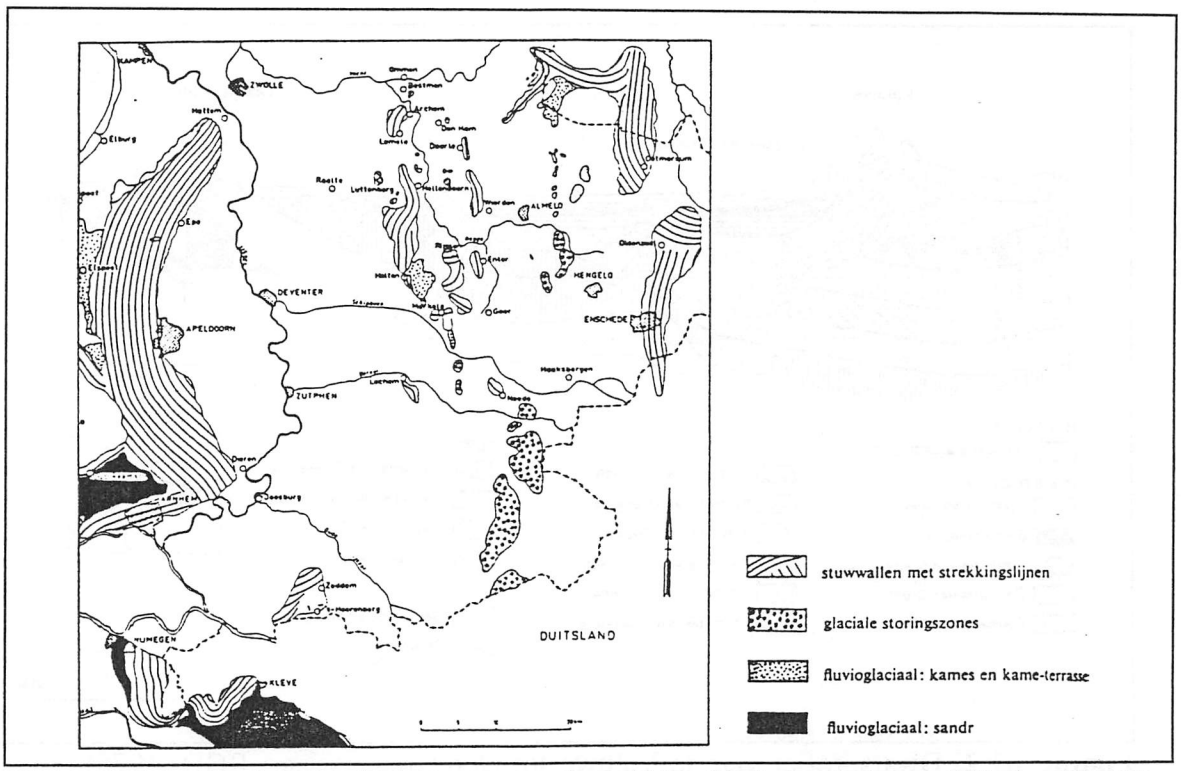


Figuur B1.2 Dwarsprofiel van de Veluwe tot Ootmarsum (naar: RGD, 1975)

sedimentatie plaats (Broks, 1992). In eerste instantie is de sedimentaanvoer zuidelijk (Formatie van Tegelen), maar al spoedig neemt een oostelijke aanvoer (Formaties van Harderwijk, Zuidlaren en Enschede) het merendeel voor haar rekening. Door de regelmatige afwisseling van glacialen en interglacialen in deze periode vertoont de zeespiegel grote fluctuaties; de erosiebasis en daarmee samenhangend de gradiënt van de rivieren is dus zeer variabel. Als gevolg hiervan zijn de sedimenten die in het onderzoeksgebied worden afgezet afwisselend grover en fijner van aard.
In het oostelijk deel van het onderzoeksgebied zijn geen afzettingen uit dit tijdvak teruggevonden (Broks, 1992). De al eerder genoemde dalende beweging van het Noordzeebekken (dikke pakketten in het noordwesten en dunne pakketten in het zuidoosten van het onderzoeksgebied), alsmede erosieve processen zijn hier waarschijnlijk de oorzaak van.

B1.2 De invloed van het landijs tijdens het Saalien

In het Saalien drong het landijs ver ons land binnen. Door het onderzoeksgebied schoof een gletschertong zuidwaarts. Bijlage B1.1 geeft globaal weer hoe groot het glaciale bekken was dat door deze tong werd gevormd (tot 120 m -N.A.P). Rondom en vanuit dit bekken werd het Vroeg-Pleistocene materiaal weggedrukt. Dit materiaal vormde aan de randen van het bekken stuwwallen. In figuur B1.3 staan de glaciale landschapsvormen weergegeven, die het directe gevolg zijn van deze gletschertong en die nog steeds het landschap van het onderzoeksgebied sterk beheersen.
De eerste opvulling van het glaciale bekken bestaat uit de grondmorene van het landijs.



Figuur B1.3 Glaciale landschapsvormen in midden-Nederland (naar: Stiboka (1965))

Tijdens het afsmelten van het landijs ontstond in het IJsseldal, aan de zuidzijde van het ijs, in het bekken een meer. Hierin werden fluvioglaciale meer- en hellingafzettingen afgezet. In bijlage B1.1 zijn deze afzettingen duidelijk te zien als de Drente Formation. Ook is hier duidelijk te zien dat aan de randen de afzettingen grover worden onder invloed van hellingprocessen (slope-wash) op de gestuwde eenheden.
Tegen het eind van het Saalien en in het warmere Eemien worden dikke pakketten fluviatiele afzettingen van voornamelijk zuidelijke origine afgezet (Formatie van Kreftenheye). Plaatselijk vormen zich in meren en plassen veen- en kleiafzettingen. Deze afzettingen worden in figuur B1.2 en bijlage B1.1 ten onrechte gerekend tot de Eem Formatie, maar zijn van continentale in plaats van mariene oorsprong en moeten daarom tot de Formatie van Asten gerekend worden (zie B1.3.5). Gedurende het laatste glaciaal, het Weichselien, worden deze lagen bedekt met een dik pakket fijne dekzanden (Formatie van Twente).
In het Holoceen is plaatselijk nog veen en klei afgezet, onder invloed van de huidige IJssel.

B1.3 Voorkomen en lithologie van de diverse formaties

Als geheugensteun kan het makkelijk zijn om figuur B1.1 bij de hand te houden als gekeken wordt naar de verschillende formaties die aanwezig zijn in het onderzoeksgebied. Daarnaast wordt gewezen op de profielen die de RGD (1973) heeft vervaardigd. Gebruikte literatuur bij de beschrijving van de verschillende formaties: WMO, 1981; RGD, 1990; RGD, 1973a; Haak, 1982; Broks, 1992.

B1.3.1 Afzettingen uit het Mioceen

In het Mioceen zijn mariene glauconiethoudende (groengrijze), schelphoudende fijne zanden en fijnzandige kleien afgezet in een kustnabij milieu behorend tot de **Formatie van Breda**. Bijlage B1.2 geeft de top van deze Miocene klei in m -N.A.P.. Deze kaart is, door het geringe aantal diepboringen waarop hij gebaseerd is, slechts een benadering. Onder Deventer ligt de Miocene klei op circa 165 m -N.A.P.. Naar het noordwesten en het zuidwesten komt de Miocene klei op grotere diepte voor (250 respectievelijk 350 m -N.A.P.), terwijl hij oostelijk van de Holterberg reeds op 50 m -N.A.P. aangetroffen kan worden (Haak, 1982). De afzettingen komen in het gehele onderzoeksgebied voor (figuur B1.2 en bijlage B1.3).

B1.3.2 Afzettingen uit het Plioceen

In het Plioceen zijn zowel mariene als fluviatiele afzettingen gevormd (zie B1.1).
De mariene **Formatie van Oosterhout** bestaat uit glauconiet- en schelphoudende fijne tot grove zanden, afgewisseld met kleilaagjes. Naar het westen toe worden de zanden grover. De dikte varieert volgens de RGD (1990) van 40 tot 60 meter, volgens Broks (1992) van 20 tot 100 meter. De formatie is aanwezig in het gehele onderzoeksgebied (figuur B1.2 en bijlage B1.3).
Over de Formatie van Oosterhout zijn plaatselijk grove tot zeer grove fluviatiele zanden van de **Formatie van Scheemda** afgezet. De korrelgrootte neemt in westelijke richting toe. De dikte varieert van 25 to 70 meter. De formatie komt in het oostelijk deel van het onderzoeksgebied voor (figuur B1.2), aansluitend op de meer westelijk gelegen Formatie van Maassluis (B1.3.3).

B1.3.3 Pleistocene afzettingen van vóór het Saalien

In het Onder-Pleistoceen zijn mariene grove tot fijne zanden met kleilaagjes en kleilenzen afgezet, die worden gerekend tot de **Formatie van Maassluis** (voorheen *Icenien*). Globaal bestaan de afzettingen voor 30% uit kleilagen en voor 70% uit zandlagen. De dikte varieert volgens de RGD (1990) van 30 to 40 meter, volgens Broks (1992) van 20 tot 50 meter. De formatie is aanwezig in het westelijke deel van het onderzoeksgebied (figuur B1.2, bijlage B1.3 en bijlage B1.4, profielen A-A', B-B' en C-C'), aansluitend op de meer oostelijk gelegen Formatie van Scheemda (B1.3.2).

In dezelfde tijd, dat de mariene Formatie van Maassluis zich in het westelijk deel van het gebied vormt, wordt door oostelijke rivieren materiaal aangevoerd dat in de kustzone wordt afgezet. Deze continentale afzettingen worden tot de **Formatie van Harderwijk** (!) gerekend. In bijlage B1.1 en door de WMO (1981) worden deze afzettingen nog aangeduid als **Formatie van Zuidlaren**, maar sinds 1975 (RGD, 1975) worden deze afzettingen gerekend tot de Formatie van Harderwijk. In figuur B1.2 staan ze nog aangegeven als behorend tot de Formatie van Scheemda, wat dus niet juist is. Later worden over de Formatie van Harderwijk de afzettingen van de **Formatie van Enschede** afgezet. Daar het materiaal uit beide formaties veel overeenkomsten vertoont, wordt het in het kader van dit onderzoek als één formatie gezien.
De **Formatie van Harderwijk/Enschede** bestaat vrijwel geheel uit fijne tot zeer grove zanden van oostelijke herkomst, waarbij de grofste zanden in het midden van het onderzoeksgebied worden gevonden. De afzettingen van de gecombineerde Formatie van Harderwijk/Enschede komen voor aan de westzijde van het onderzoeksgebied in de stuwwal van de oostelijke Veluwe en voor een deel in situ (als de voormalige Formatie van Zuidlaren, zie bijlage B1.1) in de oostelijke helft van het onderzoeksgebied. De dikte van de afzettingen (in situ !!) variëert van 8 tot 15 meter, met uitschieters naar 20 meter.
De bovenste zone van de Formatie van Maassluis bevat hier en daar duidelijke kenmerken van een continentaal fluviatiel afzettingsmilieu, met materiaal van zuidelijke herkomst. Ondanks de onmogelijkheid om op dit moment eenduidig aan te geven tot welke formatie dit materiaal behoort (RGD, 1990), wordt het in het kader van dit onderzoek gerekend tot de **Formatie van Tegelen** (RGD, 1990; Broks,1992; Haak, 1982). Zie ook bijlage B1.3. De afzettingen bestaan overwegend (30 à 40%) uit kleilagen met ingeschakeld fijn zand afgewisseld met grofkorrelige zanden. De dikte bedraagt enkele meters tot maximaal 20 meter volgens de RGD (1990), ongeveer 25 meter volgens Broks (1992) en 50 meter volgens Haak (1982). De Formatie van Tegelen komt voor in het westelijk deel van het onderzoeksgebied, voornamelijk onder de oostelijke Veluwe stuwwal. Het is niet onmogelijk dat de afzettingen aansluiten op de Formatie van Drente (zie B1.3.4 en bijlage B1.4, profiel B-B').

B1.3.4 Afzettingen uit het Saalien

De afzettingen uit het Saalien bestaan in het onderzoeksgebied uit keileem (grondmorene) waarop fluvioglaciale zanden en kleien alsmede lacustroglaciale bekkenkleien zijn afgezet. Dit hele pakket wordt gerekend tot de **Formatie van Drente** en rust op de zanden van de Formaties van Maassluis, Scheemda en Harderwijk (figuur B1.2, bijlage B1.1 en B1.4). Aan de randen van het bekken zijn zandige inschakelingen met een breedte tot 3 km te vinden ten gevolge van afspoeling van grofzandig materiaal van de stuwwallen. De gemiddelde dikte van de keileem bedraagt circa 7 meter. De bovenkant van de meerafzettingen bevindt zich op ongeveer 30 tot 40 m -N.A.P.; de basis van deze afzettingen ligt in het westen op ongeveer 120 m -N.A.P. (Twello) en loopt in het oosten op naar 35 m -N.A.P. (Bathmen). Hieruit kan afgeleid worden dat de dikte van de slecht doorlatende meerafzettingen varieert tussen de 10 en 80 (!) meter. Rondom Deventer bedraagt de dikte 40 à 50 meter. De afzettingen bevinden zich over

de gehele breedte van het glaciale bekken, dus in vrijwel het gehele onderzoeksgebied (bijlage B1.5).

B1.3.5 Pleistocene afzettingen van na het Saalien

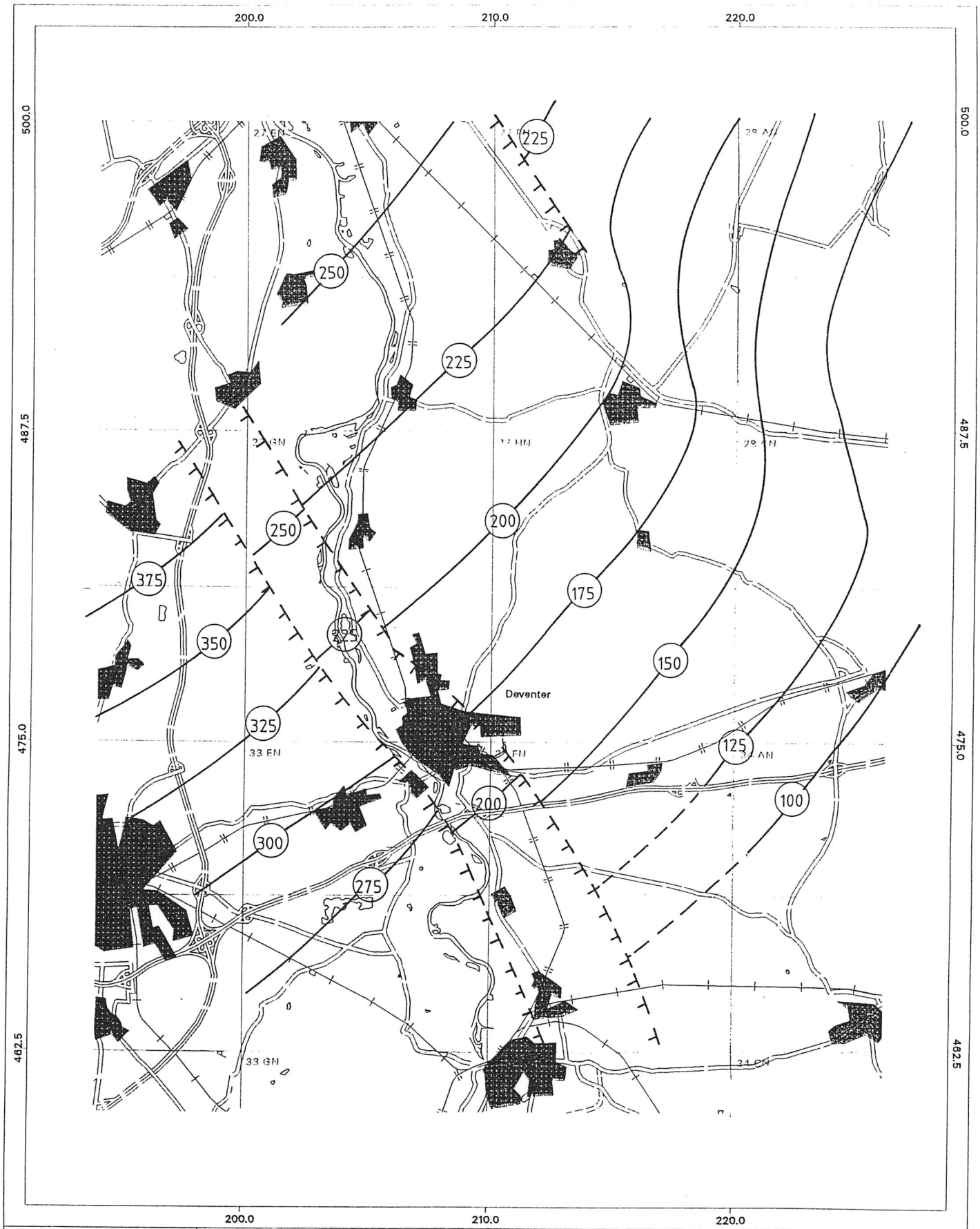
In het Laat-Pleistoceen zijn in de IJsselvallei grove zanden met grindlagen afgezet door de Rijn: de **Formatie van Kreftenheye**. De dikte varieert volgens Broks (1992) van 10 tot 40 meter, volgens Haak (1982) van 10 to 60 meter en volgens de RGD (1990) van 25 tot 35 meter. De afzettingen zijn aanwezig in het hele glaciale bekken (figuur2, bijlage B1.1).
Locaal worden in de Formatie van Kreftenheye ingeschakelde continentale klei- en veenlagen van Eemien ouderdom aangetroffen, de **Formatie van Asten** (Broks, 1992), ook wel aangeduid als "Eemklei" (RGD, 1973b) of Kreftenheye b (RGD, 1990) en in figuur B1.2 en bijlage B1.1 foutief als (mariene) Eem Formatie. Ten westen van de IJssel tot aan de stuwwal komen kleilagen voor die een min of meer aaneengesloten kleipakket vormen met een dikte van gemiddeld 5 meter (zie bijlage B1.3).
Op de Formatie van Kreftenheye en de Formatie van Asten is een pakket matig fijne tot lemige dekzanden met een enkele kleilaag afgezet, de **Formatie van Twente**. De dikte van dit pakket varieert van 1 tot 10 meter. De afzettingen vertonen veel kryoturbate en gelifluctie verschijnselen. Met uitzondering van een enkele kilometers brede strook rond de IJssel ligt deze formatie in het hele onderzoeksgebied aan de oppervlakte (zie bijlage B1.3). Door de druk die het zandpakket van de Formatie van Twente uitoefent op de "Eemklei" zijn vooral de veenlagen sterk samengeperst. Verschillen in de hoogteligging en dikte (variërend van 0 tot 10 meter) van de "Eemklei" zijn daarom vermoedelijk, naast het afzettingsmilieu, mede toe te schrijven aan de samendrukbaarheid van dit pakket (RGD, 1973b).

B1.3.6 Afzettingen uit het Holoceen

In een brede strook (tot 5 km) zijn ter weerszijde van de IJssel kleiige fijne zanden met veen (60%) en grove zanden (40%) afgezet, die worden gerekend tot de **Betuwe Formatie**. De afzettingen liggen rond de IJssel aan het maaiveld en zijn 1 tot 5 meter dik (zie bijlage B1.3).
De beek- en rivierdalafzettingen van de Regge en de Schipbeek behoren tot de **Formatie van Singraven** en bestaan uit zand en klei.

BIJLAGE B1.1 Geologisch profiel door het centrale deel van Nederland (naar: RGD, 1973a)

BIJLAGE B1.2 Top van de Formatie van Breda in m. -N.A.P. (naar: RGD, 1973a)



Bijlage B1.2 Top van de Formatie van Breda in m. -N.A.P.

met vermoedelijke breuk (RGD, 1973a)

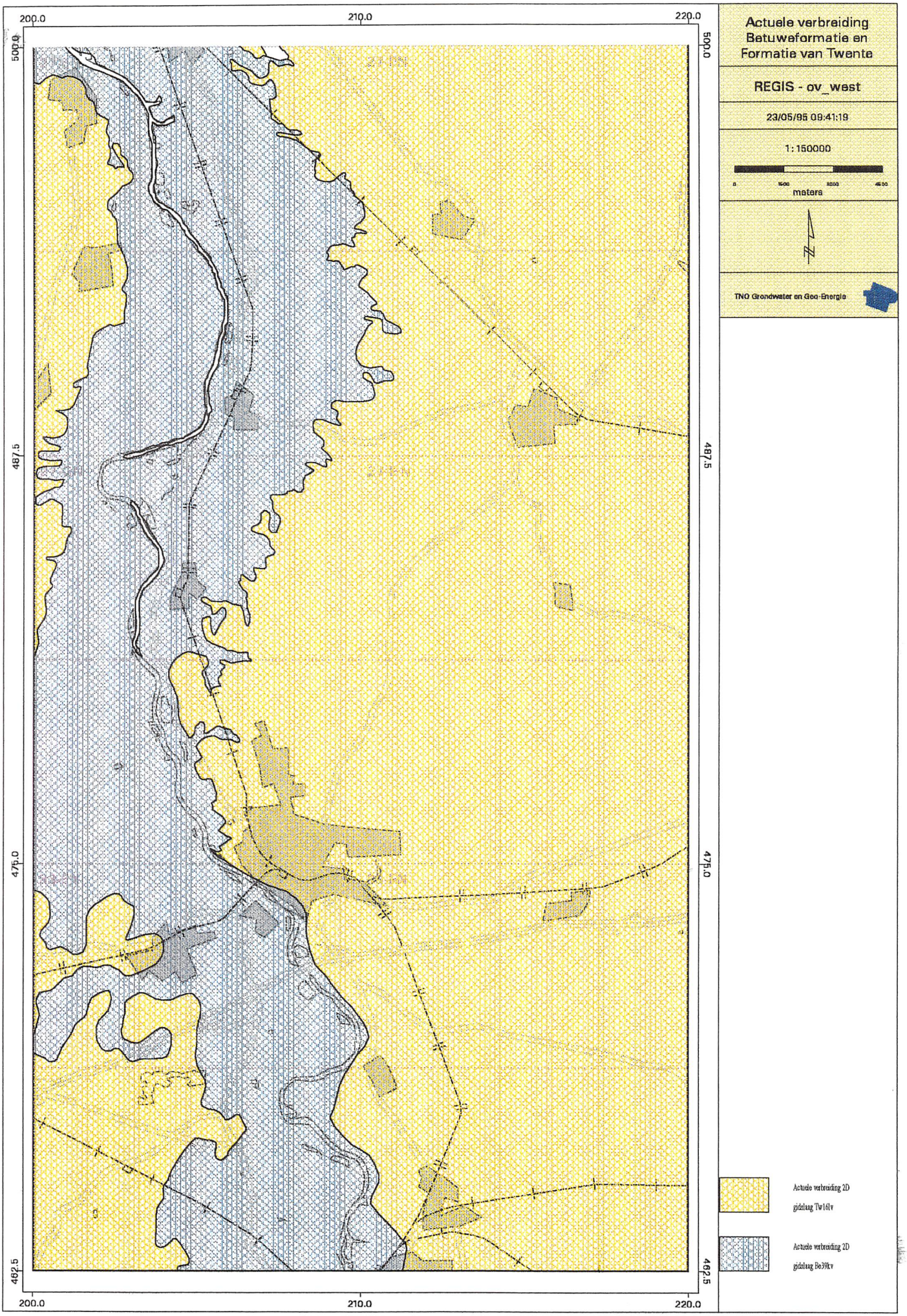
Topografische ondergrond

03/10/95 14:27:26

1 : 150000

meters

BIJLAGE B1.3 Actuele verbreiding van de gidslagen (naar: ReGIS, 1993)


Actuele verbreiding
Betuweformatie en
Formatie van Twente
REGIS - ov_west
23/05/95 09:41:19
1:150000
meters
TNO Grondwater en Geo-Energie
Actuele verbreiding 2D
gidslaag Tw16lv
Actuele verbreiding 2D
gidslaag Be39kv
200.0
210.0
220.0
500.0
487.5
475.0
462.5

Actuele verbreiding Formatie van Asten ("Eemklei")

REGIS - ov_west

23/05/95 13:06:44

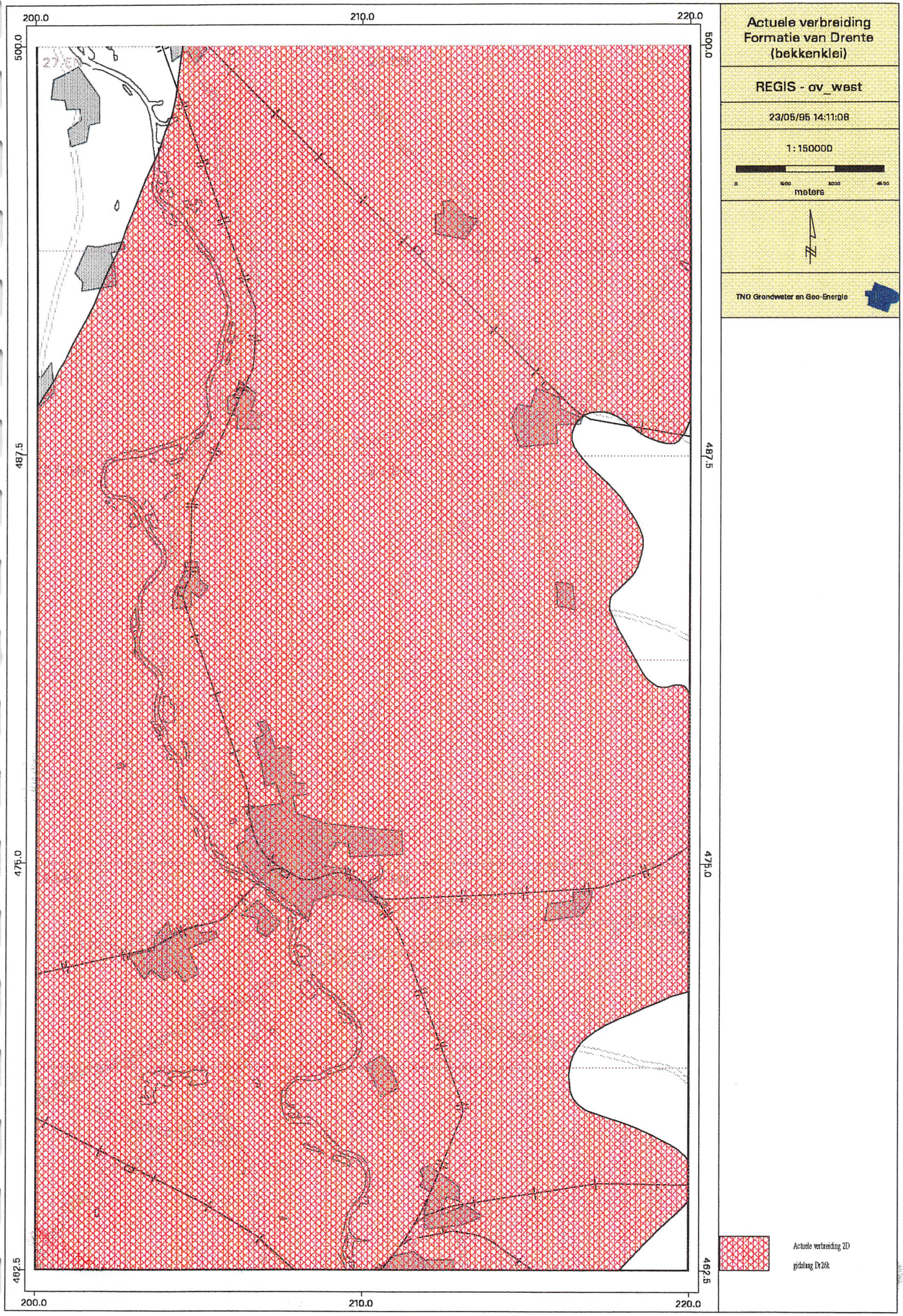
1 : 150000

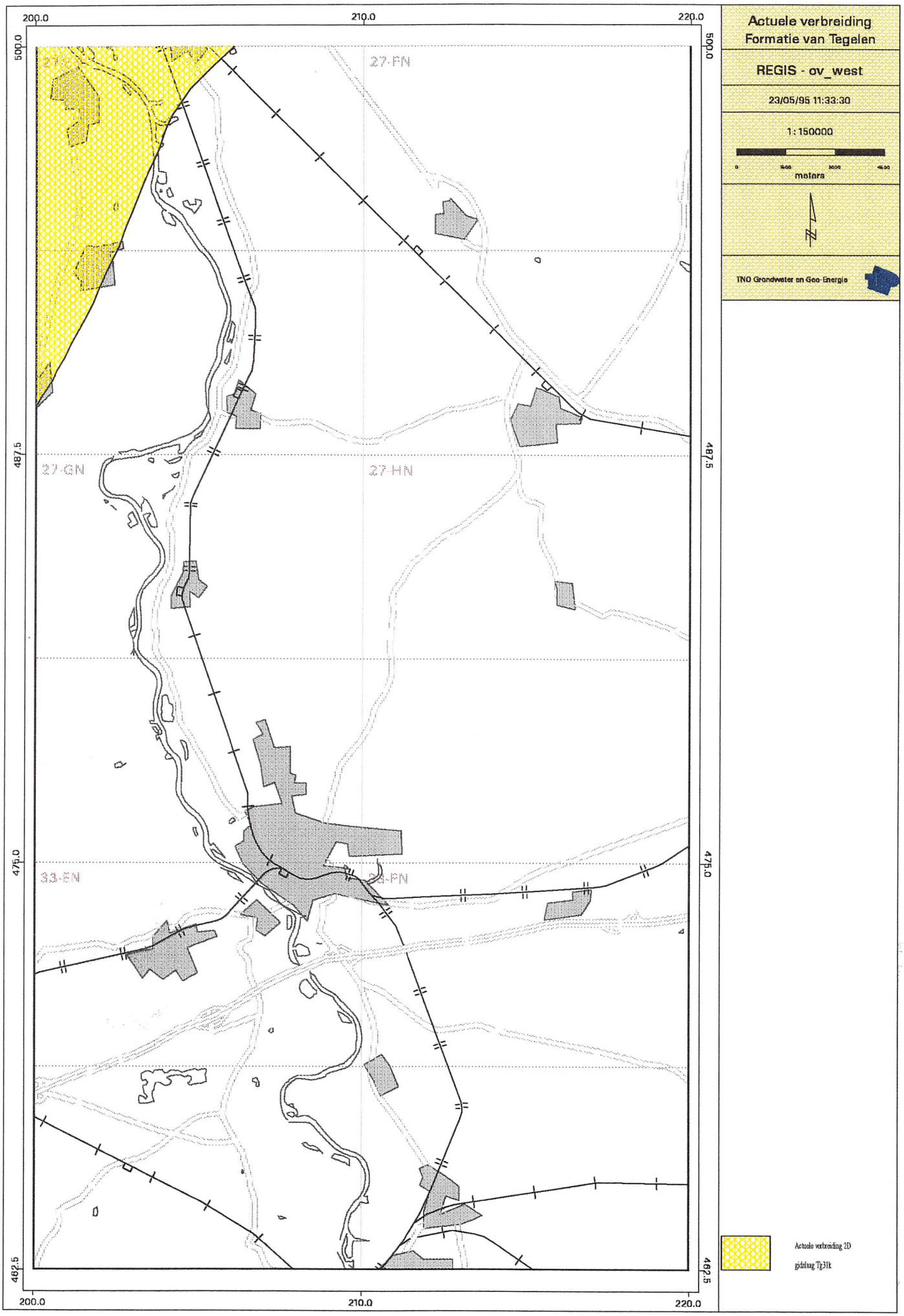
0 1500 3000 4500 meters

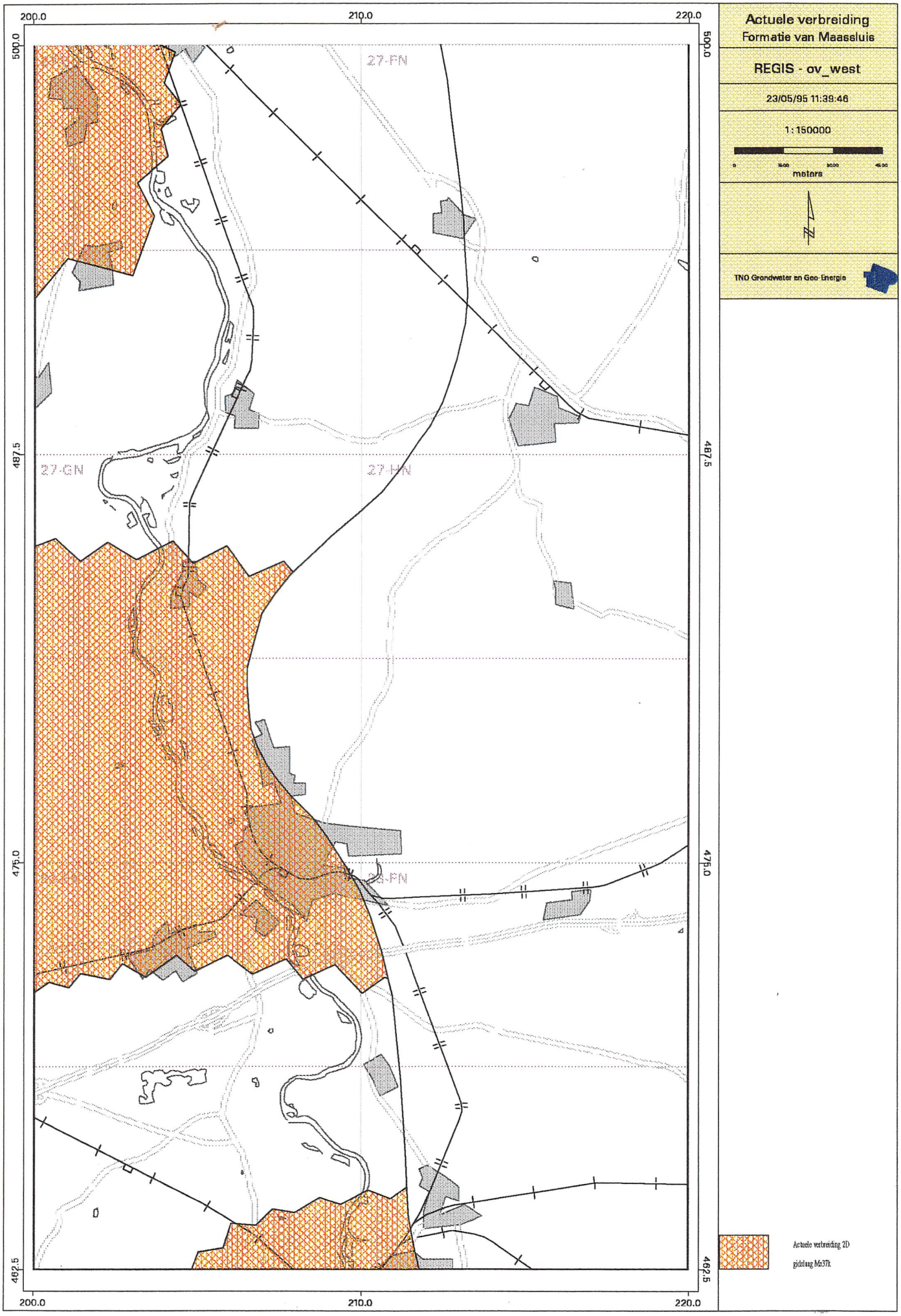
TNO Grondwater en Geo-Energie

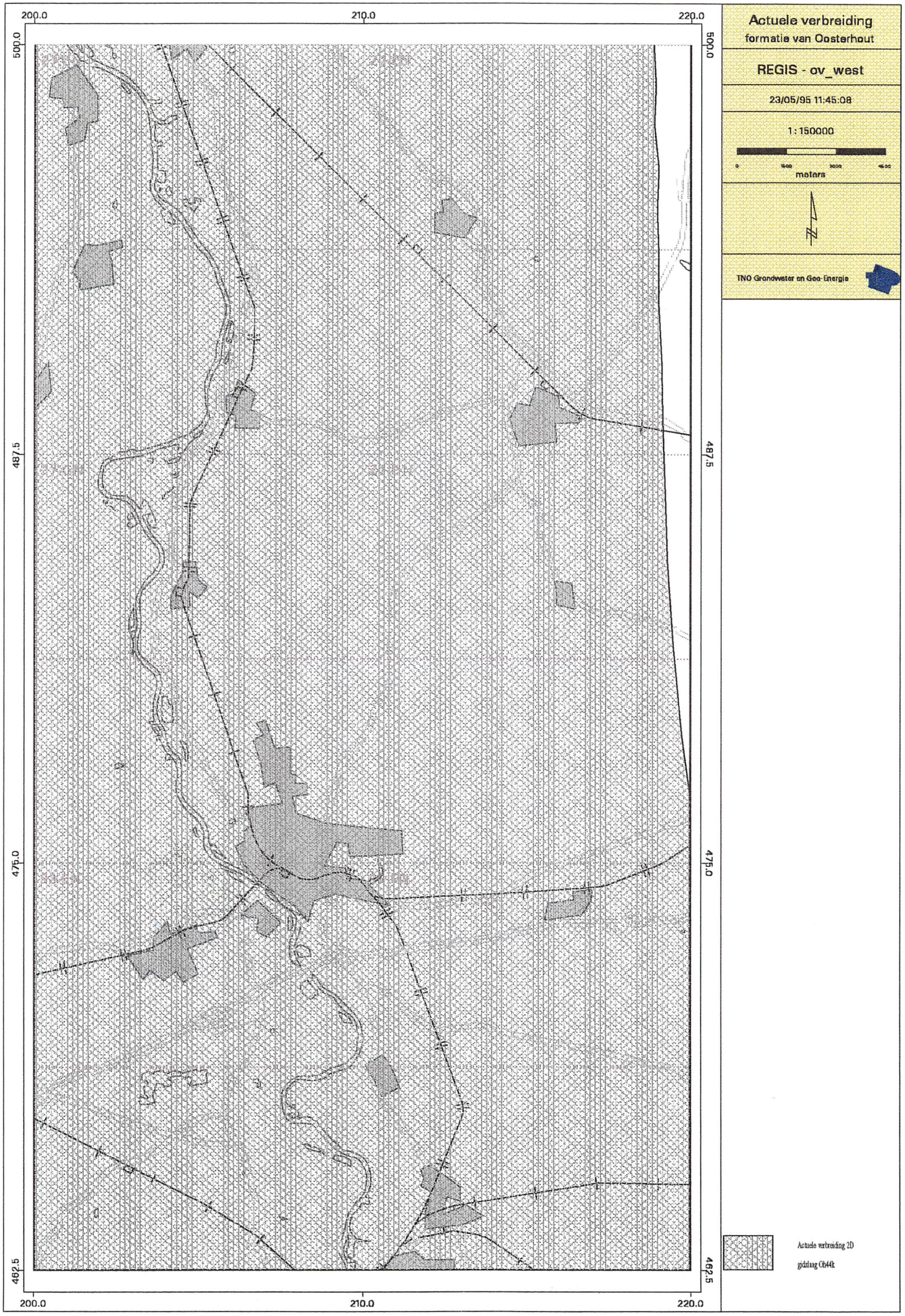
Actuele verbreiding 2D

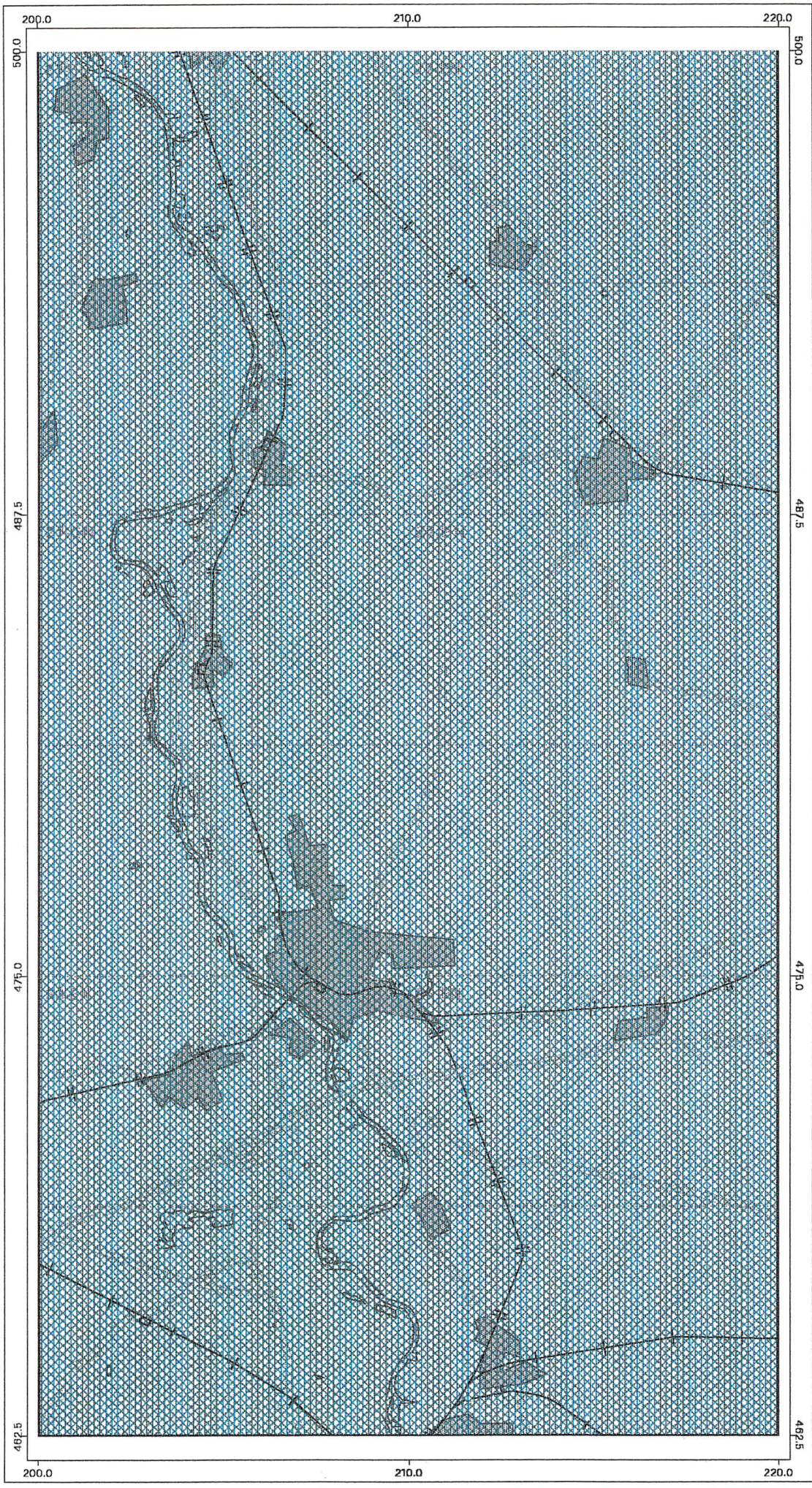
gridslag Em32k


Actuele verbreiding
Formatie van Drente
(bekkenklei)
REGIS - ov_west
23/05/95 14:11:08
1:150000
0
1500
3000
4500
meters
TNO Grondwater en Geo-Energie
200.0
210.0
220.0
500.0
487.5
475.0
462.5
Actuele verbreiding 2D
rjdslang Dr26k


Actuele verbreiding
Formatie van Tegelen
REGIS - ov_west
23/05/95 11:33:30
1: 150000
meters
TNO Grondwater en Geo-Energie
27-FN
27-GN
27-HN
33-EN
33-FN
200.0
210.0
220.0
500.0
487.5
475.0
462.5
Actuele verbreiding 2D
gidslaag Tg31k


Actuele verbreiding
Formatie van Maassluis
REGIS - ov_west
23/05/95 11:39:46
1: 150000
0
1500
3000
4500
meters
TNO Grondwater en Geo-Energie
200.0
210.0
220.0
500.0
487.5
475.0
462.5
27-FN
27-GN
27-HN
28-FN
Actuele verbreiding 2D
gidslaag Mx37k


Actuele verbreiding
formatie van Oosterhout
REGIS - ov_west
23/05/95 11:45:08
1:150000
0
1500
3000
4500
meters
TNO Grondwater en Geo-Energie
200.0
210.0
220.0
500.0
487.5
475.0
462.5
Actuele verbreiding 2D
gidsiaug Ob44k



Actuele verbreiding Formatie van Breda (ondoorlatende basis)

REGIS - ov_west

23/05/95 14:02:46

1 : 150000

0 1500 3000 4500

meters

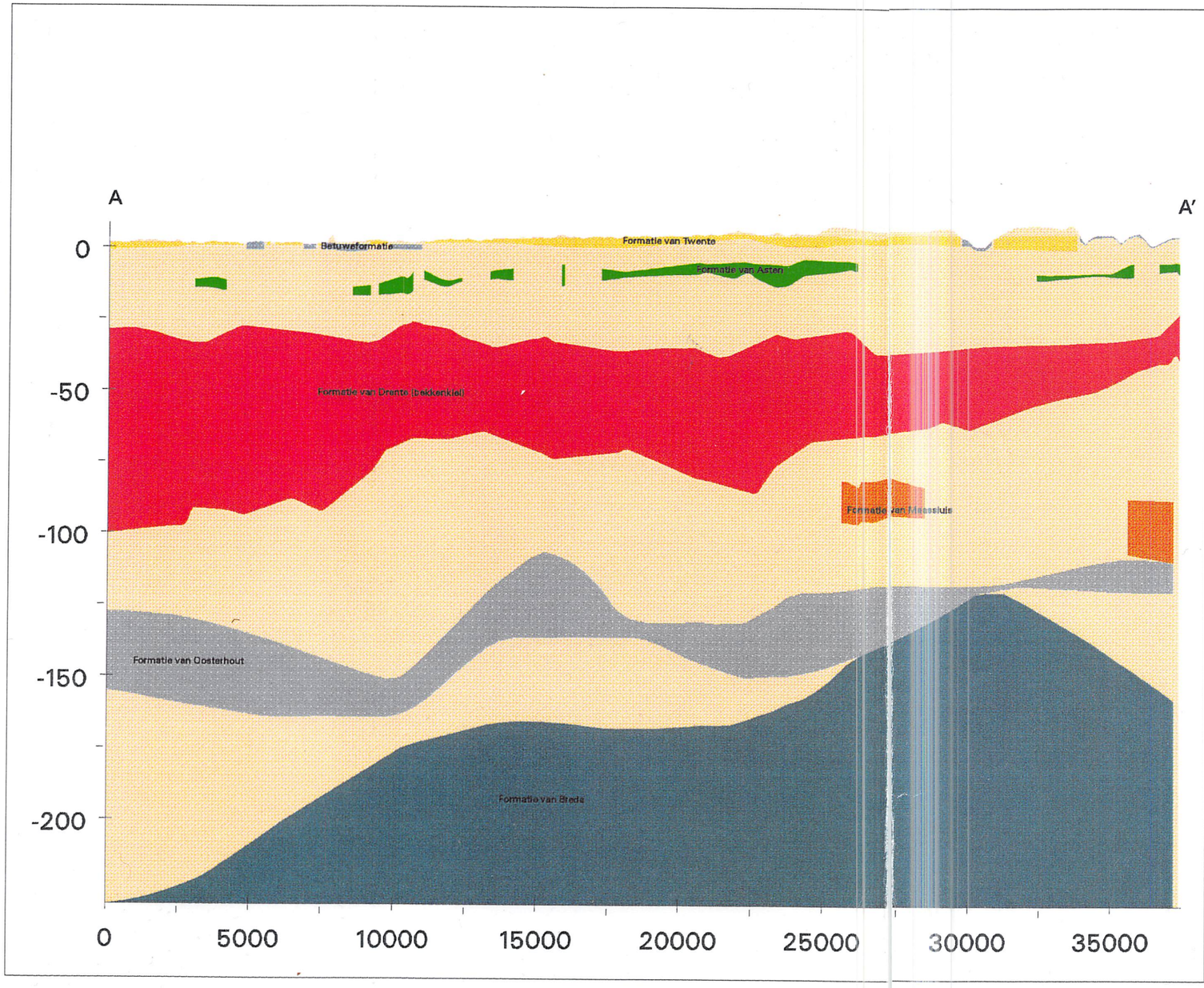
N

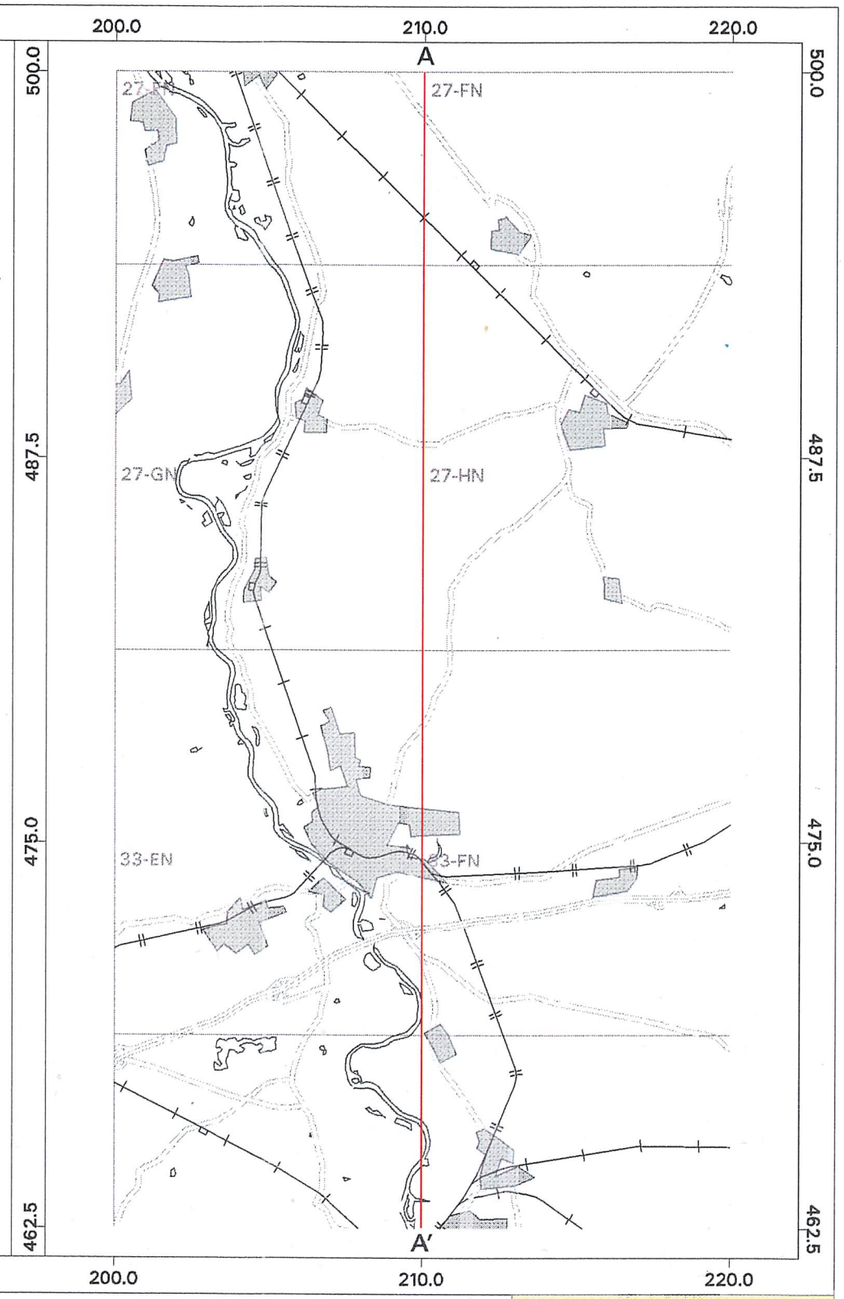
TNO Grondwater en Geo-Energie

Actuele verbreiding 2D

gidslaag Bd52k

BIJLAGE B1.4 Profielen met gidslagen en geohydrologisch standaardmodel
(naar: ReGIS, 1993)





Gidslagen profiellijn A-A'

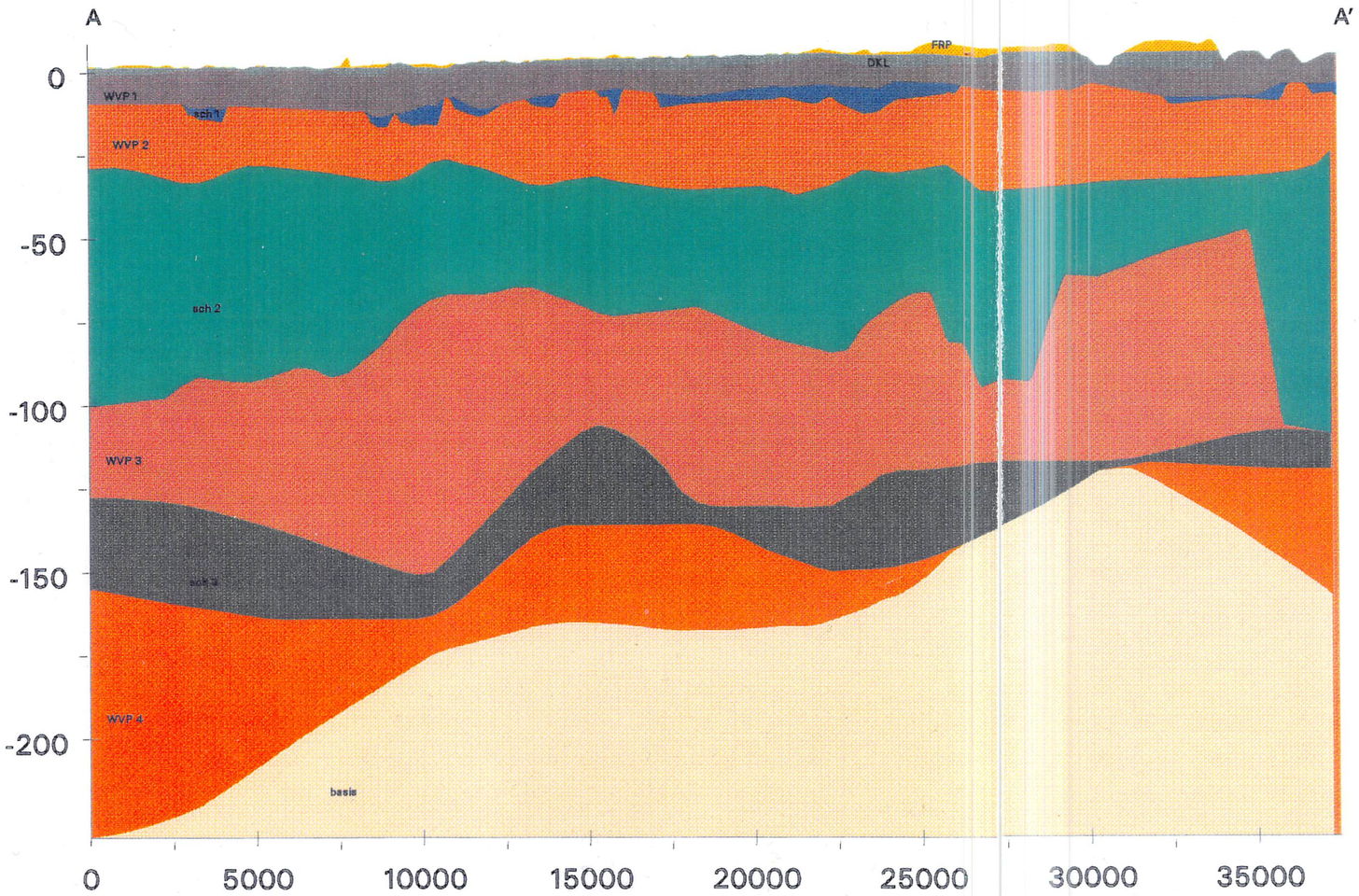
REGIS - ov_west

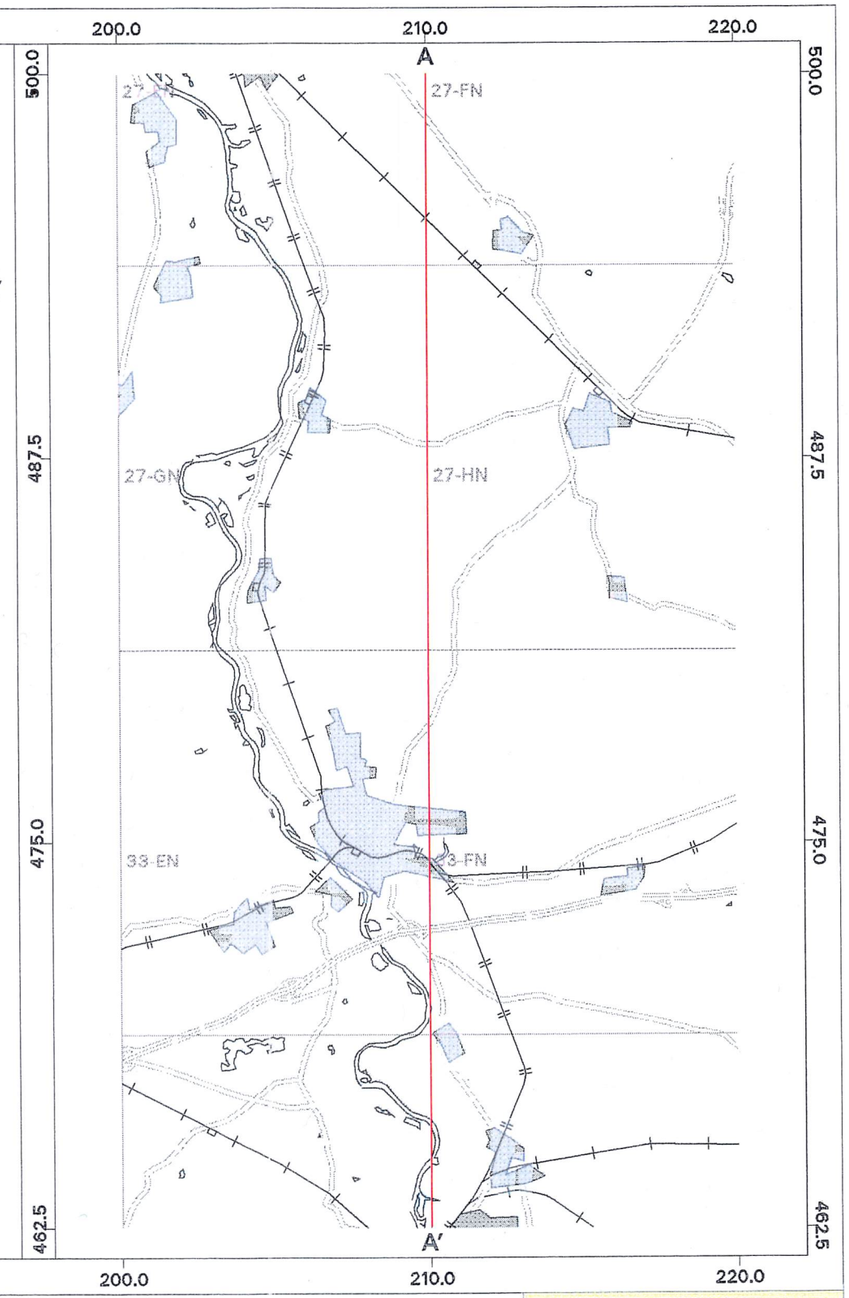
29/05/95 14:48:57

1 : 500000

0 7500 15000 22500 meters

TNO Grondwater en Geo-Energie



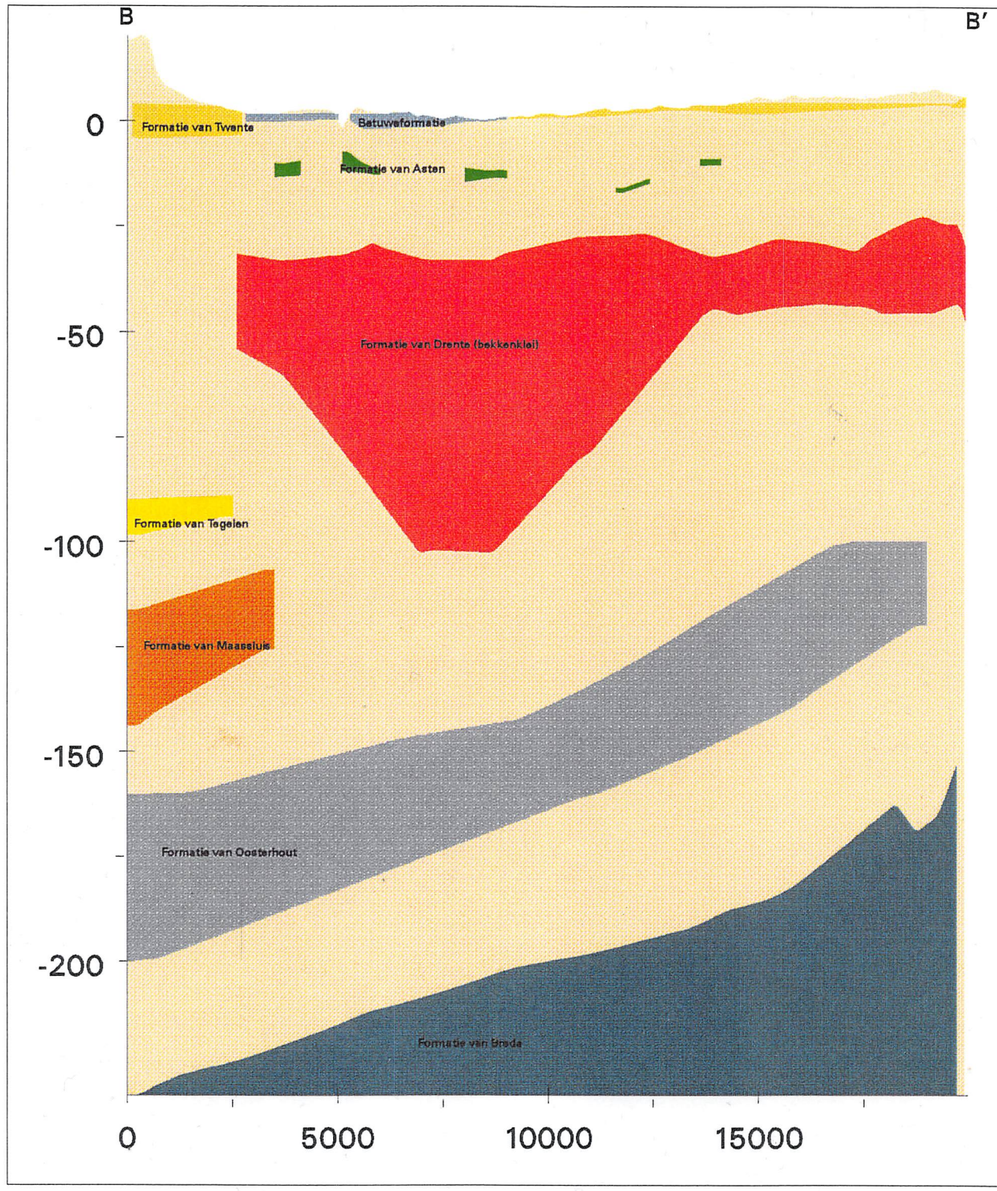


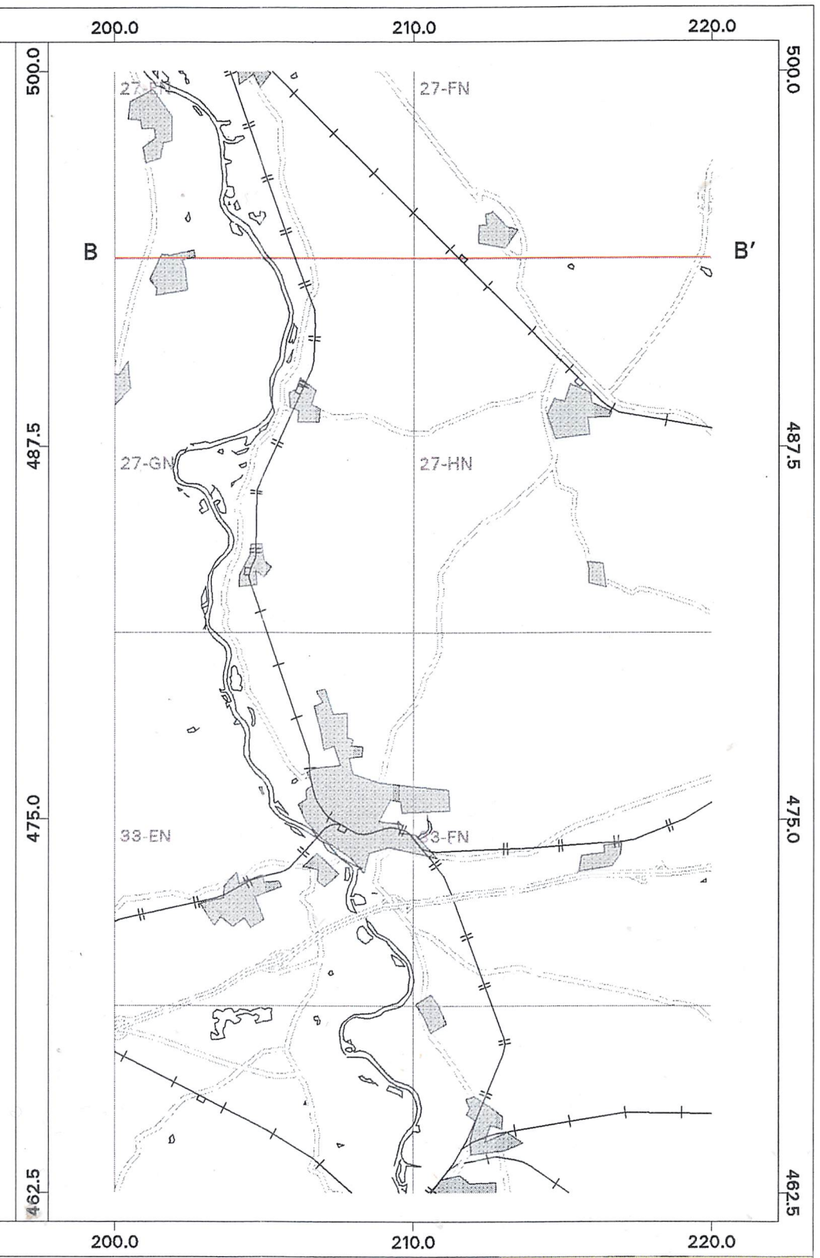
Geohydrologisch Standaardmodel profiellijn A-A'

REGIS - ov_west

29/05/95 17:08:48

TNO Grondwater en Geo-Energie





Gidslagen
profiellijn B-B'

REGIS - ov_west

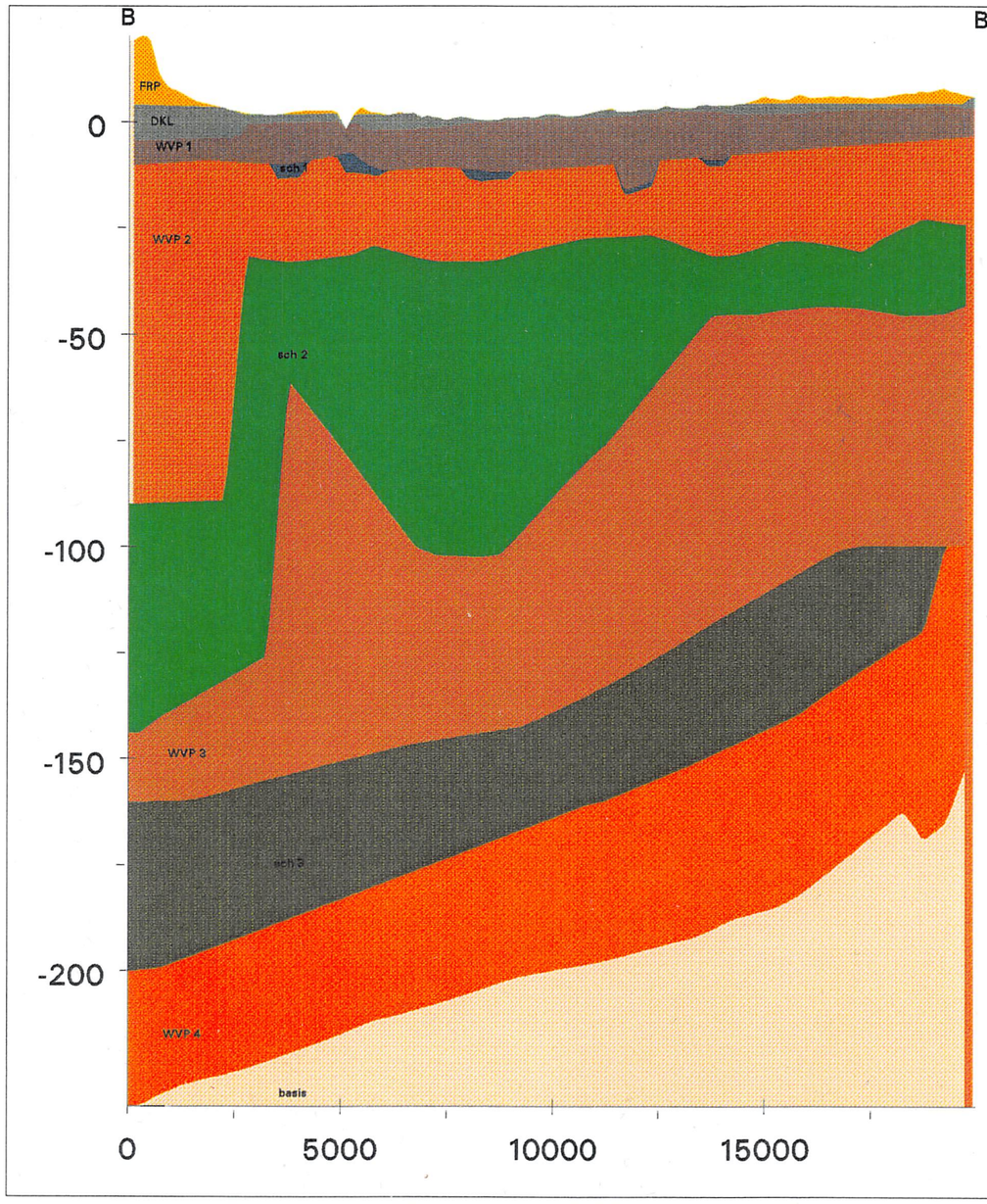
29/05/95 15:11:25

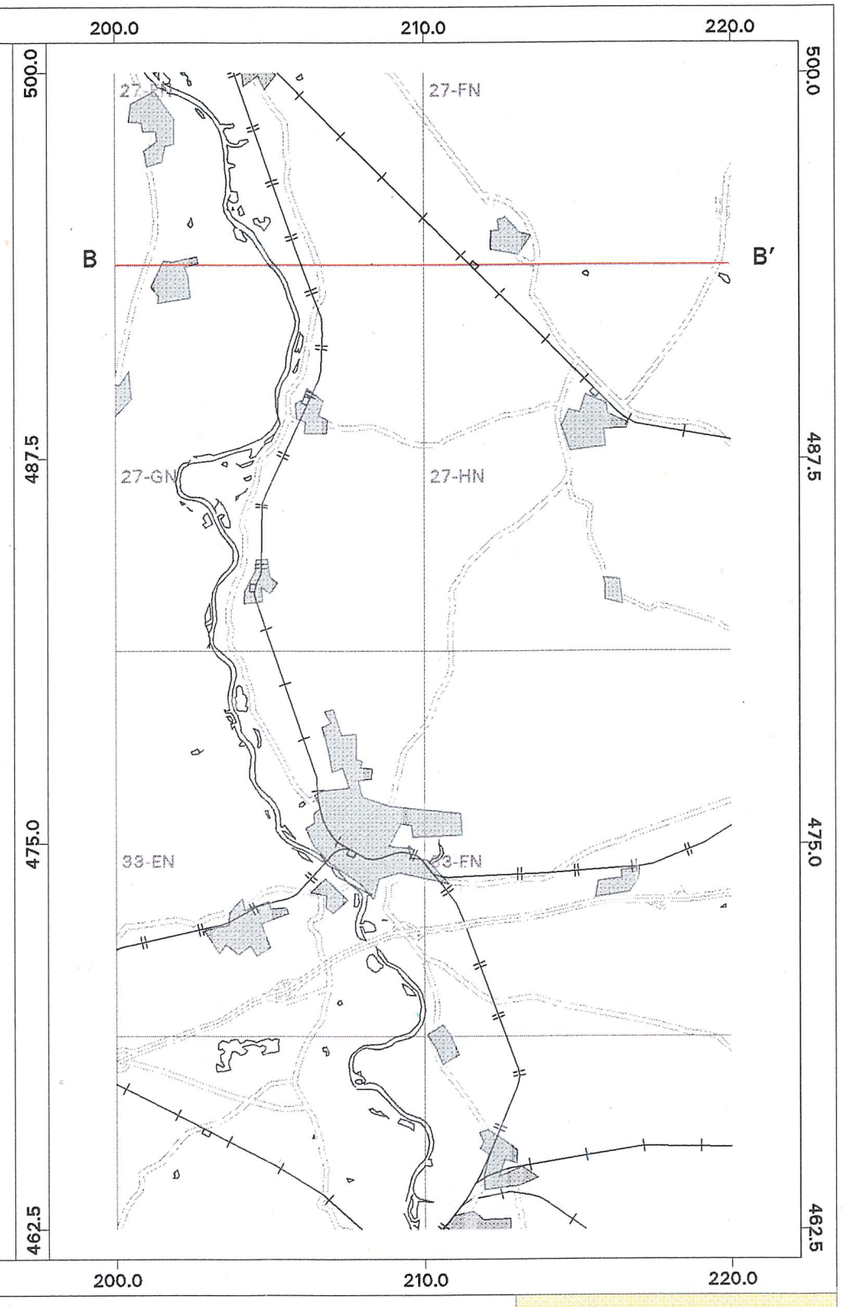
1 : 500000

0 7500 15000 22500
meters

N

TNO Grondwater en Geo-Energie



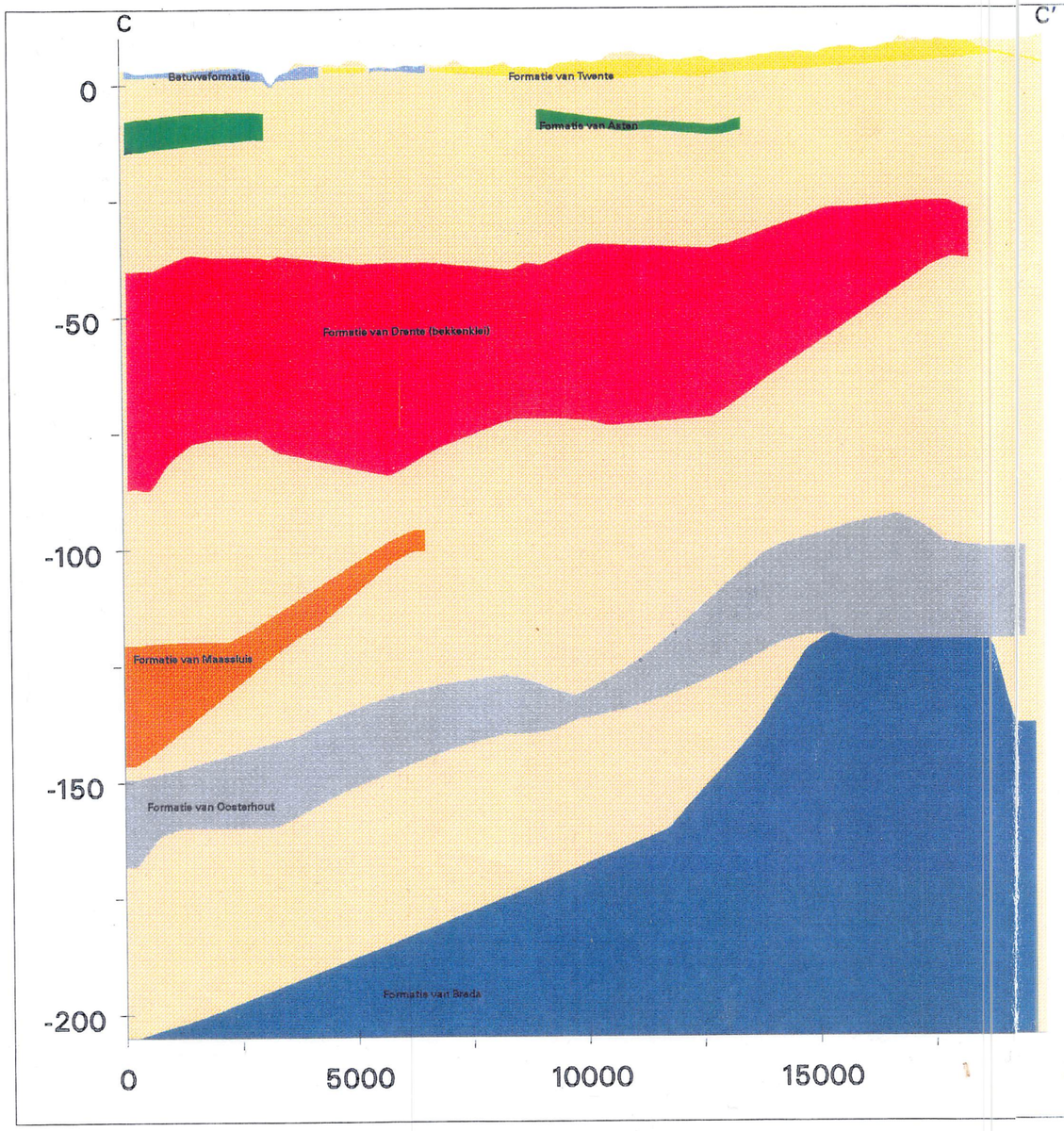


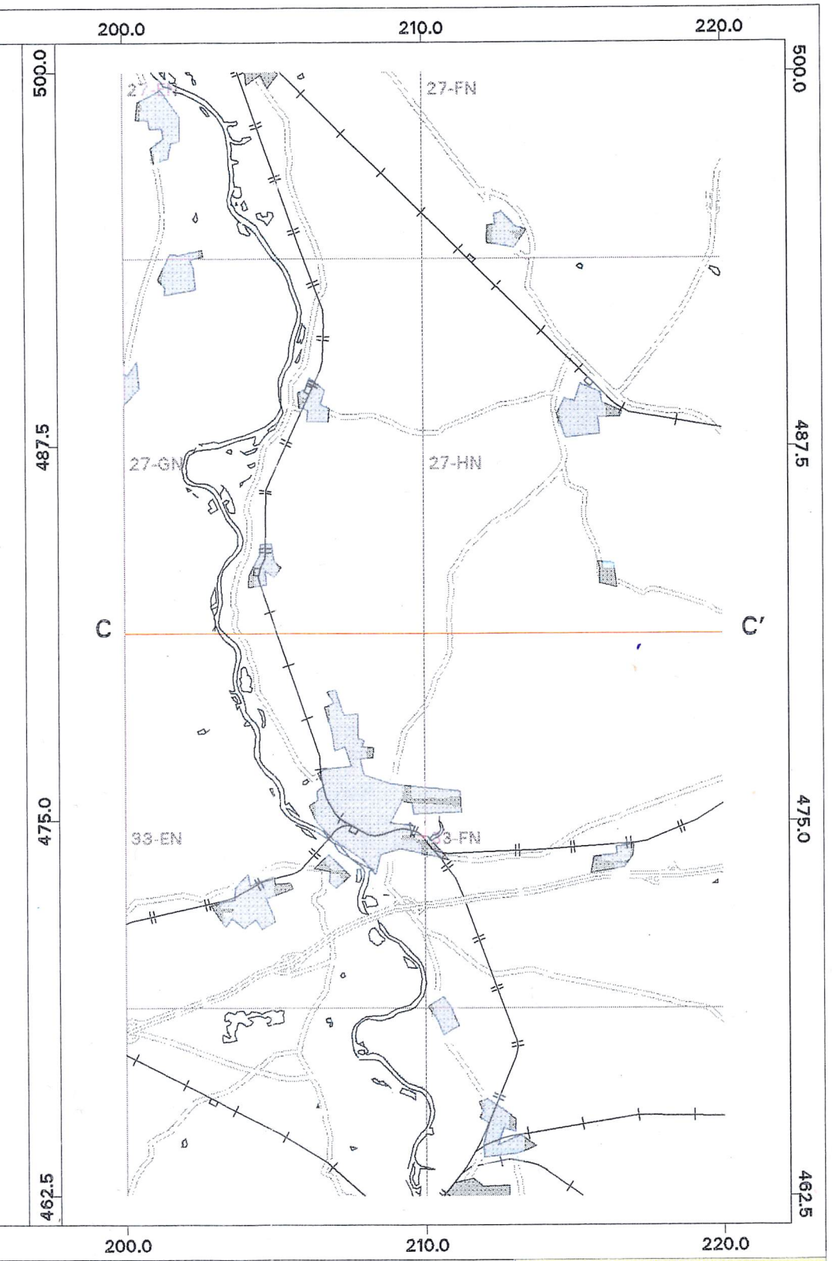
Geohydrologisch Standaardmodel profiellijn B-B'

REGIS - ov_west

29/05/95 16:55:36

TNO Grondwater en Geo-Energie





Gidslagen profiellijn C-C'

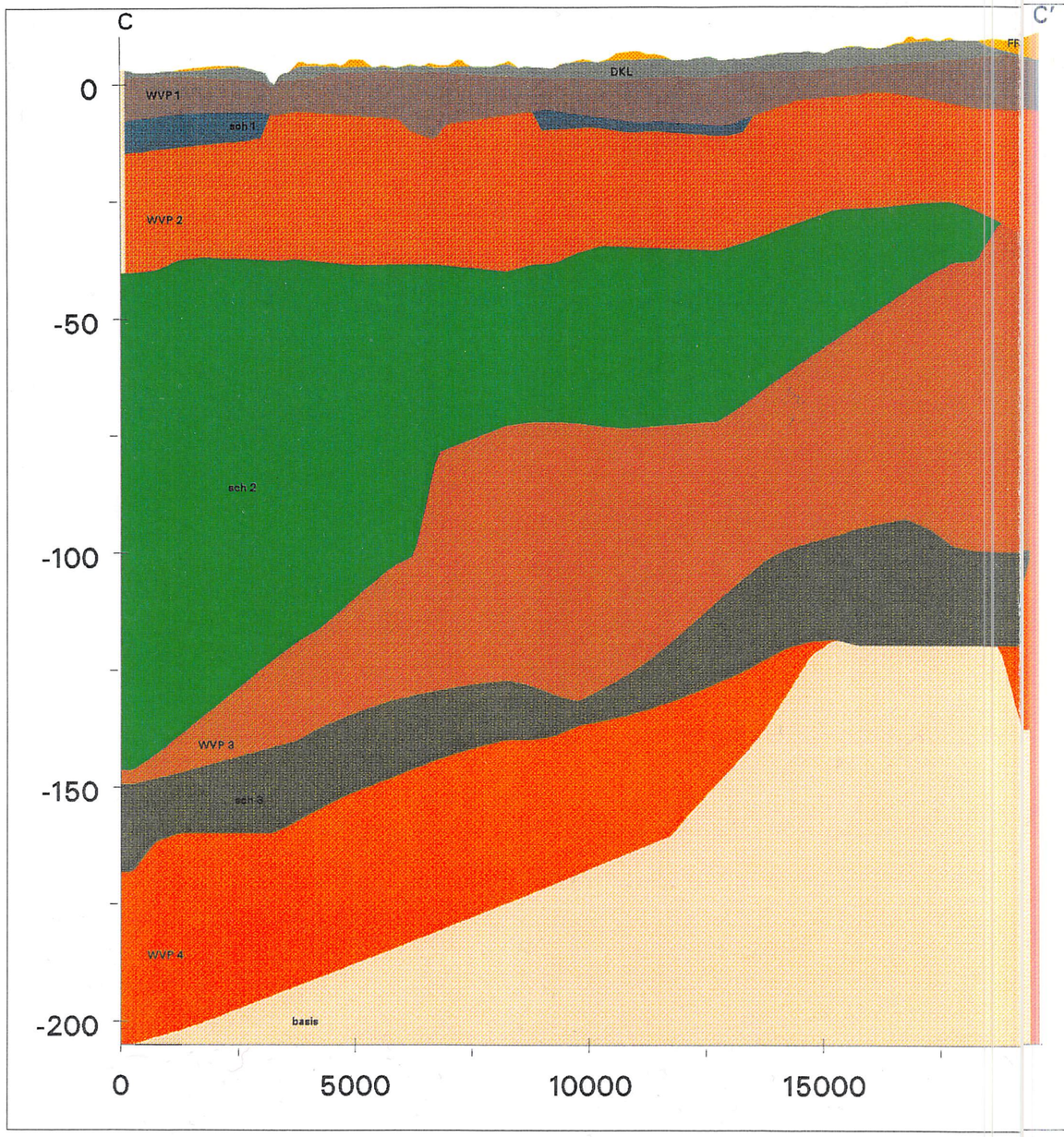
REGIS - ov_west

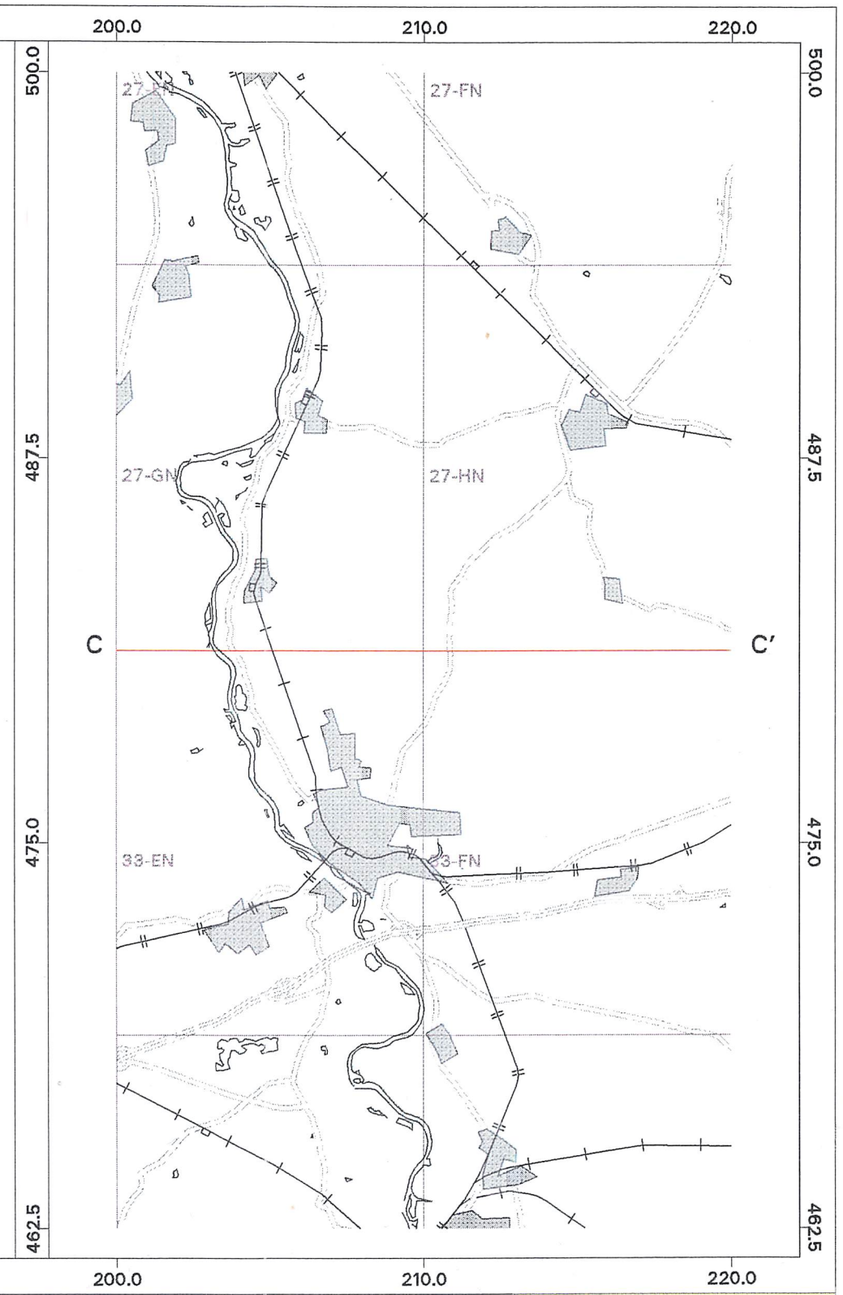
29/05/95 16:11:42

1 : 500000

0 7500 15000 22500 meters

TNO Grondwater en Geo-Energie



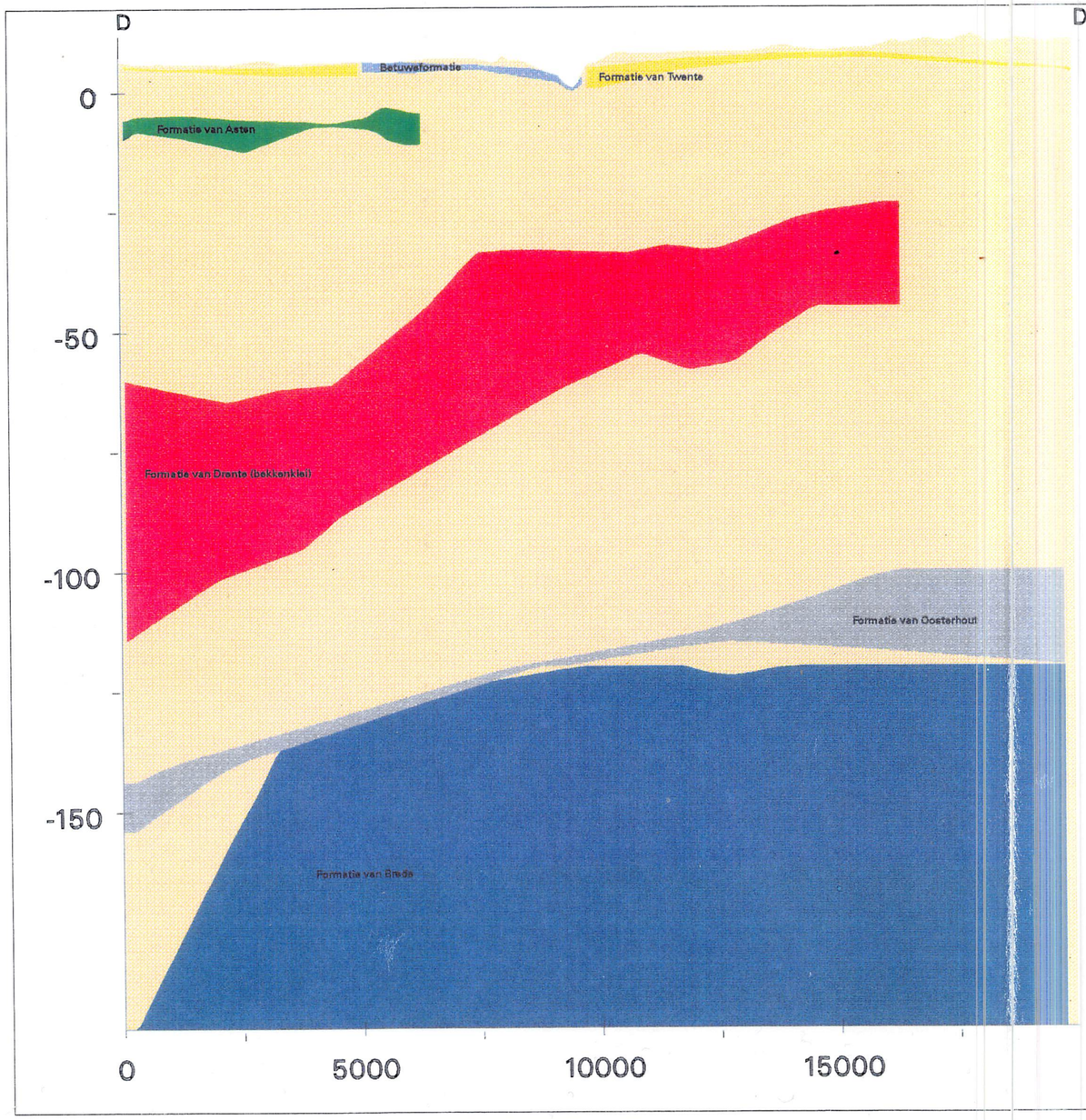


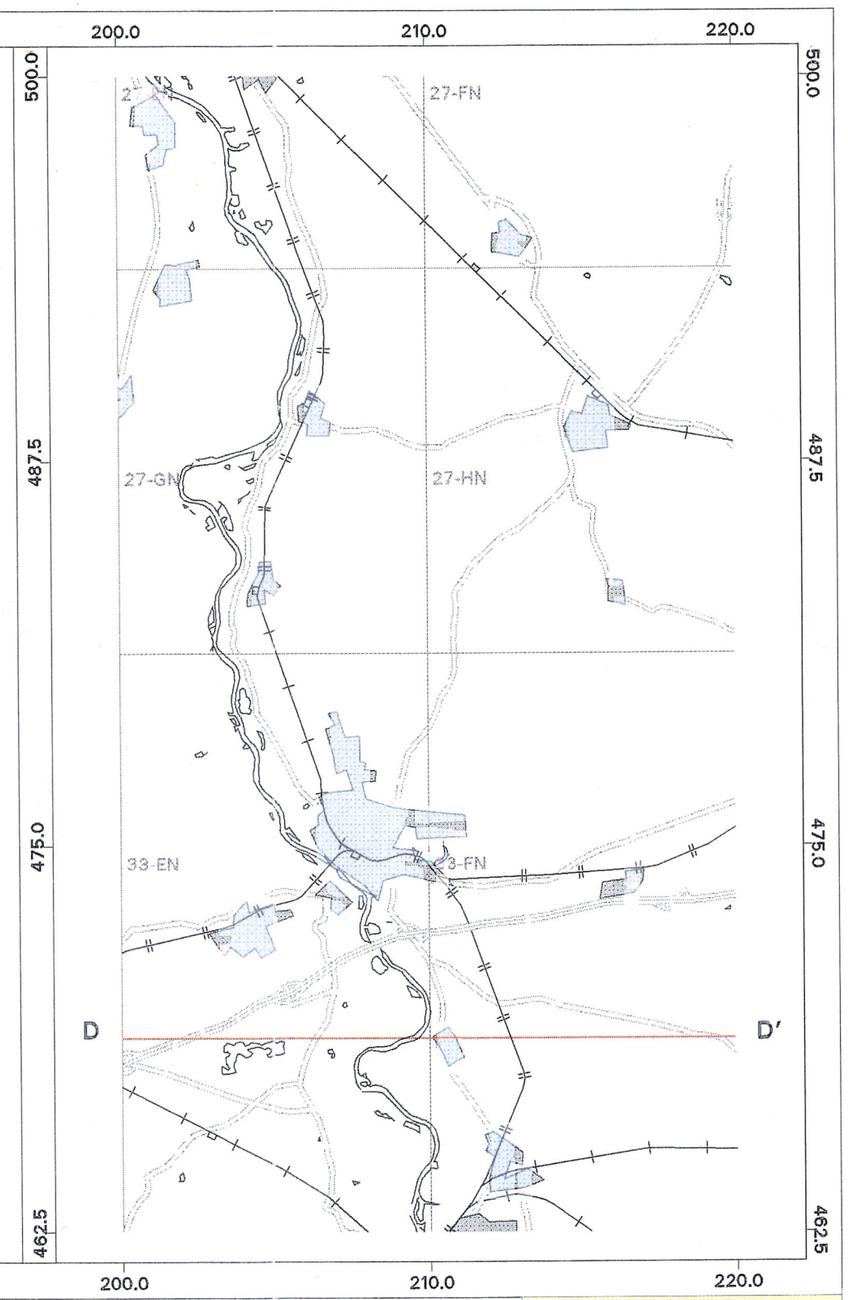
Geohydrologisch Standaardmodel profiellijn C-C'

REGIS - ov_west

30/05/95 10:45:54

TNO Grondwater en Geo-Energie





Gidslagen
profiellijn D-D'

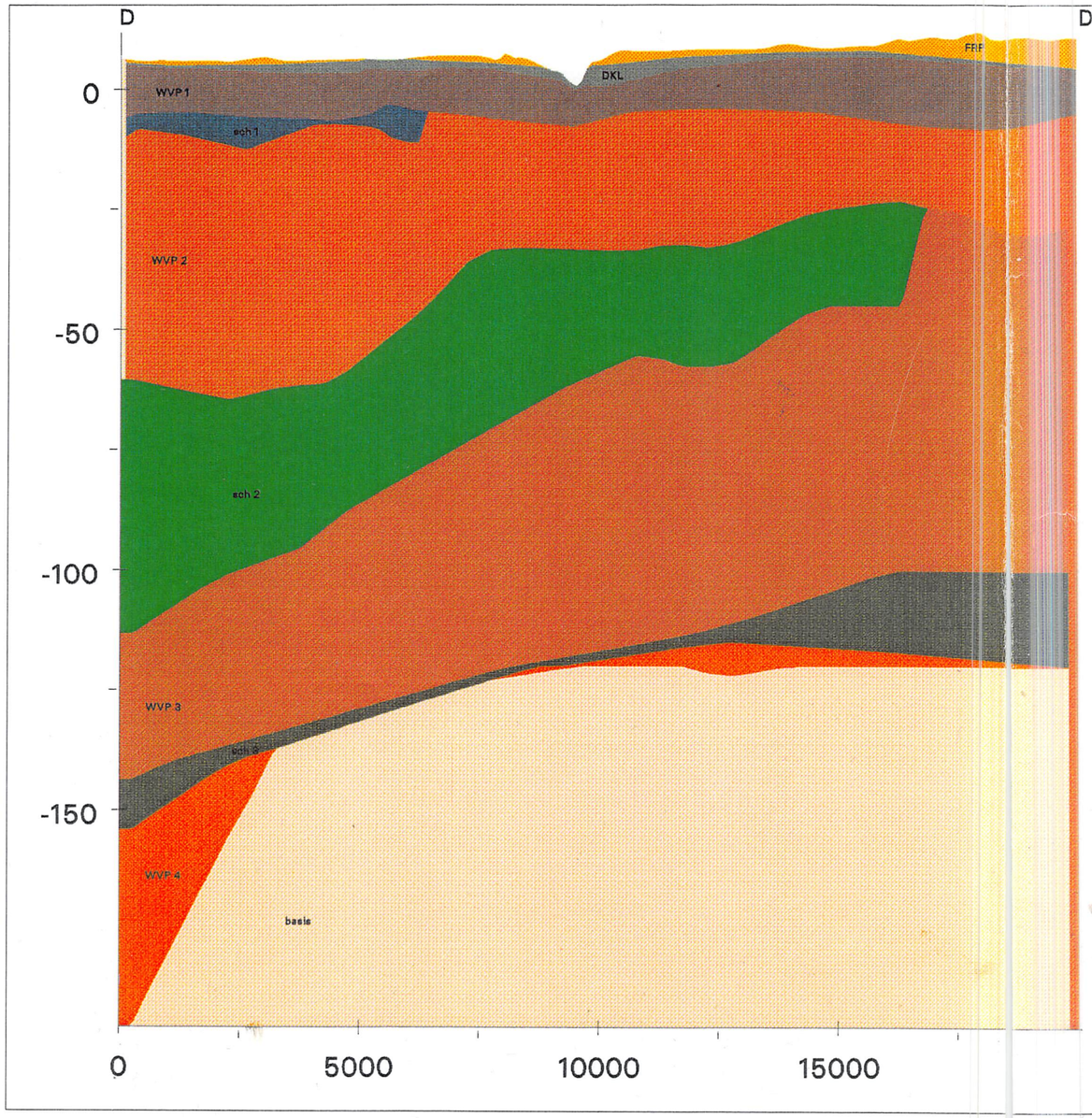
REGIS - ov_west

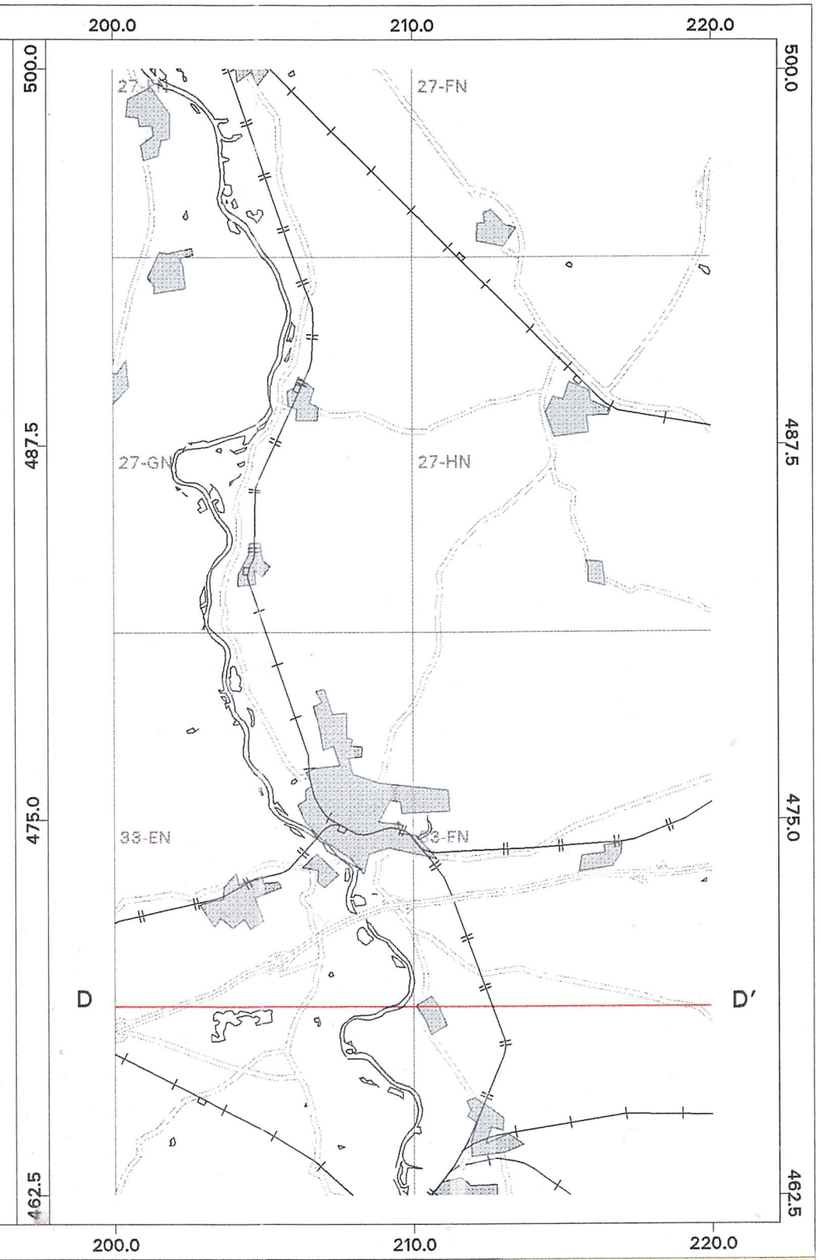
29/05/95 16:23:17

1 : 500000

0 7500 15000 22500
meters

TNO Grondwater en Geo-Energie





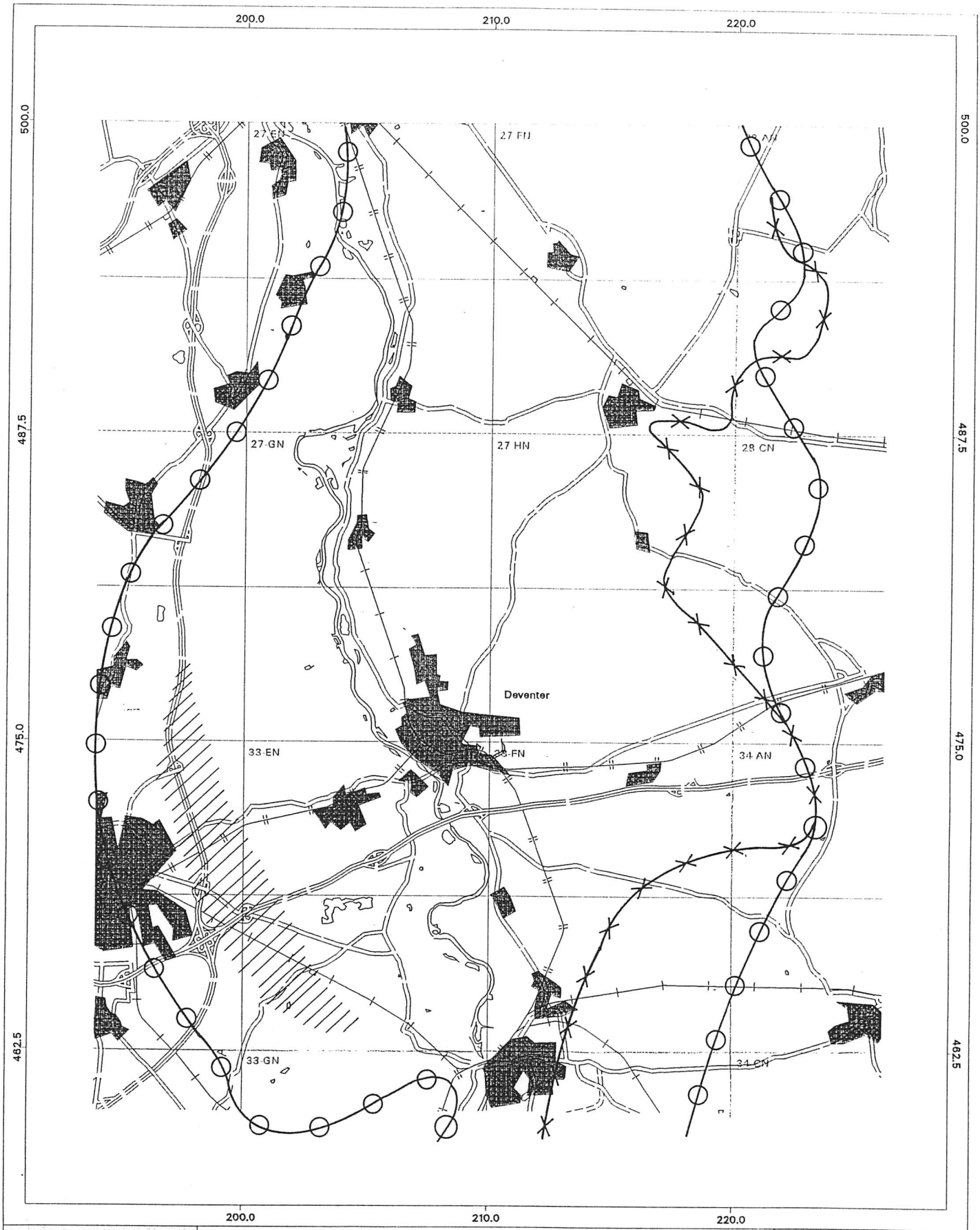
Geohydrologisch Standaardmodel profiellijn D-D'

REGIS - ov_west

30/05/95 10:38:11

TNO Grondwater en Geo-Energie

BIJLAGE B1.5 Verspreidingsgebied van de Formatie van Drente



Bijlage B1.5 Verspreidingsgebied van de Formatie van Drente

- begrenzing fluvio-glaciale klei (RGD, 1973a)
- meetbare begrenzing van de fluvio-glaciale klei (TNO-DGV, 1973)
- vermoedelijk raakvlak Formaties van Tegelen en Drente (TNO-DGV, 1975)

Topografische ondergrond

03/10/95 14:27:26

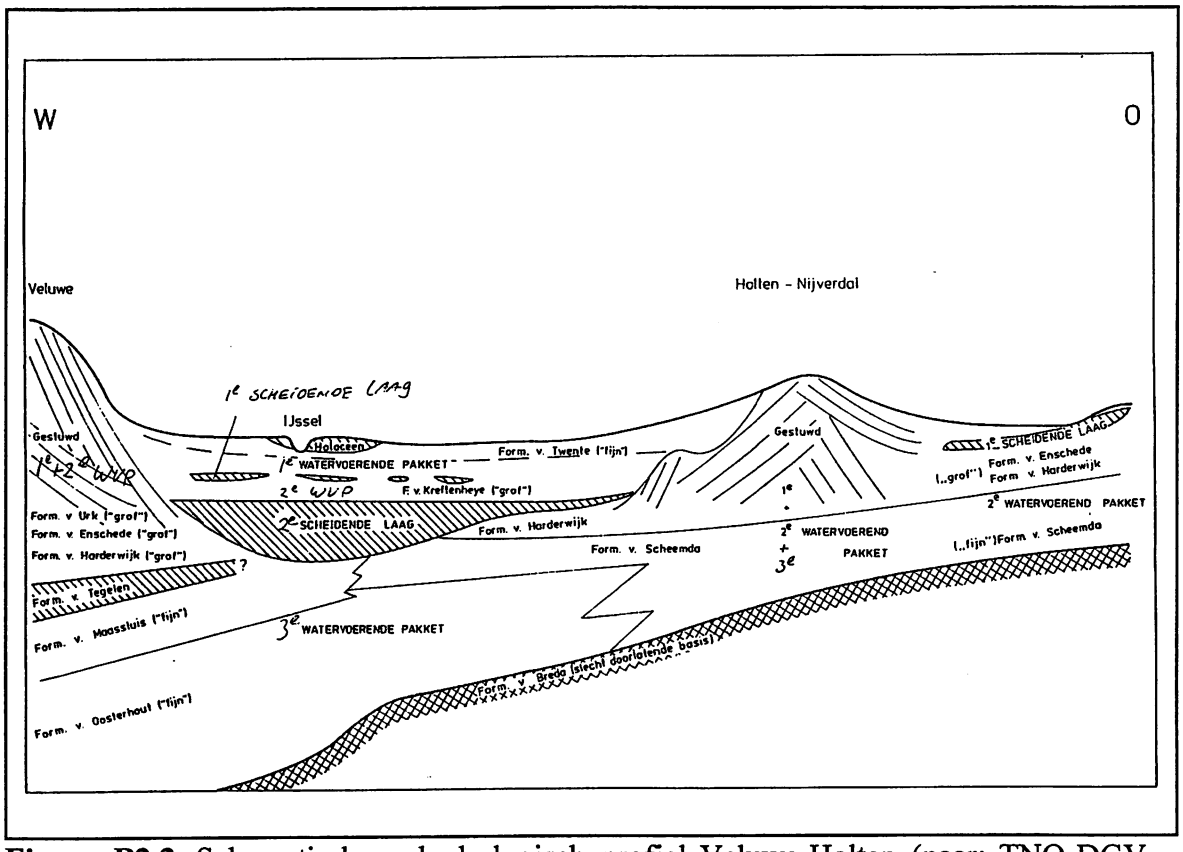
1 : 150000

meters

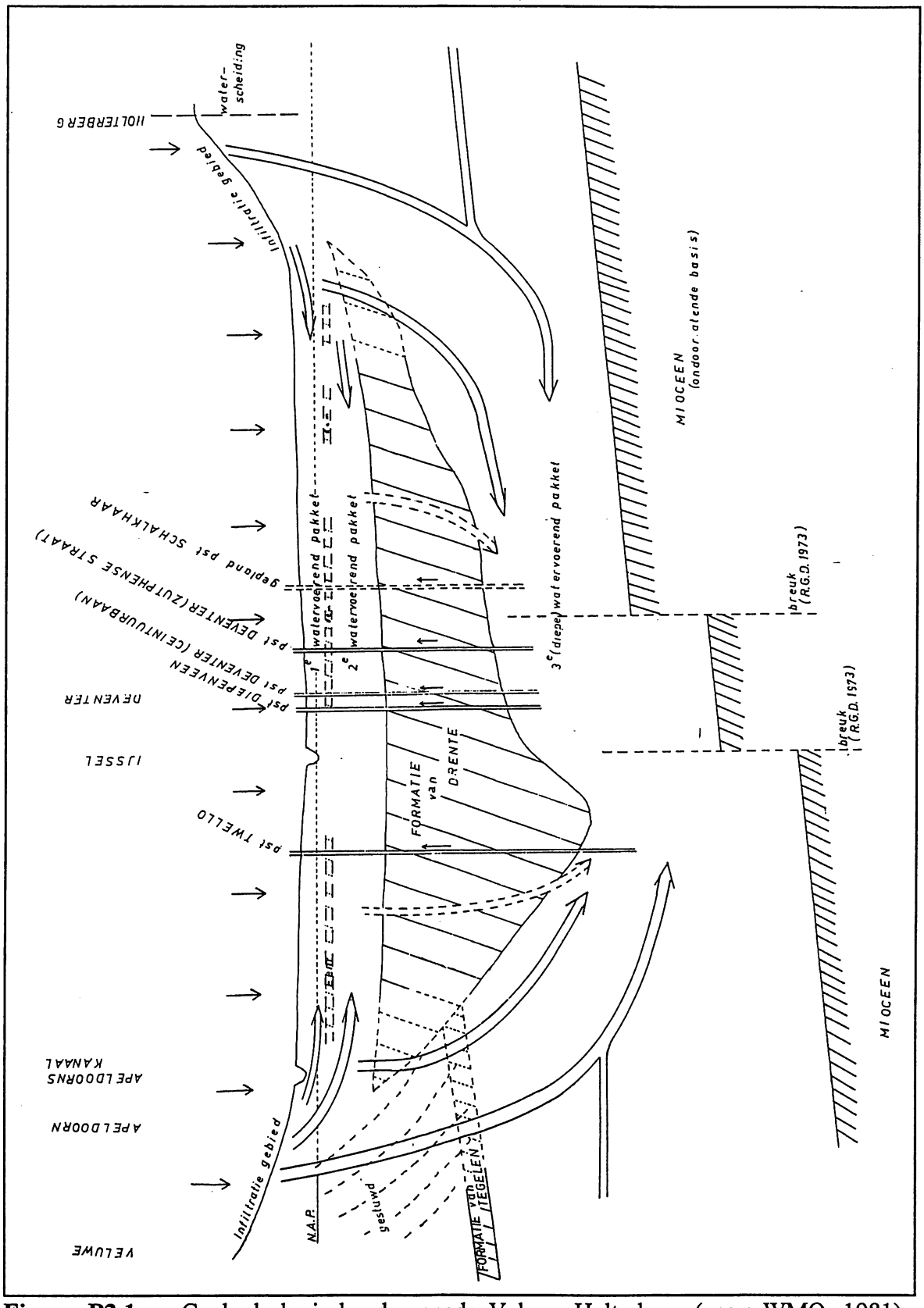
BIJLAGE 2 GEOHYDROLOGIE VAN DE IJSSELVALLEI

Op grond van de aard van de aanwezige afzettingen alsmede de topografie kan de IJsselvallei onderverdeeld worden in drie gebieden (RGD, 1973a):
- Oostelijke rand van de Veluwe
- Het vlakke gebied rondom de IJssel (o.a. Salland)
- De Sallandse Heuvelrug en het direct westelijk daarvan gelegen gebied.

In de volgende paragrafen wordt aan de hand van deze indeling een inventariserende beschrijving gegeven van de geohydrologische gesteldheid van het onderzoeksgebied. De nadruk zal daarbij liggen op inventarisatie van eigenschappen van de onderscheiden geohydrologische pakketten.
In de eerste drie paragrafen zullen de drie onderscheiden gebieden globaal besproken worden. In B2.4 zal de situatie rondom Deventer nauwkeuriger besproken worden.
In B2.5 zal nader ingegaan worden op de grondwaterstroming in het onderzoeksgebied.
Als leidraad bij de beschrijving van de geohydrologische gesteldheid wordt gebruik gemaakt van de profielen in bijlage B1.4 (TNO-GGE, 1993), het profiel in figuur B2.1



Figuur B2.2 Schematisch geohydrologisch profiel Veluwe-Holten (naar: TNO-DGV, 1985)



Figuur B2.1 Geohydrologische doorsnede Veluwe-Holterberg (naar: WMO, 1981)

(WMO, 1981) alsmede van het profiel in figuur B2.2 (gewijzigd, naar TNO-DGV, 1985). Er zal een indeling in drie watervoerende pakketten gehanteerd worden.

B2.1 De oostelijke Veluwerand

In dit gebied wordt een goed tot zeer goed watervoerend pakket op een matig watervoerend pakket aangetroffen, gescheiden door scheefgestelde kleilagen (Formatie van Tegelen) die lokaal de doorlatendheid negatief kunnen beïnvloeden (RGD, 1973a; Broks, 1992).
Het goede tot zeer goede watervoerende pakket (*1e + 2e WVP* in figuur B2.2) bestaat voor het grootste deel uit gestuwde grove fluviatiele afzettingen (Formatie van Harderwijk/Enschede). Dit pakket is meer dan 100 m. dik (Broks, 1992; Haak, 1982). Volgens Broks (1992) is er sprake van een slecht doorlatende verbinding tussen dit en het tweede watervoerende pakket in de IJsselvallei (*2e WVP* in figuur B2.2) t.g.v. ingeschakelde en scheefgestelde leemlagen.
Het matig watervoerend pakket (*3e watervoerende pakket* in figuur B2.2) bestaat uit pliocene en pleistocene mariene en fluviatiele afzettingen (Formaties van Oosterhout, Maassluis en Tegelen). Deze afzettingen bestaan over het algemeen uit fijne slibhoudende zanden met ingeschakelde kleilagen (RGD, 1973a). De dikte van het pakket varieert van 150 m. in het noorden (Zwolle) tot 200 à 250 m. in het zuiden (RGD, 1973a).

B2.2 Het vlakke gebied rondom de IJssel

De grenzen van dit gebied worden gevormd door de verspreiding van de Formatie van Drente (zie bijlage B1.5). De bekkenklei (*1e scheidende laag* in figuur B2.2) van deze formatie zorgt voor een scheiding in twee watervoerende pakketten: onder de klei ligt het pliocene en vroeg-pleistocene matig watervoerende pakket (Formaties van Oosterhout, Maassluis en Scheemda), boven de klei het laat-pleistocene zeer goed watervoerende pakket (Formatie van Kreftenheye).
Het onderste watervoerende pakket (*3e watervoerende pakket* in figuur B2.2) bestaat voornamelijk uit fijn slibhoudend zand met kleilagen; het bovenste pakket (*1e watervoerende pakket* en *2e WVP* in figuur B2.2) bestaat uit grove grindhoudende zanden, lokaal in tweeën gedeeld door het voorkomen van de Formatie van Asten (RGD, 1973a; *1e scheidende laag* in figuur B2.2). De oostelijk gelegen fluviatiele afzettingen zijn grover dan de westelijke mariene afzettingen.

B2.3 De Sallandse Heuvelrug

In dit deel van het onderzoeksgebied is slechts één watervoerend pakket aanwezig (RGD, 1973a; *1e + 2e + 3e watervoerend pakket* in figuur B2.2).
Het bovenste deel is evenals bij de oostelijke Veluwerand zeer goed watervoerend (gestuwde Formatie van Harderwijk/Enschede en in situ Formatie van Kreftenheye).
Het onderste deel bestaat uit een matig watervoerend pakket (deels Formatie van harderwijk/Enschede, Formatie van Scheemda en Formatie van Oosterhout).

B2.4 Deventer in detail

Deventer ligt centraal in het het vlakke gebied rondom de IJssel. Centraal in de geohydrologische beschrijving staat dan ook de bekkenklei van de Formatie van Drente. Boven deze klei bevinden zich de eerste twee watervoerende pakketten, onder de klei wordt het derde watervoerend pakket aangetroffen.

Het eerste watervoerend pakket begint enkele meters onder het maaiveld en loopt tot 5 à 10 m - N.A.P.. Het is ongeveer 10 m. dik en bestaat uit fijn tot grof zand met plaatselijk klei (Formaties van Twente en Kreftenheye). Voor de doorlatendheid worden de volgende waarden gegeven:

KD - 750 m^2/dag (WMO, 1981)
K - 5-20 m/dag (Haak, 1982)

De scheiding tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket wordt gevormd door continentaal Eemien (Formatie van Asten), dat kleiig is ontwikkeld. Bijlage B1.3 geeft een beeld van de verbreiding van deze "Eemklei"; de dikte is gemiddeld 5 m.. De weerstandswaarden die voor deze afzetting genoemd worden variëren sterk, vanwege de sterk versnipperde verbreiding. De volgende waarden zijn gevonden:

c - 1000 dagen (WMO,1981)
K - 0 m/dag (Haak, 1982)

Het tweede watervoerende pakket bestaat uit een 20 tot 40 m. dikke laag matig grove tot grove zanden (Formatie van Kreftenheye). De basis ligt tussen de 30 en 40 m. -N.A.P. .

KD - 1200 m^2/dag (WMO,1981)
- 1800 - 2500 m^2/dag (IMd, 1994)
- 2000 m^2/dag (RGD, 1990)
- 1500-3000 m^2/dag (TNO-DGV, 1983), WVP 1 & WVP 2 samen
- 1000-2000 m^2/dag (TNO-DGV, 1983)

K - 50-100 m/dag (Haak, 1982)

Voor de elastische bergingscoëfficient geeft TNO-DGV (1983) $0{,}99*10^{-3}$.

De scheiding tussen het tweede en het derde watervoerende pakket wordt gevormd door de bekkenklei van de Formatie van Drente. Rondom Deventer heeft deze kleilaag een dikte van gemiddeld 50 m. Er is een aanzielijke variatie in de dikte van deze laag. De weerstandswaarden die gevonden worden verschillen dan ook aanzienlijk:

c - 80000 dagen (WMO, 1981), Deventer
- 32700 dagen (WMO, 1981), Schalkhaar
- 72600 dagen (WMO, 1981), Schalkhaar
- ca. 20000 dagen (IMd, 1994), Deventer
- > 10000 dagen (RGD, 1990)

K - 0 m/dag (Haak, 1982)

Het inventarisatierapport Schalkhaar (WMO, 1981) geeft tevens een methode om de c-waarde te berekenen als de dikte van de kleilaag en het stijghoogteverschil over de kleilaag bekend zijn.

Het derde watervoerende pakket wordt gevormd door de vroeg-pleistocene en pliocene afzettingen, bestaande uit fijne, slibhoudende matig doorlatende zanden met kleilagen (Broks, 1992). De bovenkant van dit pakket bevindt zich rondom Deventer op ongeveer 70 m. -N.A.P.. In bijlage B1.4 wordt dit pakket gesplitst in twee afzonderlijke pakketten (WVP 3 en WVP 4 (TNO, 1993)). De bovenkant van de Formatie van Oosterhout (vanaf 110 m - N.A.P. (WMO, 1981; RGD, 1990)) bestaat voornamelijk uit slibhoudend zand en klei (WMO, 1981) en kan eventueel als scheidende laag worden beschouwd. Meestal wordt dit onderscheid echter niet gemaakt omdat de afzettingen daar niet overal dik genoeg voor zijn.
De zoet/zout grens is nog steeds aanwezig in deze overwegend mariene afzettingen.
De plaats van de zoet/zout grens wordt enerzijds bepaald door zoet grondwater dat van de Veluwe afkomstig is (verzoeting) en anderzijds door wateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening (verzilting); zie ook bijlage B1.1. De chloride-gehaltes zij volgens de verschillende rapporten:

- 150 mg Cl^-/liter op 150 m -N.A.P. (RGD, 1973a)
- 200 mg Cl^-/liter op 130-140 m -N.A.P. (WMO,1981)
- 300 mg Cl^-/liter op 120 m -N.A.P. (IMd, 1994), Deventer
- 300 mg Cl^-/liter op 140 m -N.A.P. (IMd, 1994), natuurlijke situatie
- 150 mg Cl^-/liter op 130 m -N.A.P. (RGD, 1990)

Met betrekking tot het doorlaatvermogen van het derde watervoerend pakket worden doorlatendheden genoemd van:

KD
- 750 m^2/dag (WMO,1981), Deventer
- 870 m^2/dag (RID, 1972), Deventer
- 850 m^2/dag (Bijlsma, ?), Twello
- 1080 m^2/dag (WMO, 1981), Boerhaar
- 800 m^2/dag (TNO-DGV, 1973), Diepenveen
- 700 m^2/dag (TNO-DGV, 1973), Schalkhaar
- 600 m^2/dag (TNO-DGV, 1973), Schalkhaar
- 600 m^2/dag (TNO-DGV, 1973), Deventer-Holten
- 1000 m^2/dag (TNO-DGV, 1973), Heino-Dalfsen
- 400-700 m^2/dag (IMd, 1994), Deventer
- 600-800 m^2/dag (RGD, 1990), Deventer
- 500-1000 m^2/dag (TNO-DGV, 1983)

K
- 7 m/dag (WMO,1981)
- 5-10 m/dag (Haak, 1982), F.v.Oosterhout
- 10-15 m/dag (Haak, 1982), F.v.Scheemda en Maassluis
- 50-80 m/dag (Haak, 1982), F.v.Harderwijk/Enschede als onderdeel van WVP3
- 20-50 m/dag (Haak, 1982), F.v.Harderwijk/Enschede als voeding van WVP 3

WMO (1981) geeft een geschatte ruimtelijke spreiding van de KD-waarden van het derde watervoerende pakket weergegeven. Ten gevolge van breuken onder Deventer treedt er een opvallende sprong op in de KD-waarden.

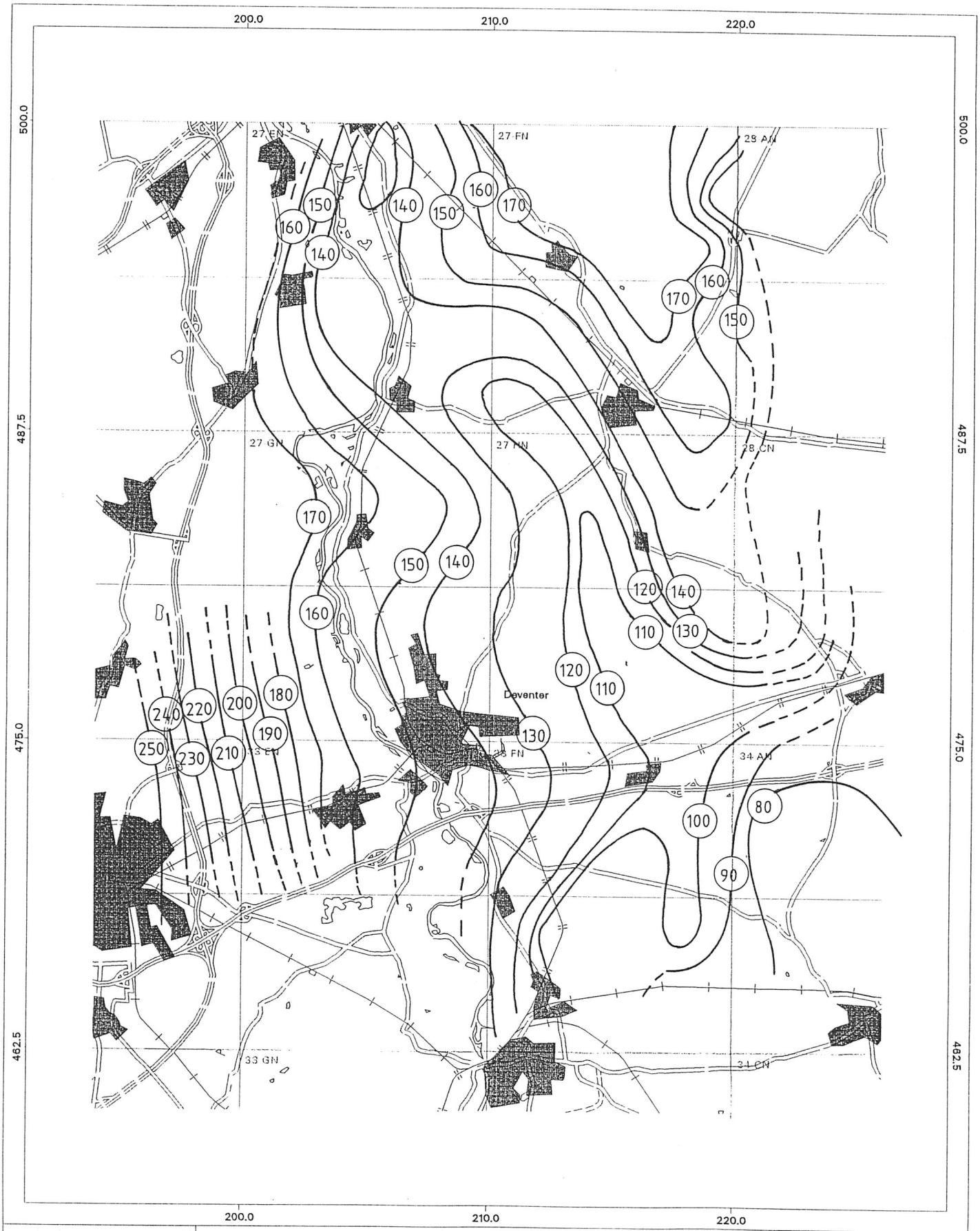
In principe kan het derde watervoerend pakket gevoed worden aan de randen van het glaciale bekken, waar de glaciale kleien uitwiggen. Het is echter niet geheel zeker dat langs deze gehele rand voeding mogelijk is; met name aan de westrand bestaat hierover onzekerheid (WMO, 1981; RGD, 1973a; Broks, 1992; Haak, 1982; RGD, 1990). De inzijging vanuit de Veluwe stuwwal kan sterk beïnvloed worden door het voorkomen van de Tegelen kleilagen. De weerstand over deze kleilaag kan zeer groot zijn; Haak (1982) noemt een K-waarde van 0-5 m/dag met een dikte van 50 m.
Niet bekend is of de Tegelenklei samen met de bekkenkleien een vrijwel ondoorlatende bovenbegrenzing vormen van het derde watervoerend pakket. Ter hoogte van Apeldoorn is het wel waarschijnlijk dat er een vrij behoorlijke aansluiting is (TNO-DGV, 1975). Bijlage B1.4, profiel B-B' geeft een duidelijk gat tussen de gidslagen, maar het geohydrologisch standaardmodel (bijlage B1.4, profiel B-B'), Broks (1992), Haak (1982) en RGD (1990) veronderstellen een aansluiting van de Tegelenklei en de bekkenkleien. Haak (1982) merkt in dit verband op dat de chemie van het water onder en boven deze Tegelenklei aanmerkelijk verschilt.

In navolging van de WMO (1981) wordt voorlopig aangenomen dat het derde watervoerend pakket langs de gehele westrand vanaf de Veluwe gevoed kan worden (zie figuur B2.1). Argumenten voor het veronderstellen van infiltratie langs de westrand zijn (WMO, 1981):

- door stuwing is de Formatie van Tegelen langs de bekkenrand gedeformeerd
- de Formatie van Tegelen is hier zandig ontwikkeld; de Formatie van Drente bestaat ter plaatse uit goed doorlatend materiaal (slope-wash). Op het contactvlak zijn beide formaties dus grover en meer doorlatend.

Het derde watervoerend pakket wordt in feite begrensd door de zoet/zout grens 9bijlage B2.1). De werkelijke ondoorlatende basis wordt gevormd door de miocene Formatie van Breda, die onder Deventer op ongeveer 165 m. -N.A.P. ligt.

BIJLAGE B2.1 Zoet-zout grensvlak (200 mg Cl^-/l)
(naar: TNO-DGV, 1973)



Bijlage B2.1 Zoet-zout grensvlak (200 mg Cl^-/l) in m. -N.A.P
(naar: TNO-DGV, 1973)

Topografische ondergrond

03/10/95 14:27:26

1 : 150000

meters

BIJLAGE 3 GRONDWATERSTROMING EN OPPERVLAKTEWATER-SYSTEMEN

B3.1 Grondwaterstroming

De natuurlijke grondwaterstroming van het ondiepe pakket (WVP 1 & 2) verloopt aan de oostzijde van de IJssel in westelijke richting, vice versa aan de westzijde. De IJssel vervult een drainerende werking (IMd,1994; Broks 1992).

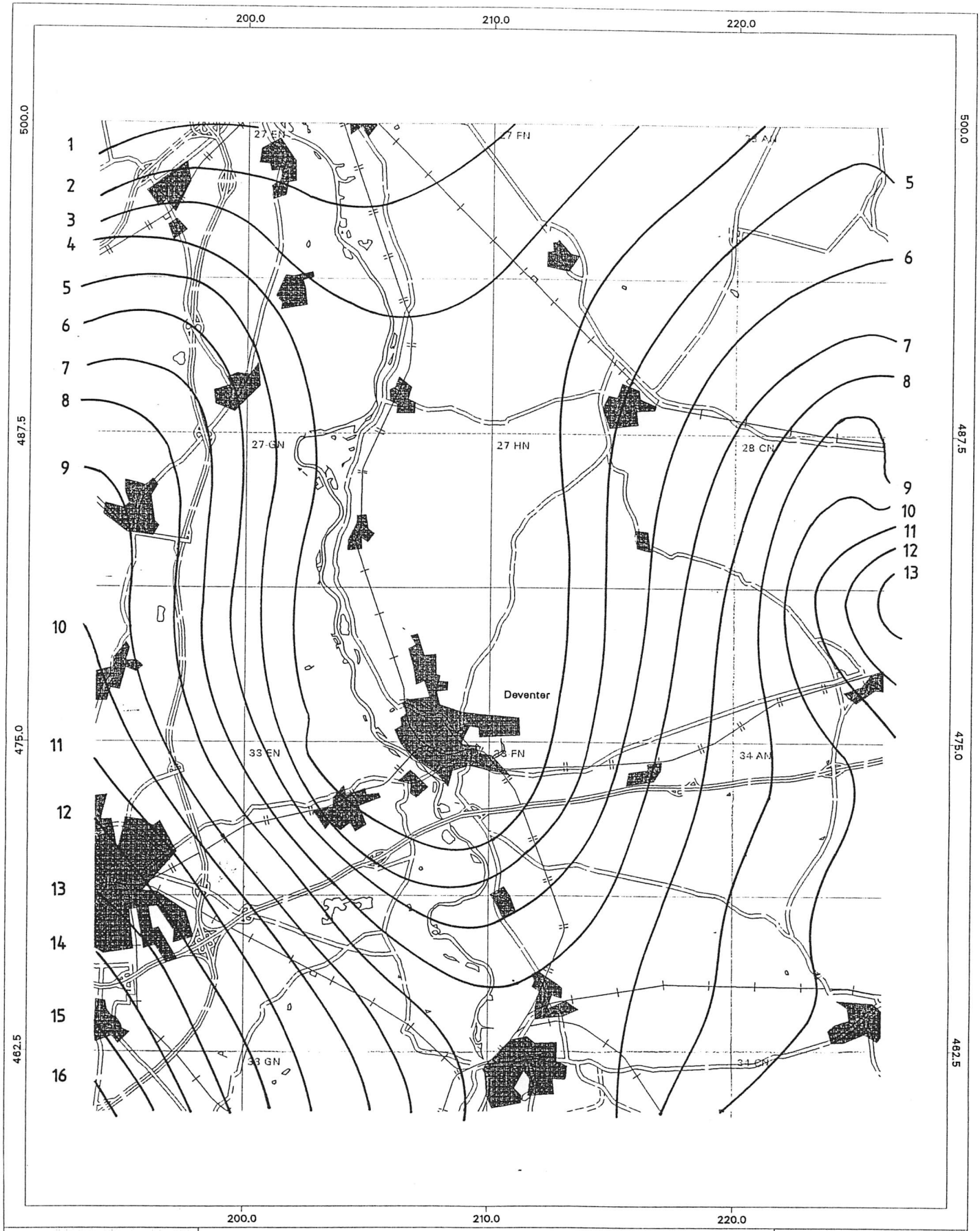
De voeding van het diepe watervoerende pakket (WVP 3) vindt plaats aan de oostelijke flank van de Veluwe, op de Sallandse Heuvelrug en in de Achterhoek (Broks, 1992). De waterafvoer van het diepe watervoerende pakket vindt plaats door grondwaterstroming in noordwestelijke richting (Zwolle). Onttrekkingen voor civiele en industriële doeleinden hebben dit beeld echter ingrijpend gewijzigd. Bijlage B3.1 geeft een gegeneraliseerd isohypsenpatroon van 1988 te zien (gewijzigd, naar Broks, 1992). Het meest opvallend is het "zadelgebied" tussen Holten en Olst-Wijhe (Broks, 1992). Het verschil tussen een natte (voorjaar) en een droge (najaar) situatie bedraagt 0,5 tot 1 m. Het patroon is overeenkomstig.

Een goede weergave van drainagegebieden (samenhangende inkomst- en herkomstgebieden van ondiep grondwater) kan gevonden worden in Vissers et al. (1985).

B3.2 Oppervlaktewatersystemen

De grote drainerende eenheid in de IJsselvallei is vanzelfsprekend de IJssel zelf. De IJssel watert naar het noorden af. Daarnaast bevinden zich in de IJsselvallei nog een groot aantal beken en weteringen. De waterlopen ten oosten van de IJssel stromen voornamelijk in westelijke tot noordwestelijke richting, terwijl aan ten westen van de IJssel een oostelijke tot noordoostelijke richting overheerst. Het verval bedraagt ongeveer 14,5 m. (van ca. 15 m. tot ca. 0,5 m. + N.A.P. (TNO-DGV, 1985)). De noord-zuid lopende kanalen Apeldoornsch Kanaal en Kanaal Deventer-Lemelerveld fungeren hierbij vaak als afwatering, omdat rechtstreekse afwatering op de IJssel onmogelijk is vanwege de oeverwallen van de IJssel.

BIJLAGE B3.1 Isohypsen diepe watervoerend pakket op 28-4-1988 in m. -N.A.P.
(naar: Broks, 1992)



Bijlage B3.1 Isohypsen diepe watervoerend pakket op 28-4-1988 in m. -N.A.P.
(naar: Broks, 1992)

Topografische ondergrond

03/10/95 14:27:26

1 : 150000

meters