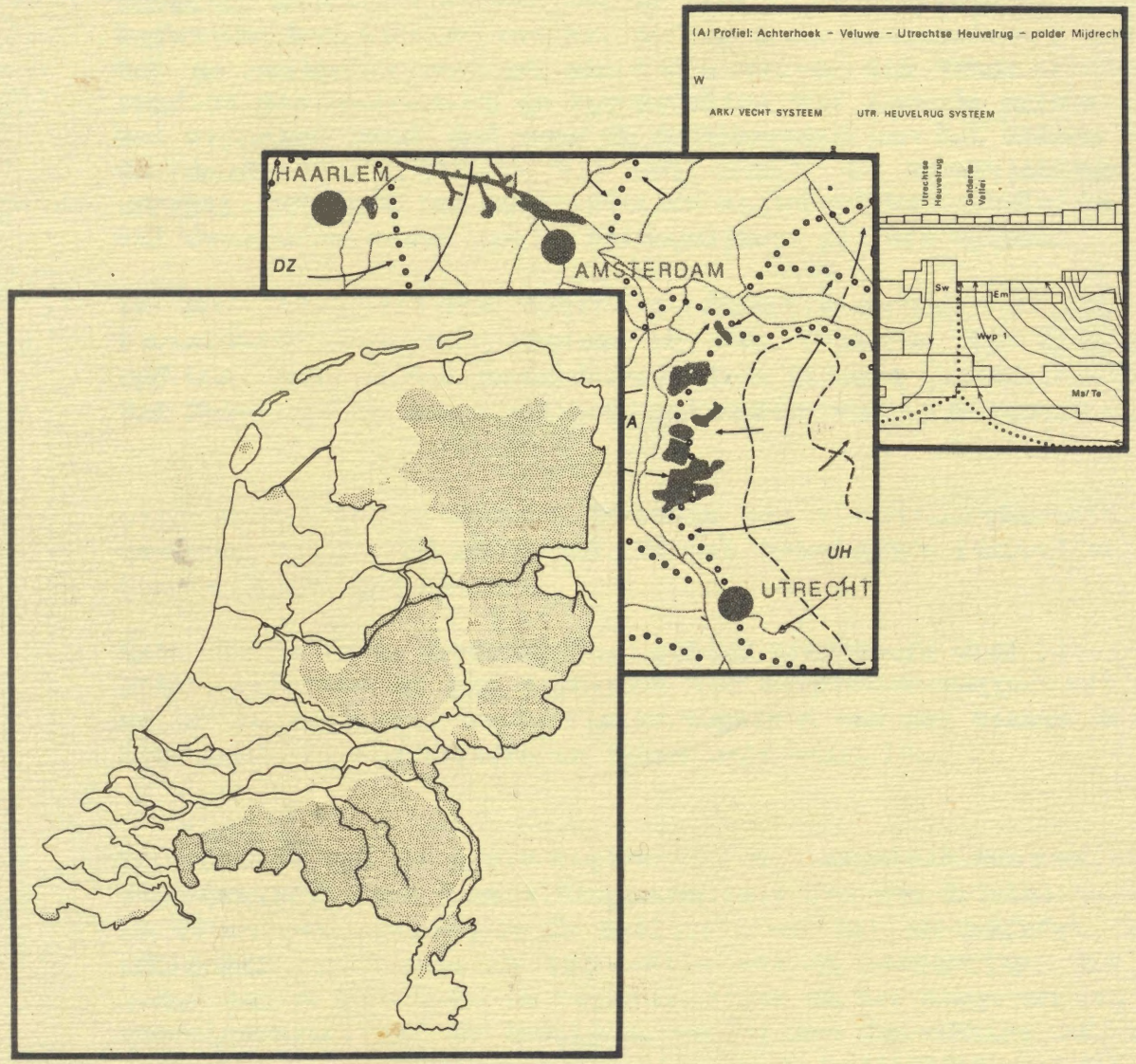
GRONDWATER STROMINGSSTELSELS IN NEDERLAND (werkdocument)



G.B. Engelen
J.M.J. Gieske
S.O. Los

Achtergronddocument t.b.v. het Nationaal Natuur Beleidsplan.
NMF, SBB en Instituut voor Aardwetenschappen.

SSB rapport 1988 – 36

32/598(08-36)

VOORWOORD

Ontwikkelingen in de laatste jaren op het gebied van de eco-hydrologie hebben het inzicht in het belang van de hydrologie voor de natuur in Nederland sterk vergroot: Voor grondwater-afhankelijke ecosystemen blijkt niet alleen de kwantiteit, maar ook de kwaliteit van het grondwater van groot belang te zijn. Parallel daaraan ziet men ook in diverse beleidskaders, in het bijzonder ten aanzien van het natuurbeleid een toenemend besef van de betekenis van het abiotisch milieu als randvoorwaarde voor de instandhouding en ontwikkeling van levende natuur. In het bijzonder geldt dit voor de onderkenning van het belang van de ruimtelijke relaties via het grond- en oppervlaktewater daarbij. Ook voor het op te stellen Nationaal Natuurbeleidsplan zal deze materie een van de belangrijkste pijlers vormen.

In het kader daarvan heeft de directie Natuur, Milieu en Faunabeheer van het Ministerie van Landbouw en Visserij opdracht gegeven een gestandaardiseerde globale gebiedsindeling van Nederland op basis van grondwaterprocessen te vervaardigen.

Deze studie is uitgevoerd op basis van literatuurgegevens en gegevens van lopend onderzoek. In het onderhavige rapport wordt hiervan verslag gedaan.

Deze studie is in samenwerkingsverband uitgevoerd door het Staatsbosbeheer en het Instituut van Aardwetenschappen van de Vrije Universiteit. De sectie Kartografie van het Staatsbosbeheer heeft kartografische en teken werk verricht.

Op verzoek van de opdrachtgever is een begeleidingscommissie samengesteld. Deze begeleidingscommissie had een drietal taken, te weten: het toezien op de kwaliteit van het eindrapport, het inbrengen van kennis en informatie van de instanties, die de leden van de commissie vertegenwoordigen en het aangeven van de gebruikswaarde van de indeling, vooral met betrekking tot het milieu en natuurbeschermingsbeleid. In de begeleidingscommissie waren diverse disciplines en instellingen vertegenwoordigd.
De samenstelling van de begeleidingscommissie was als volgt:

ing. F. Aelmans (TNO DGV)
dr. T.W.M. Bakker (SBB)
ir C. Buddingh (NMF)
drs. F.A.M. Claessen (RWS DBW/RIZA) vanaf 1 maart 1988
drs. F. Hoekstra (SBB)
dr. J.A. Klijn (Stiboka)
ir P.J. Kusse (LD)
ir. C.R. Meinardi (RIVM)
ir. G. Verbrugh (RWS) tot 1 maart 1988
dr. J.G. Vermeer (SBB)
drs. G. van Wirdum (RIN)

ISN 291464

BIBLIOTHEEK
INSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 73
3956 ZR LEERSUM

ing. K.A. Wit (ICW)
dr. ir. F.J. van Zadelhoff (NMF)
ir. W.P.C. Zeeman (voorzitter, SBB)

Als voorzitter van de begeleidingscommissie ben ik de leden ervan zeer erkentelijk voor de inzet en constructieve wijze waarop zij plenair danwel bilateraal hun bijdrage hebben geleverd. Daarnaast is nog een speciaal dankwoord verschuldigd aan drs A.C. Garritsen (IvM-VU), drs P.C. Schipper (SBB) voor het verstrekken van informatie; de heren C. Snel en A. Pul voor het kartografische en teken werk.

ir. W.P.C. Zeeman
voorzitter begeleidingscommissie

RAPPORT
STAATSBOSBEHEER

Inhoud

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 46
3956 ZR LEERSUM

VOORWOORD 1

Summary 1

Samenvatting 3

1. Inleiding 5
1.1. Regionale hydrologische systeemanalyse als methodiek 6
1.1.1. Gegevens voor de hydrologische systeemanalyse 11
1.2. Schaal, homogeniteit, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de onderzoeksresultaten 14
1.2.1. Schaal 14
1.2.2. Homogeniteit 15
1.2.3. Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid 15
1.2.4. Invoergegevens 18

2. Een overzicht van de belangrijkste typen van grondwaterstromingsstelsels in hun volgorde van ontstaan 21
2.1. Inleiding 21
2.1.1. Het thermo-minerale Systeem uit het Carboon 23
2.1.2. Stromingssystemen vanuit de Mesozoïsche en Tertiaire omranding van het Noordzeebekken 26
2.1.3. Stromingssystemen vanuit de Pleistocene terreinopwelvingen 28
2.1.4. Stromingssystemen vanuit de Holocene terreinopwelvingen 30
2.1.5. Kunstmatige, door bemaling in stand gehouden oudere stromingssystemen naar droogmakerijen en polders 32
2.1.6. Kunstmatige, door bemaling in stand gehouden jongere stromingssystemen naar de IJsselmeerpolders en in het zuidwestelijke Deltagebied 34
2.1.7. Kunstmatige, jonge, door grondwaterwinningen in stand gehouden stromingssystemen 38
2.1.8. Kunstmatige, jonge ondiepe, door landbouwkundige drainage in stand gehouden stromingssystemen 40

3. Grondwaterstromingsstelsels in Friesland, Groningen, Drenthe en de Kop van Overijssel 43
3.1. Systemen gevoed vanuit Pleistocene afzettingen 43
3.1.1. Het Glaciale Plateau Systeem 43

BIBLIOTHEEK
RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER
POSTBUS 46
3956 ZR LEERSUM

3.1.2. Het Oost-Gronings Dekzand Systeem 44
3.1.3. Stuwwalsystemen 44
3.1.4. Het Ommerveld Systeem 45
3.2. Systemen gevoed vanuit Holocene afzettingen 45
3.2.1. Het Kwelderwallen- en Polder- Systemen Complex 45
3.2.2. Het Noordelijke en Zuidelijke Groningse Poldersysteem 46
3.2.3. Het Waddenzee Systeem 46
3.2.4. Het Friese Boezem Complex 46
3.2.5. Het Systeem van de Weerribben 47
3.2.6. Het IJsselmeer Systeem 47
3.2.7. Het Randmeren Systeem 47
3.3. Profielen 49
3.3.1. Profiel Assen-Steenwijk-Urk 49
3.3.2. Profiel Assen-Sneek-IJsselmeer 51
3.3.3. Profiel Assen-Hoogkerk-Winsum-Waddenzee 53
3.3.4. Profiel Emmen-Stadskanaal-Delfzijl 55

4. De Waddeneilanden 59
4.1. De Friese Waddeneilanden 59
4.2. Texel 59

5. Beschrijving van de Grondwaterstromingsstelsels in Midden Nederland 61
5.1. Algemeen 61
5.2. Grondwaterstelsels gevoed vanuit het Carboon 61
5.3. Grondwaterstelsels in Tertiaire afzettingen 61
5.4. Grondwaterstelsels gevoed vanuit Pleistocene afzettingen 62
5.4.1. Grondwatersystemen in de Regio Twente 62
5.4.2. Systeem van de Twentse Stuwwallen 63
5.4.3. Systeem van de stuwwal van Sibculo 63
5.4.4. Systeem van de glaciale rug van Geesteren - Delden 63
5.4.5. Systeem van de stuwwal rug van Vroomshoop - Hooge Hexel 64
5.4.6. Systeem van de Sallandse Stuwwallen 64
5.4.7. Het Systeem van de Veluwe 64
5.4.8. Het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug 66
5.4.9. Het Complex van Achterhoek Systemen 67
5.4.10. Het Systeem van de stuwwal van het Montferland 68
5.4.11. Het Systeem van de Stuwwal van Nijmegen 68
5.5. Systemen gevoed door Laat Pleistocene Afzettingen 69
5.5.1. Systeem van Bergharen - Wijchen 69
5.5.2. Dekzand en Duinrug Systemen 69
5.6. Systemen gevoed door Holocene infiltratiegebieden 69
5.6.1. Systeem van de Overijsselse Vecht 70
5.6.2. Systeem van de IJssel 70
5.6.3. Het Systeem van de Rijn en de Waal 70
5.6.4. Het Systeem van de Vecht en Amsterdam-Rijnkanaal 71

5.6.5. Het systeem van de Vinkeveense Plassen (VI) 71
5.6.6. Het Systeem van de Randmeren 71
5.7. Profielen 71
5.7.1. Secties door het Westelijk Overijsselse Stuwwal en het Twente Systeem 76
5.7.4. Achterhoek, Veluwe, Utrechtse Heuvelrug 82
5.7.5. Montferland en Zuid Oostelijke tak van het Veluwe Systeem 86
5.7.6. Nijmegen, grote rivieren en Zuid Veluwe Systeem 86

6. Grondwaterstromingsstelsels in Noord - Holland 91
6.1. Pleistocene Systemen 91
6.1.1. Wieringen stuwwal Systeem 91
6.2. Natuurlijke Holocene Systemen 91
6.2.1. Het Duinsysteem van Castricum 91
6.2.2. Het Duinsysteem van Zandvoort 91
6.2.3. De Duinsystemen van Petten en Den Helder 91
6.2.4. Het Systeem van West-Friesland 91
6.2.5. Het Noordzee Systeem 92
6.2.6. Het IJsselmeer Systeem 92
6.3. Kunstmatige Holocene Systemen 92
6.3.1. Het Geestmerambacht polder Systeem 92
6.3.2. Het Eilandpolder Systeem 92
6.3.3. Het Systemen complex van Amsterdam 92
6.4. Profielen 93
6.4.1. Profiel Wieringen-Beemster-Amsterdam-Westeinder Plassen 93
6.4.2. Profiel Noordzee - Beemster - IJsselmeer 95

7. Grondwaterstromingsstelsels in Zuid - Holland 99
7.1. Centraal Zuid-Holland 99
7.2. Systemen vanuit het Pleistoceen gevoed 100
7.3. Systemen vanuit het Holoceen gevoed 100
7.3.1. Het Haagse Duin Systeem 100
7.3.2. Het Zandvoortse Duin Systeem 100
7.3.3. Het Oude Rijn Systeem 101
7.3.4. Het Braassemer-Westeinder Systeem 101
7.3.5. Het Zoetermeer Systeem 101
7.3.6. Het Hollandsche-IJssel Systeem 101
7.3.7. Het Rijn Systeem 101
7.3.8. Het Waal Systeem 101
7.3.9. Het Maas Systeem 102
7.4. Profielen in Zuid-Holland 102
7.4.1. Profiel Wassenaarse Duinen - Kager Plassen- Braassemer Meer - Uithoorn 102
7.4.2. Profiel Goeree-Oostvoorne-Delft-Woerden 104
7.4.3. Profiel Over-Flakkee - Hoekse Waard - Alblasserwaard - Beneden Betuwe 106
7.4.4. Profiel door de Hollandse duinen 109

8. Grondwaterstromingsstelsels in het Zuidwestelijke Deltagebied 113
8.1. Zeeuws-Vlaanderen 113
8.2. Walcheren, Noord- en Zuid-Beveland 114
8.2.1. Algemeen 114
8.2.2. Walcheren 114
8.2.3. Noord-Beveland 115
8.2.4. Zuid-Beveland 115
8.2.5. Schouwen-Duiveland 116
8.2.6. Tholen 116
8.2.7. St Philipsland 116
8.2.8. Goeree-Overflakkee 117
8.2.9. Tiengemeten 118
8.2.10. Voorne-Putten-Hoekse Waard 118

9. Grondwaterstromingsstelsels in Noord-Brabant 119
9.1. Inleiding 119
9.2. Grondwaterstelsels vanuit het Tertiair gevoed 119
9.2.1. Systeem van de Microcuesta van de Kempen 119
9.2.2. Systeem van het Plateau van de Kempen 119
9.3. Grondwaterstelsels gevoed vanuit het Pleistoceen 120
9.3.1. Drunense Duinen Systeem 120
9.3.2. Mid-Brabantse Rug Systeem 120
9.3.3. Weert Systeem 120
9.3.4. Peelschol Systemen Complex 121
9.4. Profielen 123
9.4.1. Profiel West Brabant : Westmalle (Belgie) - Hollands Diep 123
9.4.2. Profiel Midden Brabant: Kempisch Plateau - Drunense Duinen 125
9.4.3. Profiel Midden-Limburg - Weert - 's-Hertogenbosch 127

10. Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Limburg 129
10.1. Inleiding 129
10.1.1. Carboon Systeem 129
10.2. Systemen met voedingsgebieden in het Krijt 129
10.2.1. Pietersberg Systeem 130
10.2.2. Plateau van Margraten Systeem 130
10.2.3. Heyerath Systeem 130
10.2.4. Vijlenerbosch Systeem 130
10.2.5. Bochholzerheide Systeem 130
10.2.6. Ubachsberg Systeem 131
10.2.7. Schimmert-Plateau Systeem 131
10.2.8. Kasen/Bunde Systeem 131
10.2.9. Limbricht Systeem 131
10.2.10. Heerlen/Brunssummer-Heide Systeem 132
10.2.11. Selfkant/Susteren Systeem 132
10.2.12. Koningsbosch Systeem 132
10.2.13. Geulmonding Systeem 132
10.2.14. Maas Systeem (Zuid-Limburgse deel) 132
10.2.15. Dekzand en duinsystemen op de Oostelijke Maasoever 133

10.2.16. Kempisch Plateau Systeem (Zuid-Limburgse deel) 133
10.3. Profiel 133
10.3.1. Profiel Plateau van Schimmert - Maas 133

11. Telescopische of "inzoom" benadering m.b.v. de hiërarchische opbouw van de hydrologie 137

12. Kwetsbaarheid van Natuurgebieden in Relatie tot Vervuiling en Verdroging van Grondwaterstelsels 141
12.1. Kwetsbaarheid van Grondwaterstelsels voor Vervuiling 141
12.2. Gevolgen voor Grondwaterkwaliteit door Overbemesting 143
12.3. De invloed van onttrekkingen op systemen 145

Appendix A 149

Appendix B 157

Appendix C 163

Summary

An inventory survey was done of the principal natural and man-induced (ground-)water flow systems of the Netherlands, based on existing data and recent studies.

The result is a preliminary map of the groundwater flow systems of the Netherlands at the scale 1 : 600 000 with acompanying more detailed hydrogeological sections with numerically modelled flow line patterns and a systematic, brief description of the flow systems.

The approach is based on the theory of hierarchically-nested flow cells by Toth, which has been tested and elaborated further in recent years for a variety of hydrological conditi-ons in the Netherlands, using a methodology of regional hydrological systems analysis as developed by Engelen and co-workers in close cooperation with the Groundwater Survey of the Netherlands (TNO-DGV).

The study was done for the Ministry of Agriculture and Fisheries to provide background information for use in the national planning of the conservation of nature.

Chapter 1 discusses in brief scale, homogeneity, accuracy and reliability of map and sections, the underlying theory of flow systems and the methodology of regional hydrological systems analysis.

Chapter 2 presents the eight major types of groundwater flow systems in their geological and historical sequence of genesis accompanied by a set of small-scale maps of their distribution. They range from very old, natural, thermo-mineral flow systems rising along deep-seated faults to recent man-made flow systems towards well fields and reclaimed polder areas.

Chapters 3-10 contain a systematic, short description of the individual, main (mostly regional and subregional) flow systems of the Netherlands. More details are visible in the accompanying hydrogeological sections with flow line patterns modelled with the two-dimensional, finite difference- based computer code FLOWNET.

Chapter 11 demonstrates the procedure of zooming in from regional, via subregional to local flow systems. It allows for the systematic analysis of preventive and curative measures and the appropriate time spans to protect nature areas from degradation due to the impacts of watersupply, agricultural drainage, waste disposal etc. in their immediate and distant surroundings.

Chapter 12 deals briefly with vulnerability of flow systems and the spatial pattern of major threats to nature areas due to groundwater extraction, agricultural drainage and the leaching of manure and fertilizers from the perspective of the spatial pattern and the hierarchy of the flow systems in the Netherlands.

Appendix A summarizes the history and extent of hydrological systems mapping in the Netherlands up to 1988.

Appendix B contains a list of geological formations and their permeabilities used in the numerical flow modelling.

Appendix C contains a list of alphabetical ordered characters refering to systems in a certain region.

Samenvatting

Een inventariserende studie is uitgevoerd om de belangrijkste natuurlijke en kunstmatige (grond-) watersystemen in Nederland te achterhalen. Voor de studie werd gebruik gemaakt van bestaande studies en gegevens.

Het resultaat van de studie is een voorlopige kaart 1 : 600.000 waarop de grondwaterstromingsstelsels in Nederland zijn weergegeven. Naast de kaart worden profielen met numeriek gemodelleerde stroomlijnen en een korte systematische beschrijving van de systemen gegeven.

De benadering is gebaseerd op de theorie van Tóth, die uitgaat van geneste stromingsstelsels en die voor de situatie in Nederland nader is getest en uitgewerkt door Engelen en medewerkers in nauwe samenwerking met de Dienst Grondwater Verkenning TNO.

De studie is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Landbouw en Visserij. Het materiaal zal worden gebruikt als achtergrond document voor het Natuur Beleids Plan.

Hoofdstuk 1 behandelt in het kort de schaal, homogeniteit, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de kaart en de profielen en de theorie en methodologie van geneste grondwaterstelsels die aan deze studie ten grondslag ligt.

Hoofdstuk 2 geeft acht typen grondwaterstromingsstelsels weer en plaatst hun ontstaan in een geologische en historische context. De behandelde stelsels varieren van natuurlijke, oude, thermo-minerale stelsels, die langs breuken worden gevoed, tot jonge kunstmatige stelsels waarin het water naar waterwinningen en polders stroomt. Het geheel wordt aan de hand van een aantal globale kaartjes toegelicht.

In hoofdstuk 3-10 worden de individuele, voornamelijk regionale en subregionale stromingsstelsels kort toegelicht. Een verdere detaillering is te zien in de profielen. Van de meeste hiervan zijn de stroomlijnen berekend met FLOWNET, een twee-dimensionaal stationair eindige verschillen model.

Hoofdstuk 11 licht het "inzoomen" van regionale via subregionale naar locale systemen toe. Met deze methode is het mogelijk om systematisch de ruimtelijke en tijds-effecten van beschermende of bedreigende ingrepen, b.v. ten behoeve van de landbouw, drinkwatervoorziening of afvalverwerking, in de nabije of verre omgeving na te gaan.

In hoofdstuk 12 wordt in het kort de kwetsbaarheid van stromingsstelsels en de voortplanting van bedreigingen voor natuurterreinen behandeld, zoals die kunnen ontstaan door grondwater onttrekkingen, intensieve drainage en het doorlekken van meststoffen naar het grondwater. Deze bedreigingen worden benaderd

vanuit het perspektief van hiërarchische geneste stromingsstelsels.

Appendix A geeft een overzicht van de historie en de verbreiding van hydrologische systeemkarteringen in Nederland.

Appendix B bevat een lijst van de geologische formaties met de horizontale en vertikale doorlatendheden, zoals die zijn gebruikt voor de berekening van stroomlijnen in de profielen.

Appendix C bevat een alfabetische lijst van de afkortingen van de systemen per regio.

1. Inleiding

Deze inventariserende studie van de (grond)watersystemen van Nederland werd uitgevoerd in opdracht van de Directie Natuur-, Milieu- en Faunabeheer van het Ministerie van Landbouw en Visserij binnen Staatsbosbeheer in samenwerking met de Vrije Universiteit. Het doel van de studie was om in korte tijd (nov. '87 - april '88) een referentiekader van hydrologische systemen te verschaffen, dat gebruikt kan worden bij de uitwerking van het Natuurbeleidsplan dat op het Ministerie wordt voorbereid voor behandeling in de 2e Kamer der Staten-Generaal in het najaar van 1988.

Gelet op de beperkte tijd en middelen en de grootte van het te bestrijken gebied - geheel Nederland - moeten de resultaten als inventariserend en deels als voorlopig worden beschouwd, ondanks de grote inspanningen van alle betrokkenen.

Een beschrijving van de opzet zal duidelijk maken hoe is getracht om de eisen van overzicht en gebiedsdekking van Nederland zoveel mogelijk te combineren met gedetailleerde informatie op regionale en subregionale schaal.

Eerst wordt een kort overzicht gegeven van de theorie en de begrippen zoals die worden gebruikt in de regionale hydrologische systeemanalyse, gebaseerd op de basistheorie van de hiërarchisch geneste stromingsstelsels volgens Toth (1963) en verder voor Nederland o.a. uitgewerkt door Engelen en medewerkers (Engelen & Jones, 1986).

Vervolgens zijn de in Nederland voorkomende grondwaterstromingsstelsels ingedeeld in een achttal hoofdgroepen, waarbij de leeftijd van de afzettingen waardoor het systeem wordt gevoed of de aandrijving van een systeem van oud naar jong gaat. De groepen worden kort toegelicht en de gebieden waar ze voorkomen worden op overzichtskaartjes van Nederland aangegeven.Op deze wijze is een systematische inleiding ontstaan voor het lezen van de complexe overzichtskaart van de (grond)waterstromingsstelsels van Nederland (bijlage 1).

Per grotere regio zijn vervolgens de aanwezige stromingsstelsels besproken in volgorde van globale ouderdom. De informatie in de horizontale doorsnede van het kaartbeeld is per regio aangevuld met een aantal gemodelleerde vertikale doorsneden, waarin de hydrogeologische opbouw, de topografie, de grondwaterspiegel en het stroomlijnenverloop zijn aangegeven. De representatieve doorsneden geven aanzienlijk veel meer detail van de stromingsstelsels dan in het kaartbeeld op de gekozen schaal mogelijk is. Ze bieden in combinatie met de systemenkaart een driedimensionaal beeld van de belangrijkste grondwaterstromingsstelsels. In die profielen is via stroomlijnen globaal de samenhang zichtbaar tussen de gebieden waar grondwatervoeding

plaats vindt via infiltratie of wegzijging uit oppervlaktewater en de gebieden met uittredend grondwater via bronnen, kwel en directe uitstroming in oppervlaktewater (zie par. 1.2.3 voor een discussie over de betrouwbaarheid van de profielen).

1.1. Regionale hydrologische systeemanalyse als methodiek

Regionale hydrologische systeemanalyse: oude wijn in nieuwe zakken of een stapje hoger op de kennisladder?

Hydrologisch en waterhuishoudkundig onderzoek hebben in verschillende vormen en onder verschillende namen een geschiedenis die tot de oude beschavingen van het Midden- en Verre Oosten terug gaat, ver voor het begin van de jaartelling. In deze eeuw en met name in de laatste decennia is daar een stroomversnelling in gekomen door de omvang, diepgang en complexiteit van de vraagstukken op het gebied van waterbeleid en waterbeheer.

Grondwaterstudies bestrijken een steeds breder veld en de raakvlakken met tal van maatschappelijke vraagstukken worden steeds groter. Een aantal algemene ontwikkelingen en verschuivingen op dit gebied kunnen samengevat worden in de volgende begrippenparen (Engelen & Jones,1986, pag. 354):

van ondiep naar diep; van klein naar groot; van locaal naar (supra-)regionaal; van statisch naar dynamisch; van beschrijving naar berekening; van analytisch naar numeriek; van kwantiteit naar kwaliteit; van schoon naar vervuild; van individueel naar groepswerk; van nationaal naar internationaal; van monodisciplinair naar multidisciplinair; van eenvoudig naar complex; van analyse naar synthese; van component naar systeem.

De toenemende ingewikkeldheid en de daaruit voortkomende behoefte aan een samenvattende (holistische) visie op het geheel leiden tot het gebruik van systeemconcepten. Zo zien we bij grondwater een historische ontwikkeling in de studies: stroming naar putten, stroming in aquifers, stroming in aquifersystemen, grondwaterstromingsstelsels als zelfstandige eenheden, en tenslotte grondwaterstromingsstelsels als componenten van regionale watersystemen in brede zin.

Systeemanalyse als methode is een waardevol gereedschap om complexiteit hanteerbaar te maken in vele takken van wetenschap, beleid en beheer. Tot dusverre heeft men binnen het ruime terrein van de (grondwater-)hydrologie de systeemanalyse vooral toegepast op vereenvoudigde, geïdealiseerde, vaak homogene en ruimtelijk samengenomen, vooral op hoeveelheden betrekking hebbende situaties. Een andere mogelijke benaderingswijze in de systeemanalyse gaat meer uit van complexe gegevens uit het veld, van heterogene spreiding in tijd en ruimte, van praktijkgevallen op regionale en locale schaal, van waterkwaliteit als integraal onderdeel.

Het concept van de analyse van regionale watersystemen sluit op deze meer holistische en regionale systeembenadering aan. Hierin word een hiërarchisch samenhangende en onderling afhankelijke reeks van deel- watersystemen op grond van stromingseenheden onderscheiden. De beschrijving en modellering van grondwater en oppervlaktewater, kwantiteit en kwaliteit kunnen zo idealiter in een onlosmakelijk en inzichtelijk kader met elkaar verbonden worden op ruimtelijke basis. Zo ontstaat een totaalkader als leidraad bij waterbeleid en waterbeheer.

Hydrologische systeemanalyse vanuit de hierboven geschetste invalshoek is een methode om watersystemen te onderscheiden naar soort, schaal, onderlinge samenhang, ruimtelijke verbreiding en gedrag in de tijd. Het kan hier zowel natuurlijke als kunstmatige systemen en mengvormen daarvan betreffen. De schaal waarop de systemen nog kunnen en moeten worden onderscheiden is afhankelijk van de doelstellingen en problemen die aan het onderzoek ten grondslag liggen. Dit kan sterk varieren: stroomgebieden van grote rivieren als de Rijn, administratieve eenheden als provincies, landschappelijke eenheden, beheerseenheden als waterschappen, natuurterreinen en landbouwkavels.

Een mogelijke definitie van een watersysteem is de omschrijving zoals gebruikt in 'Omgaan met water, naar een integraal waterbeleid' door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat: "Een watersysteem is een samenhangend geheel van oppervlaktewater, grondwater, onderwaterbodem, oevers en technische infrastructuur, met inbegrip van de daarin voorkomende levensgemeenschappen en alle bijbehorende fysische, chemische en biologische kenmerken en processen. De grenzen van een dergelijk watersysteem worden in de eerste plaats bepaald op grond van morfologische, ecologische en functionele samenhang" (definitie gewijzigd n.a.v. Witmer e.a. 1987).

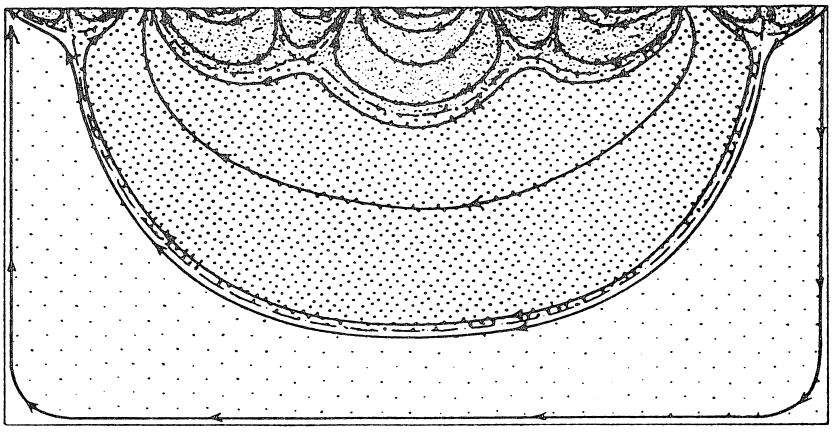
Een watersysteem in de ruime zin van het woord is opgebouwd uit een aantal gekoppelde systeemcomponenten, die ieder als kleinere, meer specifieke watersystemen beschouwd kunnen worden en aangeduid worden via voorvoegsels als atmosferisch-, oppervlakte-, bodem-, natuurlijk-, kunstmatig-, landbouwkundig-, etc-watersysteem.

Een grondwatersysteem of grondwaterstromingsstelsel is een driedimensionaal, dynamisch samenhangend stromingslichaam van grondwater dat zich in tijd en ruimte kan wijzigigen onder invloed van veranderingen in patroon en grootte van in- en uitvoer en van veranderingen in de doorlatendheid van het doorstroomde medium.

In- en uitvoerzones van het stromingsstelsel kunnen natuurlijk en/of kunstmatig zijn. De infiltratie- en kwelgebieden van een natuurlijk systeem zijn door stroomlijnen verbonden. Langs de stroomlijnen kan een stelselmatige verandering in grondwater-

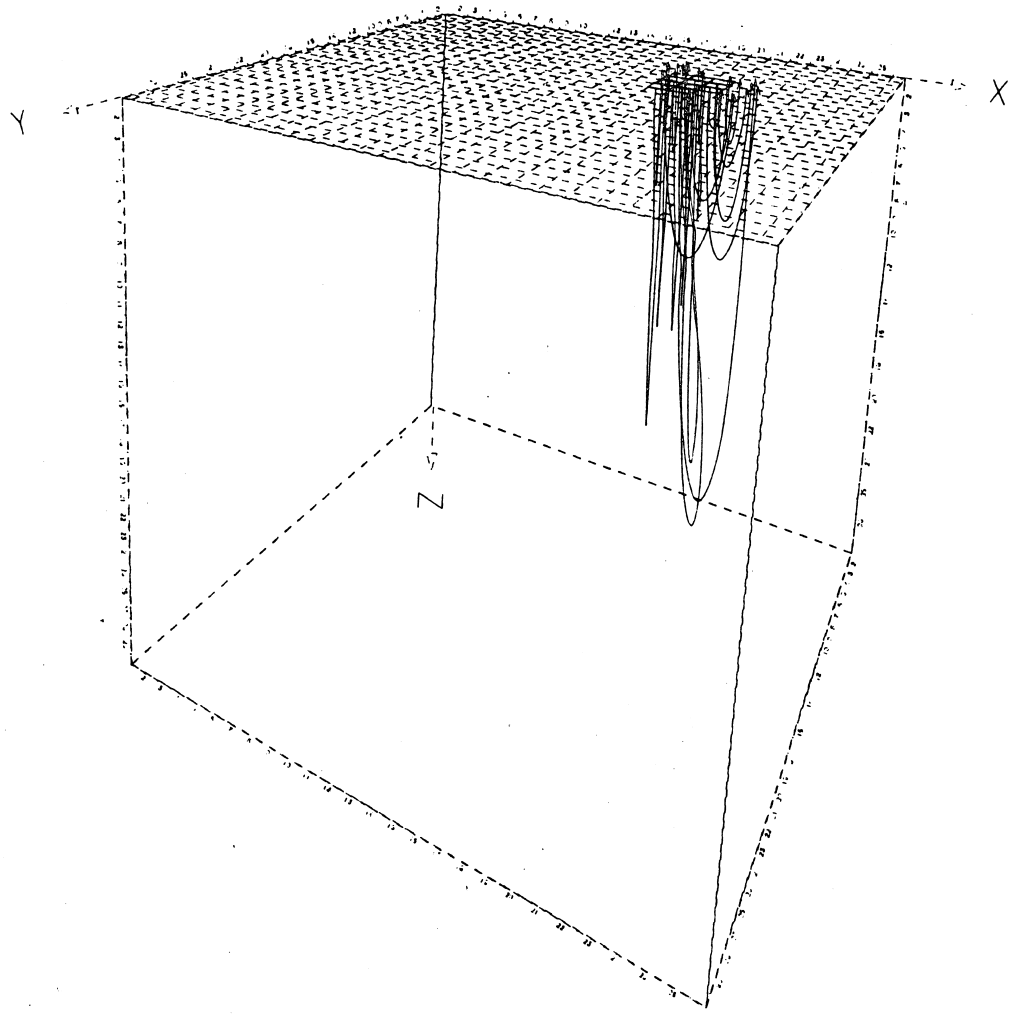
kwaliteit optreden. Dikwijls hebben verschillende grondwaterstromingsstelsels een verschillende ruimtelijke waterkwaliteitsopbouw als gevolg van verschillen in historie, voeding, hydrochemische processen en aard van het doorstroomde medium.

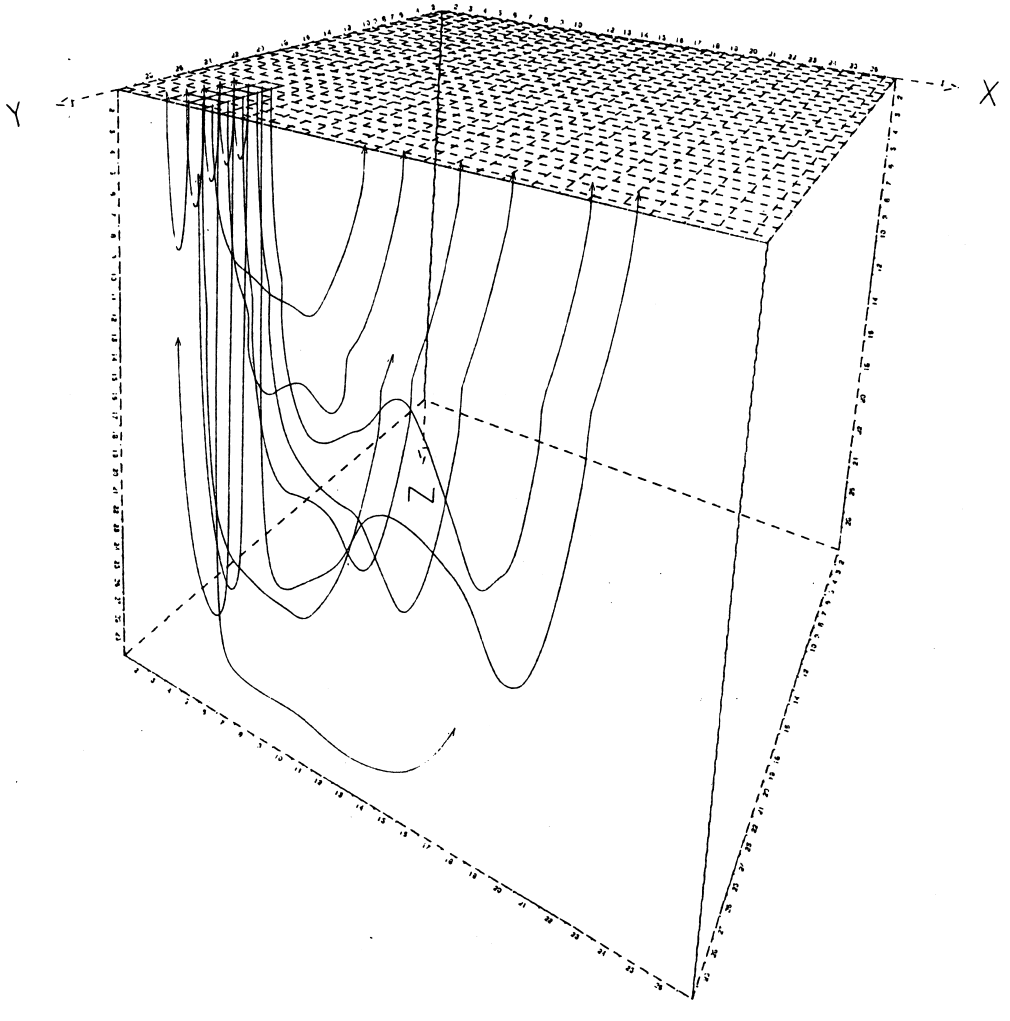
Onder invloed van reliefverschillen kunnen zich in de ondergrond talrijke, hiërarchisch gerangschikte, aangrenzende maar afzonderlijke grondwaterstromingstelsels vormen. Ze vormen een vaak ingewikkelde ruimtelijke stapeling en verstrengeling. De onderlinge hiërarchische rangschikking in orden is enigszins te vergelijken met de geneste stapeling van schalen van verschillende grootte op en in elkaar. De grondlegger van deze hiërarchische stromingscellentheorie is Toth (1963). Hij leidde een analytische formule af voor stroming in een homogeen, isotroop



Figuur 1: Locale, intermediaire en regionale systemen voor een isotroop, homogeen pakket. Het landschap heeft een helling waarop een golvende topografie is gesuperponeerd.

Fig 2 & 3: Enkele voorbeelden van drie-dimensionale berekeningen van stroomlijnen met het programma FLOSA-FD voor een situatie in Zuid-Holland (Promes 1988). >


Y
X
Z


Y
X
Z

watervoerend pakket onder een golvend, aflopend topografisch vlak (Figuur 1). Numerieke oplossingen voor dit type stromingsproblemen kwamen o.a. van Freeze en Witherspoon (1966, 1967).

Een zeer belangrijke bijdrage aan de numerieke driedimensionale modellering van dergelijke grondwaterstromingsstelsels is geleverd in de tachtiger jaren binnen de Dienst Grondwaterverkenning TNO door Zijl (1986, 1988) en Nawalany (1986a, 1986b). De figuren 2 en 3 geven enige voorbeelden van de uitvoer uit het driedimensionale programma FLOSA-FD. De theorie van geneste grondwaterstromingsstelsels is voor Nederland getoetst en verder uitgewerkt in een systeem van regionale hydrologische systeemanalyse door Engelen en medewerkers (Engelen 1984, Engelen & Jones 1986) in samenwerking met DGV-TNO.

De hydrologische systeemanalyse is zo uitgegroeid tot een totaalpakket van samenhangende onderzoeksmethoden voor regionale (grondwater-)hydrologie, stoelend op de basistheorie van Toth. Kwantitatief en kwalitatief onderzoek worden hierin geïntegreerd, evenals veld-, laboratorium- en wiskundig modelonderzoek. Terwijl de klassieke grondwateronderzoeken nog sterk van een hydrogeologische schematisatie in watervoerende pakketten, gescheiden door slecht doorlatende lagen uitgingen, ligt bij de analyse van de grondwatersystemen de aandacht primair op het stromingslichaam zelf en daarna pas op het stromingsmedium. Hierdoor wordt het ook mogelijk en zinvol een groot aantal gegevens van niet direct hydrologische aard altijd en systematisch in de regionale analyses te betrekken en te integreren. Men denke hier aan topografie, bodems, verkavelingspatronen, historische ontwikkelingen, vegetatiepatronen, het voorkomen van ijzeroer, inpolderings- en geologische geschiedenis, waterkwaliteitspatronen, landgebruiksvormen, etc. Op die wijze kan men dikwijls over een uitgebreid vlaksgewijs aanvullend databestand beschikken dat hydrologisch geïnterpreteerd kan worden in samenhang met het veel ijlere net van puntwaarnemingen van b.v. grondwaterstanden en boorlocaties. Luchtfoto's en satellietopnamen leveren voor vele van dit soort gegevens gedetailleerde patronen.

Een hydrologische systeemkartering kan in fasen en op verschillende schalen uitgevoerd worden afhankelijk van de probeemstelling en beschikbare middelen. Een eerste inventariserende kartering kan zich b.v. beperken tot bestudering van bestaande gegevens en rangschikking daarvan in een stromingssysteemkader, al dan niet met gebruikmaking van alle bestaande hydrochemische informatie. Dit kan bij verdere verfijning ondersteund worden met een twee- of driedimensionale modellering van de grondwatersystemen. Zo nodig kan aanvullend veldwerk verricht worden voor verdere verfijning. Een voorbeeld van de werkwijze bij toegepaste hydrologische systeemanalyse is gegeven in figuur 4 (Stuurman et al. 1988)

1.1.1. Gegevens voor de hydrologische systeemanalyse

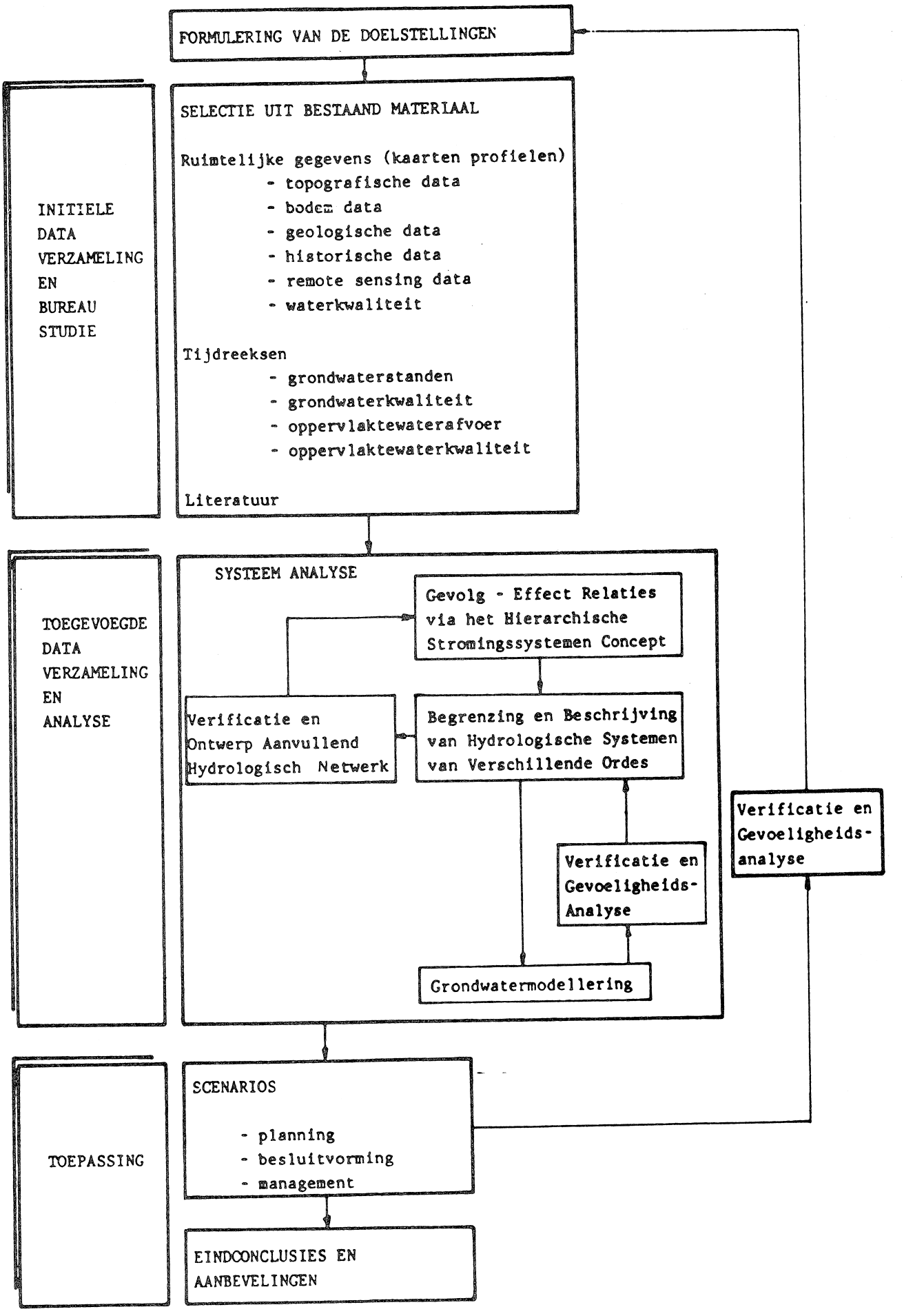
De gegevens, die bij de regionale hydrologische systeemanalyse worden gebruikt zijn zeer uiteenlopend van aard en vallen uiteen in een aantal soorten:
- De ruimtelijke gegevens zijn meestal in de vorm van verschillende typen kaarten en profielen of samen te stellen uit tabellarische reeksen puntgegevens.
- De tijdreeksen geven in het algemeen een veel minder dicht ruimtelijk spreidingspatroon van de waarnemingspunten en variëren sterk in meetfrequentie. Ze zijn zeer nuttig om optredende processen te analyseren naar aard en tijdschaal en verschuivingen in ruimtelijke patronen te signaleren bij niet-evenwichtssituaties.

De topografische kaarten vormen de belangrijkste informatiebron voor de verdeling van een gebied in een hiërarchie van hogere en lagere gedeelten. Hieruit volgt reeds een eerste, zeer voorlopige indruk van de verspreiding van kwel- en infiltratiegebieden en hun onderlinge ruimtelijke verband. Het landgebruikstype is vooral op de oudere topografische kaartseries nog nauw gebonden aan de natuurlijke hydrologische situaties en een goed hulpmiddel om de topografische eenheden snel te herkennen en nauwkeuriger af te bakenen. Het landgebruikstype heeft via de waterbalans een grote invloed op de sterkte van de grondwatervoeding vanuit de neerslag.

De bodemkaarten op verschillende schalen leveren via de soorten bodems en de daarin optredende processen van b.v. uitloging, gley-verschijnselen, veenvorming e.d., verdere aanknopingspunten voor de verdeling van het terrein in hydrologisch vergelijkbare eenheden. De grondwatertrappen-classificatie van de bodemkaart is een zeer waardevol hulpmiddel bij de verdere indeling. In vele gebieden is echter door waterhuishoudkundige ingrepen het oorspronkelijke, natuurlijke grondwatertrappenpatroon verstoord, meestal door ontwatering. Voorzichtigheid bij de interpretatie naar de huidige situatie is dan ook noodzakelijk. Anderzijds geven afwijkingen een beeld van de invloed van latere ingrepen.

De geologische kaarten van Nederland zijn nog maar ten dele herzien zodat een combinatie van oude en nieuwe kaartseries gebruikt moet worden.De geomorfologische kaart van Nederland is ook maar gedeeltelijk uitgebracht. Historische kaarten zijn vooral van belang in verband met de waterstaats- en ontginningsgeschiedenis en de veranderingen in grondgebruik. Deze weerspiegelen zich weer in gewijzigde randvoorwaarden voor de grondwaterstromingsstelsels binnen de regionale hydrologie.

De waterstaatskaart is een belangrijke informatiebron voor de verdeling in waterstaatkundige eenheden en voor de kopppeling van oppervlaktewater systemen en grondwaterstystemen.Deze kaarten zijn niet altijd voldoende recent en gedetailleerd zodat



Figuur 4: Voorbeelden van gebruikte kaarten, de analyse van de grondwaterstelsels en de terugkoppeling naar het materiaal (naar Stuurman et al. 1988).

dan aanvullende informatie van provinciale waterstaten en waterschappen nodig is.

De grondwaterkaart van Nederland is een onmisbaar basisdocument bij de regionale systeemanalyse. De kaartbladen ervan zijn echter van zeer uiteenlopende ouderdom zodat de mate van detail vrij sterk kan wisselen en continuiteit op de overgangen van kaartbladen niet steeds gegeven is.

De informatie uit luchtfoto's en satellietbeelden kan zeer bruikbaar zijn voor de begrenzingen van allerlei terreineenheden maar is in deze overzichtsstudie niet gebruikt. In een aantal meer gedetailleerde hydrologische systeemstudies, die in dit overzicht zijn verwerkt is dat al wel het geval (zie b.v. appendix A). Op dit gebied mag echter in de toekomst nog een duidelijke verdieping van het onderzoek verwacht worden, vooral m.b.t. remote sensing.

Waterkwaliteitspatronen vormen een zeer belangrijk hulpmiddel bij de systeemanalyse. Vele grondwaterstromingsstelsels hebben specifieke conditites in hun infiltratiegebieden, wat zich uit in een verschillende uitgangskwaliteit van het infiltrerende water. Het type systeem (o.a. via de verblijftijd in de ondergrond) en de samenstelling van de ondergrond bepalen dan de verdere veranderingen in waterchemie langs de stroomlijnen. Met behulp van een veelzijdige, moderne classsificatie van watertypen zoals ontwikkeld door Stuyfzand, is het mogelijk de veelheid van hydrochemische gegevens te schematiseren tot overzichtelijke watertypen, en die verbreidingspatronen vervolgens af te beelden en te analyseren.

Grondwaterstandsgegevens vormen zowel belangrijke invoergegevens bij de modellering als controlemogelijkheden voor de juistheid van de modelleringen. Doorlatendheidsgegevens van de diverse lagen in de ondergrond worden ontleend aan proefpompingen, metingen aan boorkernen, korrelgrootte analyses van boormonsters en waterbalansstudies. De grote variatie in opbouw van de ondergrond en de beschikbare onderzoeksmethoden maken dat de doorlatendheidswaarden vaak tussen ruime grenzen varieren of slechts per groep van lagen bekend zijn. Ze kunnen ruimtelijk sterk varieren over korte afstanden. In deze studie zijn de doorlatendheidswaarden uit de literatuur als eerste uitgangspunt genomen en vervolgens bij de modelleringen binnen redelijke grenzen aangepast als andere, onafhankelijke informatie uit b.v. waterchemie of stijghoogte gegevens daartoe aanleiding gaf. De gebruikte waarden zijn in appendix B gegeven.

1.2. Schaal, homogeniteit, betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de onderzoeksresultaten

1.2.1. Schaal

Het begrip schaal is van groot belang binnen de hydrologische systeemanalyse zoals direct voortvloeit uit het hiërarchisch karakter van de geneste grondwaterstromingsstelsels. Deze stelsels zijn te rangschikken naar grootte en fluxintensiteit, naar ouderdom en naar stapeling en positie in de ruimte naast en op elkaar. Bij beleid- en beheersvraagstukken op het gebied van integraal waterbeheer is eveneens steeds sprake van een getrapte opbouw van problemen en mogelijke oplossingen. Door nu deze beide hiërarchieën met elkaar te verbinden ontstaat de mogelijkheid om systematisch, stapsgewijs, doelgericht en efficient hydrologische informatie in beleid en beheer te verwerken.

De methode van de regionale hydrologische systeemanalyse is op iedere schaal toepasbaar, beginnend met de zeer grote suprareregionale en regionale systemen en vervolgens steeds verder in detail gaand tot op de schaal van stromingsstelsels van regenwaterlenzen van decimeters tot meters dikte en afmetingen van enkele tientallen meters. De geneste hiërarchie van stromingsstelsels houdt in dat de stelsels naarmate ze kleiner worden ze ook talrijker en gemiddeld ondieper worden.In deze studie zijn echter uitsluitend de grote en middelgrote stromingsstelsels weergegeven.

Waarschuwing: De ruimtelijke stapeling van kleinere systemen binnen en op grotere, houdt tevens in dat als men de grotere systemen duidelijk in een kaart wil weergeven, het noodzakelijk is de kleinere systemen, zo men die al in detail kent, uit het kaartbeeld weg te laten. Als dus op een overzichtskaart is aangegeven dat ergens een groot systeem aanwezig is, behoeft dat nog niet te betekenen dat het daar overal en vlakdekkend aan het oppervlak aanwezig is. Het kan bijvoorbeeld in een aantal kwelvensters van beperkte omvang door de bovenliggende systemen naar het oppervlak omhoog gekomen zijn. Ook voor de dwarsdoorsneden geldt dat als gevolg van de schematisatie en de schaal kleine systemen niet zichtbaar zijn. Een speciale waarschuwing betreft de profielen: deze waarschuwing geldt het verschil in horizontale en verticale schaal in de doorsneden. Het is noodzakelijk de hoogteschaal sterk te overdrijven om de verschijnselen goed zichtbaar weer te geven, dikwijls met een honderdvoudige overdrijvingsfactor. De gemodelleerde stromingsstelsels zijn dus in werkelijkheid veel meer samengedrukt en platter dan ze in de profielen lijken.

1.2.2. Homogeniteit

Het hydrologisch systeemonderzoek heeft in de laatste jaren grote vorderingen gemaakt dankzij een aantal gedetailleerde karteringen en modelstudies op verschillende schalen in uiteenlopende delen van Nederland. De gebieden waar deze systeemstudies hebben plaats gevonden zijn aangegeven op de kaart van Nederland met de ligging van de profiellijnen (bijlage 2).

Er zijn echter nog zeer grote delen van Nederland waar tot dusver dergelijke studies nog niet zijn verricht. Bij het samenstellen van een gebiedsdekkend beeld van Nederland moesten dus in korte tijd grote gaten opgevuld worden, hetgeen tot gevolg heeft dat de kennis van de hydrologische systemen in dit stadium nog onevenwichtig is. Dit betekent dat de nauwkeurigheid van gebied tot gebied niet gelijk kon zijn en mede afhankelijk is van de verschillen in complexiteit per gebied en van de soort en hoeveelheid van reeds beschikbare systeemstudies.

Gebruikers van deze studie met zijn systemenkaart en profielen moeten er zich dan ook van bewust zijn dat detailproblemen niet zonder meer met behulp van deze studie mogen worden opgelost of benaderd. Men zal dan zeker het basismateriaal dat in deze studie is verwerkt opnieuw in de beschouwingen moeten betrekken en in vele gevallen zal aanvullend, gedetailleerder onderzoek noodzakelijk zijn. Het onderzoek is dan wel vanaf het begin in een groter kader met bekende randvoorwaarden te plaatsen en doelgericht en doelmatig te verfijnen met dezelfde methodiek.

1.2.3. Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

In het algemeen geldt dat hoe intensiever het onderzoek is geweest, des te betrouwbaarder en nauwkeuriger zijn de onderzoeksresultaten. Dit geldt ook voor de ligging van systeemgrenzen en de stromingspatronen in de dwarsdoorsneden.

De stromings- en verblijftijdmodellering, zoals toegepast in deze studie, kent een aantal beperkingen, die men zich dient te realiseren om de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de resultaten van geval tot geval goed te kunnen inschatten.

De stroomlijnen in de profielen en de verblijftijden van het water zijn berekend met het computerprogramma FLOWNET (van Elburg en Engelen 1986). Dit is een tweedimensionaal, stationair, eindige verschillen programma voor gebruik op een personal computer. Bij de berekeningswijze wordt geen rekening gehouden met dichtheidsstroming. Dit betekent o.m. het volgende:

a) het tweedimensionale karakter van het model betekent dat in zones met een meer radiale dan parallelle stroming de stroming door de modellering niet goed of slechts zeer benaderend kan worden verkregen. In de praktijk is dat bezwaar zoveel mogelijk

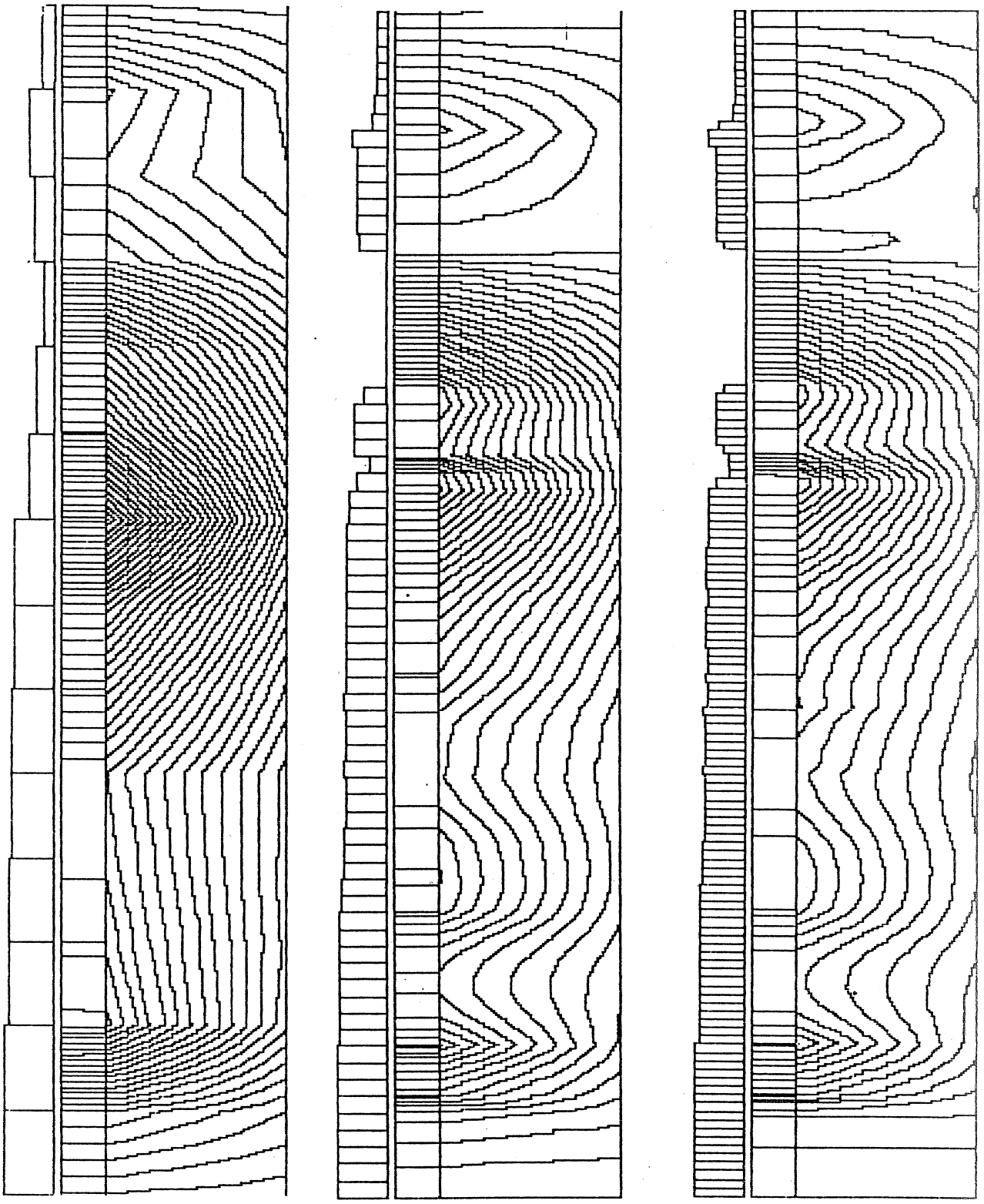
op te vangen door een geschikte ligging van de profiellijnen te kiezen. Sterk van elkaar verschillende stromingsrichtingen op verschillende diepten in het profiel als gevolg van een ruimtelijke stapeling van meerdere stelsels met verschillende oriëntatie boven elkaar zijn evenmin juist weer te geven.

In een aantal gevallen zijn reeds met het driedimensionale model FLOSA van DGV-TNO (Zijl 1988) op een mainframe computer goede resultaten bereikt. Dit model ondervangt de genoemde bezwaren maar is arbeidintensiever en kostbaarder in het gebruik en moet als een geschikte vervolgmodellering na een eerste inventariserende onderzoeksfase met het model FLOWNET worden beschouwd. In combinatie vormen beide modellen elkaar aanvullende, krachtige hulpmiddelen bij een hydrologische systeemanalyse.

b) het stationaire karakter van het model FLOWNET betekent dat tijdsafhankelijke veranderingen in de stromingspatronen slechts via de omweg van afzonderlijke modelleringen voor verschillende condities kunnen worden verkregen en dan onderling vergeleken. Men kan b.v. de stroming in een winter- en in een zomersituatie achtereenvolgens simuleren en vergelijken. Dit kan met name voor kleinere, ondiepe systemen tot aanzienlijke verschillen in stromingsbeeld voeren omdat dergelijke systemen in de zomer vaak sterk inkrimpen of zelfs tijdelijk geheel kunnen verdwijnen. Grotere ingrepen in het landschap (inpolderingen) en veranderingen in watergebruik (grondwaterwinningen) kunnen aanleiding geven tot grote veranderingen in de grenzen tussen systemen en stromingspatronen op sterk uiteenlopende tijd- en ruimteschalen.

c) het feit dat in de modellering met FLOWNET geen rekening gehouden kan worden met het optreden van dichtheidsstromingen vormt een beperking voor die gebieden waar veel brak of zout water in de ondergrond voorkomt. Desondanks is het verrassend en verheugend te kunnen constateren dat de grote lijnen van de systeem opbouw in een dergelijk gebied (b.v. Noord-Holland, zie bijlage B, Zuid-Holland, Promes 1988) goed benaderd kunnen worden met het model, zoals o.a. uit een vergelijking met zoet-zoutgrenzen, waterkwaliteitspatronen en andere onafhankelijke informatiebronnen blijkt. Dit wijst erop dat het verloop van topografie en freatisch vlak en de doorlatendheden in het ondiepere deel van de profielen de doorslag geven voor de vorming en uitbreiding van stromingsstelsels.

Figuur 5: Invloed van discretisatie van de model invoer op het stroomlijnen patroon. Bij de keuze van een relatief grote discretisatieafstand worden de stroomlijnen van de locale systemen niet berekend (Promes 1988) >



Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de modellering met FLOWNET een snelle, goedkope en inzichtelijke mogelijkheid vormt om de regionale systeemopbouw te modelleren. In een aantal gevallen zijn de resultaten direct kwantitatief bruikbaar, in andere (bij beperkende omstandigheden) zijn ze semi-kwantitatief. In de meeste gevallen leveren deze modelleringen bij een verstandige keuze van de profielliggingen redelijke ordes van grootte van kwel en wegzijging, verblijftijden, stroomlijnpatronen e.d.

1.2.4. Invoergegevens

Een modelleringsresultaat is nooit beter dan het type model en de kwaliteit van de invoergegevens toestaan. De beperkingen van het model zijn hierboven aangeduid. Tot de invoergegevens behoren achtereenvolgens: (a) de keuze van ligging en aard van de modelgrenzen; (b) de stijghoogteverdelingen op de modelranden; en (c) de ingevoerde patronen en waarden van doorlatendheid en porositeit.

ad (a): De ligging en aard van de modelranden wordt in de eerste fase van de regionale systeemanalyse, die voorafgaat aan de modellering, bepaald met behulp van zeer uiteenlopende gegevens van topografie, bodem en bodemgebruik, geologische bouw, isohypsenkaarten, waterkwaliteitspatronen e.d. Deze uitvoerige voorafgaande analyse maakt dat de randvoorwaarden voor de modellering vrij nauwkeurig bepaald kunnen worden.
ad (b): De stijghoogteverdeling aan het bovenvlak van het model is zeer belangrijk voor het modelleringsresultaat en kan met behulp van grondwaterstandswaarnemingen, verloop van de topografie, grondwatertrappen en polderpeilen vrij nauwkeurig worden ingevoerd. Fig 5 toont de invloed van de verfijning van het stijghoogteverloop aan het bovenvlak van een FLOWNET modellering (Promes, 1988) op het stroomlijnenpatroon. Vergelijking van de figuren 5 a, b, en c toont bijvoorbeeld dat in dit geval pas bij een discretisatieafstand (= kolombreedte van het model) van 100 m de westelijke tak vanuit de uitloper van de Kagerplassen naar de Haarlemmermeer zichtbaar wordt. Gegevens over de stijghoogte van het diepere grondwater zijn schaarser, maar gelukkig ook ruimtelijk minder gedifferentieerd dan bij het ondiepere grondwater. De gevoeligheid daarvoor is in de modellering dan ook veel minder.

In de poldergebieden zijn in deze studie de (lagere) winterpeilen gebruikt bij de benadering van het freatisch vlak. In de vrij afwaterende gebieden is eveneens uitgegaan van de situatie in de winter met daar juist de grootste opbolling van de grondwaterspiegel onder de topografie. Bij een dergelijke keuze van randvoorwaarden zijn de grondwatergradienten het grootst en komen de stromingsstelsels het best tot uiting.

ad (c): De ingevoerde patronen en waarden van de horizontale en vertikale doorlatendheid en de porositeit zijn sterk afhanke-

lijk van de kennis van de geologie van de ondergrond. De hydrogeologische bouw is vaak sterk heterogeen en slechts op enkele punten, of samengenomen voor meerdere pakketten, bekend uit pompproeven, bemonsteringen en boorgatonderzoek. Gevoeligheidsanalyses met het model geven aan dat variaties in de doorlatendheden in de nabijheid van het terreinoppervlak een veel grotere invloed op de stromingspatronen hebben dan die op grotere diepte. Dit is opnieuw een gelukkige omstandigheid bij de modellering, omdat de ondiepere geologie in het algemeen beter bekend is en goedkoper aanvullend is te onderzoeken dan de diepere geologische bouw. Zie voor een voorbeeld van een gevoeligheidsanalyse voor doorlatendheid figuur 40 in Appendix B

De uitkomsten die FLOWNET geeft, zoals stroomlijnen, equipotentiaallijnen, verblijftijden en debieten, kunnen aan de hand van waterkwalteitspatronen, stijghoogtegegevens, isotopen onderzoek en kwel- en infiltratie gegevens worden gecontroleerd.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de meest gevoelige invoergegevens bij de modellering in het algemeen het beste bekend zijn.

Literatuur

Engelen, G.B. 1984, Hydrological Systems Analysis. A regional Case Study. TNO-DGV Institute of Applied Geoscience, report no: OS-84-20, Delft.

Engelen, G.B, and G.P. Jones (Ed.), 1986, Developments in the analysis of groundwater flow systems, IAHS Publ. 163.

Freeze, R.A., P.A. Witherspoon, 1966, Theoretical analysis of regional groundwater flow: 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model. Wat Resources Res. 2, pp 641-656.

Freeze, R.A., P.A. Witherspoon, 1967, Theoretical analysis of regional groundwater flow: 2. Effect of water-table configuration and subsurface permeability variation, Wat Resources Res. 3, pp 623-643.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1985, Omgaan met water, naar een integraal waterbeleid, 's-Gravenhage.

Nawalany, M., 1986a, FLOSA-FD Introduction to system-analysis of three dimensional groundwater flow. TNO-DGV, rapport no: OS 86-07.

Nawalany, M., 1986b, Numerical model for the transport velocity representation of groundwater flow, VIth Int. Conf. on Finite Elements in Water Resources, Lisbon June 1986.

Stuurman, R.J., A. Biesheuvel en L.J. van der Mey, 1988, Ecohydrologisch onderzoek van het Merkske stroomgebied. Eindrapport: Een hydrogeologisch en vegetatiekundig onderzoek ten dienste van het natuurbeschermingsbeleid. Onder auspiciën van de Benelux Economische Unie.

Tóth, J., 1963, A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. Journal of Geophysical research, vol 8 no 16, pp 4795-4812.

Tóth, J., 1966, Mapping and interpretation of field phenomena for groundwater reconnaissance in a prairie environment, Alberta Canada, Bull. Intern. Assoc. Sci. Hydrol., 11, no 2, pp 1-49

Witmer, M.C.H., J. Jelsma en J.H. Woudstra, 1987, Watersystemen en integraal waterbeheer, Milieu 2, 1987/3, 66-71.

Zijl, W., 1986, Numerical Simulations based on stream functions and velocities in three-dimensional groundwater flow. Journal of Hydroloy, 85, pp 349-365.

Zijl, W., 1988, Three-dimensional flow systems analysis: Basic equations and numerical modelling, TNO-DGV, OS 88-12.

2. Een overzicht van de belangrijkste typen van grondwaterstromingsstelsels in hun volgorde van ontstaan.

2.1. Inleiding

Het totale beeld van de grondwaterstromingsstelsels van Nederland is zeer complex, zowel ruimtelijk als in hun volgorde van ontstaan. Een overzicht ontstaat het eenvoudigst als eerst de ontwikkeling in hoofdlijnen wordt beschreven aan de hand van een aantal overzichtskaartjes. De verschillende groepen van stromingsstelsels zijn ontstaan door natuurlijke of door de mens gevormde situaties.

Achtereenvolgens worden de volgende groepen stromingsstelsels kort toegelicht:

1. natuurlijke, zeer oude, thermo-minerale, langs breuken in de ondergrond opstijgende stromingsstelsels, gevoed vanuit het Carboon (par 2.1.1);

2. natuurlijke, door zwaartekracht aangedreven, diepgaande stromingsstelsels, gevoed vanuit de hogere Mesozoïsche en Tertiaire randen van het Noordzeebekken, met voedingsgebieden die deels in Duitsland en België liggen (par 2.1.2);

3. natuurlijke, door zwaartekracht aangedreven stromingsstelsels, gevoed vanuit hogere Pleistocene terreinopwelvingen zoals het glaciale plateau van Drenthe, stuwwallen en dekzandculminaties (par 2.1.3);

4. natuurlijke, door zwaartekracht aangedreven stromingsstelsels, gevoed vanuit hogere Holocene terreinopwelvingen zoals rivieren met oeverwallen en kommen, land- en kustduinen, kwelderwallen e.d. (par 2.1.4);

5. kunstmatige, oudere, door bemaling in stand gehouden stromingsstelsels naar droogmakerijen en polders in West- en Noord-Nederland en in het rivierengebied (par 2.1.5);

6. kunstmatige, jonge, door bemaling in stand gehouden stromingsstelsels naar grote polders in het IJsselmeergebied en het zuidwestelijke Delta gebied (par 2.1.6);

7. kunstmatige, jonge, door grondwaterwinning in stand gehouden stromingsstelsels (par 2.1.7);

8. kunstmatige, jonge, ondiepe, door landbouwkundige drainage in stand gehouden, zeer talrijke stromingsstelsels (par 2.1.8).

De figuren waar naar verwezen wordt in paragraaf 2.1.1 e.v. (fig 6 tm 11, 15 en 16) geven zeer globaal de ligging van de gebieden weer waarin zich de voeding of de oorzaak van het

systeem bevindt (b.v. infiltratiegebieden voor Pleistocene, onttrekkingen voor kunstmatige Holocene systemen).

2.1.1. Het thermo-minerale Systeem uit het Carboon (Figuur 6)

Het geologische massief van Brabant vormt aan de zuidzijde de oude Paleozoïsche omraming van het Noordzeebekken en komt in Zuid Limburg nog net aan de oppervlakte. De oude gesteenten met o.a. de steenkool bevattende formaties van het Carboon zijn overdekt met jongere Mesozoïsche gesteenten (o.a. het Krijt van Zuid Limburg) en de nog jongere Tertiaire gesteenten. Door de opheffing van de oudere gesteenten aan de rand en de daling van het Noordzeebekken bestaat er geologisch reeds zeer lang een hooggelegen infiltratiegebied in het Brabants massief.

Het Paleozoïsche grondgebergte met zijn bedekking van Mesozoïcum, Tertiair en Kwartair duikt naar het noordwesten weg in het Noordzeebekken. Deze afhelling en de bedekkende formaties worden echter doorsneden door een uitgebreid systeem van ongeveer NW-ZO verlopende breuken, die het gebied verdelen in opgeheven en gedaalde schollen (horsten en slenken). Deze breuken hebben de gelijktijdig doorgaande sedimentatie sterk beïnvloed en zijn ten dele ook recent nog werkzaam.

In de voormalige kolenmijnen in Zuid-Limburg kwam warm, mineraal-en gasrijk zout water langs deze breuken omhoog. In het verlengde van deze breuksystemen naar het Noordwesten blijken op meerdere plaatsen in de ondergrond locale steile kegels en opwelvingen in het zoet-zout grensvlak voor te komen, vaak vergezeld van thermische en chemische anomaliën (Engelen, 1963; Van Dalfsen, 1981, 1982, 1983). Een recent ongepubliceerd systematisch onderzoek (Engelen, in voorbereiding) van de gegevens van de geo-electrische kartering en de grondwaterkaart van Nederland van DGV-TNO wijst op het voorkomen van een aantal van dergelijke culminaties in het zoet-zout grensvlak, vaak buiten het bereik van de Holocene mariene transgressies. De nauwkeurige kartering en bestudering van dergelijke "schoorstenen" van opstijgend warm, gasrijk mineraal water vanuit het Carboon via lekkende breuken in de bovenliggende formaties moet echter nog grotendeels beginnen.

Een voorlopige inventarisatie van plaatsen waar dit thermo-minerale systeem in de ondergrond waarschijnlijk aanwezig is omvat de volgende locaties of zones (de letters verwijzen naar de locaties in figuur 6):

a) drie zoutwater kegels langs het noordwestelijke systeem van randbreuken van de Centrale Slenk, resp. in het centrum van de Alblasserwaard, bij Gantelwijk en bij Almkerk;b) een groep van thermo-minerale bronnen in zuidoostelijke deel van de Centrale Slenk in het voormalige kolenmijnbouwgebied van Zuid-Limburg;

c) twee zoutwaterkegels op een waarschijnlijke breuklijn evenwijdig aan de westelijke hoofdbreuk van de Centrale Slenk bij Klundert-Zevenbergen en Etten-Leur en een ondiepe zout anomalie aan de voet van de Brabantse wal bij Bergen op Zoom, zeer waar-

schijnlijk op een breuklijn in samenhang met een tectonische aanleg van deze terreinsprong;

d) een zoutwater culminatie bij Bruchem op de overgang van de Centrale Slenk naar de Peelhorst en een thermische anomalie bij Zoelen iets noordelijker in dezelfde tectonische positie;

e) een belangrijke zone met kegels en gebieden met relatief ondiep zout water en thermische anomalieën op de rand van de Peelhorst en de Venloslenk lopend van midden Limburg tot aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug bij Groenekan;

f) een zone met ondiep zout water en een thermische anomalie in de Boven-Betuwe bij Tiel en Driel op de noordelijke voortzetting van de oostelijke begrenzing van de Venlo slenk.

Deze thermo-minerale systemen moeten als de oudste van de bestaande grondwaterstromingsstelsels in Nederland worden beschouwd. Ze zijn waarschijnlijk in aanleg reeds vele miljoenen jaren aanwezig, ongeveer vanaf het begin van het Tertiair, toen een sterke breukwerking begon. Ze dringen van onderaf in de boven liggende door zwaartekracht aangedreven systemen door en worden er door omspoeld en verdund, zodat ze behoudens enkele mogelijke uitzonderingsgevallen (West Brabant ?) niet aan het oppervlak komen.

Figuur 6: Gebieden met natuurlijke, thermominerale anomaliën van het grondwater, waarschijnlijk veroorzaakt door voeding vanuit het Carboon. De letters verwijzen naar locaties die in de tekst worden genoemd >

a
b
c
d
e
0
10 km

2.1.2. Stromingssystemen vanuit de Mesozoïsche en Tertiaire omranding van het Noordzeebekken (figuur 7)

De Mesozoïsche Krijtafzettingen van Zuid-Limburg vormen twee afzonderlijke infiltratiegebieden, die ieder een eigen stromingsstelsel voeden: het Plateau van Margraten en het Plateau van Schimmert:

Het Plateau van Margraten watert ondergronds af. Een deel van het water komt in de Geul en zijtakken en in bronnen op de hellingen tot afvoer. Een ander deel stroomt naar grondwaterwinningen in het Maasdal of direct ondergronds in de Maas.

Het Plateau van Schimmert voedt in het centrale deel via de overliggende Tertiaire afzettingen de onderliggende Krijtformaties. Een deel van het water stroomt in noordwestelijke richting af in de richting van de Maas en wordt daar door grondwaterwinningen onderschept. Een ander deel kwelt in de Maas op en stroomt wellicht voor een gedeelte onder de Maas door in de Centrale Slenk en stroomt op grotere diepte af naar het noordwesten in de richting van Helmond en 's-Hertogenbosch.

De hogergelegen Tertiaire afzettingen komen voor in de kern van de Twentse stuwwallen, in de omgeving van Winterswijk, in Zuid-Limburg en de Belgische Kempen.

Het Twentse gebied wordt vooral door glaciale werking bepaald en zal bij de Pleistocene stelsels worden besproken. In de Achterhoek rond Winterswijk bepalen de jongere Pleistocene en Holocene reliefvormen voor een groot deel de grondwaterstroming.

In Zuid-Limburg vormt de bedekking met loess en Maasafzettingen op het slecht doorlatend Tertiair van het Plateau van Schimmert een stelsel dat gedeeltelijk via contactbronnen afwatert op de omliggende beken.

Het gebied van de Belgische Kempen vormt twee grote grensoverschrijdende grondwaterstromingsstelsels:

a) in het oosten het zeer grote en belangrijke systeem van het Kempisch Plateau dat naar het oosten en noordoosten direct naar de Maas en naar het noorden via de Centrale Slenk afstroomt;

b) in het westen aansluitend het Systeem van de Microcuesta van de Kempen dat onder jongere systemen van West-Brabant door in beekdalen en aan de noordrand van het Pleistocene gebied opkwelt.

Figuur 7: Gebieden met Mesozoïsche en Tertiaire afzettingen die de randen van het Noordzeebekken vormen. Vanuit deze gebieden worden natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels gevoed. De horizontale arcering geeft aan waar jongere stelsels boven deze systemen liggen >

0
10 km

2.1.3. Stromingssystemen vanuit de Pleistocene terreinopwelvingen (figuur 8).

De stromingsstelsels, gevoed vanuit de Pleistocene terreinopwelvingen zijn achtereenvolgens: het grote Systeem van het Glaciale Plateau van Drenthe, een serie grote en kleinere systemen vanuit afzonderlijke stuwwalcomplexen en een groot aantal middelgrote en kleinere systemen vanuit opwelvingen en ruggen van dekzanden (zie bijlage 1).

Het diep doordringende Systeem van het Glaciale Plateau heeft een min of meer radiale afstroming naar de Drentse beekdalen en de omringende lagere Holocene gebieden waar kwelstromen omhoog komen. Een aantal uitgangen van het stelsel liggen in de de aangrenzende delen van de omliggende provincies Groningen, Friesland en Overijssel.

De grootste stuwwalcomplexen, de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug, voeden belangrijke zoete grondwaterstromingen in de richting van de omringende lagere gebieden: Rijndal, IJsseldal, Eemdal, het Vechtplassengebied en de Flevopolders.

Kleinere systemen worden gevoed vanuit de Sallandse en Twentse stuwwallen, het Montferland, de stuwwal van Nijmegen, het Gaasterland, de stuwwal van Steenwijk en kleinere gestuwde gebieden op Texel, bij Urk, in Zuid Drenthe, bij de Lochemer Berg en bij Groenlo. Met uitzondering van de Twentse stuwwallen met hun kern van slecht doorlatende Tertiaire afzettingen zijn de meeste stuwwallen in grote lijnen redelijk, tot goed doorlatend en vormen zo belangrijke infiltratie gebieden.

De dekzanden vormen in het algemeen een veel kleinschaliger relief waar ze geen mantel rond de stuwwallen vormen. Enkele van de grotere culminaties in het dekzand relief vormen b.v. de mid-Brabantse dekzandrug bij Eindhoven, de dekzandplateaus aan de noordzijde van het Montferland, het Systeem van Sallandse dekzandruggen en de met dekzand bedekte stuwrug tussen de Lochemer Berg en het Montferland. Vele kleinere, versnipperde hogere terreindelen met dekzand in Oost-Groningen, Overijssel, Gelderland en Brabant zijn op de schaal van een overzichtskaart niet aan te geven. Deze systemen dringen in het algemeen minder diep in de ondergrond door als gevolg van de geringere topografische hoogteverschillen met de omgeving en de geringere doorlatendheid.

Figuur 8: Pleistocene voedingsgebieden van natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels >

0 10 km

2.1.4. Stromingssystemen vanuit de Holocene terreinopwelvingen (figuur 9)

Onder invloed van het natuurlijke Holocene relief onstonden in aanleg enkele groepen stromingsstelsels, die voor een deel later door menselijke ingrepen beïnvloed zijn. Dit is overigens ook met de natuurlijke systemen uit par. 2.1.1, 2.1.2 en 2.1.3 vaak het geval.

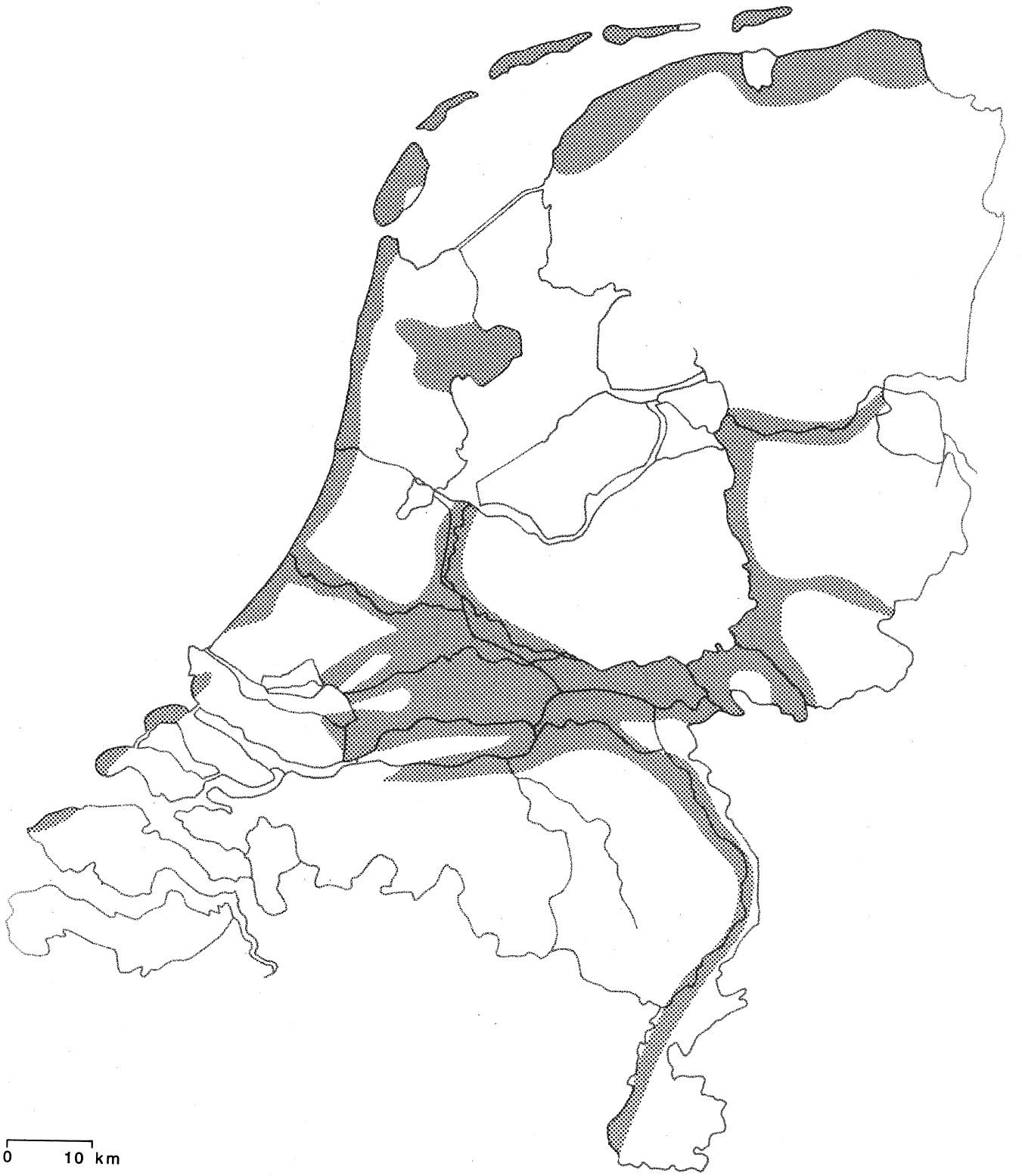
De kustduinen vormen op de koppen van de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden, langs de zeekust van Zuid- en Noord-Holland en op de Waddeneilanden een snoer van deels afzonderlijke, deels aaneen gegroeide stromingsstelsels in de vorm van dynamische zoetwaterzakken in een zoute omgeving. Zij zijn in de loop van het Holoceen door kustafslag en aangroei, verbreding en verhoging van de duincomplexen, inpolderingen aan de landzijde en waterwinning en kunstmatige infiltratie sterk van vorm en grootte veranderd.

De afzonderlijke complexen van landduinen buiten de stuwwallen voeden eveneens grondwaterstromingsstelsels. De belangrijkste van deze categorie zijn de Drunense duinen en de rij van rivierduinen langs de Oude IJssel, de Overijsselse Vecht en de Maas.

De grotere rivieren hebben eveneens stromingsstelsels ontwikkeld als gevolg van reliefverschillen tussen oeverwallen en komgebieden in samenhang met sterk wisselende rivierpeilen. Deze stelsels vormen lange, zich verbredende en vernauwende stroken langs de rivieren. Hun werking is sterk geïntensiveerd door de bedijkingen van de rivieren en de bemaling van de lager gelegen poldergebieden tussen de riviertakken.

Langs die gedeelten van de kust waar zich geen duinen ontwikkelden maar van nature kwelderwallen ontstonden (een proces dat later door de mens kunstmatig is versterkt t.b.v. inpoldering) zoals in het Noorden van Friesland en Groningen en West Friesland werd eveneens een natuurlijk (hoger) relief gevormd dat tot infiltratie leidde. De geringe hoogteverschillen met de lagere omgeving en de lage doorlatendheid van de kwelderafzettingen en kreek inversieruggen (West Friesland) veroorzaakten dat de hier ontstane systemen slechts een geringe diepgang en uitbreiding hebben.

Figuur 9: Hogere Holocene voedingsgebieden van grondwaterstromingsstelsels >>


0
10 km

2.1.5. Kunstmatige, door bemaling in stand gehouden oudere stromingssystemen naar droogmakerijen en polders (figuur 10)

Vanaf de 15e eeuw is in West Nederland begonnen met het drooglegen van deels uitgeveende meren. De grote droogmakerijen zijn gevormd vanaf de 17e eeuw (Beemster, Purmer, Schermer, Horstermeer, Bethune polder, Haarlemmermeer e.d.) en vormen thans door de polderbemaling in stand gehouden grote kunstmatige pompputten. Gedeeltelijk vanuit de omliggende hogere polders en boezemwateren gevoed, zijn in de laatste eeuwen nieuwe stromingsstelsels ontstaan onder invloed van het kunstmatig geschapen reliëf en de daarbij behorende verschillende waterpeilen. Een interessante ontwikkeling was de uitstulping van zoetwatertongen onder de slecht doorlatende bodem van de vroegere Zuiderzee en het IJsselmeer vanaf de hoge infiltratiegebieden van de stuwwalcomplexen van het Gooi en de Veluwe in de richting van de diepe droogmakerijen in Noord-Holland (figuur 13). De uitbreiding van deze zoetwatertongen in Noordwestelijke richting over enkele tientallen kilometers werd afgebroken toen in de vijftiger en zestiger jaren het stijghoogteverloop in die omgeving drastisch veranderde door de aanleg van de Flevopolders.

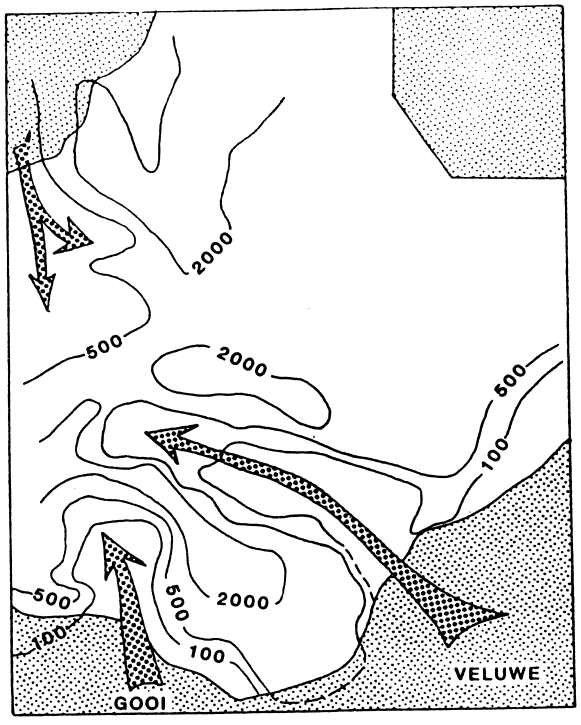
De aanleg van polderbemalingen sinds de Middeleeuwen in de zeeklei- en veengebieden in het Zuidwesten, Westen en en Noorden van Nederland en in het rivierengebied, en de waterbeheersing via stelsels van boezemwateren en rivierbedijkingen had soms reliëfomkering tot gevolg of versterkte natuurlijke processen in die richting. Bestaande natuurlijke grondwaterstromingsstelsels werden versterkt of kunstmatige stelsels van allerlei vorm en grootte ontstonden waarbij vaak de stroming van richting veranderde. Dikwijls hebben deze zoete, infiltrerende systemen ook grote invloed op de samenstelling van de oppervlaktewatersystemen door het het uitpersen en opkwellen van brak en zout water uit de ondergrond naar en in de laagste polders.

Figuur 10: Gebieden waarin de uitgangen van oudere door bemaling in stand gehouden stromingsstelsels in West en Noord-Nederland en in het rivierengebied voorkomen >

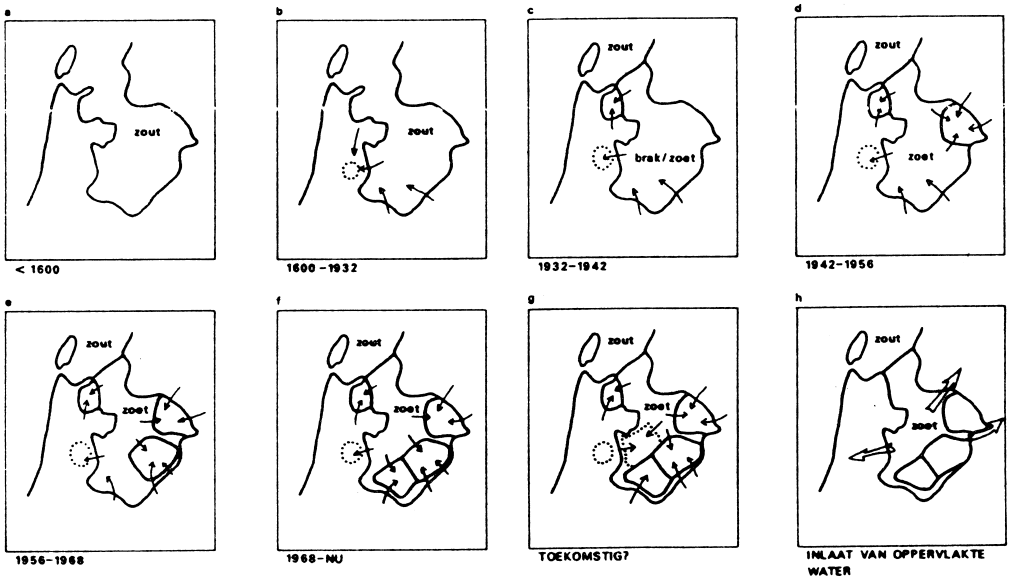
0
10 km

2.1.6. Kunstmatige, door bemaling in stand gehouden jongere stromingssystemen naar de IJsselmeerpolders en in het zuidwestelijke Deltagebied (Figuur 11).

Het vroegere Zuiderzeegebied biedt duidelijke voorbeelden van de diepgaande invloed die de mens kan hebben op het beïnvloeden van natuurlijke en het scheppen van nieuwe grote grondwaterstromingsstelsels (figuur 13).



Figuur 12: Verloop van lijnen van gelijk chloride gehalte in de ondergrond van het IJsselmeergebied. De pijlen geven de mogelijke stromingsrichting van het zoete water aan.



Figuur 13: Schematische weergave van de geschiedenis van het huidige IJsselmeergebied.

a) Open Zuiderzee met brak/zout water

b) Stroming naar diepe droogmakerijen in Noord-Holland vanuit West-Friesland, Gooi en Veluwe (zoet) en vanuit de Zuiderzee (zout).

c) Aanleg Wieringermeerpolder, afsluiting van de Zuiderzee, verzoeting van het IJsselmeer. Afstroming naar Wieringermeer vanaf West-Friesland en instroom van zout grondwater uit Zuiderzeeondergrond, gevolgd door brak/zoet front uit IJsselmeerfase naar Wieringermeer.

d) Inpoldering NO-polder, zoete instroom uit en verdroging van randgebied, uitstromen van zout, gevolgd door brak/zoet grondwater front uit IJsselmeer.

e, f) Inpoldering Flevoland. Afbuiging zoete grondwaterstromen uit Gooi en Veluwe. Instroom vanuit Veluwe en Randmeren.

g) Ontstaan van stromingsstelsel bij eventuele inpoldering Markerwaard met repercussies op de grondwaterstromingsstelsels in Noord-Holland.

h) Inlaat van oppervlaktewater uit het IJsselmeer t.b.v. aanvullende watervoorziening van Noord-Holland, Groningen, Friesland en Drenthe.

Figuur 11: Gebieden waarin de uitgang van oudere en jongere kunstmatige, door bemaling in IJsselmeer-, Delta- en Lauwersmeergebied in stand gehouden stromingsstelsels ligt >

0
10 km

Tot aan de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 vormde de zoute tot brakke Zuiderzee het infiltratiegebied voor een stromingsstelsel naar de diepe droogmakerijen in Noord-Holland en de in 1930 bedijkte Wieringermeer. Via een korte overgangsfase van brak water werd het door afsluiting ontstane IJsselmeer vervolgens zoet en werd de wegzijging van brak en zout water naar de omliggende diepere gebieden opgevolgd door een opdringend zoetwaterfront in de verschillende takken van dit stromingssysteem.

Gelet op de nog korte tijd sinds deze veranderingen en de geringe snelheid van de grondwaterstroming zijn de waterkwaliteitspatronen nog niet ver opgeschoven binnen de gewijzigde stromingsstelsels. Het stromingspatroon als zodanig past zich weliswaar snel aan de gewijzigde randvoorwaarden aan, het transport van de water massa's (en daarmee van hun fronten) verloopt door de geringe stroomsnelheden echter veel langzamer.

In 1942 werd de Noordoostpolder droog gelegd en onstond een tak van het IJsselmeersysteem naar het centrum van de polder. De randzone met het oude land begon te verdrogen door op gang gebrachte stroming vanuit het oude land naar de nieuwe polder. In het Zuiden van Friesland werd de oorspronkelijk landinwaarts gerichte stroming naar de polders vanuit de Zuiderzee (IJsselmeer) volledig van richting omgedraaid en begon vanuit het Tjeukemeer en omgeving wegzijging naar de Noordoostpolder op te treden.

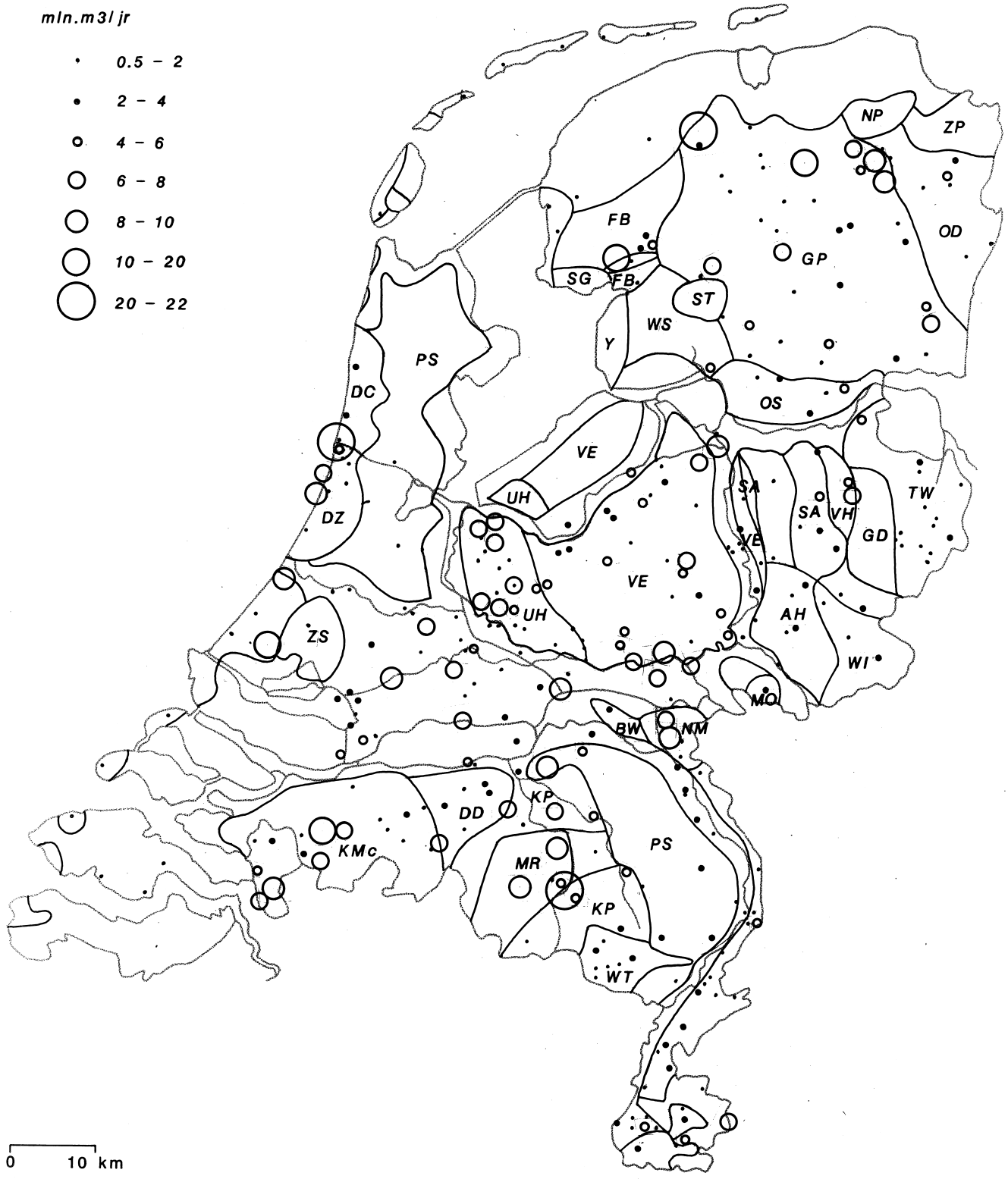
Bij de aanleg van de oostelijke en de westelijke Flevopolders, respectievelijk drooggelegd in 1956 en 1968, is door het inschakelen van randmeren tussen het oude land en de polders de verdroging in het oude land beperkt. Toch trekken beide polders nu onder de randmeren door stroomtakken van de stuwwalsystemen van de Veluwe en het Gooi aan. De oorspronkelijk naar de Noordhollandse droogmakerijen gerichte zoetwatertongen (Figuur 12) zullen nu geleidelijk omgebogen worden in de richting van de laagste delen van de beide Flevopolders en daar na verloop van tijd op gaan kwellen. De tijd waarover de nieuwe stromingscondities van kracht zijn is echter zo kort dat de oude waterkwaliteitspatronen nog niet aan de nieuwe situatie zijn aangepast.

Indien de Markerwaard alsnog zou worden aangelegd zou ook dat weer een wijziging in de grondwaterstroming in het aangrenzende deel van Noord-Holland tot gevolg hebben. Om effecten op Noord-Holland te beperken is hydrologisch onderzoek verricht naar maatregelen, die de effecten tegengaan (aanleggen van een randmeer, injectie putten, geulen).

2.1.7. Kunstmatige, jonge, door grondwaterwinningen in stand gehouden stromingssystemen (Figuur 14).

Rond iedere grondwaterwinning ontstaat een eigen grondwaterstromingsstelsel. De grotere winningen of groepen van winningen komen ook op een landelijke overzichtsschaal in grondwaterstijghoogtekaarten nog tot uiting. Voorbeelden hiervan zijn o.a. de kegelvormige verlaging van het grondwater in het grondwaterstromingsstelsel van het Glaciaal Plateau rond Emmen en de depressies in de diepere grondwaterstijghoogten rond Delft en bij IJmuiden.
In de grondwaterwinplaatsen in de kustduinen zijn niet alleen afzonderlijke stromingsstelsels ontstaan door onttrekkingen, maar ook stelsels die een combinatie vormen van onttrekkingen en kunstmatige infiltratie. Waterwinplaatsen langs de rivieren deden afzonderlijke grondwaterstromingsstelsels ontstaan met gedeeltelijke voeding door wegzijging vanuit het oppervlaktewaterstelsel (oeverfiltratie).

Figuur 14: Locaties en ordes van grootte van de belangrijkste grondwaterwinningen in Nederland (Naar gegevens van A.C. Garritsen in het lopend Verdrogingsonderzoek van Nederland) >


mln.m3/jr
0.5 - 2
2 - 4
4 - 6
6 - 8
8 - 10
10 - 20
20 - 22
NP
ZP
OD
GP
FB
SG
FB.
ST
WS
Y
PS
DC
OS
VE
UH
DZ
SA
SA
VH
TW
GD
VE
VE
UH
AH
ZS
WI
MO
BW
NM
KP
DD
KMc
PS
MR
KP
WT
0
10 km

2.1.8. Kunstmatige, jonge ondiepe, door landbouwkundige drainage in stand gehouden stromingssystemen (Figuur 15)

De ontwatering van landbouwgronden door ondiepe systemen van drainbuizen heeft in de loop van deze eeuw in zeer grote arealen landbouwgrond in Nederland zeer talrijke, kleine, ondiepe stromingssystemen doen ontstaan. Deze systemen zijn dikwijls niet permanent aanwezig maar ontstaan steeds opnieuw in perioden met een neerslagoverschot en verdwijnen vaak in drogere perioden (Hetzelfde gebeurt dikwijls met kleine, ondiepe, natuurlijke systemen).

Literatuur:

Ton, H., Lourens, J., 1978, Inventarisatie van de waterbeheersing, Werkgroep Inventarisatie Landbouw, Landinrichtinsdienst, Utrecht.

Figuur 15: Gebieden met een aandeel d.m.v. buizen gedraineerde landbouwgronden groter dan 20%. Grenzen zijn schematisch getrokken op grond van bekende gegevens per gemeente in 1977 (Ton & Lourens 1978) >

0 10 km

3. Grondwaterstromingsstelsels in Friesland, Groningen, Drenthe en de Kop van Overijssel

3.1. Systemen gevoed vanuit Pleistocene afzettingen

3.1.1. Het Glaciale Plateau Systeem (GP)[1]

Dit systeem beslaat heel Drenthe, het Friese Woudengebied en een groot deel van het Westerkwartier in de provincie Groningen. Het infiltratiegebied wordt gevormd door het hele Pleistocene zandareaal binnen de genoemde regio, m.u.v. de beekdalen. Daar keileem vrij dicht onder de oppervlakte voorkomt, wordt veel van het neerslagoverschot ondiep afgevoerd naar de vele beekdalen die het plateau in radiale richting ontwateren. In het hele gebied komen dan ook ondiepe systemen voor, met infiltratiegebieden tussen, en kwelgebieden in de beekdalen.

De waterscheiding, die ongeveer vanaf Klazinaveen in het zuidwesten van Drenthe in noordoostelijke richting naar Dokkum loopt, verdeelt het gebied in een deel met een zuidwestelijke tot westelijke, en een deel met een noordelijke tot noordwestelijke afstromingsrichting.

Het neerslagoverschot dat in het gebied rond de waterscheiding infiltreert zal veelal deel uit gaan maken van het diepere, regionale stromingssysteem en opkwellen langs de randen van het Glaciale Plateau. De begrenzing van het regionale kwelgebied wordt in het friese en groningse poldergebied vooral bepaald door de polderpeilen en de ligging van de diepere polders. Zo treedt in de diepe veenpolders ten noorden van Heereveen veel regionale kwel op, hoewel hier ook kwel voorkomt afkomstig van de Pleistocene uitloper van het Glaciale Plateau ten noorden van de Tjonger en de stuifzandrug langs de rand van het plateau.

In het zuidwesten loopt de systeemgrens langs de noordoostelijke rand van het Steenwijkse Stuwwal systeem (zie hieronder) en vervolgens zuidelijk van de Havelterberg. Onder de stuwwallen bij Havelte komt nl. geen opbolling in de freatische grondwaterspiegel meer voor, ten gevolge van de drinkwateronttrekking. Het oorspronkelijke Havelterbergsysteem is hierdoor een verdwijnend systeem geworden, en het regionale grondwater kan tot in de polders ten zuidwesten ervan doordringen.

In het zuiden wordt het systeem begrensd door de Reest, een landduinen systeem langs de Vecht en het Schoonebeeker Diep. De stuwwallen in dit gebied vormen kleine, lokale systemen,

---

[1] De afkorting van het systeem zoals die op bijlage 1 voorkomt.

waartegen en waartussen het regionale grondwater omhoog kan kwellen.

In het oosten loopt de systeemgrens door het Hunzedal en zet zich in het zuidoosten voort langs de voet van de Hondsrug (van de oostelijke flank van de Hondsrug stroomt hier slechts een geringe hoeveelheid water af).

In het noorden bevinden zich twee kleinere systemen die eveneens tot het Glaciale Plateau Systeem worden gerekend. Een derde, soortgelijk systeem ten noorden van Bergum wordt tegenwoordig sterk beïnvloed door de drinkwaterwinning te Bergum. Behalve een flinke verlaging van de grondwaterstand in het gebied, is ook het optreden van kwel langs de randen onwaarschijnlijk geworden.

3.1.2. Het Oost-Gronings Dekzand Systeem (OD)

Het gebied tussen de Hondsrug, de Mussel Aa en de Westerwoldse Aa is vroeger een belangrijk hoogveengebied geweest. Na de ontginning is een dicht afwateringsstelsel met een groot landbouw areaal met buisdrainage aangelegd, zodat, mede door de slechte doorlatendheid van het resterende veen in de bodem, in dit gebied een groot deel van het neerslagoverschot ondiep wordt afgevoerd. Het infiltratiegebied van dit systeem strekt zich ongeveer uit tot de lijn Hoogezand-Veendam-Oude Pekela, het kwelgebied tot iets ten zuiden van de lijn Slochteren-Scheemda-Nieuwe Schans. Ter hoogte van de winning ten noorden van Veendam wordt de systeemgrens iets naar het zuiden getrokken. Ook in de beekdalen van de Mussel Aa, de Ruiten Aa, de Westerwoldse Aa en gedeeltelijk in het Hunzedal kwelt regionaal water van dit systeem op.

Tussen de Mussel Aa, de Ruiten Aa en ten oosten hiervan komen een aantal landduinen voor die de infiltratiegebieden vormen van lokale, ondiepe systemen. Het grondwater van deze systemen kwelt op in de beekdalen.

3.1.3. Stuwwalsystemen (NJ, SG, SF, SM, SO, ST, SW)

Een aantal kleinere systemen wordt gevoed vanuit stuwwallen die als infiltratiegebied voor het systeem fungeren. Hiertoe behoren het Systeem van Gaasterland (SG) en het St. Nicolaasga/Joure Systeem (NJ) in zuidwest Friesland, de lage stuwwallen van Schildwolde (SW), Finsterwolde (SF) en Midwolda (SM) in het diepe poldergebied in Oost-Groningen, de stuwwal van Onstwedde (SO), de stuwwallen in Zuid-Drenthe, het stuwwal Systeem van Steenwijk (ST) en de stuwwallen van Urk (alleen aangegeven in fig 16) en Vollenhove (alleen infiltratiegebied aangegeven).

3.1.4. Het Ommerveld Systeem (OM)

Tussen de Reest en de Vecht bevindt zich, in het oerstroomdal van de Vecht, het Ommerveld Systeem. Het systeem wordt in het noorden begrensd door de Reest en lokaal door enkele landduin systemen langs de Reest en in het oosten en zuiden door de landduin systemen langs de Vecht. Het diepere grondwater van dit systeem kwelt voornamelijk op in de polders ten oosten van Rouveen.

3.2. Systemen gevoed vanuit Holocene afzettingen

3.2.1. Het Kwelderwallen- en Polder- Systemen Complex (KP)

In het noordelijke zeekleigebied bevindt zich een complex van poldersystemen waarbij vanuit de polders met hogere peilen grondwater stroomt naar aangrenzende polders met lagere peilen. Het bleek binnen de beschikbare tijd niet mogelijk nauwkeurig de begrenzingen en de meest recente peilen te bepalen, zodat gekozen werd voor het schematisch afleiden van een aantal peilklassen uit de waterstaatskaarten. Hierbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van winterpeilen. Lokaal kunnen reliëfverschillen, veroorzaakt door kwelderwallen, inversieruggen etc. aanleiding geven tot ondiepe natuurlijke systemen. Deze systemen liggen gesuperponeerd op het Waddenzee Systeem.

In het friese deel van het complex zijn de polderpeilen niet zo diep, ca. 0.70 tot 1.25 m -NAP. Alleen de polder van Oost- en Westdongeradeel, ten westen van het Lauwersmeer is wat dieper, met een winterpeil van 1.70 m -NAP. Omdat in het gebied veel kleine polders voorkomen worden veel kleine poldersystemen aangetroffen. Naast infiltratie uit hogere polders vindt infiltratie plaats vanuit de boezemwateren, zoals het van Harinxmakanaal. Het Waddenzee Systeem dagzoomt in enkele onder NAP gelegen gebieden.

In Groningen komen op de kwelderwallen, die hier wat hoger zijn ontwikkeld dan in Friesland, polders voor met peilen van enige cm. tot ca. 1.00 m -NAP. Vanuit deze polders, en vanuit de vrij afwaterende gebieden ten zuiden ervan stroomt grondwater af naar het gebied met lage polderpeilen (ca. 2.50 m -NAP) rond Bedum, naar de diepe polders (1.50-2.50 m -NAP) langs de rand van het Glaciale Plateau en naar de diepe polders (2.00-2.60 m -NAP) ten noorden van het Eemskanaal. Terreinwelvingen veroorzaken lokaal kleine natuurlijke stromingsstelsels, waarvan de grootte sterk afhankelijk is van seizoensfluktuaties in het neerslagoverschot. In het diepe poldergebied rond Bedum bevindt zich een kwelvenster van het Waddenzee Systeem.

3.2.2. Het Noordelijke en Zuidelijke Groningse Poldersysteem (NP, ZP)

In het gebied tussen Groningen, Hoogezand en Delfzijl, en in het gebied ten noorden van Winschoten liggen de diepste polders van de provincie, met peilen tussen 3.00 en 4.00 m -NAP. Tussen en ten zuiden van deze diepe polders, in het voormalige zeeboezemgebied van de Dollard, ligt een strook met hogere polders. Globaal zijn twee grote poldersystemen onderscheiden: het Noordelijke en het Zuidelijke Poldersysteem. In het Noordelijke Poldersysteem vindt vooral stroming plaats vanuit de randen naar het centrum van het systeem toe. In het Zuidelijke Poldersysteem vindt infiltratie plaats in de bovengenoemde strook met hogere polderpeilen. De grondwaterstroming is vanuit deze strook deels naar het centrum van het diepe poldergebied ten noorden van Winschoten, deels noordelijk naar de diepe polders ten zuiden van Delfzijl gericht.

In het centrum van het Zuidelijke Poldersysteem, gesuperponeerd op het kwelgebied hiervan, bevinden zich de stuwwalsystemen van Midwolda en Finsterwolde. Tevens bevindt zich in dit gebied een kwelvenster van het Waddenzee Systeem. In het noordelijke poldersysteem ligt het stuwwalsysteem van Schildwolde.

3.2.3. Het Waddenzee Systeem (WZ)

Het Waddenzee Systeem dagzoomt slechts op enkele plaatsen in het noordelijke zeekleigebied, daar het grotendeels is afgedekt met de polder systemen van het Kwelderwal-/Poldersystemen complex. Het komt in Friesland o.a. voor in enkele lange smalle stroken ten noorden van Harlingen, enkele kleine gebieden bij Dokkum en in de polder van Oost- en Westdongeradeel. In Groningen komen twee grote kwelvensters van dit systeem voor: in de diepe poldergebieden rond Bedum en ten zuiden van Delfzijl. Een klein kwelvenster komt voor in het zuidelijke groningse polder gebied. Buiten deze gebieden wordt water van dit systeem uitsluitend in sloten en greppels aangetroffen.

3.2.4. Het Friese Boezem Complex (FB)

In het zuidwestelijk deel van Friesland is een complex van stromingssystemen onderscheiden, waarbij de meren, met hun boezempeilen van 0.50 m -NAP, de infiltratiegebieden vormen voor

de grondwaterstroming naar de omringende diepere polders toe (zie voor een gedetailleerde systeemanalyse Broers 1987, 1988). Vooral rondom de Fluessen, het Oudegaasterbrekken en ten noorden van het Sneekermeer komen diepere polders voor, met peilen tussen 1.50 en 2.00 m -NAP. De peilen van de overige polders binnen het complex liggen tussen ca. 0.80 en 1.30 m -NAP. In dit gebied komen eveneens ondiepe poldersystemen voor die worden veroorzaakt door de peilverschillen tussen de polders. Ver-

der treedt infiltratie op vanuit de kanalen, waarin een hoog boezempeil wordt gehandhaafd. Ook voor het noordelijk deel van dit complex geldt dat de exacte ligging van de grenzen tussen de systemen binnen de beschikbare tijd niet konden worden bepaald.

3.2.5. Het Systeem van de Weerribben (WR)

Langs de rand met de Noordoostpolder komen een aantal zeer natte gebieden voor, waarin de peilen kunstmatig hoog worden gehouden. Dit zijn o.a. de Rottige Meente, de Weerribben en de Wieden. Deze gebieden en de omliggende relatief hoge polders, vormen infiltratiegebieden van waaruit grondwater stroomt naar de Noordoostpolder.

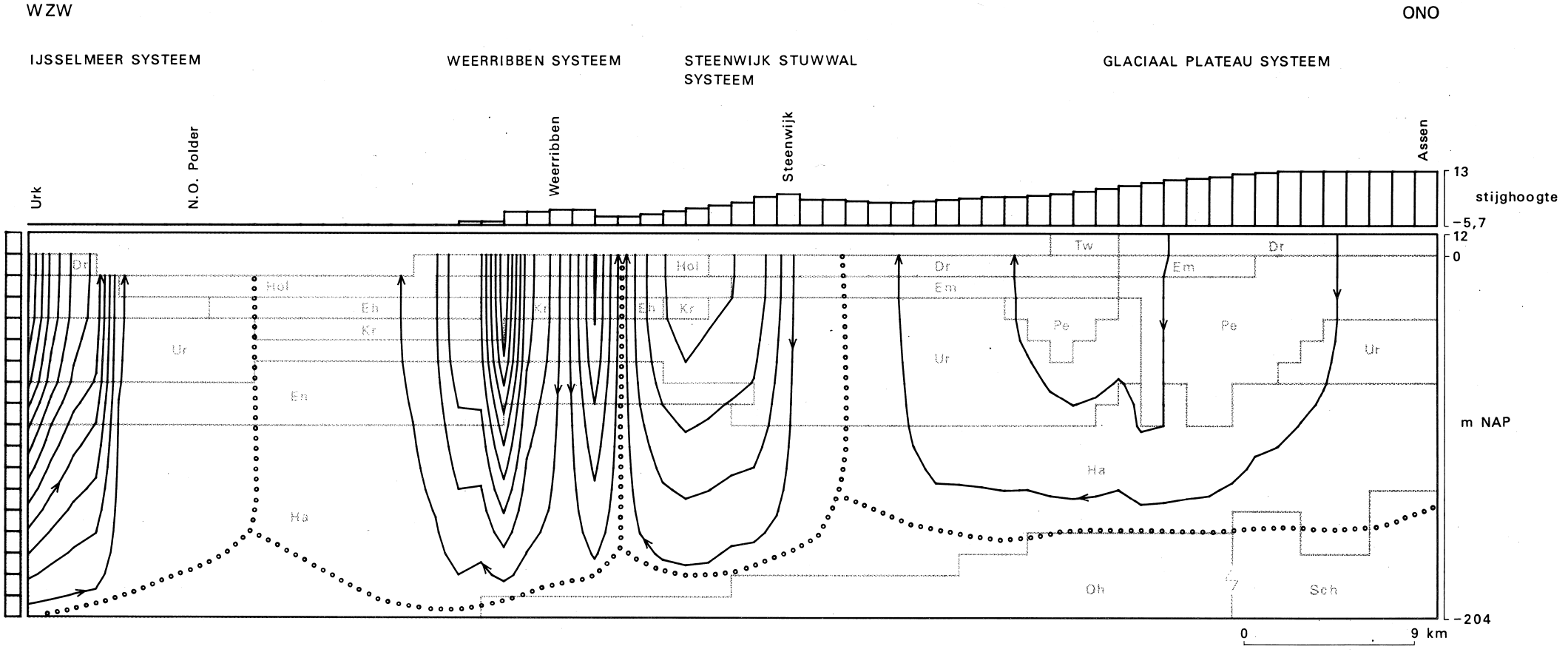
3.2.6. Het IJsselmeer Systeem (YM)

In de Noordoostpolder treedt kwel op vanuit het IJsselmeer, waar een peil wordt gehandhaaft van 0.40 m-NAP. Verder dagzoomt dit systeem in Friesland uitsluitend daar waar behalve een lager polderpeil, ook een maaiveldhoogte beneden ca. 0.50 m -NAP voorkomt. Dit is o.a. het geval in een klein gebied ten oosten van Lemmer en langs de IJsselmeerkust van westelijk Friesland.

3.2.7. Het Randmeren Systeem (RM)

Vanuit de randmeren, eveneens met een winterpeil van 0.40 m -NAP, treedt stroming op naar de Noordoostpolder en het lager gelegen vaste land.

Profiel: Assen – Steenwijk – Urk



3.3. Profielen

3.3.1. Profiel Assen-Steenwijk-Urk (Figuur 16)

Dit profiel loopt van Assen in zuidwestelijke richting langs Appelscha en Steenwijk door de Noordoostpolder naar Urk. Het profiel is ca. 75 km lang, en 216 m diep. In het profiel zijn vier systemen te onderscheiden:

Het Glaciale Plateau Systeem: Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door het Glaciale Plateau. Het diepe water van dit systeem kwelt in dit profiel op net ten noordoosten van het Stuwwalsysteem van Steenwijk. In werkelijkheid zal dit water iets afbuigen naar de beekdalen en zal slechts een geringe hoeveelheid regionaal water in het gebied ten noordoosten van de stuwwal opkwellen. De infiltratie is ca. 0.1-0.2 mm/dag, hetgeen betekent dat ongeveer 80% van het neerslagoverschot oppervlakkig of zeer ondiep wordt afgevoerd. De verblijftijd van het regionale water is enkele duizenden jaren.

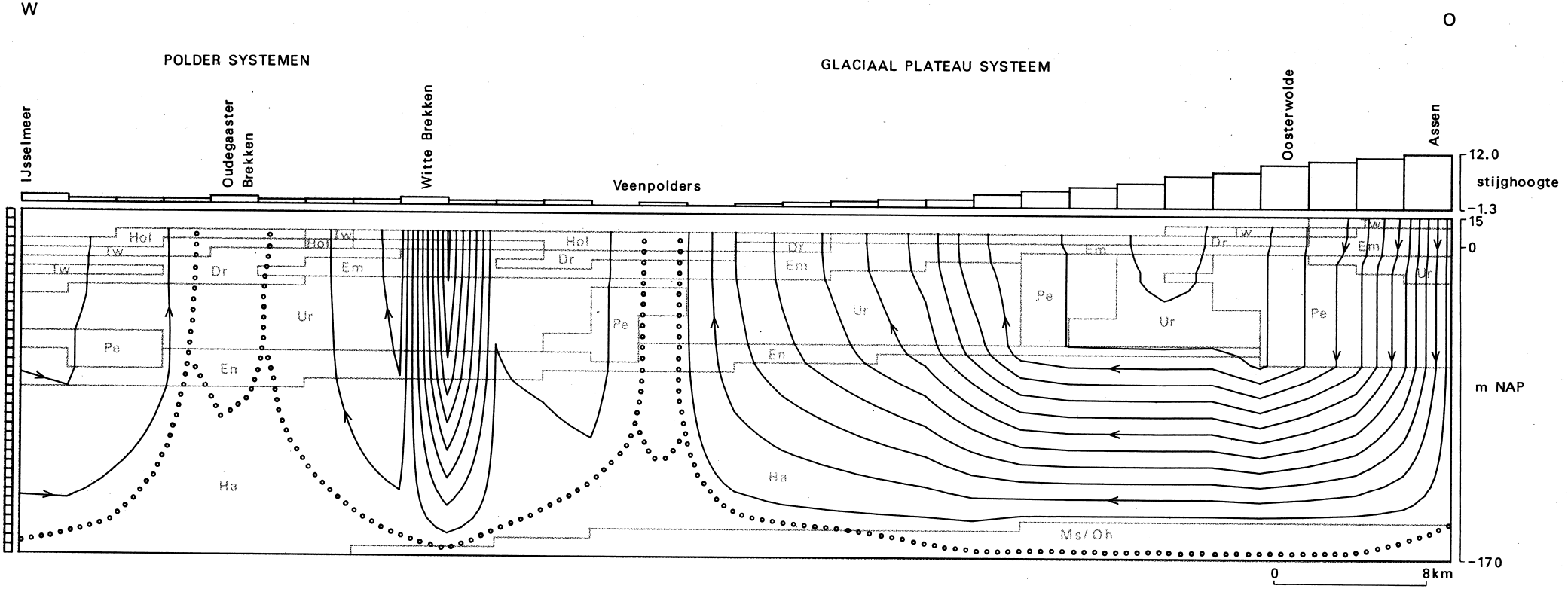
Het Systeem van de stuwwal van Steenwijk: Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door de stuwwal van Steenwijk. Een deel van het boven op de stuwwal geïnfiltreerde water kwelt iets ten noordoosten van de stuwwal op, vnl. in de aangrenzende beekdalen. Hierin komt ook water, geïnfiltreerd op de flanken van de stuwwal, omhoog. Een ander, eveneens groot deel van het geïnfiltreerde water kwelt op in de diepe polder (peil 2.80 m-NAP) ten zuiden van de stuwwal. De maximale verblijftijd van het grondwater is ongeveer 800 jaar.

Het Randzone Systeem: Vanuit het Weerribbengebied met een peil van ca. 0.50 m -NAP en de hogere polders langs de rand van de Noordoostpolder (1.20 m -NAP) stroomt grondwater naar de Noordoostpolder, waar het polderpeil 5.70 m -NAP bedraagt. De verblijftijd van het water bedraagt max. 500 jaar. Omdat de inrichting van de polders veel recenter is betekent dit, dat het in de hoge polders geïnfiltreerde water nog niet in de diepe polders opkwelt. Uit chemische informatie blijkt dat het front van het geïnfiltreerde water zich op enige tientallen meters diepte bevindt.

Het IJsselmeer Systeem: Vanuit het IJsselmeer treedt kwel op in de Noordoostpolder.

Figuur 16: Schematische weergave van de stijghoogte, de geologische opbouw en de stroomlijnen in de sectie Assen-Urk. Van links naar rechts zijn achtereenvolgens de systemen van het Glaciaal Plateau, Steenwijk, Weerribben, Urk (niet op bijlage 1) en het IJsselmeer onderscheiden. Stroomlijnen van kleine systemen zijn niet afgebeeld <

Profiel: Assen – Sneek – IJsselmeer



3.3.2. Profiel Assen-Sneek-IJsselmeer (Figuur 17)

Dit profiel loopt vanaf enkele km ten westen van Assen in westelijke richting langs Sneek naar het IJsselmeer. Het is ca. 75 km lang en 185 m diep. De volgende systemen zijn zichtbaar in het profiel:

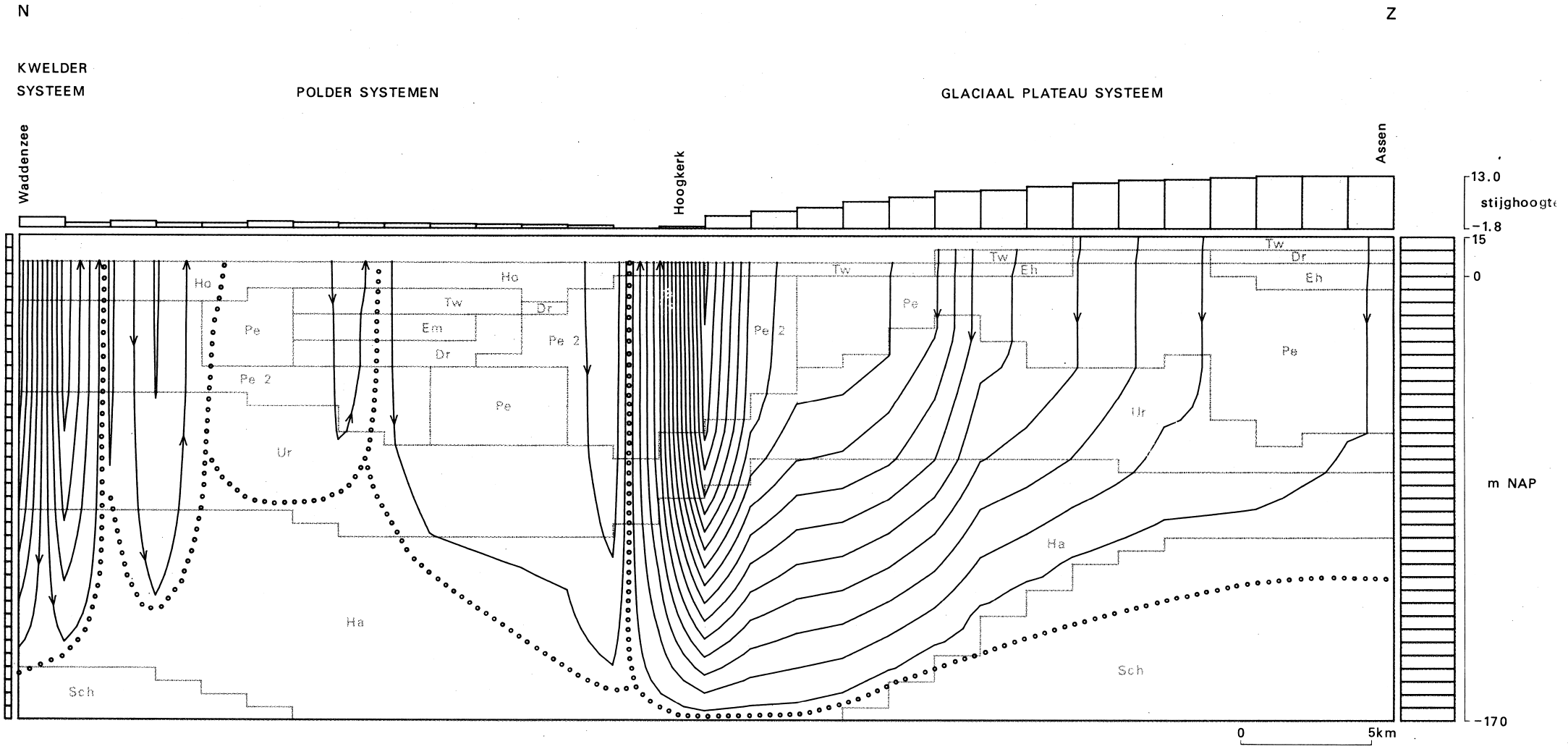
Het Glaciale Plateau Systeem: Het infiltratiegebied van dit systeem ligt op het Glaciale Plateau. Het regionale water van dit systeem kwelt gedeeltelijk direkt in het poldergebied op, gedeeltelijk reikt het verder tot in het centrum van het veenpoldergebied. Aan de rand van het Glaciale Plateau bevindt zich een lokaal systeem, waarvan het infiltratiegebied gevormd wordt door de stuifzandrug die langs een groot deel van de westelijke rand van het plateau is afgezet. De infiltratie op het Glaciale Plateau bedraagt 0.2 tot 0.3 mm/dag. De verblijftijd van de kortere regionale tak is ca. 1500 tot 2000 jaar, van de langere tak ca. 2000 tot 3000 jaar.

Poldersystemen van het Friese boezem Complex: Ten westen van het Glaciale Plateau Systeem bevindt zich een Poldersysteem, waarbij van polders met een hoger peil (1.10 tot 1.20 m -NAP) grondwater stroomt naar de diepe veenpolders (2.30 m -NAP). Ook in het veenpoldergebied komt een klein poldersysteem voor. Verder zijn twee stromingssystemen zichtbaar waarbij grondwater vanuit de meren met hun hoge boezempeil naar de omliggende polders stroomt. De omliggende polders hebben een winterpeil van ca. 1.30 m -NAP. De verblijftijd van deze systemen is sterk afhankelijk van de verdeling van de doorlatendheden in de ondergrond, en varieert tussen enkele tientallen en enkele honderden jaren.

Het IJsselmeer Systeem: Vanuit het IJsselmeer kwelt water op in de polders langs de IJsselmeerkust.

Figuur 17: Schematische weergave van de stijghoogte, de geologische opbouw en de stroomlijnen in de sectie Assen-Sneek-IJsselmeer. Van links naar rechts zijn achtereenvolgens de systemen van het Glaciaal Plateau, het Frieze boezem Complex en het IJsselmeer onderscheiden. Stroomlijnen van kleine systemen zijn niet afgebeeld <

Profiel: Assen – Hoogkerk – Winsum – Waddenzee



3.3.3. Profiel Assen-Hoogkerk-Winsum-Waddenzee (Figuur 18)

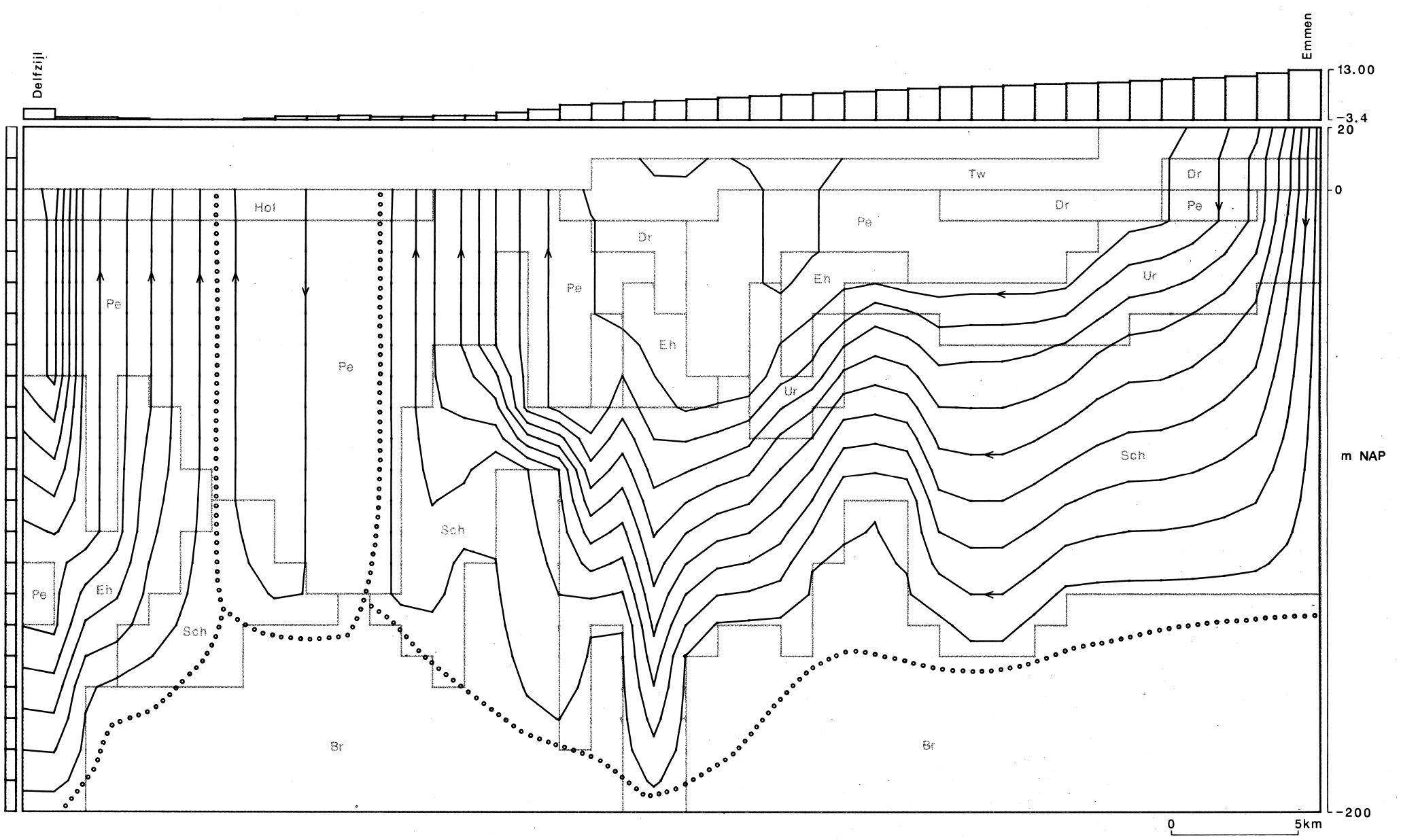
Dit profiel loopt, vanaf enige km ten zuidoosten van Assen, in noordelijke richting over Hoogkerk en Winsum naar de Waddenzee. Het is 52,5 km lang en 185 m diep. De volgende systemen kunnen worden onderscheiden:

Het Glaciale Plateau Systeem: Het infiltratiegebied van dit systeem bevindt zich op het Glaciale Plateau. Het diepere grondwater kwelt op langs de rand van het plateau in de diepe polder bij Hoogkerk. De maximale verblijftijd bedraagt ongeveer 1500 jaar.

Het Kwelderwal/Poldersysteem: In het profiel zijn enkele polder systemen weergegeven. Het infiltratiegebied van één van de grotere ligt op de inversierug van het Reitdiep. Hieruit treedt stroming op naar de diepe polders nabij Hoogkerk.

Het Waddenzee Systeem: In het profiel zijn stroomlijnen getekend die kwel vanuit de Waddenzee weergeven. Het maaiveld in dit gebied is echter steeds boven NAP gelegen, zodat dit systeem alleen lokaal in diepe poldersloten kan uittreden.

Figuur 18: Schematische weergave van de stijghoogte, de geologische opbouw en de stroomlijnen in de sectie Assen-Hoogkerk-Waddenzee. Van links naar rechts zijn achtereenvolgens de systemen van het Glaciaal Plateau, de kwelderwallen en Waddenzee weergegeven. Stroomlijnen van kleine systemen zijn niet afgebeeld, er is niet voor dichtheidsverschillen gecorrigeerd <


WADDENZEE SYSTEEM
ZUIDELIJK POLDER SYSTEEM
OOST GRONINGS DEKZAND SYSTEEM
Delfzijl
Emmen
13.00
-3.4
20
0
m NAP
-200
Hol
Pe
Eh
Sch
Br
Dr
Tw
Ur
0
5km

3.3.4. Profiel Emmen-Stadskanaal-Delfzijl (Figuur 19)

Dit profiel loopt van enige km ten noorden van Emmen in noordelijke richting langs Stadskanaal naar Delfzijl. Het profiel is 50 km lang en 200 m diep. De volgende systemen kunnen onderscheiden worden:

Het Oost-Gronings dekzand Systeem: Het infiltratiegebied van dit systeem ligt in het voormalige hoogveengebied, waar door afgraving van het veen de Pleistocene dekzanden tevoorschijn kwamen. Regionale kwel treedt op in de polders tussen Veendam en Winschoten. De verblijftijd van het diepe grondwater is ca. 2000 tot maximaal 6000 jaar. Een enkel lokaal systeem is in het profiel weergegeven.

Het Zuidelijk Poldersysteem: Het profiel snijdt het Zuidelijke Poldersysteem aan. Vanuit de strook met hogere polderpeilen stroomt water in noordelijke richting af.

Het Waddenzee Systeem: In het profiel zijn stroomlijnen vanuit de Waddenzee naar het diepe poldergebied ten zuiden van Delfzijl weergegeven

Figuur 19: Schematische weergave van de stijghoogte, de geologische opbouw en de stroomlijnen in de sectie Emmen-Delfzijl. Van links naar rechts zijn achtereenvolgens de systemen van Oost-Groningen, de zuidelike polders en de Waddenzee onderscheiden. Stroomlijnen van kleine systemen zijn niet afgebeeld, er is niet gecorrigeerd voor dichtheidsverschillen <

Literatuur

Bots, W.P.C.M., P.C. Jansen, G.J Noordewier, 1978, Fysisch Chemische samenstelling Oppervlakte en Grondwater in het Noorden des Lands, ICW Regionale Studies 13.

Broers, H.P., 1987, Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland, Prov. Friesland, Limnologisch instituut, VU.

Broers, H.P., 1988, Modelstudie grondwaterstrominsstelsels in Zuid Friesland, Rapport 88-08, DGV-TNO, Delft.

Csengö, T., 1981, Matig tot slecht doorlatende afzettingen boven het grove watervoerende pakket "deklagen" in Drenthe.

Csengö, T., 1982, Het Grondwater in Drenthe, Waterleidingmaatschappij Drenthe.

Geoëlektrisch onderzoek Stavoren Steenwijk, 1980, DGV-TNO, GF-124

Gieske, J.M.J. (1988), Hydrologische systemen in Zuidwest Drenthe, Provinciale Waterstaat Drenthe.

Gonggrijp, G.P. (red), 1984, Gea - Objecten van Drenthe, Rijks Instituut voor Natuurbeheer, RIN rapport 84/8.

Griede, J.W., 1978, Het ontstaan van Frieslands Noordhoek, Proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.

Grondwaterkaart van Nederland (TNO-DGV)
1975, Groningen
1978, Noord-Oost Groningen
1978, Overijsselse Vecht
1979, Alkmaar
1979, Zandvoort Amsterdam
1980, Lelystad/Zwolle
1980, Medemblik
1984, Sneek/Heerenveen
1984, Stavoren/Steenwijk
1987, Leeuwarden/Groningen (Concept)

Grondwaterplan Provincie Friesland, 1986, TNO-DGV.

Grondwaterplan Provincie Groningen, 1987.

Oude Munnink, J.M.E. & G.B. Engelen (1986). Hydrological systems of the dissected Pleistocene Plateau in south-west Drenthe (the Netherlands), in: Engelen, G.B, and G.P. Jones (Ed.) Developments in the analysis of groundwater flow systems, IAHS Publ. 163, p.224-239

R.G.D., 1987, Geologisch en Hydrogeologische Inventarisatie IJsselmeergebied.

Roeleveld, W., 1974, The Holocene Evolution of the Groningen Marine-Clay District, Berichten Rijksdienst Oudheidkundig Bodemonderzoek, suppl, jaargang 24, pag 1-132.

Snijders, F.L., 1985, Fysische Geografie in de Provincie Groningen, (Milieu en Landschapsonderzoek, P.P.D. Groningen).

Technische Werkgroep Grondwaterplan, 1984, Rapportage grondwaterplan, Provinciale Waterstaat van Drenthe, Assen.

Werkgroep geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe, 1978, Regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe.

Werkgroep Watervoorziening Drenthe, 1979, Water naar Drenthe.

Zagwijn, W.H., en C.J. van Staalduinen, 1975, Geologische overzichtskaarten van Nederland (1: 600 000) R.G.D.

Gebruikte kaarten, voor zover niet in de literatuur vermeld:

Atlas van Nederland, Geomorfologische kaart 1: 600 000 (1974)

Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, 1985, Stiboka.

Geomorfologische kaart van Nederland 1: 50 000, Stiboka/R.G.D. (alle bladen voor zover gereed)

Topografische kaart Nederland, 1: 250 000, Topografische Dienst Nederland, Delft.

Grote Topografische Atlas van Nederland 1: 50 000, 1987, Wolters Noordhoff, Groningen, Topografische Dienst Nederland, Emmen.

Waterstaatskaart 1: 50 000, Rijkswaterstaat/Topografische Dienst Nederland (alle bladen voor zover gereed)

4. De Waddeneilanden

4.1. De Friese Waddeneilanden

Op de Friese Waddeneilanden komen vnl. natuurlijke, Holocene systemen voor. Op alle eilanden komen duinsystemen voor, waarbij vanuit de duinen water stroomt naar de lagere gebieden langs de randen van de eilanden en naar de duinvalleien. Op Vlieland is een dergelijk stelsel het Duinsysteem van Vlieland (VD), op Schiermonnikoog het Duinsysteem van Schiermonnikoog (DS), op Terschelling zijn dit het West-Terschellingse en Oost-Terschellingse Systeem (WT, OT). Op Ameland komt naast twee grote duinsystemen, het Ballemer Duinsysteem en het Buurder Duinsysteem (BA, BU) een ander duinsysteem voor, dat van de Oerderduinen (OE) in de oostpunt van het eiland.

Verder komen op Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog kweldersystemen voor. Onder de wat hogere, opgestoven delen van de kwelders liggen zoetwaterlenzen. De invloed van de Waddenzee is door instroming via kreken groot (WZ).

Op Terschelling is het Systeem van de Boschplaat (BP) onderscheiden. Lokaal kan de diepte van de zoetwaterlenzen onder stuifduintjes ca. 10 m -NAP bedragen. Op Ameland is het Zoute Weide kwelder Systeem weergegeven (ZW). Dit systeem ligt tussen het duinsysteem van Ameland en het Oerderduinen Systeem. Op Schiermonnikoog bevindt zich het Kweldersysteem van Oostschiermonnikoog (OS).

4.2. Texel

Op Texel bevindt zich een Pleistoceen systeem, nl. dat van de stuwwal van Den Burg (SB). Dit systeem heeft een diepte van ca. 60 m -NAP. Het water van dit systeem kwelt op in de omringende polders. Tot voor kort vond in dit systeem tevens kunstmatige infiltratie en terugwinning van ontzilt zeewater uit de inmiddels voor de produktie gesloten ontziltingsfabriek van het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland plaats.

De duinenrand langs de westzijde van het eiland vormt het infiltratiegebied van een natuurlijk, holoceen systeem (WW, ED). Het water van dit systeem kwelt grotendeels op in de polders langs de duinen. Een tak van het Noordzee Systeem (NZ) loopt onder het duinsysteem door en loopt via de Slufter naar de polder Waal en Burg en het westelijke deel van de Eijerland polder.

Het Waddenzee Systeem (WZ) dringt het oostelijke deel van de Eijerland polder en de polder het Noorden binnen. Verder komt dit systeem voor in het gebied tussen Oosterend en Oudeschild, en in de Prins Hendrik polder.

Gesuperponeerd op het Waddenzee Systeem liggen lokale, kleine poldersystemen. Een groter systeem hiervan wordt genoemd, dit is het Poldersysteem van Oosterend (OO). Tussen Oosterend en De Waal komen op een gestuwde rug polders voor met een relatief hoog peil. Het water dat hier infiltreert stroomt voornamelijk in noordelijke richting af. De zoetwaterzak van dit systeem is lokaal ca. 10 m diep.

Literatuur

Beukeboom, Th. J., 1976, Hydrology of the Frisian Islands, Ph. D. Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.

Grondwaterkaart van Nederland, 1987, Waddeneilanden, rapport nr. GWK 42, TNO-DGV.

5. Beschrijving van de Grondwaterstromingsstelsels in Midden Nederland (Overijssel, Gelderland, Utrecht en Flevoland)

5.1. Algemeen

In onderstaande paragraaf worden de grondwaterstelsels besproken die in Midden-Nederland voorkomen. De bespreking gaat in volgorde van ouderdom van de afzetting waaruit een grondwater stelsel wordt gevoed. Na de bespreking van de systemen vindt een behandeling van enkele profielen door Midden-Nederland plaats, waarbij de interactie tussen en enkele nog niet genoemde eigenschappen van systemen worden toegelicht.

5.2. Grondwaterstelsels gevoed vanuit het Carboon

De grondwaterstelsels die vanuit het Carboon langs breuken in het Tertiaire gesteente worden gevoed, komen in Midden-Nederland nergens aan het oppervlak voor. Ze bevinden zich in de ondergrond en worden aangetroffen in de Betuwe en de oost- en westzijde van de Utrechtse Heuvelrug. De stelsels bestaan uit water met een hoog gehalte aan opgeloste stoffen en een temperatuur die enkele graden hoger ligt dan die van de omgeving. Doordat de chemische samenstelling van het water in belangrijke mate afwijkt van dat van zijn omgeving, is het goed mogelijk het verloop van de grens tussen zoet en hoog gemineraliseerd water te traceren. Het verloop van dit grensvlak geeft een duidelijke indicatie van het krachtenspel dat door bovenliggende (Pleistocene) grondwatersystemen wordt uigeoefend. Op plaatsen waar de bovenliggende systemen sterk zijn (infiltratie gebieden) worden de Carboon systemen meer naar beneden gedrukt, op plaatsen waar de Pleistocene systemen zwak zijn (systeem grenzen) kunnen de Carboon systemen omhoog komen tot enige tientallen meters onder het maaiveld.

De stelsels zijn niet op de kaart (bijlage 1) weergegeven omdat ze niet aan het oppervlak voorkomen. Hun invloed blijkt wel uit het verloop van het zoet-zout grensvlak in de ondergrond (figuur 26 en 28).

5.3. Grondwaterstelsels in Tertiaire afzettingen

Tertiaire formaties komen in Midden-Nederland uitsluitend in het oosten aan het oppervlak voor. Daar deze afzettingen in het algemeen slecht doorlatend zijn en er weinig neerslag in wegzijgt, worden slechts zeer kleine langzaam stromende grondwaterstelsels gevormd. De oppervlaktewater komponent in gebieden waar Tertiaire afzettingen dicht onder of aan het oppervlak liggen, speelt een belangrijke rol. Invoer van water uit Duitsland vindt vrijwel geheel via het oppervlaktewaterstelsel

plaats, regionale grondwaterinstroming vanuit Duitsland valt in Midden-Nederland te verwaarlozen.

Het grondwater in de Tertiaire formaties heeft een hoog zoutgehalte en stroomt niet of nauwelijks. Op plaatsen waar bovenliggende systemen druk op dit inerte zoute water uitoefenen (infiltratie gebieden) wordt het naar beneden geduwd. Om het weggedrukte volume te compenseren komt het inerte grondwater omhoog op plaatsen waar bovenliggende systemen een opwaartse stromingsrichting hebben (systeemgrenzen). Culminaties die op dergelijke wijze ontstaan, zijn passief en een reactie op de werking van bovenliggende systemen. Hiermee in tegenstelling zijn de Carboonsystemen, die een eigen aandrijfmechanisme door aardwarmte en gaslift bezitten. Culminaties in het zoet-zout grensvlak zoals bovenstaand beschreven komen voor in de IJssel Vallei, benoorden het Montferland en in Twente. Ze geven een goede indicatie voor de ligging van systeemgrenzen.

5.4. Grondwaterstelsels gevoed vanuit Pleistocene afzettingen

Het meest bepalend voor de grondwaterstroming in Midden-Nederland is het reliëf van het landschap dat grotendeels is ontstaan door werking van het landijs tijdens het Pleistoceen (Saale ijstijd). De hoge stuwwallen die door werking van het landijs ontstonden, vormen de infiltratiegebieden van de grote grondwaterstelsels in dit deel van Nederland. Dergelijke gebieden zijn de Hoge Veluwe, de Utrechtse Heuvelrug, de Sallandse Stuwwal, de Twentse stuwwallen (stuwwal van Enschede en Ootmarsum), de stuwwal van het Montferland en de stuwwal van Nijmegen.

Naast de grote Pleistocene systemen die worden gevoed door de hoge stuwwallen, bestaan er kleinere Pleistocene systemen waarvan de infiltratiegebieden worden gevormd door (bedekte) stuwwallen, glaciale plateau's, smeltwaterterrassen etc. Op veel plaatsen liggen dergelijke reliefvormen aaneengeschakeld en vormen ruggen in het landschap. Dergelijke glaciale complexen komen o.a. in Twente voor (glaciaal complex van Geesteren Delden en het stuwwal complex van Vroomshoop - Hooge Hexel).

5.4.1. Grondwatersystemen in de Regio Twente

De regio Twente is in hydrologisch opzicht één geheel dat afgescheiden is van de rest van Midden-Nederland. De systemen die er voorkomen zijn voor het merendeel ondiep, hebben een lage voeding uit neerslag en lage stroomsnelheden. In dit verslag worden voor de regio de Systemen van de Twentse stuwwallen, de Systemen van Geesteren - Delden en de Systemen van Vroomshoop-Hooge Hexel onderscheiden. De noordelijke begrenzing van het gebied wordt gevormd door het Systeem van de Overijsselse Vecht, de westelijke begrenzing door het Systeem van de Sal-

landse stuwwal, de zuidelijke begrenzing door het Systeem van de stuwwallen van Lochhuizen en de oostelijke begrenzing door de waterscheiding over de Twentse Stuwwallen. De algemene stromingsrichting in het gebied is van de stuwwallen naar de tussenliggende dalen. In de dalen buigt de stroming af naar het noorden.

5.4.2. Systeem van de Twentse Stuwwallen (TW)

Het Systeem van de Twentse Stuwwallen wordt gevoed vanuit de stuwwal van Enschede in het zuiden en de stuwwal van Ootmarsum in het noorden. Over de stuwwallen loopt een waterscheiding, op de kaart aangegeven als een grens tussen stroomtakken binnen één systeem, die het gebied in tweeën verdeelt. Water dat oostelijk van de grondwaterscheiding infiltreert, stroomt richting Duitsland, naar het stroomgebied van de Dinkel. Het merendeel van dit water komt langs de flanken omhoog. Water dat westelijk van de waterscheiding infiltreert stroomt in de richting van het Systeem van Geesteren - Delden en komt omhoog in beekdalen. Het Systeem van de Twentse Stuwwallen is in de regel ondiep doordat dicht onder het oppervlak de slecht doorlatende Tertiaire afzettingen voorkomen. De oostelijke tak van het Systeem van de stuwwal van Enschede vormt hierop een uitzondering. Doordat op deze plaats in de ondergrond de goed doorlatende Bentheimer zandsteen voorkomt kan het zoete water tot op vrij grote diepte doordringen (zie verder figuur 21).

5.4.3. Systeem van de stuwwal van Sibculo (SI)

In het noordoostelijk deel van Overijssel is op het Twentse stuwwalsysteem het Systeem van de stuwwal van Sibculo gesuperponeerd (Van Brussel 1987). Zuidelijk van het infiltratiegebied van dit systeem komt in de omgeving van de systeemgrens een grote hoeveelheid water omhoog, waardoor op deze plaats een veengebied is ontstaan. Noordelijk van dit systeem komt een venster van het Systeem van de Twentse Stuwwallen voor.

5.4.4. Systeem van de glaciale rug van Geesteren - Delden (GD)

Het Systeem van Geesteren - Delden ligt westelijk van en evenwijdig aan het Systeem van de Twentse stuwwallen. Het infiltratiegebied van het systeem valt uiteen in een groot aantal kleinere infiltratiegebieden die voor het merendeel bestaan uit eskers en bedekte stuwwallen. Aan al deze infiltratiegebieden ontspringen kleine, ondiepe, traag stromende systemen, die op de kaart tezamen zijn genomen en als één geheel worden beschouwd.

5.4.5. Systeem van de stuwwal rug van Vroomshoop - Hooge Hexel (VH)

Het Systeem van Vroomshoop - Hooge Hexel ligt westelijk van het Systeem van Geesteren - Delden. Dit systeem is iets krachtiger dan het laatstgenoemde en doordat de Tertiaire basis hier lager ligt, breidt het zich wat dieper in de ondergrond uit.

5.4.6. Systeem van de Sallandse Stuwwallen (SA)

Het gebied van de Sallandse stuwwallen wordt gekenmerkt door vrij hoge en droge infiltratiegebieden, waartussen dalen liggen waarin natte condities worden aangetroffen. Deze gebieden waren in het verleden bedekt met veenpakketten, die tegenwoordig voor het grootste deel zijn afgegraven. Hoge ijzergehalten die op sommige plaatsen in het grondwater voorkomen zijn hier gebonden aan de uitgangen van diepe systemen waar gereduceerd ijzerhoudend water opkwelt.

De begrenzing van het Systeem van de Sallandse Stuwwallen wordt gevormd door het Systeem van de Overijsselse Vecht in het noorden en door het Systemencomplex van Twente in het oosten (grens tegen de oostflank van de stuwwalrug Vroomshoop - Hooge Hexel). In het zuiden ligt de grens tussen het Twente kanaal en de Schipbeek, en in het westen wordt de begrenzing door het Oostelijk Veluwe Systeem gevormd. Deze laatste begrenzing ligt enkele kilometers ten oosten van de IJssel (zie ook bespreking figuur 24).

Het infiltratiegebied bestaat uit een aaneenschakeling van stuwwallen; dit zijn de stuwwal van de Lemelerberg, de Hellendoornse berg en de Holterberg. Bij een nadere beschouwing van de systemen in dit gebied zal dan ook rekening met verschillende stroomtakken van het systeem moeten worden gehouden.

De grootste hoeveelheid kwel komt omhoog langs de flanken van de stuwwallen. De venige afzettingen en grondwaterstanden nabij het maaiveld duiden op de vochtige situatie die hiervan het gevolg is. Door grondwaterwinningen op de Sallandse Stuwwal is de netto hoeveelheid water, die aan het systeem ten goede komt, de afgelopen decennia afgenomen. Hierdoor is het systeem kleiner geworden en zijn de hoeveelheden kwel afgenomen.

5.4.7. Het Systeem van de Veluwe (VE)

Het systeem dat wordt gevoed door de stuwwal van de Veluwe is het grootste van Midden-Nederland. De noordelijke grens van het systeem ligt in de Flevopolder, de oostelijke grens ten oosten van de IJssel, de zuidelijke grens in de Betuwe (tegen de Linge) en de westelijke grens ligt tegen de oostflank van de Utrechtse Heuvelrug. De begrenzingen van het systeem zijn o.a. terug te vinden in het verloop van opbollingen van het zoet-

zout grensvlak (zie voorgaande) en in de vorm van het isohypsenpatroon. Voor de bespreking van het Veluwe Systeem is een verdeling gemaakt in een oostelijke, zuidelijke, westelijke en noordwestelijke stroomtak van het systeem. De begrenzing tussen de verschillende takken wordt gevormd door de waterscheidingen die op de kaart zijn aangegeven.

De oostelijke tak van het Veluwe Systeem.

De oostelijke tak van het Veluwe Systeem ligt op het inerte zoute water dat in de Tertiare formaties voorkomt. De grens van de oostelijke tak van het Veluwe Systeem met het Systeem van de Sallandse stuwwal, het Systeem van de Achterhoek en het Systeem van de stuwwal van het Montferland ligt oostelijk van de IJssel, en komt in de diepe ondergrond overeen met de ligging van de opbolling van het zoet-zout vlak (zie voorgaande). Het verloop van de systeemgrens geeft de verhouding weer tussen de sterkte van het Systeem van de Veluwe enerzijds en de Systemen van het Montferland, de Achterhoek en de Sallandse Stuwwal anderzijds.

Het Systeem van het Montferland was relatief sterk en drukte het Systeem van de oostelijke Veluwe tegen de IJssel aan. Het Systeem van de Achterhoek was zwakker waardoor het Systeem van de Veluwe zich verder in noordoostelijke richting kon uitbreiden. Het Systeem van de Sallandse stuwwal was wat sterker en duwde, naar het noorden gaand, de oostelijke tak van het Veluwe Systeem in westelijke richting terug (bijlage 1, fig 16, 17 & 19).

Het grootste deel van het water dat in de oostelijke Veluwe infiltreert komt omhoog op de oostflank. Dit water wordt ten dele afgetapt door sprengen die in het verleden o.m. voor waterwinning en waterkracht zijn aangelegd. In de depressie langs de oostflank zijn een aantal waterlopen gegraven om wateroverlast die hier in het verleden optrad tegen te gaan. Een klein deel van het geïnfiltreerde water stroomt naar de diepe ondergrond, gaat onder de IJssel door en komt aan de oostzijde hiervan omhoog. Daar dit water zich op veel plaatsen vermengt met water uit de dekzanden en het bovenliggende waterlopenstelsel (zie beschrijving figuur 27), is het moeilijk dit water aan het oppervlak te traceren. Het voorkomen van vensters van dit water is voorlopig alleen aan de zuidkant van de IJssel bij de zuidoostelijk Veluwe aangetoond (Engelen 1984).

De zuidelijke tak van het Veluwe Systeem

De zuidelijke tak van het Veluwe Systeem ligt boven een systeem dat vanuit het Carboon wordt gevoed. Het systeem strekt zich uit tot in de Betuwe, waar het in de ondergrond de Systemen van het Montferland en de Stuwwal van Nijmegen afsnijdt. Het meren-

deel van het water dat in de zuidelijke Veluwe infiltreert komt langs de flanken omhoog. Een klein deel gaat onder de Rijn door en kwelt op in een venster tegen de Linge (Verkooijen 1981).

De westelijke tak van het Veluwe Systeem

De westelijke tak van het Veluwe Systeem strekt zich uit tot de oostflank van de Utrechtse Heuvelrug. De systeemgrens heeft zich de afgelopen decennia in oostelijke richting verlegd (zie verder figuur 26) Het meeste water dat in de westelijke Veluwe infiltreert, komt langs de flanken omhoog en voedt de beken in de Gelderse Vallei (b.v. de Barneveldse en Lunterse beek, Vasak, 1979). De rest van het grondwater stroomt verder de diepte in en komt elders in depressies in de Gelderse vallei omhoog.

De noordwestelijke tak van het Veluwe Systeem

De noordwestelijke tak van het Veluwe Systeem strekt zich uit tot in de Flevopolder, waar het wordt begrensd door het IJsselmeer Systeem in het noorden en het Utrechtse Heuvelrug Systeem in het westen. Het systeem valt uiteen in twee delen, de eigenlijke noordwestelijke tak van het Veluwe Systeem en het Systeem van de stuwwal van Garderen. Deze twee systeemtakken voeden mede de Hierdense beek (Appelo 1988).

Het grootste deel van het water dat in de noordwestelijke Veluwe infiltreert komt langs de kust met de randmeren omhoog waar als gevolg van de natte situatie veenvorming is opgetreden. Uit het voorkomen van riet en zegge in deze venen blijkt de invloed van het zoute water uit de voormalige Zuiderzee.

Een klein deel van het geïnfiltreerde water stroomt onder het systeem van de Randmeren door en komt in de grote sloten en vaarten van de Flevopolder omhoog. Tussen Harderwijk en de Oostvaardersplassen ligt een gebied waarin zoet water omhoog komt. In de rest van de Flevopolder kwelt zout water op dat door de invloed van Zuiderzee in de ondergrond is terechtgekomen. Achter dit water zit een front van zoet water dat het zoute water geleidelijk zal wegdrukken.

5.4.8. Het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug (UH)

De begrenzingen van het Utrechtse Heuvelrug Systeem zijn die met het IJsselmeer Systeem in het noorden, met het Veluwe Systeem in het oosten, met de systemen van de grote rivieren in het zuiden en met het Amsterdam-Rijnkanaal/Vecht Systeem in het westen. Vensters van het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug komen voor in de Flevopolder en in het gebied tussen de grote rivieren.

De noordelijke grens van het Utrechtse Heuvelrug Systeem ligt in Zuidelijk Flevoland waar het aan het IJsselmeer Systeem en het Veluwe Systeem grenst. De begrenzing is de afgelopen eeuwen enige malen verlegd, allereerst door droogmakerijen in Noord-Holland, die het water van de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe aantrokken. Hierdoor ontstonden zoetwatertongen onder de Zuiderzee. Na het aanleggen van de Flevopolder worden de zoetwatertongen afgebogen in de richting van de diepste plaatsen in de polder (zie inleiding).

Langs de oostrand van de Utrechtse Heuvelrug ligt de grens tussen het Utrechtse Heuvelrug en het westelijke Veluwe Systeem. De grens komt ongeveer overeen met de opbolling van het zoet-zout grensvlak. Door inkrimping van het Utrechtse Heuvelrug Systeem (zie figuur 26 a en b) heeft de oostelijke grens van het systeem zich de afgelopen jaren in westelijke richting verlegd. Tevens is de kwel langs en op de oostflank afgenomen.

Aan de zuidelijke rand van het Utrechtse Heuvelrug Systeem wordt in de ondergrond het Systeem van de Veluwe weggedrukt. Aan het oppervlak komen twee vensters van het systeem voor.

Aan de westrand wordt het Utrechtse Heuvelrug systeem begrensd door de Holocene Systemen van de Vecht en het Amsterdam-Rijn kanaal. Berekeningen met FLOWNET geven aan dat mogelijk een venster van het Utrechtse Heuvelrug Systeem in de polder Groot Mijdrecht voorkomt (zie profielen). De kwel op de westflank van de Heuvelrug is door onttrekkingen op de Heuvelrug de afgelopen jaren sterk afgenomen.

5.4.9. Het Complex van Achterhoek Systemen (AH)

Evenals het gebied van Twente wordt de hydrologie in de Achterhoek gedomineerd door een aantal in hiërarchie gelijke, ondiepe grondwaterstelsels. Deze grondwaterstelsels worden, doordat de infiltratiecapaciteit van de bodem over het hele gebied vrij laag is, slechts door een relatief klein deel van het neerslagoverschot gevoed. Het grootste deel van het neerslagoverschot wordt oppervlakkig afgevoerd. Het gebied kent derhalve gedurende droge periodes een water tekort, terwijl gedurende natte periodes wateroverlast kan optreden. Om de wateroverlast tegen te gaan is het waterlopenstelsel gekanaliseerd en zijn sloten verbreed en dieper uitgegraven. Eén en ander heeft tot gevolg dat in natte perioden het water beter afgevoerd wordt, maar dat in droge perioden meer water dan voorheen moet worden ingelaten.

Het hydrologisch gedrag van het gebied kan voor een groot deel verklaard worden uit het ondiepe voorkomen van de slecht doorlatende formaties die in het Tertiair zijn afgezet. Dat deze formaties de basis van de daar boven liggende stromingsstelsels vormen kan worden geconcludeerd uit de overeenkomstige ligging tussen de top van deze formaties en het zoet-zout grensvlak.

De hiërarchie is voor te stellen als een inerte basis waarboven ondiepe, door Pleistocene formaties gevoede stromingsstelsels liggen. Deze systemen zijn (gerekend van oost naar west):

- Het glaciale complex van Systemen rond Winterswijk (WI): De infiltratie gebieden bestaan uit verschillende door het ijs beïnvloede landschapsvormen. Het water stroomt van deze infiltratie gebieden naar een tussenliggende geulafzetting. In de geul stroomt het meeste water in zuidwestelijke richting.
- De Lochemer berg.
- De dekzandvlakte van Zelhem. Deze vlakte heeft plaatselijk een lage infiltratie capaciteit, zoals valt op te maken uit het voorkomen van (hoog)veen gebieden. Hier bovenop ligt een duinrug waarop enkele steden en dorpen worden aangetroffen.
- De duinrug langs de noordoever van de Oude IJssel.
- De bedekte stuwwallen in de omgeving van Hengelo (Gld).

De begrenzingen van het Complex van Systemen van de Achterhoek worden gevormd door het Systeem van de stuwwal van Lochhuizen (BL, tussen de Buurser beek en de Berkel) in het noorden, door het Systeem van het Montferland in het zuiden en door het Systeem van de Veluwe in het westen. De oostelijke systeemgrens is niet vastgesteld, daar deze in Duitsland ligt en er in het onderzoek geen studies uit Duitsland zijn betrokken. Wel kan worden gezegd dat het water uit Duitsland grotendeels oppervlakkig wordt aangevoerd, en grondwaterstroming hier vandaan een geringe rol zal spelen.

5.4.10. Het Systeem van de stuwwal van het Montferland (MO)

Het Systeem van de stuwwal van het Montferland grenst in het noordoosten aan de Systemen van de Achterhoek. In het zuiden ligt de grens tegen de Rijn en IJssel en in het noordwesten wordt het systeem door het oostelijke Veluwe Systeem begrensd. Op verschillende plaatsen waar het Montferland aan zijn omliggende systemen grenst, komt het zoute water uit de Tertiaire formaties omhoog tot enige tientallen meters onder het maaiveld (o.a. bij Beek).

Het grootste deel van het water dat in de stuwwal van het Montferland infiltreert, komt langs de flanken omhoog. Tegenwoordig gaat dit water voor een groot deel naar pompputten, waaruit water wordt gewonnen. Een kleiner deel van het water kwelt op in vensters die in de kommen langs de rivieren liggen.

5.4.11. Het Systeem van de Stuwwal van Nijmegen (NM)

De grenzen van het Systeem van de Stuwwal van Nijmegen liggen in het noorden ter hoogte van de Linge, in het oosten langs de flanken, in het zuiden langs de Maas en in het westen tegen het

Systeem van Bergharen - Wijchen. Het Systeem van Nijmegen vormt in de ondergrond van de Betuwe een tong in westelijke richting die op grond van de chemische eigenschappen van het water goed is te vervolgen. De tong snijdt aan de oostkant het Systeem van het Montferland af, aan de westkant wordt het Systeem op zijn beurt door het Systeem van de Veluwe afgesneden. Het Systeem van de stuwwal van Nijmegen heeft een klein venster noordelijk van de Waal, mogelijk komt ook nog een diepe stroomtak van het systeem in de buurt van de Linge omhoog (figuur 28).

5.5. Systemen gevoed door Laat Pleistocene Afzettingen

5.5.1. Systeem van Bergharen - Wijchen (BW)

Het Systeem van de Terrasafzettingen van Bergharen-Wijchen ligt tegen het Systeem van Nijmegen aan. Bovenop deze twee systemen ligt het systeem van de Waal.

5.5.2. Dekzand en Duinrug Systemen (dd, DW, DV)

Bovenop de Pleistocene systemen kan een niveau worden onderscheiden waarvan de infiltratiegebieden bestaan uit laat Pleistocene afzettingen. Deze afzettingen bestaan grotendeels uit dekzanden en duinruggen en komen voor aan weerszijden van de IJssel, in Salland, in de Achterhoek, het Montferland en in de Gelderse Vallei. Van deze systemen zijn de systemen ten oosten van de IJssel (dz+dr), de Systemen van Didam en Wehl (DW) en het Systeem van Deventer (DV) op de kaart aangegeven, omdat zij over een redelijk groot gebied invloed uitoefenen. De dekzandsystemen westelijk van de IJssel en in de Gelderse Vallei zijn te klein en liggen te verspreid om bij de gebruikte schaal op kaart te presenteren.

De dekzand en duinrug systemen liggen boven de oudere Pleistocene systemen en kunnen er één geheel mee vormen of hier geheel van los staan. De systemen zijn in het algemeen kleiner dan de oudere Pleistocene systemen en reiken minder diep. De grootte van de systemen fluctueert sterk. Gedurende natte perioden dijen ze uit, tijdens droge perioden krimpen ze in. Met name de kleinere systemen kunnen tijdens droge perioden volledig wegvallen.

5.6. Systemen gevoed door Holocene infiltratiegebieden

Boven de Pleistocene systemen liggen systemen die grotendeels worden gevoed door rivieren (Rijn, Waal, Vecht, IJssel, Overijsselse Vecht, etc.) en de oeverwallen en rivierduinrijen daar omheen. In het algemeen draineert de bovenloop van deze rivieren het water uit zijn omgeving, en vormt op die manier de begrenzing van grotere of kleinere systemen. De benedenloop van

een rivier kan door verschillende oorzaken boven het omringende landschap komen te liggen en zo zelf het infiltratiegebied van een systeem vormen. Een voorbeeld hiervan is het omgekeerde rivierenlandschap in Utrecht.

5.6.1. Systeem van de Overijsselse Vecht (OV)

Het Systeem van de Overijsselse Vecht vormt de grens tussen het Systeem van het Ommerveld en de systemen van de regio Twente. Door het hoge peil in de Overijsselse Vecht infiltreert het water uit de rivier in de ondergrond en stroomt naar de gebieden achter de rivierduinen. Het water dat van de omringende systemen afkomstig is, wordt door het water van de Vecht weggedrukt en komt eveneens omhoog in de depressies die ter weerszijden van de Vecht liggen. In de depressies stagneert het water, waardoor zeer natte, moerassige condities ontstonden. Tegenwoordig wordt het water via een gegraven waterlopenstelsel afgevoerd.

5.6.2. Systeem van de IJssel (YS)

Het Systeem van de IJssel ligt vrijwel geheel op de oostelijke tak van het Systeem van de Veluwe en wordt gevoed met Rijnwater. De rivierduinen die eveneens tot het systeem worden gerekend, worden gedurende natte perioden door neerslag, gedurende droge perioden door de rivier gevoed.

Vanaf Deventer ligt de IJssel boven zijn omgeving. Hierdoor vindt geen drainage van de omgeving, maar juist infiltratie daar naar toe plaats. Om het water ter weerszijden van de IJssel af te voeren, zijn evenwijdig aan de IJssel waterlopen gegraven. De waterlopen staan in verbinding met een uitgebreid stelsel van gekanaliseerde beken, kanalen, weteringen etc. Dit stelsel wordt gedurende natte perioden door de Pleistocene systemen gevoed. Tijdens droge perioden vallen de kleinere (Laat-) Pleistocene systemen droog en komt er een stroming uit de waterlopen naar de dekzanden op gang. Het waterlopenstelsel wordt op zijn beurt vanuit de IJssel kunstmatig van (Rijn)water voorzien. Het systeem van waterlopen in de IJsselvallei is niet op de kaart weergegeven omdat voor het vervaardigen van de kaart van een natte situatie is uitgegaan.

De invloed van IJsselwater gemengd met het water van dekzanden is in de IJsselvallei tot op enige diepte te vervolgen (tot de keileemlaag, zie figuur 23).

5.6.3. Het Systeem van de Rijn en de Waal (RS, WL)

De Rijn kan, afhankelijk van het peil, infiltreren naar de omgeveing of deze draineren. Bovenstrooms van Culemborg is het

karakter overwegend drainerend, benedenstrooms infiltreert de Rijn en gaat het systeem zich sterk uitbreiden. In de Betuwe komt af en toe een situatie voor waarbij de noordoever draineert en de zuidoever infiltreert (Verkooijen 1981).

Het Systeem van de Waal is grotendeels vergelijkbaar met het Systeem van de Rijn.

5.6.4. Het Systeem van de Vecht en Amsterdam-Rijnkanaal (VA)

De Systemen van de Vecht en het Amsterdam Rijnkanaal zijn op de kaart als één systeem gepresenteerd. De waterlopen liggen boven het omringende landschap, deels omdat dit landschap in de afgelopen eeuwen is gedaald door inklinking van de (veen)bodem. Het systeem voedt voor een deel de Vechtplasssen en de omliggende polders.

5.6.5. Het systeem van de Vinkeveense Plassen (VI)

Vanuit de westkant van de Vinkeveense Plassen vindt sterke wegzijging naar de polder Groot Mijdrecht plaats.

5.6.6. Het Systeem van de Randmeren (RM)

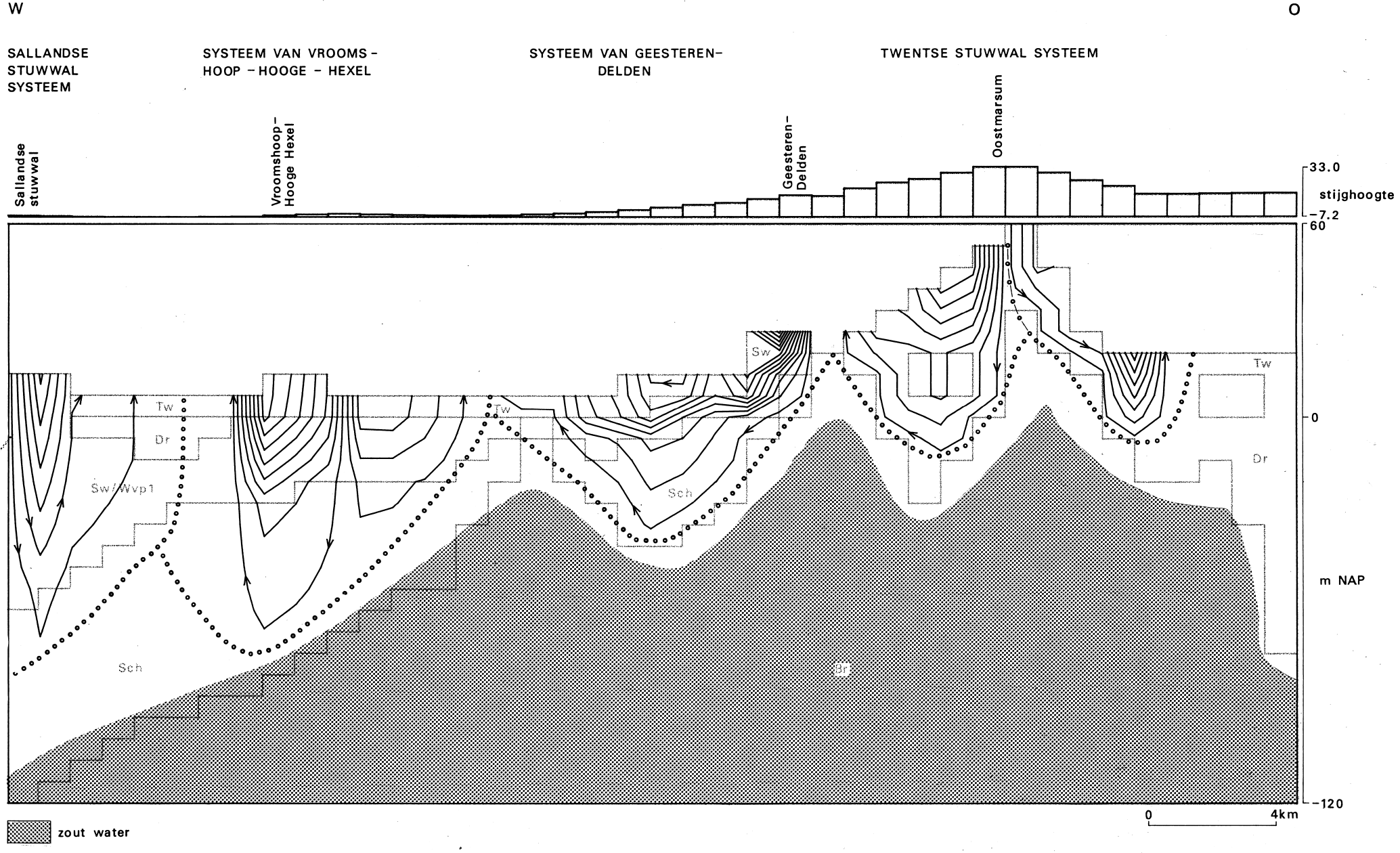
Het Systeem van de Randmeren ligt boven het Systeem van de Veluwe en het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug. Het systeem wordt o.a. gevoed door grond- en oppervlakte water van de Veluwe, en overtollig water uit de Flevopolder. De exacte ligging van de systeemgrens is nog niet bekend, daar er door het korte bestaan van het systeem nog geen evenwichtssituatie voor de water kwaliteitsgrenzen is bereikt.

5.7. Profielen

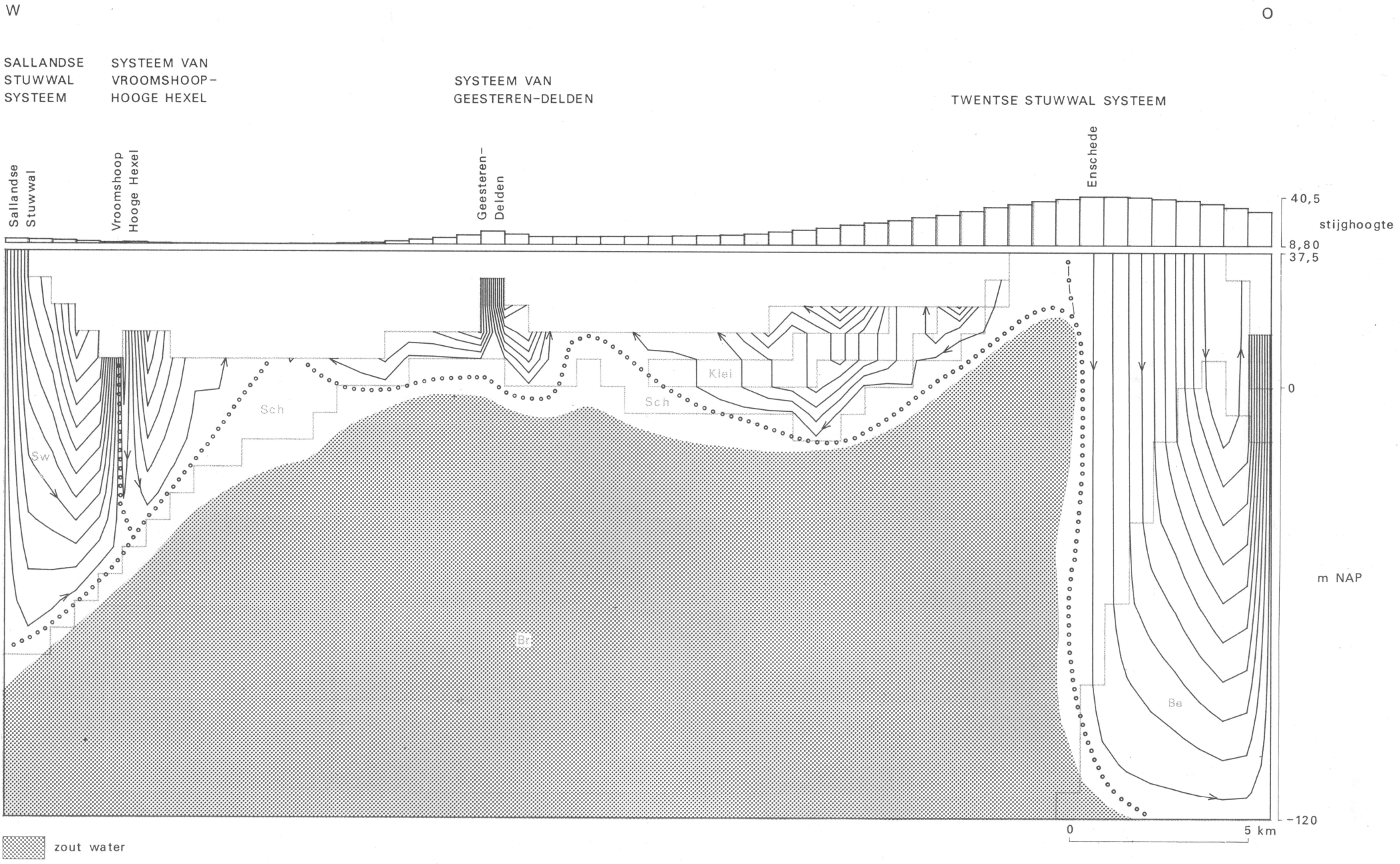
Aan de hand van de beschrijving van de profielen wordt in het onderstaande de interactie tussen systemen die het hydrologisch karakter in een regio bepalen, nader uitgewerkt. Daarnaast komen enkele nog niet genoemde eigenschappen van de systemen aan de orde, zoals verblijftijden, grootte van de voeding e.d. Voor de hydrogeologische opbouw van de profielen wordt naar Appendix B verwezen.

Figuur 20, 21 & 22: Schematische weergave van de stijghoogte, de geologische opbouw en de stroomlijnen in twee OW secties en één NZ sectie door Twente. Weergegeven zijn de systemen van de Twentse Stuwwallen, de Sallandse Stuwwallen, van de glaciale rug van Geesteren-Delden en van Vroomshoop-Hoge Hexel >

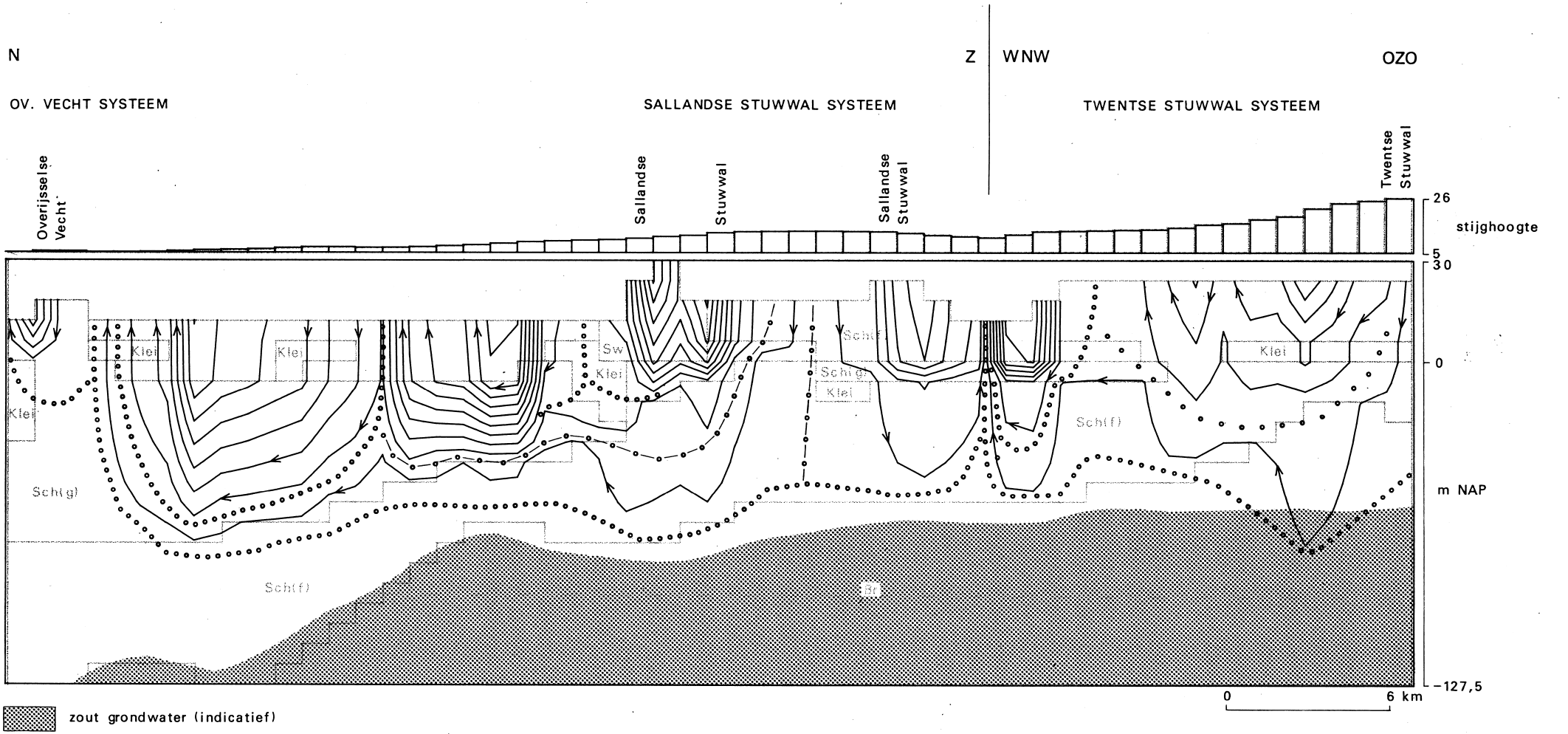
Profiel: Midden Twente – Oostmarsum



Profiel: Zuid Twente



Profiel: Twente – Overijsselse Vecht



5.7.1. Secties door het Westelijk Overijsselse Stuwwal en het Twente Systeem (figuur 20, 21, 22)

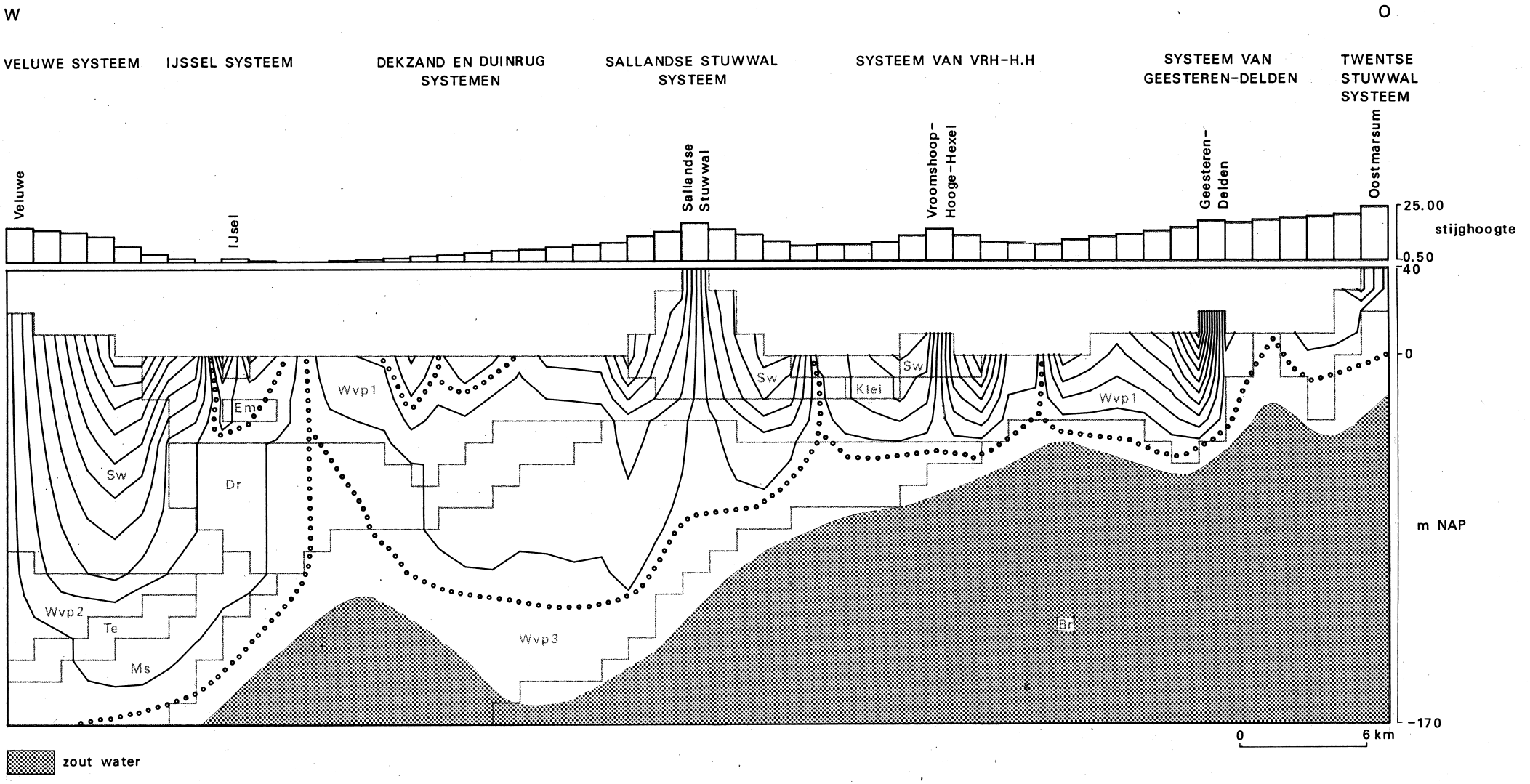
De figuren 20, 21, en 22 laten de hydrologische situatie in het gebied tussen de Twentse en Sallandse stuwwallen zien. Uit de profielen komt duidelijk de ondiepe verbreiding van vrijwel alle systemen naar voren. Tevens wordt superpositie van een systeem boven een ander slechts in enkele gevallen in de profielen aangetroffen.

Figuur 20 en 21 geven een oost-west doorsnede door respectievelijk het midden en het zuidelijk deel van de regio Twente. Opvallend is de grotere diepte die de profielen voor het oostelijk Systeem van Enschede ten opzichte van het oostelijk Systeem van Ootmarsum tonen. Deze diepere verbreiding van het Systeem van Enschede hangt samen met het voorkomen van permeabele zandsteen (Bentheimer zandsteen) in de ondergrond. Ook de chemische samenstelling van het water geeft aan dat water vanuit de stuwwal door de slecht doorlatende formaties van het Tertiair naar de Bentheimer zandsteen percoleert (Haak 1986).

Het grondwater dat in westelijke richting vanaf de stuwwallen stroomt loopt tegen het Systeem van het glaciale complex van Geesteren - Delden op. Het water komt hier deels omhoog of buigt af in de richting van de beekdalen die door de glaciale rug zijn ingesneden. Op sommige plaatsen, waar de glaciale systemen minder sterk zijn ontwikkeld, is stroming onder het glaciale systeem door wellicht mogelijk.

Het water dat van de Systemen van de glaciale rug van Geesteren-Delden, de Stuwwal rug van Vroomshoop en de Sallandse Stuwwal naar de tussenliggende dalen stroomt, buigt af naar het noorden (figuur 22), en stroomt omhoog tegen het Overijsselse Vecht Systeem. Doordat het water bleef staan, ontstond hier in het verleden veengroei. Tegenwoordig wordt het overtollige water via gegraven stelsels afgevoerd.

Profiel: Noord – Salland – Twente



5.7.2. Oost - West Sectie door de oostelijke tak van het Veluwe Systeem en het Sallandse Systeem (figuur 23, 24)

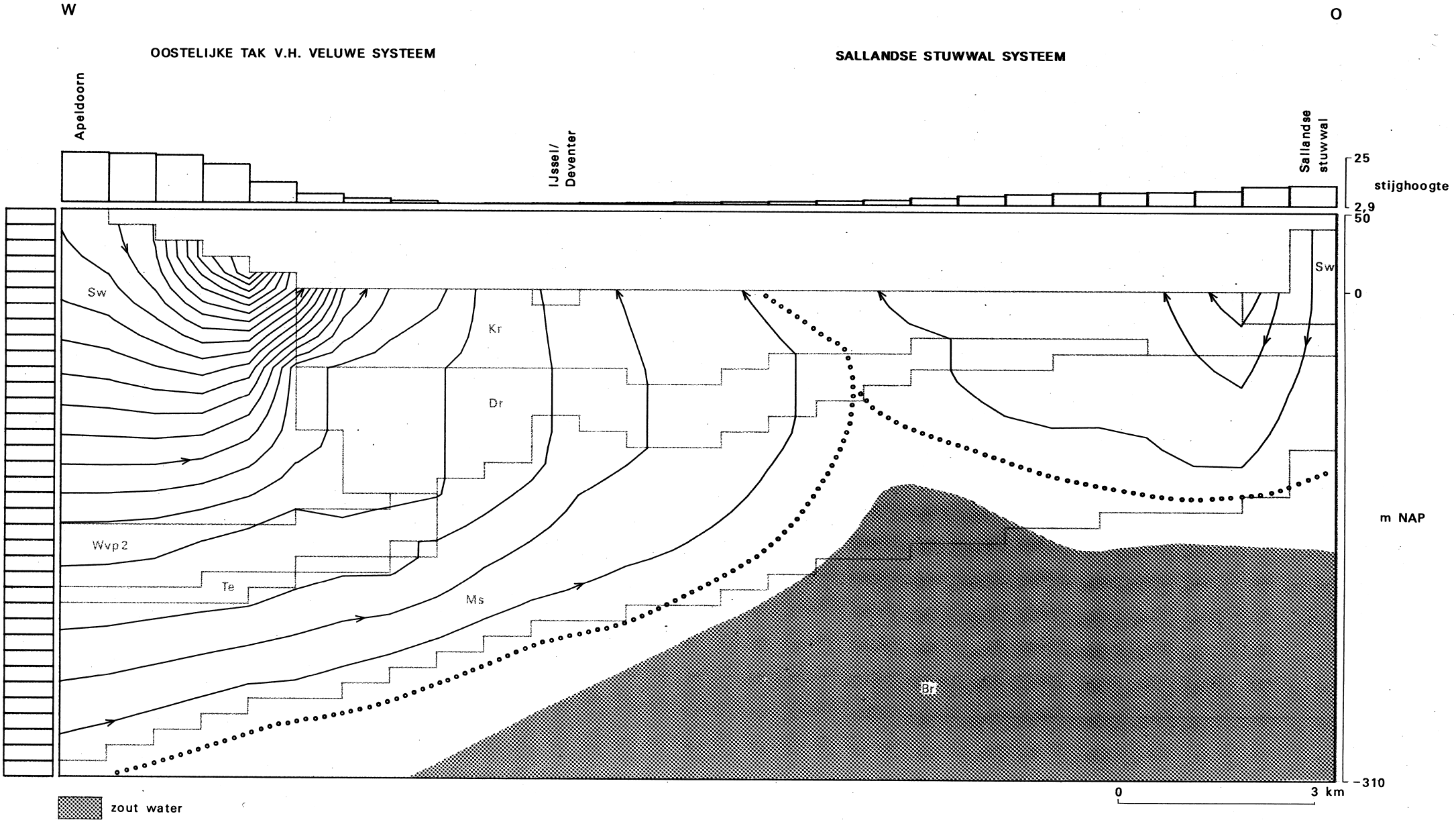
De figuren 23 en 24 geven de hydrologische situatie in het IJsseldal weer. De grootste systemen die in het gebied voorkomen zijn de Systemen van de Veluwe en de Sallandse Stuwwal. Berekeningen met FLOWNET geven aan dat de verblijftijden van het Systeem van de Sallandse stuwwal een factor 4 tot 5 hoger liggen dan die van de oostelijke tak van het Veluwe Systeem (resp. 3000-8000 en 600-2000 jaar). De berekende hoeveelheid voeding die uit de ingevoerde stijhoogtes bleek was lager (resp. 100-150 mm en 300-350 mm per jaar). Mogelijk kan dit verklaard worden uit de grondwaterwinningen die op de Sallandse Stuwwal plaatsvinden.
Het meest zuidelijke profiel van de twee (fig. 24) geeft de veel grotere kracht van het Veluwe Systeem t.o.v. het Sallandse systeem weer in vergelijking tot het noordelijke profiel (fig. 23). Dit is zowel aan de stroomlijnen als aan de opbolling in het zoet-zout grensvlak te zien. De open rand in figuur 24 geeft de stroming van water uit zuidwestelijke richting aan.

Boven de Systemen van de Sallandse stuwwal en de Veluwe liggen kleinere systemen die door dekzanden en duinruggen worden gevoed. In het meest noordelijke profiel is te zien dat de IJssel een systeem voedt dat geheel op het Systeem van de Veluwe drijft. De invloed van dit systeem en van de dekzand en duinrug Systemen reikt tot de keileemlaag (Drenthe Formatie).

Figuur 23: Schematische doorsnede door het noordelijk deel van de IJsselvallei. Getoond worden het Veluwe en het Sallandse Stuwwal Systeem. Daarop liggen het IJssel Systeem en enkele dekzand- en duinrugsystemen, waarvan de grootste zijn afgebeeld <

Figuur 24: Schematische EW doorsnede door het midden van de IJsselvallei. Getoond worden het Veluwe Systeem met daarop het IJssel Systeem en daarnaast het Sallandse Stuwwal Systeem. Stroomlijnen van gesuperponeerde kleine systemen zijn niet berekend >

Profiel: Apeldoorn – Deventer – Sallandse Stuwwal



5.7.3. Noord - Westelijk Veluwe Randmeer, en IJsselmeer Systeem (figuur 25)

De situatie die wordt weergegeven in figuur 25 betreft de huidige ligging van systeemgrenzen. Deze systeemgrenzen komen niet overeen met grenzen tussen verschillende waterkwaliteiten, doordat laatstgenoemde het gevolg zijn van steeds wisselende hydrologische omstandigheden (uitbreiding van de Zuiderzee, verzoeting door infiltratie vanuit het IJsselmeer, inpolderingen). De waterkwaliteitsgrenzen zijn nog steeds aan veranderingen onderhevig.

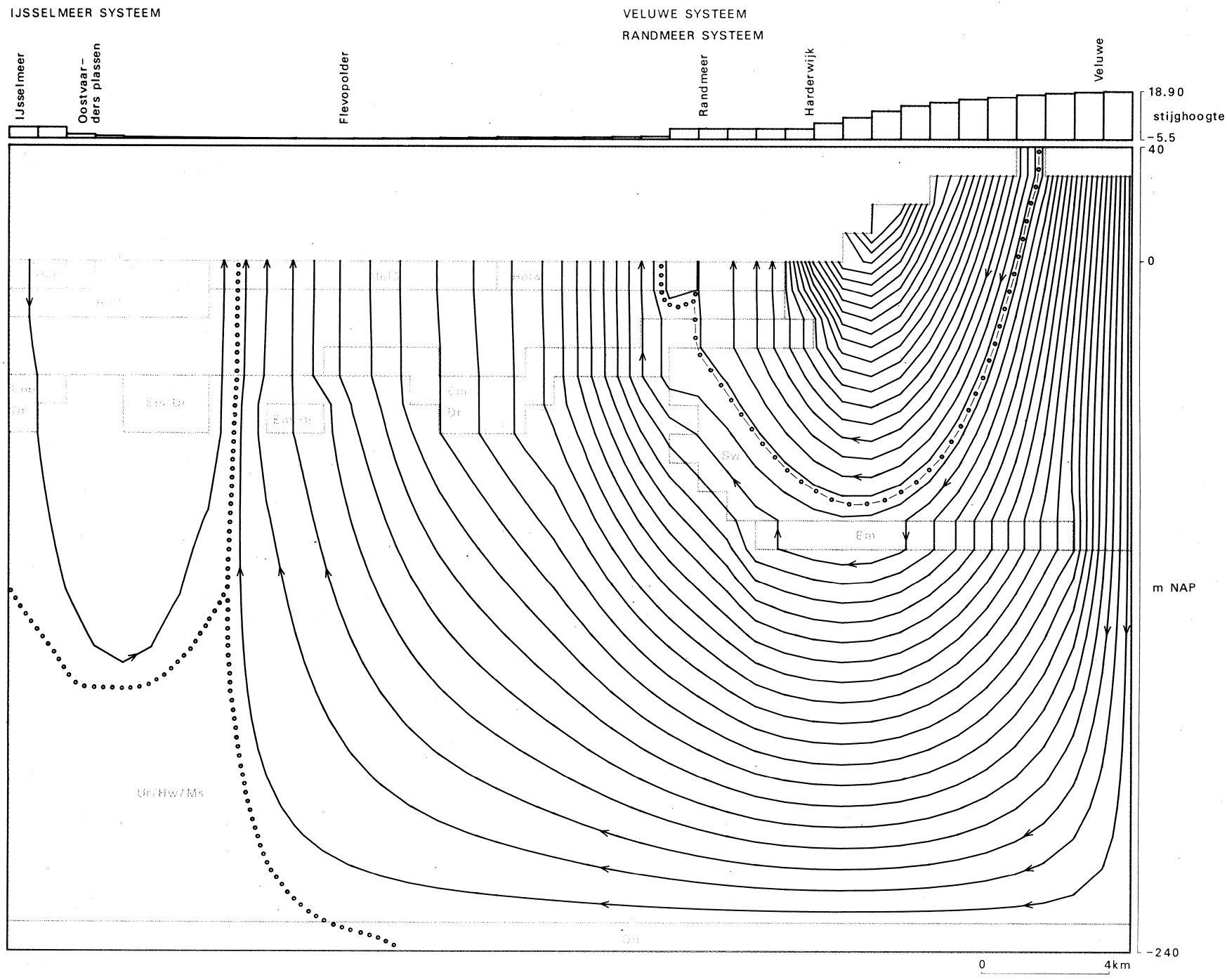
De figuur laat zien dat de grondwaterstroming wordt aangedreven door het Veluwe Systeem in het oosten en het IJsselmeer Systeem in het westen. Op het Systeem van de Veluwe ligt het Randmeer Systeem gesuperponeerd. Dit systeem wordt gevoed door Veluwe water, oppervlaktewater uit beken en water dat uit de Flevopolder wordt uitgeslagen.

Figuur 25: Schematische EW doorsnede door Flevoland. Weergegeven zijn het Veluwe, het IJsselmeer en het Randmeer systeem. Kleine (polder)systemen zijn weggelaten. De weerstandbiedende lagen zijn op de plaats van het profiel relatief dun >

Profiel: NW Veluwe - Randmeer - IJsselmeer

NW

ZO



5.7.4. Achterhoek, Veluwe, Utrechtse Heuvelrug (fig. 26 a & b)

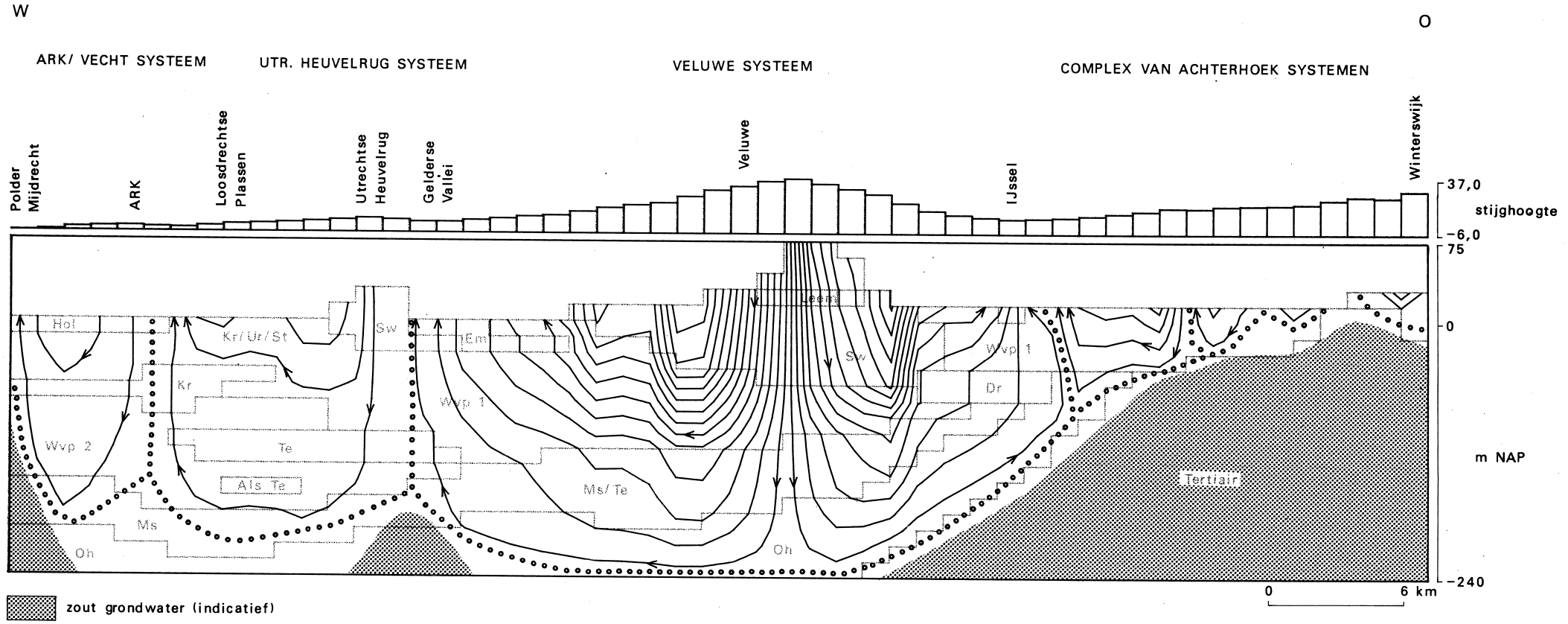
Het profiel geeft globaal de hydrologische situatie in Midden-Nederland weer. Het grootste systeem in het profiel is het Systeem van de Veluwe dat zich van de IJssel tot aan de Utrechtse Heuvelrug uitstrekt. Het systeem heeft invloed tot grote diepte (>300 m), de stroomsnelheden binnen dit systeem zijn relatief hoog. Oostelijk van het Veluwe Systeem liggen verschillende kleine ondiepe systemen. De stroomsnelheden in deze systemen zijn laag en slechts een klein deel van de effectieve neerslag infiltreert in de ondergrond, zodat de voeding van de systemen bescheiden is. De systemen bestaan, van oost naar west gerekend, achtereenvolgens uit het Complex van Systemen van Winterswijk en het Complex van Systemen in de Achterhoek.

Westelijk van het Systeem van de Veluwe ligt het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug. De voeding van dit systeem zoals die door het model FLOWNET wordt berekend is in vergelijking tot de voeding van de Veluwe klein (resp ca. 200 en 300 mm/jaar). Uit andere studies blijkt dat infiltratie door de huidige effectieve neerslag ongeveer 300 mm/jaar moet bedragen (Van Lanen 1983). Een verklaring voor de lage waarde kan liggen in het voorkomen van een groot aantal pompstations op de Utrechtse Heuvelrug (hoofdstuk 12.3) die een groot deel van de voeding aan het systeem onttrekken. Figuur 26b laat de situatie zien, waarbij de stijghoogtes zijn aangepast tot een infiltratie van 300 mm/jaar was bereikt. In de tweede situatie strekt het Utrechtse Heuvelrug Systeem zich verder naar het oosten uit en neemt de kwel op de westflank toe (grotere stroomlijnen dichtheid).

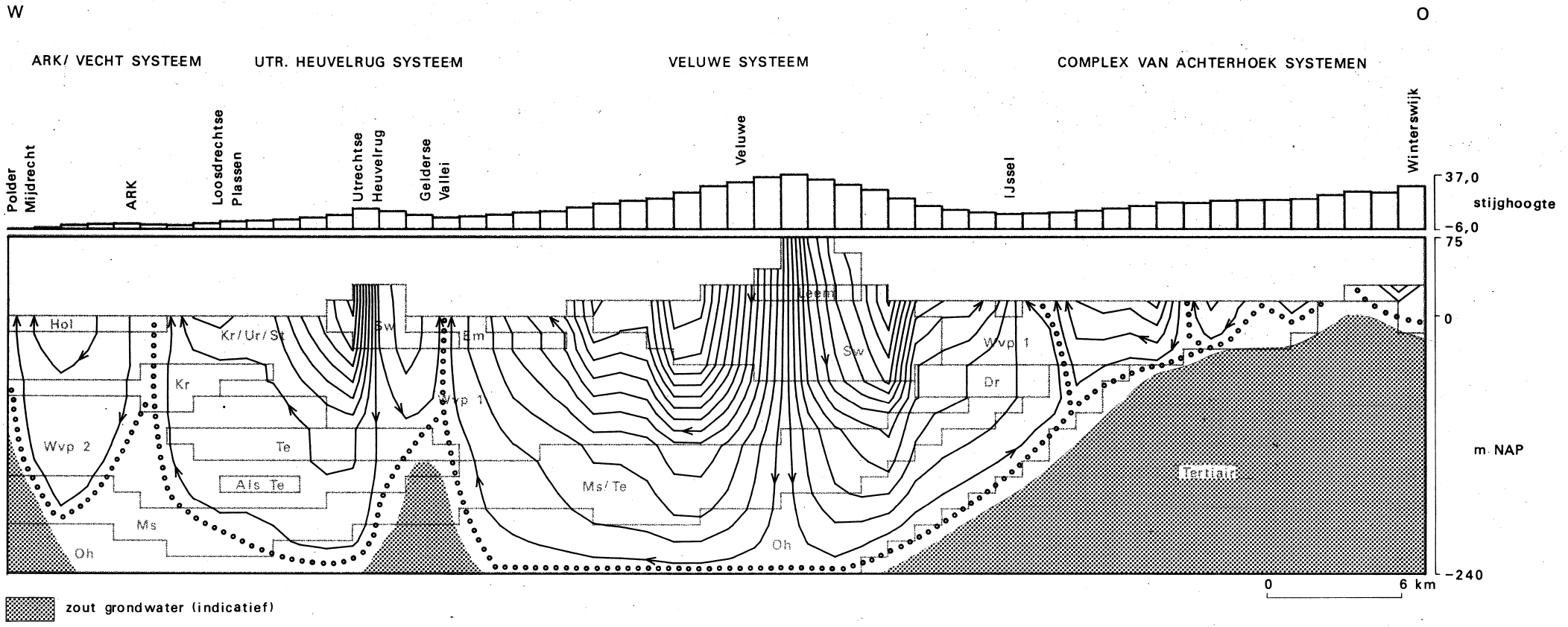
Het meest westelijke systeem in het profiel is het systeem dat wordt gevoed vanuit waterlopen (Vecht en Amsterdam-Rijn kanaal) die boven het omringende landschap liggen. Natuurlijke waterlopen in dit deel van Nederland zijn boven hun omgeving komen te liggen doordat het drassige, venige gebied inklonk als gevolg van (intensieve) drainage en/of veenafgraving. In het profiel is eveneens het effect van diepe polders (Bethune polder en polder Mijdrecht) op de stroming van het water te zien. De Bethune polder zuigt water uit de Loosdrechtse plassen aan, waardoor in dit plassengebied kwel in het oosten voorkomt (vanuit de Utrechtse Heuvelrug), en wegzijging in het westen (plaatselijk tot 15 mm/dag). De polder Mijdrecht trekt, naast het water uit de direkte omgeving, water van de Vecht en het Amsterdam-Rijn kanaal aan. Modelberekeningen laten zien dat mogelijk een klein deel van het water door het Systeem van de Utrechtse Heuvelrug wordt aangedreven.

Figuur 26a & 26b: Schematische weergave van de doorsnede Winterswijk - polder Mijdrecht. In 26 a wordt de situatie afgebeeld uitgaande van een voeding van 200 mm per jaar op de Utrechtse Heuvelrug (lagere grondwaterstand), in 26b van 300 mm per jaar (hogere grondwaterstand) > >>

(A) Profiel: Achterhoek – Veluwe – Utrechtse Heuvelrug – polder Mijdrecht



(B) Profiel: Achterhoek – Veluwe – Utrechtse Heuvelrug – polder Mijdrecht



In het profiel is het voorkomen van zout grondwater aangegeven. Het verloop van het zoet-zout grensvlak komt goed overeen met de ligging van de systemen, zoals die uit de modellering is af te leiden.

5.7.5. Montferland en Zuid Oostelijke tak van het Veluwe Systeem (figuur 27)

Figuur 27 is ontleend aan Engelen (1984). In het profiel zijn de Systemen van de Veluwe en het Montferland de grootste. De invloed van het Veluwe Systeem kan zich plaatselijk tot de oostzijde van de IJssel uitstrekken en daar in vensters omhoog komen. Boven het Systeem van de Veluwe ligt het Systeem van de IJssel. De IJssel zelf draineert gedurende het grootste deel van het jaar het water uit zijn omgeving. Boven het Systeem van het Montferland liggen de dekzand Systemen van Didam en Zelhem. De kwelintensiteiten op de flanken van de stuwwal van het Montferland zijn de laatste decennia sterk afgenomen door waterwinningen.

5.7.6. Nijmegen, grote rivieren en Zuid Veluwe Systeem (figuur 28)

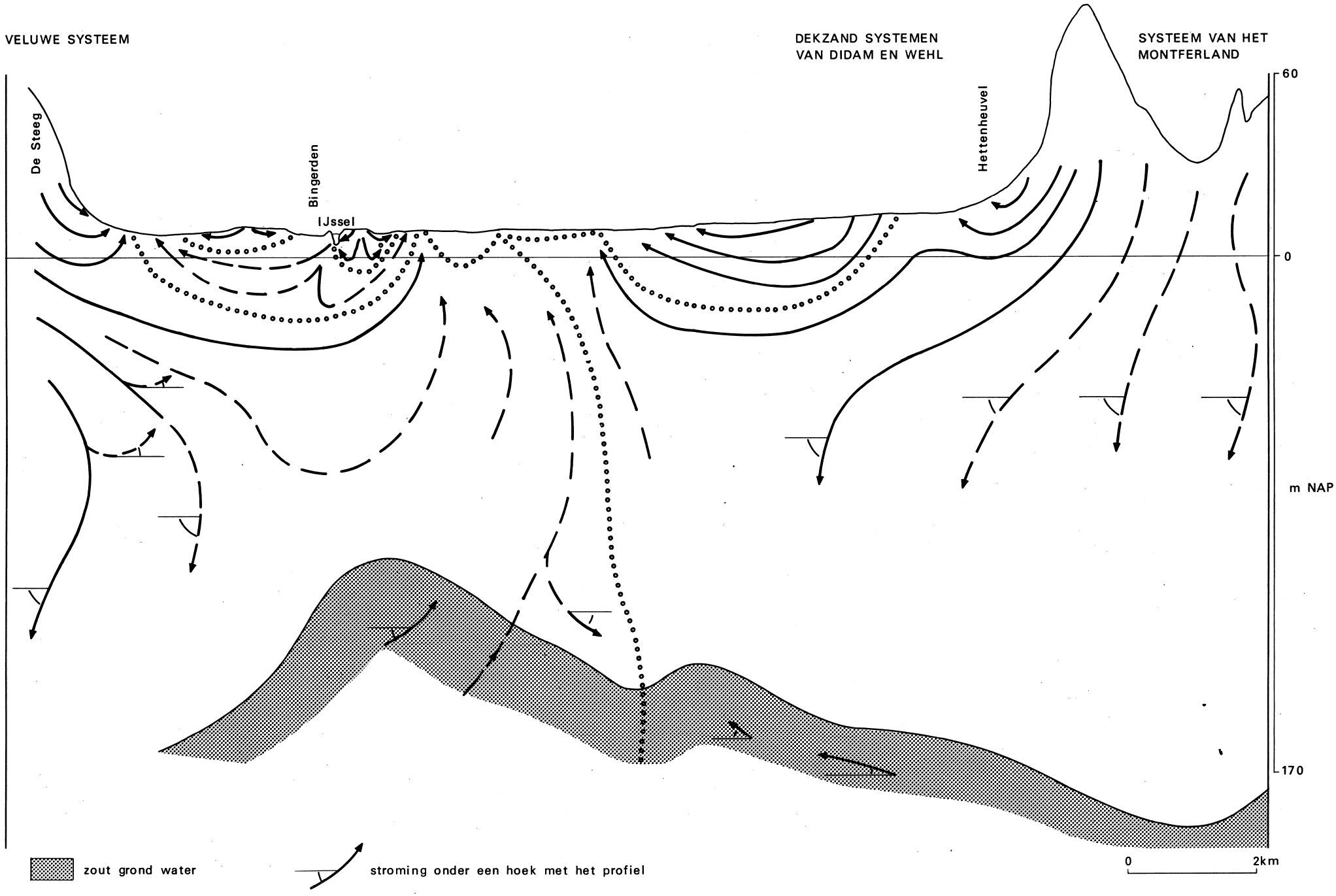
Om de begrenzing van de systeemgrenzen in dit profiel vast te stellen is naast de modellering met FLOWNET gebruik gemaakt van chemische gegevens van het grondwater (Verkooijen 1981).

De hydrologische situatie in de doorsnede wordt grotendeels bepaald door de Systemen van de stuwwal van Nijmegen en van de Veluwe. Deze systemen beïnvloeden het diepe grondwater in de Betuwe. Het ondiepe grondwater wordt grotendeels gestuurd door de Systemen van de Waal en de Rijn (in het profiel is de situatie voor hoge waterstanden doorgerekend). Ten noorden van de Linge bevindt zich een kwelvenster van het Veluwe Systeem (Verkooijen 1981). In het Betuwe gebied liggen boven de riviersystemen plaatselijk systemen die vanuit hogere delen worden gevoed (rivierduinen).

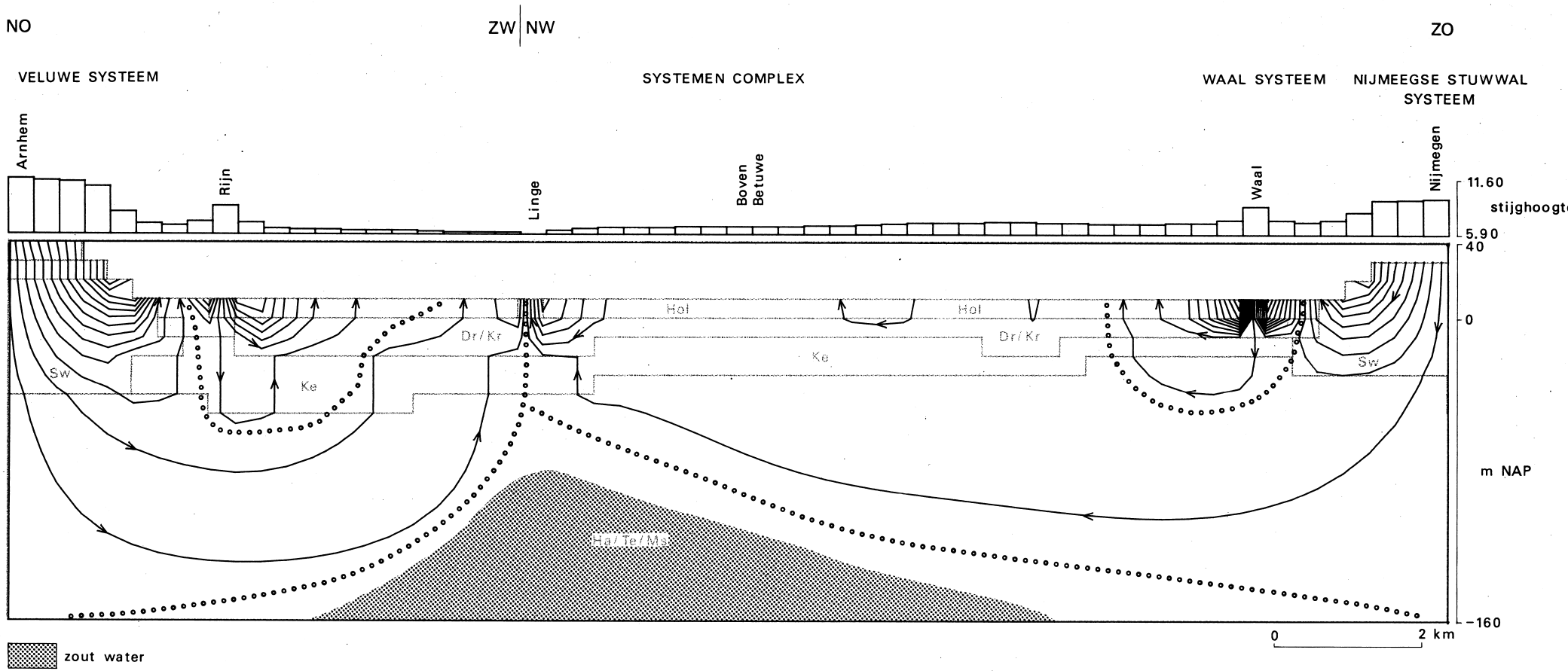
Figuur 27: Schematische weergave van de systemen van de Veluwe en het Montferland. Hierop liggen het IJsselsysteem en de dekzandsystemen van Didam en Zelhem >

Figuur 28: Schematische weergave van de hydrologische situatie in het grote rivierengebied tussen Nijmegen en Arnhem. Afgebeeld zijn de stuwwalsystemen van de Veluwe en van Nijmegen. Het gevonden stromingspatroon wordt ondersteund door chemische karakteristieken van het water (Verkooijen 1981) >>

Profiel: Veluwe – Montferland



Profiel: Arnhem – Betuwe – Nijmegen



Literatuur Midden-Nederland

Appelo, C.A.J., 1988, Beïnvloeding van de waterkwaliteit in het Hierdense Beek gebied. Vrije Universteit Amsterdam.

Brouwer, G.K., en J.H. Hoogendoorn, 1986, Grondwaterstromingssystemen Salland/O Veluwe, DGV-TNO OS 86-36.

Brussel, J. van, 1987, De Hydrochemie van het Hammervlier, Waterleiding Maatschappij "Overijssel" N.V. Zwolle & Vrije Universiteit Amsterdam.

Engelen, G.B., 1984, Hydrological Systems Analysis, TNO-DGV OS 84-20.

Engelen, G.B., B.F.M. Kal, 1985, Hydrologisch onderzoek in WOL -kader van het Loosdrechtse Plassen-gebied in verband met beleid en beheer voor waterkwaliteitsherstel, WOL -rapport 1985-1, Instituut voor Aardwetenschappen, VU Amsterdam.

Haak, A.M., 1985, Inventarisatie Grondwatergegevens in de Provincie Overijssel, Dienst Grondwaterverkenning TNO OS 85-06.

Hettling, H.K., 1985, Isotopic groundwaterstudy of the Loosdrecht lakes area, WOL -rapport 1985-4, Instituut voor Aardwetenschappen, VU Amsterdam.

Lanen, H.A.J. van, 1983, Globale verblijftijden in de onverzadigde zone van de Utrechtse Heuvelrug, Rapport 83-22 RID, Leidschendam.

Meinardi, C.R., 1986, De relatie tussen de hydrogeologische opbouw (Pleistoceen) van Nederland en grondwaterstroming, L.H. PAO-cursus, RIVM, Leidschendam.

Provincie Gelderland, 1985, Grondwaterplan Provincie Gelderland.

Provincie Utrecht, 1987, Grondwaterplan Provincie Utrecht (ontwerp).

Vasak, L. (1979). Hydrochemische patronen in het Barneveldse Beek gebied. Syllabus St. Postak. Training Gezondheidstechniek, Cursus Geohydrologische systemen en exploratietechnieken, Sept. 1979, Delft.

Verkooijen, R.G.V.A., 1981, Een Geohydrologische inventarisatie voor het Gelderse Rivierengebied en een regionaal-hydrologische systeembenadering voor het rivierengebied ten oosten van Tiel, Dienst Waterbeheer Prov. Gelderland, Arnhem.

Verkooijen, R.G.V.A., J.H. Hoogendoorn, P. Grootjans, 1985, Hydrochemie van de provincie Gelderland, Dienst Waterbeheer, provincie Gelderland, Arnhem, Dienst Grondwaterverkenning, TNO Oosterwolde/Delft.

Zagwijn, W.H., en C.J. van Staalduinen, 1975, Geologische overzichtskaarten van Nederland (1: 600 000) R.G.D.

Gebruikte kaarten, voor zover niet in de literatuur vermeld:

Atlas van Nederland, Geomorfologische kaart 1: 600 000 (1974)

Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, 1985, Stiboka.

Geomorfologische kaart van Nederland 1: 50 000, Stiboka/R.G.D. (alle bladen voor zover gereed)

Grondwaterkaart van Nederland (uitgave TNO-DGV):

1972, 34W,41W	Enschede, Aalten
1973, 28O,29,34O,35	Almelo/Denekamp/Oost Enschede/Glanerbrug
1978, 21O,22WO,23W,	Overijsselse Vecht
1978, 31O,32W,38O,39W	Utrecht
1981, 40W	Arnhem west
1983, 33O	Apeldoorn Oost
1985, 20W,26WO	Lelystad/Harderwijk
1985, 27O,28W	Heerde Almelo

Topografische kaart Nederland, 1: 250 000, Topografische Dienst Nederland, Delft.

Grote Topografische Atlas van Nederland 1: 50 000, 1987, Wolters Noordhoff, Groningen, Topografische Dienst Nederland, Emmen.

Waterstaatskaart 1: 50 000, Rijkswaterstaat/Topografische Dienst Nederland (alle bladen voor zover gereed)

6. Grondwaterstromingsstelsels in Noord - Holland

6.1. Pleistocene Systemen

6.1.1. Wieringen stuwwal Systeem (SW)

Op het vaste land van Noord-Holland bevindt zich één Pleistoceen systeem, nl. dat van de stuwwal van Wieringen. Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door de hoge kopjes langs de Waddenzeekust, het kwelgebied door de omringende polders.

6.2. Natuurlijke Holocene Systemen

6.2.1. Het Duinsysteem van Castricum (DC)

Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door de duinen van het Noord-Kennemerland. Het water van dit systeem kwelt voornamelijk op in de polders ten oosten van de duinen en gedeeltelijk aan de strandzijde. De grens aan landzijde loopt door de voormalige zeetong bij Petten, door de polders Geestmerambacht en de Beemster, langs het Alkmaarder Meer en wordt aan de zuidzijde begrensd door een tong van het Noordzee Systeem die via het Noordzee Kanaal binnendringt.

6.2.2. Het Duinsysteem van Zandvoort (DZ)

De duinen tussen IJmuiden en Noordwijk vormen het infiltratie gebied van dit systeem. Het kwelgebied ligt in de polders ten westen van het duingebied. Het systeem wordt in het noorden begrensd door de binnendringende tong van het Noordzee Systeem. In het westen loopt de grens door de Haarlemmermeerpolder, en in het zuiden wordt het systeem begrensd door het Systeem van de Oude Rijn.

6.2.3. De Duinsystemen van Petten en Den Helder (DP, DH)

De duinsystemen van Petten en Den Helder zijn twee kleine, van elkaar gescheiden systemen. Ze liggen in de kop van Noord-Holland tegen de Noordzee kust.

6.2.4. Het Systeem van West-Friesland (WF)

Een lange, iets hoger gelegen strook land tussen Hoorn en Schagen vormt het infiltratiegebied van dit systeem. Het is een ou-

de kreek-inversie rug. Vanuit de hogere polders op deze rug stroomt het water naar de diepere polders ten noorden en ten zuiden ervan. De voor het huidige infiltratie gebied ongewoon grote zoetwatervoorraad van dit systeem bestaat wellicht uit fossiel water. Een zuidelijke uitloper van het systeem reikt tot in de Beemster.

6.2.5. Het Noordzee Systeem (NZ)

Water van het Noordzee Systeem dringt in het noorden van Noord-Holland binnen. De grens loopt door de Zijpe- en Hazepolder ten westen van de Pettemer duinen, en langs de Anna Paulowna polder. Verder loopt waarschijnlijk onder het Castricums Duinsysteem een tak van het Noordzee Systeem door, die dagzoomt zowel in de Schermer als in de Beemster (zie figuur 29)

6.2.6. Het IJsselmeer Systeem (YM)

Water van dit systeem dringt bijna langs de hele IJsselmeerkust Noord-Holland binnen. De grens van dit systeem loopt door de Wieringermeer, door de polder het Grootslag, door de polders de Beemster en de Purmer, en door enkele diepe polders in oostelijk Waterland. Een tong van het IJsselmeer Systeem dringt nog binnen in het gebied ten noorden van Weesp.

6.3. Kunstmatige Holocene Systemen

6.3.1. Het Geestmerambacht polder Systeem (GA)

De polder Geestmerambacht heeft een hoger peil dan de westelijk ervan gelegen polder Heerhugowaard. Het water van dit systeem zal dan ook grotendeels in westelijke richting afstromen. In het oosten grenst dit systeem aan het Castricums Duin Systeem. De grens tussen beide systemen is duidelijk herkenbaar aan de opkegeling van zout water tot aan het maaiveld.

6.3.2. Het Eilandpolder Systeem (EP)

De Eilandpolder vormt het infiltratiegebied van dit systeem. Het water van dit vrij ondiepe systeem kwelt op in de diepe polders de Schermer en de Beemster, en in de polders ten zuiden en ten noorden van de Eilandpolder.

6.3.3. Het Systemen complex van Amsterdam (AM)

Tot de infiltratiegebieden van dit systeem horen de hogere polders ten noorden van Amsterdam, het Noordzee Kanaal, het IJ, de havens, de grachten, de boezemwateren, de plassen Mooie Nel, de

Sloterplas, het Nieuwe Meer, de Gaasperplas en de Oudekerkerplas. Vanuit deze wateren stroomt water naar de omringende polders. De diepste polder in het gebied is de Haarlemmermeer polder, waarin dan ook een grote hoeveelheid water omhoog komt. Verder kwelt water van dit systemen complex op in de Beemster, de Wijde Wormer, en andere diepe polders in het gebied.

6.4. Profielen

6.4.1. Profiel Wieringen-Beemster-Amsterdam-Westeinder Plassen (figuur 29)

Voor Noord-Holland is een profiel doorgerekend dat vanaf Wieringen in zuidelijke richting via de Wieringermeer polder, de Eilandspolder en de polders de Beemster en de Wormer naar het havengebied van Amsterdam en de Haarlemmermeer polder loopt en eindigt in het Westeinder plassen gebied. Het profiel is 90 km lang en 310 m diep. De stijghoogten zijn op de randen gecorrigeerd voor dichtheidsverschillen van zout of brak water. In het profiel konden geen dichtheidsverschillen worden ingevoerd. Het berekende stroomlijnenpatroon moet als een benadering van het in werkelijkheid optredende patroon worden beschouwd. In het profiel zijn de volgende systemen zichtbaar:

Het Wieringer Stuwwal Systeem: Water van dit systeem infiltreert in het gebied van de Wieringer stuwwal en kwelt op langs de noordelijke rand van de Wieringermeer polder.

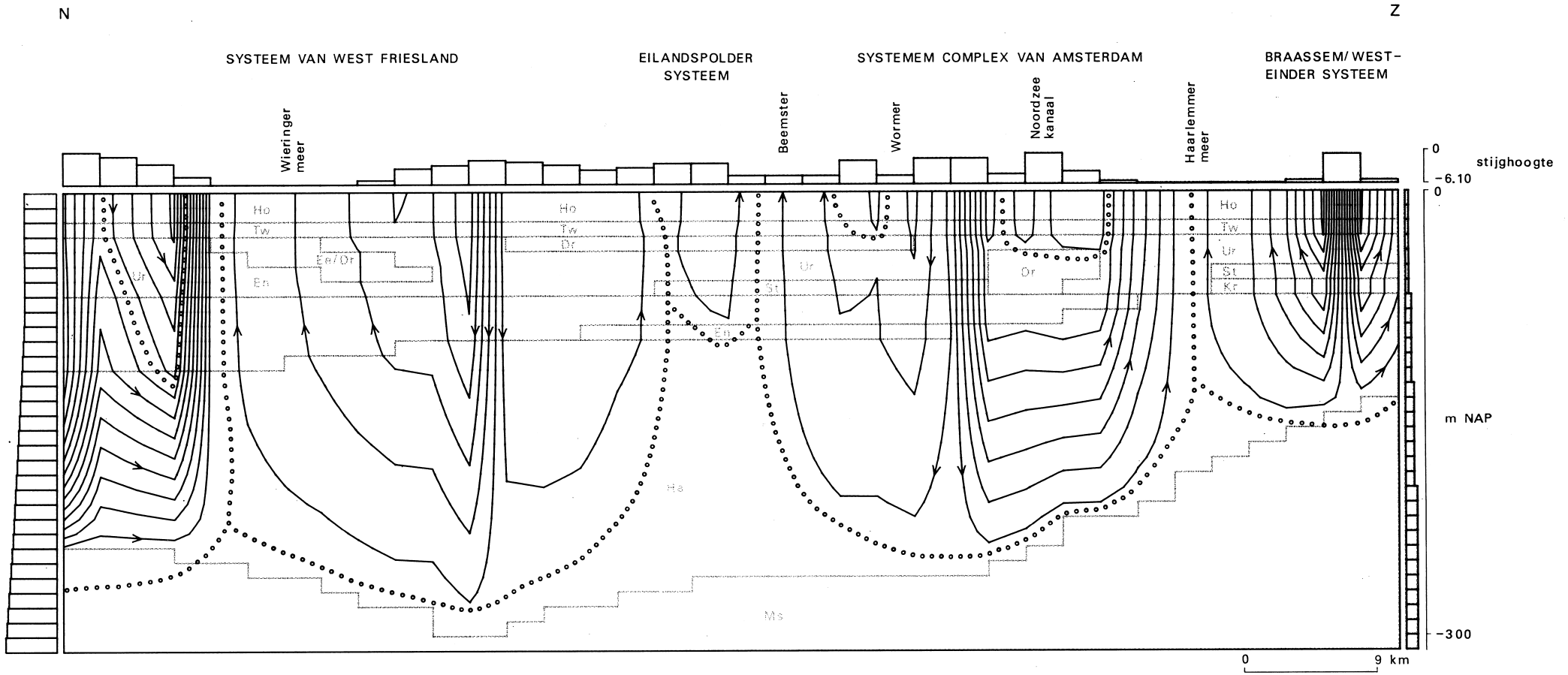
Het Waddenzee Systeem: Onder het Wieringer stuwwal systeem door loopt een tak van het Waddenzee Systeem naar de noordrand van de Wieringermeer polder. Daar deze tak een geringe omvang heeft is het kwelvenster van het Waddenzee Systeem niet op de systemenkaart aangegeven.

Het Systeem van West-Friesland: Het water van dit systeem, dat infiltreert in de hogere polders op de kreek-inversie rug van West-Friesland, stroomt naar de Wieringermeer polder en naar de diepere polders ten zuiden van het infiltratie gebied. Een tak van het Systeem van West-Friesland kwelt op in de Beemster.

Het Eilandspolder Systeem: Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door de Eilandspolder, van waaruit grondwater naar de Beemster en naar de polder ten noorden van de Eilandspolder stroomt. Het systeem is relatief klein en ondiep.

Figuur 29: Schematische weergave van de hydrologie in een NZ doorsnede door Noord-Holland. De stijghoogtes op de randen zijn gecorrigeerd voor de grotere dichtheid van zout water >

Profiel Wieringermeer–Beemster–Amsterdam–Westeinder Plassen



Het Systemen Complex van Amsterdam: De infiltratiegebieden in het profiel zijn de hogere polders ten noorden van Amsterdam, de hogere polders tussen de Wormer en de Beemster en het Noordzee Kanaal met het havengebied van Amsterdam. Kwel vanuit deze gebieden treedt vnl. op in de Beemster en de Haarlemmermeer polder, en verder in de polder de Wormer en de diepere polders ter weerszijden van het Noordzeekanaal.

Het Braassemer-Westeinder systeem: Vanuit de Westeinder plassen treedt grondwaterstroming op naar de Haarlemmermeer polder en andere omringende polders.

6.4.2. Profiel Noordzee - Beemster - IJsselmeer (figuur 30)

Dit profiel loopt vanaf de Noordzee in oostelijke richting via Alkmaar, de polders Geestmerambt, de Schermer en de Beemster naar het IJsselmeer. Het profiel is 37,5 km lang en 310 m diep. Op de westelijke rand van dit profiel zijn de stijghoogten gecorrigeerd voor de dichtheid van zout of brak water. In het profiel kon niet voor dichtheidsverschillen worden gecorrigeerd. Het stroomlijnenpatroon in het profiel is een benadering van de werkelijke situatie. Het is duidelijk te zien dat de zoet-zout patronen niet in evenwicht zijn met de grenzen van de stromingsstelsels. De volgende systemen zijn zichtbaar in het profiel:

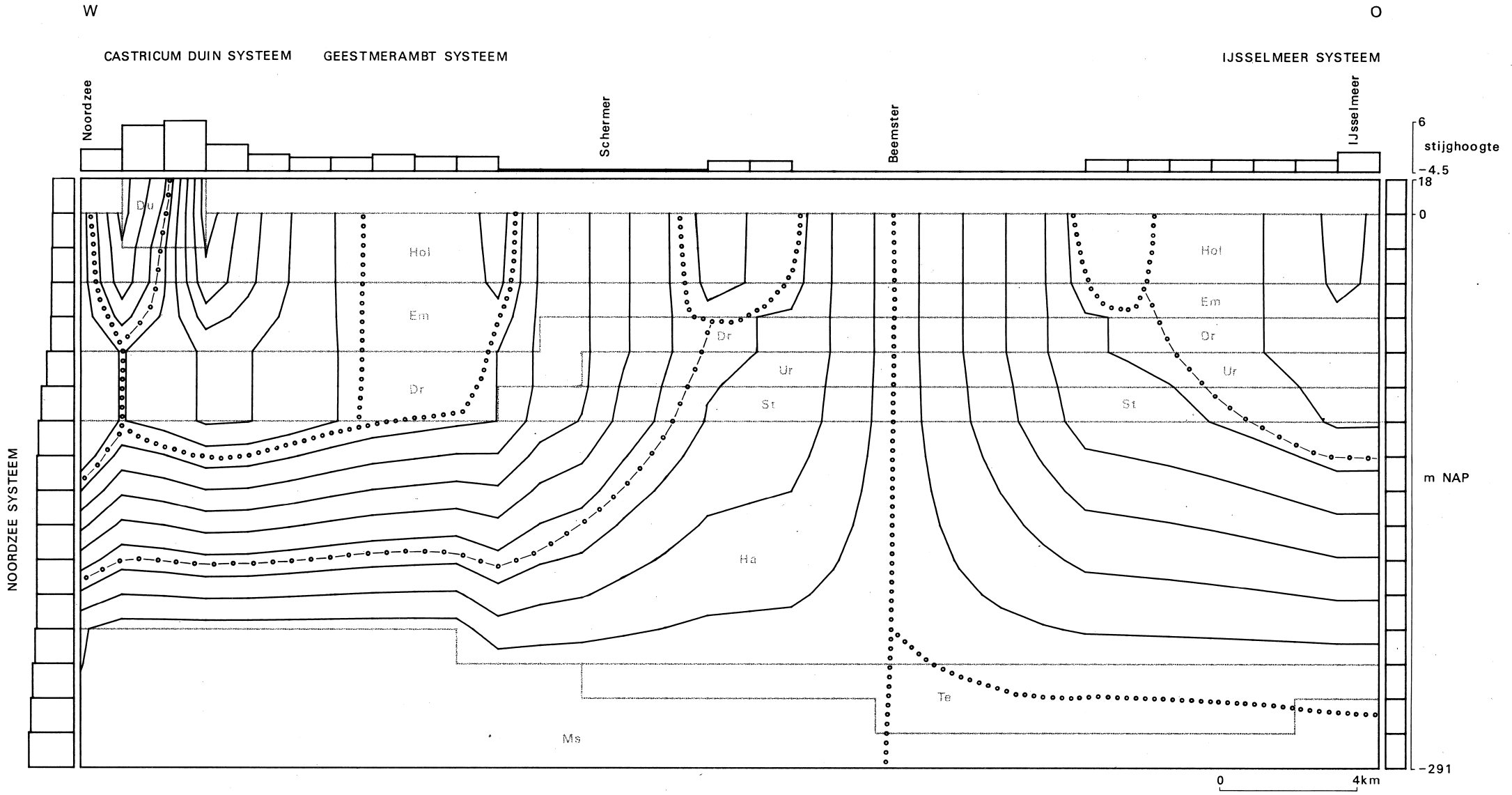
Het Castricums Duin Systeem: Vanuit de duinen vindt in oostelijke richting grondwaterstroming plaats naar de Schermer, in westelijke richting naar de Noordzee.

Het Geestmerambt Systeem: Het profiel snijdt nog net het zuidelijke deel van dit systeem aan, daar waar het ligt ingebed in het Noord-Kennemerland Systeem. Het infiltratiegebied van dit systeem wordt gevormd door de Geestmerambt polder. Vanuit deze polder stroomt het water gedeeltelijk naar de wat lagere, oostelijk ervan gelegen polders. Het grootste deel van de stroming vindt echter plaats in westelijke richting naar de Schermer toe.

Het Eilandspolder Systeem: De Eilandspolder is het infiltratiegebied van dit systeem. Het water dat in deze polder geïnfiltreerd is, kwelt grotendeels op in de Beemster. Een klein gedeelte kwelt op in de Schermer.

Figuur 30: Schematische weergave van de hydrologische situatie in een EW doorsnede door Noord-Holland. De stijghoogten op de west rand (Noordzee kust) zijn gecorrigeerd voor de grotere dichtheid van zout (zee)water. De dichtheid in het profiel is niet gecorrigeerd (zie ook 1.2. en appendix B) >

Profiel: Noordzee – Beemster – IJsselmeer



Het Noordzee Systeem: Onder het Castricums Duinsysteem bevindt zich een stroomtak van het Noordzee Systeem, die zich splitst in een tak die in het oostelijke deel van de Schermer en een tak die in het westelijke deel van de Beemster opkwelt.

Het IJsselmeer Systeem: Vanuit het IJsselmeer vindt stroming plaats naar de Beemster. In het profiel is verder een klein systeem zichtbaar, waarbinnen het water vanuit de aangrenzende hogere polders naar de Beemster stroomt. Dit systeem is niet op de systemenkaart weergegeven.

Literatuur

ICW, 1982, Grond- en Oppervlaktewater Noord-Holland benoorden het IJ, Regionale Studies 16.

Provinciaal Grondwaterplan Noord-Holland, 1986.

Stuyfzand, P.J., 1985, Hydrochemie en hydrologie van het duingebied tussen Egmond en Wijk aan Zee, Kaartblad 19C, KIWA SWE-85.012.

Stuyfzand, P.J., 1987, Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tusssen Zandvoort en Wijk aan Zee (Kaartbladen 24F en 25A), KIWA, SWE 86-016.

Stuyfzand, P.J., 1988, Hydrochemical evidence of fresh and salt water intrusion in the coastal dunes aquifer system of the Western Netherlands. Proc. SWIM 10 symposium, Gent 1988, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift (in druk).

Gebruikte kaarten, voor zover niet in de literatuur vermeld

Atlas van Nederland, Geomorfologische kaart 1: 600 000 (1974)

Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, 1985, Stiboka.

Geomorfologische kaart van Nederland 1: 50 000, Stiboka/R.G.D. (alle bladen voor zover gereed)

Grondwaterkaart van Nederland (uitgave DGV-TNO):

1979, 19W,19O,20A	Alkmaar
1979, 24,25W,25O	Zandvoort/Amsterdam
1980, 14W,14O,(9D,15C)	Medemblik

Topografische kaart Nederland, 1: 250 000, Topografische Dienst Nederland, Delft.

Grote Topografische Atlas van Nederland 1: 50 000, 1987, Wolters Noordhoff, Groningen, Topografische Dienst Nederland, Emmen.

Waterstaatskaart 1: 50 000, Rijkswaterstaat/Topografische Dienst Nederland (alle bladen voor zover gereed).

7. Grondwaterstromingsstelsels in Zuid - Holland

7.1. Centraal Zuid-Holland

De ontwikkeling van de stromingsstelsels en de verspreiding van watersoorten in de ondergrond van dit gebied kan evenals in vele andere delen van het land slechts goed begrepen worden vanuit de Laat-Pleistocene en Holocene ontwikkeling van het gebied en de sterke menselijke ingrepen in historische tijd. Een gedetailleerde beschrijving van de systemen in dit gebied door De Ruiter (1986, 1988) vormt de basis voor het volgende samenvattende overzicht.

Rond 4100 V Chr. ontstond achter een complex van strandwallen en duinen een wadachtig gebied met zout en brak water waardoor de ondergrond verziltte. Ongeveer duizend jaar later was de zoute invloed sterk teruggedrongen in het oppervlaktewater en beperkt tot zeegaten bij IJmuiden, Hoek van Holland en de monding van de Rijn bij Katwijk. De verzoeting ging gepaard met laagveenvorming tussen rivierarmen met oeverwallen. In de Romeinse tijd waren op het laagveen tussen de riviertakken inmiddels hoogveenkussens opgegroeid. Daarna werden de veel bredere jonge duinen gevormd en begonnen de veenontginningen, inpolderingen, droogmakerijen en boezemwaterbeheer. Sinds 4100 v Chr. tot heden steeg het zeeniveau ongeveer 5 meter.

De hydrologische verziltings- en verzoetingsfasen in dit gebied en in West Nederland in het algemeen kunnen door een combinatie van hydrologische systeemanalyse met hydrochemische analyses met behulp van de classificatie van Stuijfzand (1986) vergaand ontrafeld worden.

De volgende typen stromingsstelsels kwamen van nature in dit gebied voor voordat de invloed van de mens begon:

a) de grote Haagse en Noordwijkse zoete duinwaterstromingsstelsels met zoetwaterzakken in een zout/brakke omgeving;

b) het zoete stromingsstelsel van het stuwwallen complex van de Utrechtse Heuvelrug in het oosten van het gebied;

c) lintvormige, zoete systemen van rivieren met hun oeverwallen;

d) lensvormige, zoete systemen gevoed door hoogveenkussens.

Al deze systemen waren ingebed in een ondergrond van weinig of niet stromend brak tot zout water. In het midden van de Alblasserwaard komt zout, thermomineraal water vanuit het Carboon omhoog (Fig. 33).

7.2. Systemen vanuit het Pleistoceen gevoed

In het centrum van de oostelijke grotere poldergebieden tussen de Rijn- en Maastakken bevinden zich op vaak geringe diepte zeer zoete watersoorten die afkomstig moeten zijn van de stuwwalcomplexen van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug en van de hogere Brabantse zandgronden. Het betreft hier voor een deel thans nog actieve, overdekte stroomtakken van deze stelsels. Voor een ander deel is dit waarschijnlijk Laat-Pleistoceen water uit diezelfde gebieden dat onder de Holocene bedekking en door de zeespiegelrijzing gestagneerd heeft. Nu is het door de ten dele kunstmatig geactiveerde stromingsstelsels vanuit de rivieren weer in gang is gezet en in die stromingsstelsels opgenomen.

7.3. Systemen vanuit het Holoceen gevoed

Door de ingrepen van de mens ontstonden aanzienlijke terreinhoogte- en peilverschillen die de oorspronkelijke, natuurlijke toestand drastisch wijzigden en ook tot geheel nieuwe stromingsstelsels aanleiding gaven.

Polders en boezemwateren zijn de belangrijkste factoren bij het ontstaan van deze nieuwe stelsels. De oorspronkelijke waterkwaliteitsverdeling in de ondergrond is door deze wijzigingen in het stromingsbeeld in vele gevallen nog niet in evenwicht met het huidige stromingspatroon. Verzoetings- en verziltingsfronten bewegen zich door de stromingstelsels en duiden op een niet-stationaire chemische situatie, terwijl de stroming ten dele al wel stationair kan zijn geworden.

7.3.1. Het Haagse Duin Systeem (HD)

Dit zoete systeem heeft door het hoogteverschil met het vroeger aangrenzende natuurlijke veenlandschap en later met het polderlandschap een sterk verzoetende werking in oostelijke richting uitgeoefend. Het stelsel loopt onder de Oude Rijn door en heeft een venster aan de noordzijde daarvan. Door kunstmatige infiltratie van rivierwater in combinatie met duinwaterwinning is bij Den Haag binnen de oorspronkelijke zoetwaterzak een afzonderlijk, complex, kunstmatig stromingsstelsel ontstaan.

7.3.2. Het Zandvoortse Duin Systeem (DZ)

Dit systeem is door het Oude Rijn Systeem gescheiden van het Haagse Duin Systeem. Een belangrijk deel van de afstroming gaat in oostelijke richting naar de Haarlemmermeer polder. Kunstmatige systemen van de Leidse en Amsterdamse duinwaterwinningen met kunstmatige infiltratie zijn in dit systeem "ingelaten".

7.3.3. Het Oude Rijn Systeem (OR)

Dit systeem volgt een oude Rijnloop met kleiïge en zandige afzettingen door het vroegere veengebied. Deze loop vormt nu een inversierug in het landschap en ligt met zijn boezempeil ongeveer 1½ m boven de aangrenzende polders. Deze rivierstrook vormt een duidelijk infiltratiegebied van zoet water. Het geïnfiltreerde zoete water heeft zout en brak water verdrongen dat nu hierdoor locale opkegelingen vertoont (b.v. bij Leiden).

7.3.4. Het Braassemer-Westeinder Systeem (BW)

De voeding van dit systeem heeft plaats vanuit meren en kanalen op boezempeil, vanwaar het water naar de ingesloten vele meters lagere polders stroomt. Vanuit de Westeinder Plassen is er een duidelijke zoete kwelstroomtak naar de Haarlemmermeer polder.

7.3.5. Het Zoetermeer Systeem (ZS)

Dit systeem wordt eveneens gevoed vanuit boezemwater en hogere, gespaard gebleven veenrestgebieden. De infiltratiemogelijkheden zijn er beperkter en het systeem is dan ook minder diep verzoet dan het Braassemer-Westeinder Systeem. Het Zoetermeer Systeem wordt, behalve in het westen, aan alle zijden begrensd door systemen die gebonden zijn aan Rijntakken.

7.3.6. Het Hollandsche-IJssel Systeem (HY)

Het systeem is van het Zoetermeer Systeem gescheiden door een zoute opkegeling. De grenzen ervan met het Oud Rijn Systeem ten noorden en het Rijn Systeem ten zuiden zijn door gebrek aan gegevens nog enigszins onduidelijk.

7.3.7. Het Rijn Systeem (RS)

Dit lintvormige riviersysteem vormt langs de Lek de voortzetting van het Rijngedeelte vanaf de de Duitse grens en voedt de polders aan weerszijden. Bij de stuw van Hagestein vormt een combinatie van hoger stuwpeil en een oude geul een extra zone van infiltratie van rivierwater. Langs dit systeem zijn door de winning van oevergrondwater een aantal kleinere, afzonderlijke kunstmatige stromingsstelsels ontstaan.

7.3.8. Het Waal Systeem (WS)

Dit lintvormige riviersysteem vanaf Nijmegen tot Rotterdam langs Waal, Beneden Merwede, Noord en Nieuwe Maas is door de sterk wisselende rivierpeilen tamelijk dynamisch, vooral in de smalle stroken met intensieve dijkskwel. De duidelijke kwaliteitsverslechtering van het Rijnwater wordt o.a. weerspiegeld in de hogere chloridegehaltes van het jongere infiltratiewater.

7.3.9. Het Maas Systeem (MS)

De uitloper van het Maas Systeem, dat vanaf de Belgische grens door Nederland loopt, reikt via Dordtsche Kil en Oude Maas tot onder Rotterdam. De verschillen in waterkwaliteit tussen Rijn en Maas vormen een hulpmiddel bij de begrenzingen van de systemen. Op de grenzen tussen de verschillende zich indringende zoete stromingsstelsels bevinden zich kegel- of walvormige opwelvingen in de zoet/brak/zout grensvlakken in de ondergrond. Deze zijn deels passief door verdringing door het zoete water, deels actief door toestroming naar zones met lage potentialen ontstaan.

7.4. Profielen in Zuid-Holland

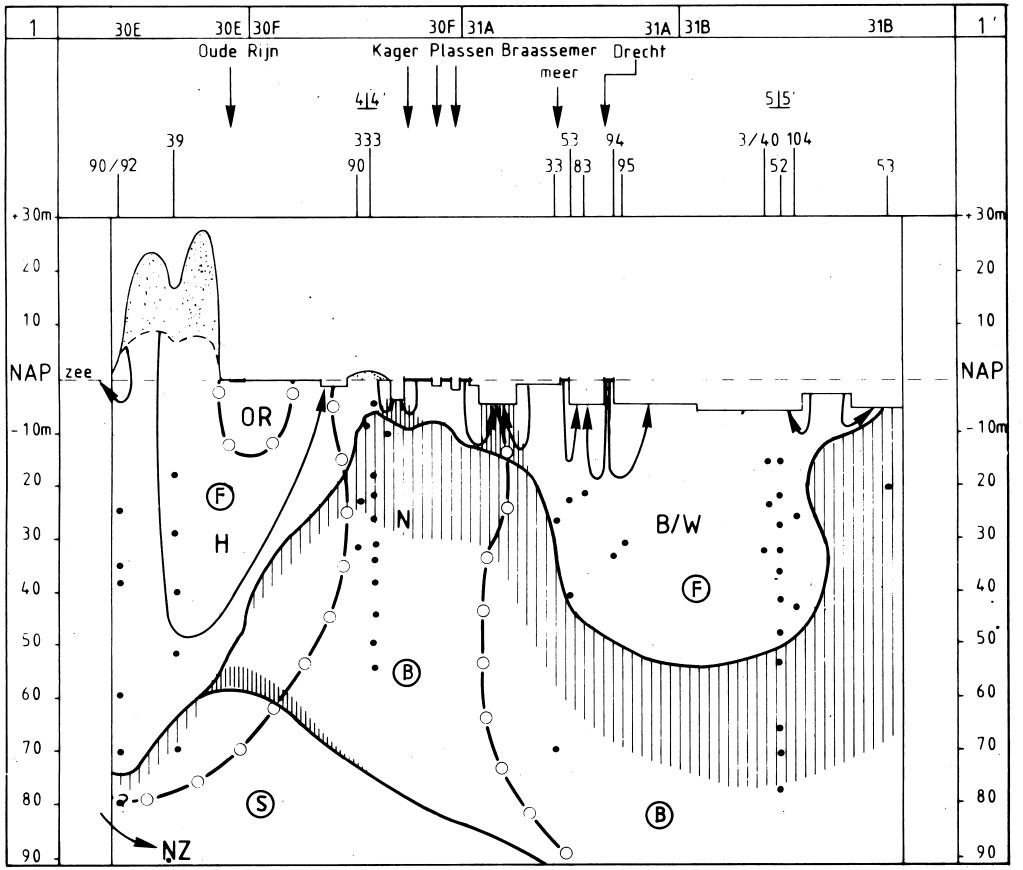
De profielen in Zuid-Holland zijn ontleend aan een hydrologische systeemstudie met het accent op hydrochemische informatie (De Ruiter, 1986, 1988). De gebruikte legenda wijkt af van die in dit rapport wordt gebruikt (zie na 7.4.4.) Het stroomlijnenpatroon is slechts schematisch aangegeven en de profielen zijn niet numeriek gemodelleerd. In een afzonderlijke studie is voor het noordelijk deel van deze provincie ter verificatie een modelstudie met FLOWNET en FLOSA uitgevoerd (Promes,1988).

In de profielen zijn met stippen de filters aangegeven waarvoor hydrochemische informatie aanwezig is. Daarnaast is de scheiding tussen zoete en brak/zoute watersoorten met eventuele verziltende of verzoetende overgangszones (gearceerd) aangegeven met behulp van de classificatiemethode volgens Stuyfzand (1986). In profielen van dit type in West Nederland is goed te zien dat waterkwaliteitsgrenzen niet altijd samen behoeven vallen met grenzen tussen stromingsstelsels. Er kan immers een watertype onder vroegere hydrologische condities zijn gevormd, dat later, bij wijziging van de stromingspatronen, in een andere richting binnen hetzelfde stelsel of zelfs in het stromingsveld van een ander systeem kan worden opgenomen. Terwijl het stromingsveld zelf zich snel aan nieuwe randvoorwaarden aanpast wordt een ruimtelijk grondwaterkwaliteitspatroon dat in een voorafgaande situatie is ontstaan dikwijls veel minder snel aangepast.

7.4.1. Profiel Wassenaarse Duinen - Kager Plassen- Braassemer Meer - Uithoorn (Figuur 31)

<u>Haagse Duin Systeem:</u> In dit WZW-NNO verlopende profiel vormt de zoetwaterlens van het Haagse Duin Systeem, die hier tot 80 m diepte reikt, het oudste Holocene, natuurlijke systeem. Het jonge, kunstmatige infiltratie- en winningssysteem binnen deze

Figuur 31: Weergave van hydrologische systemen in de sectie Wassenaarse Duinen - Uithoorn. Indeling is gemaakt op grond van verschil in waterkwaliteit en historie van het gebied (De Ruiter 1988) >


1
30E
30E
30F
30F
31A
31A
31B
31B
1'
Oude Rijn
Kager Plassen
Braassemermeer
Drecht
414
515
90/92
39
333
90
53
33
83
94
95
3/40
104
52
53
+30m
20
10
NAP
zee
-10m
20
30
40
50
60
70
80
90
OR
F
H
N
B/W
F
B
S
B
NZ

duinen is niet aangegeven op deze schaal. In historische tijd heeft het systeem zich oostwaarts uitgebreid als gevolg van veenontginningen, de instelling van polderbemalingen en de aanleg van droogmakerijen in Midden-West Nederland. Het systeem heeft een subregionale stroomtak naar een venster ten noordoosten van Katwijk, waar de stroming onder het Oude Rijn Systeem doorgaat.

Noordzee Systeem: Dit zoute, intruderende systeem is hier na de ontginning van West Nederland ontstaan door de kunstmatig geschapen potentiaalgradient tussen de Noordzee en de lagere, bemalen polderzone ten Oosten van de duingordel. De sterkte en omvang op grotere diepte van dit systeem zijn door een gebrek aan gegevens niet goed bekend. De opkegeling van het zout/brakke water in zone N op figuur 30 kan deels aan het Noordzee Systeem, deels aan een verdringing van ouder brak water door de zich uitbreidende Systemen van de Haagse Duinen en van Braassemer/Westeinder worden toegeschreven.

Braassemer/Westeinder Systeemcomplex: Dit in het verleden ontstane complex van poldersystemen wordt aangedreven en gevoed vanuit het stelsel van oppervlaktewater (oude veenriviertjes, kanalen, meren) op boezempeil. Wegzijging uit dit oppervlaktewaterstelsel vindt plaats naar het mozaïek van aangrenzende polders met verschillende polderpeilen. Dit complex van systemen heeft de ondergrond verzoet en dit proces gaat deels nog door waar via verdringing door infiltrerend boezemwater zoute of brakke kwel uit de polders wordt uitgeslagen.

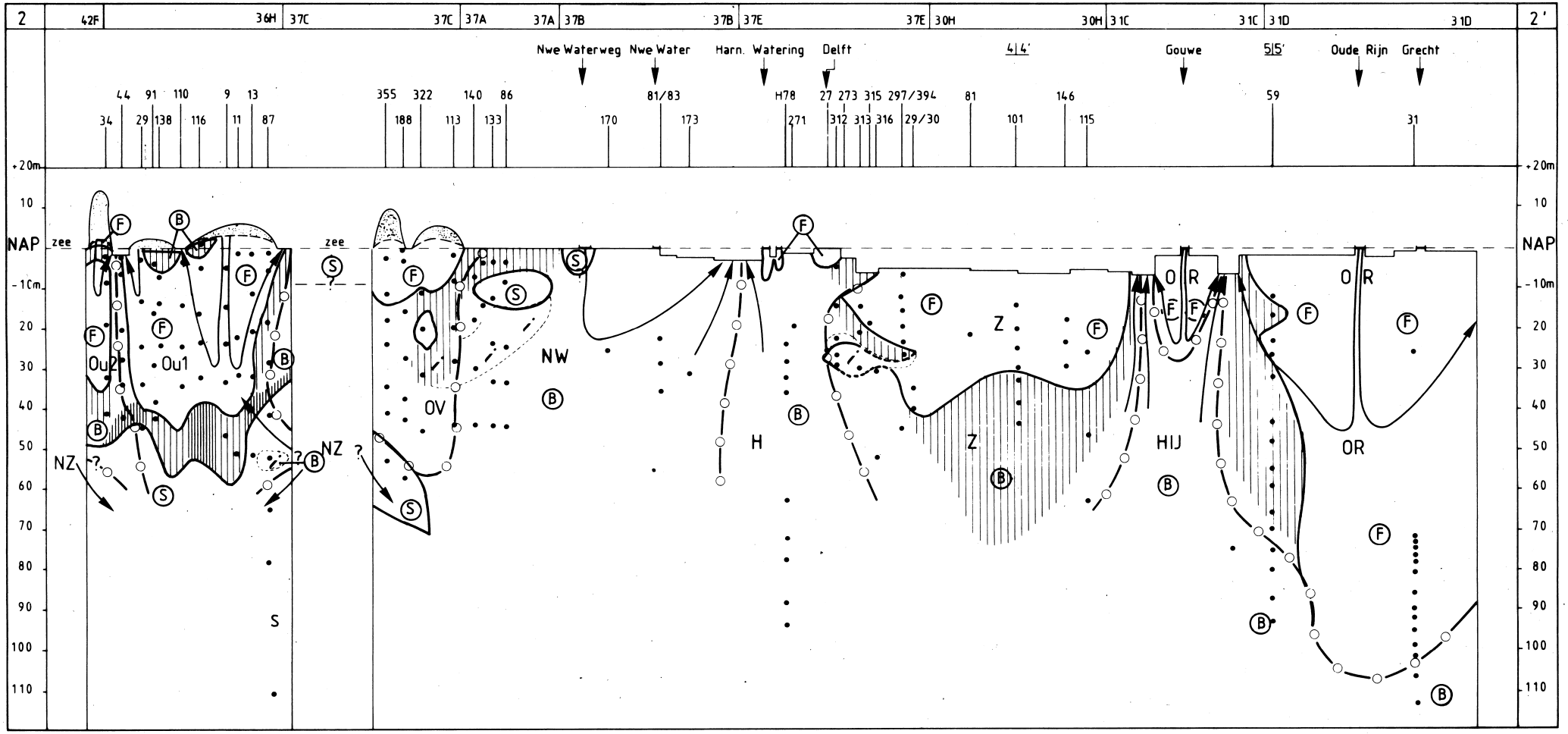
7.4.2. Profiel Goeree-Oostvoorne-Delft-Woerden (Figuur 32)

Systemen van de Westelijke en Oostelijke Duinen van Goeree en van de Duinen van Oostvoorne: De zoetwaterlenzen onder de duinen van Goeree en Oostvoorne zijn de oudste natuurlijke Holocene systemen, in dynamisch evenwicht ingebed in het zoute Noordzee Systeem. Het systeem van de Goereese Duinen bestaat uit twee deelsystemen, half gescheiden door een kleine, ondiepe tong van het Noordzee Systeem, die echter in dit profiel niet afzonderlijk is weergegeven.

Noordzee Systeem: Dit zout/brakke systeem begrenst de duinsystemen aan de onderzijde en de zeezijde en dringt met een grote stroomtak (in het profiel als afzonderlijk Nieuwe Waterweg Systeem aangeduid) via de Nieuwe Waterweg achter de duingordel binnen in Voorne en Delfland.

Haagse Duin Systeem: Het zoete Haagse Duin Systeem heeft een uitloper naar het lage deel van Delfland in de richting Rotterdam, die de Nieuwe Waterweg tak van het Noordzee Systeem scheidt van het Zoetermeer Systeem.

Figuur 32: Weergave van de hydrologie in de sectie Goeree-Woerden >


2
42F
36H
37C
37C
37A
37A
37B
37B
37E
37E
30H
30H
31C
31C
31D
31D
2'
Nwe Waterweg
Nwe Water
Harn. Watering
Delft
414'
Gouwe
515'
Oude Rijn
Grecht
44 91 110 9 13
34 29 138 116 11 87
355 322 140 86
188 113 133
170
81/83
173
H78
271
27 273 315 297/394
312 313 316 29/30
81
101
146
115
59
31
+20m
10
NAP
zee
-10m
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
Ou2
Ou1
OV
NW
H
Z
Z
HIJ
OR
OR
NZ
NZ
S
F
B
S

Oude Rijn Systeemcomplex: Dit zoete, intruderende, door boezemwater gevoed systeemcomplex volgt in grote lijn de zandige en kleiige stroomgeulen van het Oude Rijn rivier systeem. Het is in aanleg een natuurlijk Holoceen systeem, samenhangend met het fluviatiele relief dat door reliëfomkering t.g.v. oxydatie, klink en bemaling van aangrenzende veengebieden nog versterkt is.

Zoetermeer Systeem: Dit is waarschijnlijk een kunstmatig poldersystemencomplex. De omvang ervan lijkt echter wat te groot om geheel vanuit het beperkte netwerk van boezemwateren ter plaatse te kunnen zijn ontstaan. Het is niet uitgesloten dat een deel van het zoete water erin van oudere, voorhistorische herkomst is en mogelijk samenhangt met een indringing vanuit een vroeger hoogveenkussen in dit gebied voorafgaand aan de ontginning en inpoldering. Nader onderzoek is hier gewenst.

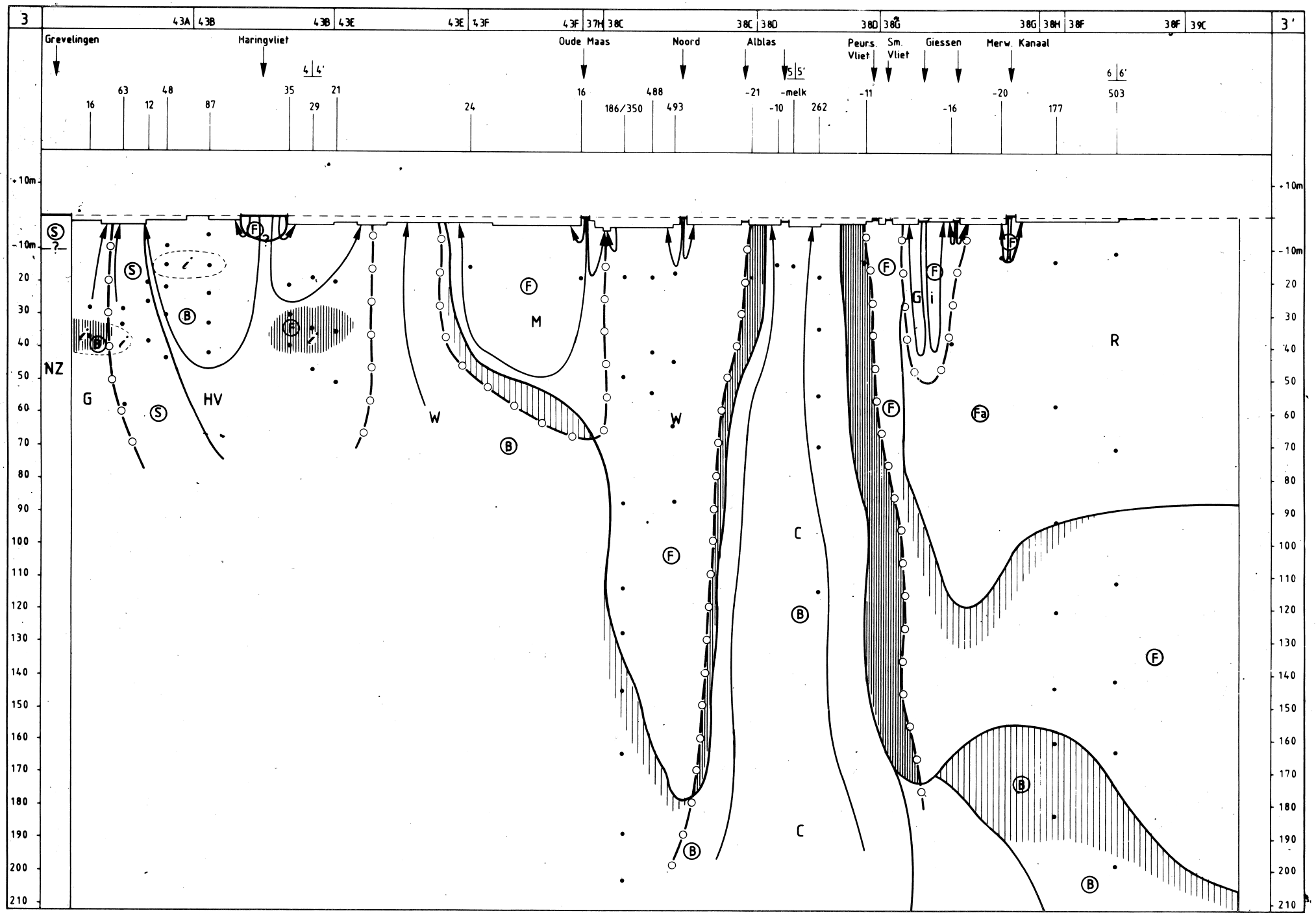
Inversies: In het profiel komen met een i aangegeven inversies voor, waar zoet water onder zout water wordt aangetroffen. Deze in principe onstabiele ruimtelijke verdeling van watertypen is een nog niet door latere stroming geheel opgeruimd overblijfsel van een vroegere hydrologische situatie. het betreft hier waarschijnlijk zoet Pleistoceen water, dat tijdens lagere zeespiegelstand in die positie is gekomen door grondwaterstroming vanuit het achterland. Het is vervolgens bij de snelle Holocene zeespiegelrijzing onder slechter doorlatende, jongere deklagen als geïsoleerde resten gedeeltelijk bewaard gebleven. Soortgelijke situaties komen ook elders in West Nederland voor. Deze inverse zoete waterlichamen zijn in recente stromingsstelsels opgenomen en zullen uiteindelijk uitgespoeld worden.

7.4.3. Profiel Over-Flakkee - Hoekse Waard - Alblasserwaard-Beneden Betuwe (Figuur 33)

Carboon Systeem: In het centrum van de Alblasserwaard komt een pijler van thermo-mineraal water vanuit het Carboon omhoog tot vlak onder het maaiveld. Deze wordt omspoeld door de in aanleg natuurlijke Holocene Systemen van Waal en Rijn. Aan de randen zijn verziltende overgangszones zichtbaar.

Waal-, Rijn-, Maas-, en Giessen Systemen: Deze van oorsprong natuurlijke Holocene systemen langs de diverse takken van de Rijn en Maas zijn door de bedijkingen van de rivieren en de polderbemalingen in historische tijden geïntensiveerd. De flux

Figuur 33: Hydrologische weergave van de doorsnee door Over Flakkee - beneden Betuwe >


3
3'
43A 43B 43B 43E 43E 43F 43F 37H 38C 38C 38D 38D 38G 38G 38H 38F 38F 39C
Grevelingen
Haringvliet
Oude Maas
Noord
Alblas
Peurs. Vliet
Sm. Vliet
Giessen
Merw. Kanaal
4 4'
5 5'
6 6'
16 63 12 48 87 35 29 21 24 16 186/350 488 493 -21 -10 -melk 262 -11 -16 -20 177 503
+10m
-10m
20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 200 210
NZ
G
HV
W
M
W
C
C
G
i
R
Fa
S
B
F

en zijn in het algemeen in smalle stroken binnendijks langs de rivieren het grootst en fluctueren met de wisselende rivierpeilen. Grondwaterwinningen langs deze riviertakken vormen kleinere afzonderlijke, kunstmatige stromingsstelsels die hierop gesuperponeerd zijn. Ze worden geheel of gedeeltelijk door oeverfiltraat gevoed.

Grevelingen Systeem: Dit zout/brakke estuariene systeem intrudeerde voor de afsluiting in het kader van de Deltawerken onder getijdewerking in de aangrenzende lage polders van Flakkee. Het peil is nu achter dammen gestabiliseerd en het water zal langzaam van kwaliteit veranderen en daardoor als gevolg t.z.t. de hieruit gevoede kwelstromen eveneens.

Haringvliet Systeem: Het Haringvliet Systeem was oorspronkelijk zout tot brak en ook nu nog is dat grotendeels de samenstelling van het grondwater in de aangrenzende polders. Na de afsluiting van dit estuarium is het snel verzoet door Waalwater en geleidelijk zal het opdringende zoete front de zout/brakke vulling van dit stromingsdomein verzoeten door verdringing. Ook hier zullen de fossiele zoete watervoorkomens in de inversies mee uitgespoeld worden door het indringende Haringvliet/Waal-water.

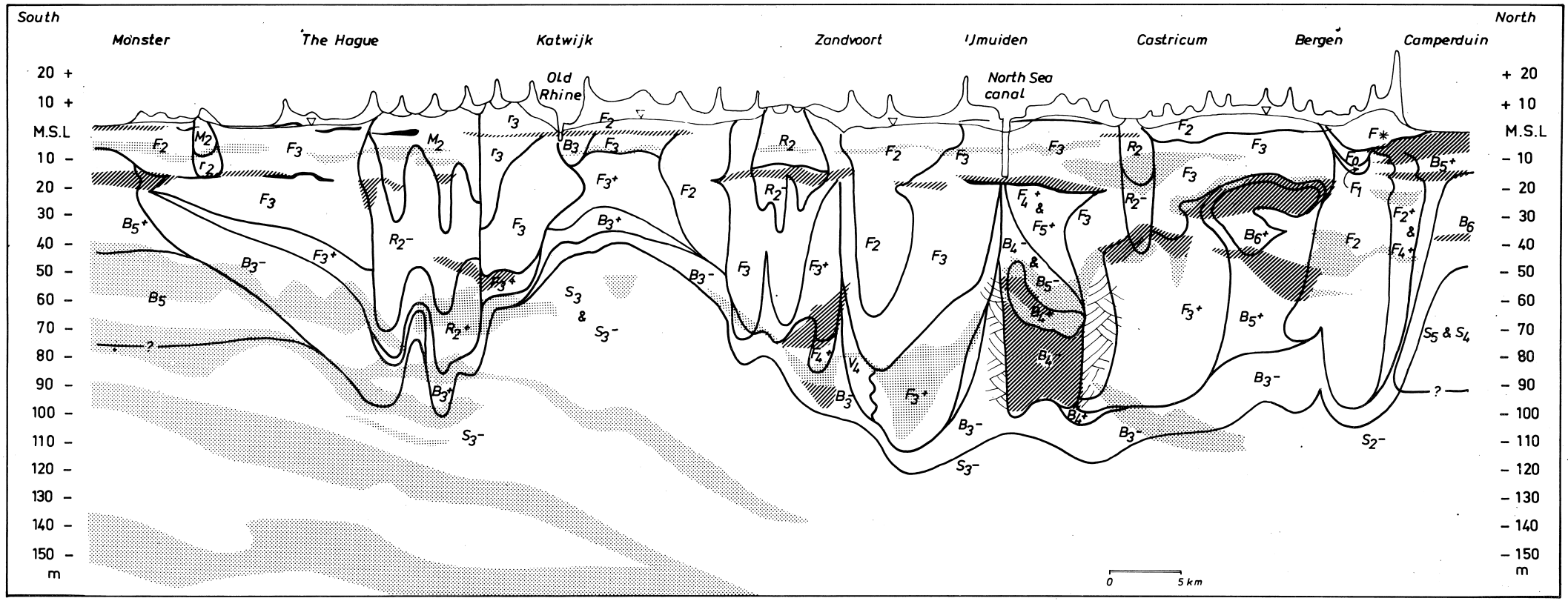
7.4.4. Profiel door de Hollandse duinen

In het profiel met beschrijving volgens Stuyfzand (fig. 34) over de jonge duinen is de zoetwaterlens op vijf plaatsen relatief dun. Deze plaatsen zijn de oude zeegaten met of zonder smalle duingordel bij Monster, bij Katwijk en Camperduin, een stagnerende kleirijke zone tussen Castricum en Bergen en het in-dustriegebied van IJmuiden met een vroeger sterke uitputting van de zoetwatervoorraad en een sinds 1885 sterk drainerend Noordzeekanaal.

De chemische karakteristieken van het grondwater, hier ingedeeld volgens een vereenvoudigde classificatie van Stuyfzand, verschaffen informatie over bewegingen van zoet- en zoutwaterfronten die hebben plaatsgevonden of nog plaatsvinden (een '-' achter het watertype duidt op verzilting, een '+' op verzoeting). Onder de zoetwaterlens hebben het brakke en het zoute water verziltende kenmerken. Hierboven, aan de onderzijde van de zoetwaterlens, is het overheersende watertype F3+, wat wijst op een zoetwaterindringing die aan de verzilting vooraf ging. Op het verzoetende F3+ water liggen de evenwichtswatertypen F2 en F3. De duinwaters met een zeer lage alkaliteit, de typen F* en F1, komen alleen in de kalkarme duinen ten noorden van Bergen voor. De belangrijkste hydrologische voedingsgebieden hebben tot grote diepte evenwichtswaters. Dit geldt speciaal voor de watermassa's met betrekkelijk lage alkaliteit van het type F2 op grote diepte. De lage alkaliteit wijst op een geringe wisselwerking met slechtdoorlatende lagen daar die in het algemeen de alkaliteit verhogen.

Kunstmatig geïnfiltreerde oppervlaktewaters van elders zijn diep doorgedrongen, met name bij Den Haag, Katwijk, Zandvoort en Castricum. Bij Monster is een kunstmatige infiltratie vanuit bekkens pas later begonnen en heeft het infiltraat het tweede watervoerende pakket nog niet bereikt. Maaswater verving in 1976 het Rijnwater bij Den haag en in 1983 het polderwater bij Monster. Het Rijnwater in het tweede watervoerende pakket heeft in het algemeen verziltende kenmerken (R2-) als het duinwater met lage Na en Cl gehalten verdringt (bij Zandvoort en Castricum). Bij Den Haag verdrong het eerste Rijnwater (1955) bij

*Figuur 34: Lengteprofiel door de Hollandse duingordel met de ruimtelijke verdeling van watertypen in de periode 1977-1987, gebaseerd op ca. 500 monsters uit 100 piëzometernesten. De watertypenclassificatie is vereenvoudigd door het weglaten van subtypen. F = zoet, B = brak, S = zout, R = Rijn en M = Maaswater. *, 0 - 5 is een maat voor de totale hardheid, '+', '-' = verzoetend resp. verziltend water. Voorbeelden: B3- = brak, verziltend water met matig hoge alkaliteit; F5+ = zoet, verzoetend water met zeer hoge alkaliteit; S2 = zout evenwichtswater met matige alkaliteit >*


South
North
Monster
The Hague
Katwijk
Old Rhine
Zandvoort
IJmuiden
North Sea canal
Castricum
Bergen
Camperduin
20 +
10 +
M.S.L
10 –
20 –
30 –
40 –
50 –
60 –
70 –
80 –
90 –
100 –
110 –
120 –
130 –
140 –
150 –
m
+ 20
+ 10
M.S.L
– 10
– 20
– 30
– 40
– 50
– 60
– 70
– 80
– 90
– 100
– 110
– 120
– 130
– 140
– 150
m
0
5 km

aankomst in het tweede watervoerende pakket brak water (oorspronkelijk het gevolg van overonttrekking). Het watertype is hier derhalve verzoetend (R2+).

LEGENDA (alleen voor dit hoofdstuk)

zeer zoet grondwater Cl tot ca 20 mg/l

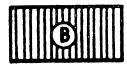
zoet grondwater Cl 20 - 300 mg/l

zoet grondwater met indringing van zeer zoet grondwater

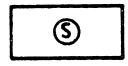
zoet grondwater met indringing van brak grondwater

brak grondwater Cl 300-10 000 mg/l

brak grondwater met indringing van zoet grondwater (verzoeting)



brak grondwater met indringing van zout grondwater (verzilting)



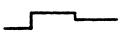
zout grondwater Cl meer dan 10 000 mg/l

zout grondwater met indringing van zoet grondwater (verzoeting)

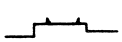
chloride inversie

grondwater monster

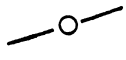
schematisch aangegeven duinen en strandwallen



polderpeil



oppervlakte water



systeemgrens

zeer schematische stroomlijn

Namen van hydrologische systemen (tussen haakjes de naam van het systeem zoals op bijlage 1 en in appendix C is aangegeven)

brakke en zoute systemen

NZ Noordzee Syst.	NW Nieuwe Waterweg Syst. (NZ)
HV Haringvliet Syst.	G Grevelingen Syst. (GS)

duinsystemen

N Noordwijkse Duinsyst. (DZ)	H Haagse Duinsyst. (HD)
OV Oostvoorns Duinsyst.	Ou1 Ouddorp Duinsyst. (OG)
Ou2 W Ouddorp Duinsyst. (WG)	

rivier- en meersystemen

B/W Braassemer/Westeinder Syst	OR Oude Rijn Systeem
HY Hollandse Yssel Syst.	R Rijn Syst. (RS)
Gi Giessen Systeem (GS)	W Waal Systeem (WL)
M Maas Systeem (MS)	

overige systemen

Z Zoetermeer Systeem (ZS)	Ro Rotterdam systeem (SR)
C Carboon Systeem	

Literatuur[2]

Promes, P., 1988, Modelstudie hydrologische systemen in Centraal Zuid-Holland, DGV-TNO, OS 88-21.

Ruiter, J.C. de (1986). Hydrologische systeemanalyse in Centraal Zuid-Holland. Prov. Waterstaat van Zuid-Holland/ Vrije Universiteit

Ruiter, J.C. de, 1988, Hydrologische systeemanalyse van Zuid-Holland, TNO-DGV, Rapport in voorbereiding.

Stuyfzand, P.J., 1988, Hydrochemical evidence of fresh and salt water intrusion in the coastal dunes aquifer system of the Western Netherlands. Proc. SWIM 10 symposium, Gent 1988, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift (in druk).

[2] Verwijzingen naar het kaartmateriaal zijn in de Literatuur te vinden.

8. Grondwaterstromingsstelsels in het Zuidwestelijke Deltagebied

8.1. Zeeuws-Vlaanderen

Vanuit Vlaanderen dringen drie zoete grondwaterstromingsstelsels Zeeuwsch-Vlaanderen binnen: in het westen het Sluis Systeem (SL), daaraansluitend het Jeronimuspolder Systeem (JP) en verder naar het oosten het Systeem van St. Jansteen (JS).

In het midden van Zeeuwsch-Vlaanderen vormt het kanaal van Gent naar Terneuzen het voedingsgebied voor het gelijknamige systeem (GT) met een westelijke stroomtak in de richting van de Braakman en een oostelijke tak naar De Vogel.

De noordelijke begrenzing van de vier genoemde systemen vormt in grote lijn de zuidelijke begrenzing van het Westerschelde Systeem (WE). Dit zoute tot brakke systeem dringt met een viertal takken Zeeuwsch-Vlaanderen vanuit het Noorden binnen:

a) de Breskens-tak (BR) tussen en mogelijk onder de nog te bespreken Systemen van Cadzand en van de Hoofdplaat;

b) de Biervliet-tak (BI) in de richting van de Passageule en de Braakman;

c) de Eendragts-tak (ET) ten oosten van het kleine Systeem van Terneuzen/Zaamslag in de richting van de Orthenesche Kreek en De Vogel;

d) de Saaftinge-tak (ST) ten oosten van het kleine Systeem van Kloosterzande, eveneens in de richting van De Vogel.

De vier kleinere systemen langs de Westerschelde, die het laatstgenoemde opdelen in een aantal stroomtakken zijn het gevolg van een relatief hogere terreinligging zodat locaal toch infiltratie kan optreden.

Het Cadzandsysteem (CZ) heeft nog een klein zoet kerntje bij de duinrest aan de kust maar is verder grotendeels gevuld met brak tot zout water.

Het Hooftplaatsysteem (HP) ten Oosten van Breskens heeft eveneens een verzoetende brakke kern en stroomt in de richting Oostburg.

Een klein systeem (TZ) met een zoete kern wordt gevormd door het hogere deel van Terneuzen en de Zaamslag iets ten oosten daarvan.

Een laatste klein locaal verzoetend systeem (KZ) is het hogere terreingedeelte van Kloosterzande aan de Westerschelde.

8.2. Walcheren, Noord- en Zuid-Beveland

8.2.1. Algemeen

De belangrijke oppervlaktewatersystemen, die als voedingsgebieden voor de landinwaarts gerichte grondwaterstromingsstelsels fungeren zijn resp.:

a) de zoute Noordzee (NZ) met een gemiddeld peil van ongeveer 0 m NAP;

b) de zoute tot brakke Westerschelde (WE) met een gemiddeld peil van 5 cm + NAP;

c) de zoute Oosterschelde (OS) met een gemiddeld peil van ongeveer 1 cm - NAP;

d) het brakke Veerse Meer (VM) met een zomerpeil rond NAP en een winterpeil van ongeveer 70 cm - NAP.

Binnen de dijken vormen hogere, jongere polders en kreekinversieruggen kleinere gravitatieve zoete en brakke grondwaterstromingsstelsels met afvoeren naar nabijgelegen diepere polders. Op Walcheren komen zoetwaterzakken onder de duinen voor. In het oosten van Zuid-Beveland dringt het zoete water vanuit het infiltratiegebied van de Brabantse wal bij Bergen op Zoom binnen.

8.2.2. Walcheren

Onder de zuidwestelijke en noordwestelijke duinen komen twee zoetwatersystemen voor, gescheiden door een zoute tak van het Noordzee Systeem (NZ). Zowel het Zuidwestelijke Duinsysteem van Walcheren bij Westkapelle (ZW) als het tot 20 m diepte zoete Noordwestelijke Duinsysteem van Walcheren bij Oostkapelle (NW) met zijn uitloper naar Serooskerke voeren hun water hoofdzakelijk af naar het centrum van Walcheren, voorzover het niet onttrokken wordt voor de drinkwatervoorziening. Ze zijn gescheiden door een zoute tong vanuit het Noordzee Systeem, die eveneens naar het centrum van het eiland reikt.

Vanuit het Veerse Meer is sinds de afsluiting in plaats van een stroomtak van het Oosterscheldesysteem nu een afzonderlijk stromingsstelsel ontwikkeld met takken naar Walcheren en naar Noord- en Zuid-Beveland (VM).

Aan de zuidzijde van Walcheren dringt een zoute stroomtak van de Westerschelde (WE) onder de dijk door het eiland binnen.

8.2.3. Noord-Beveland

Aan de zuid- en westzijde van Noord-Beveland dringt een stroomtak van het Veerse Meer Systeem (VM) binnen. Aan de noord- en oostzijde is een stroomtak van het zoute Oosterschelde Systeem (OS). De laatste omstroomt het kleine, tot 15 m diepte nog zoete Systeem van Colijnsplaat (CP).

Enigszins verzoet zijn de brak/zoute kleinere infiltratie Systemen van Kamperland (KL) en van Kortgene (KG) als gevolg van de relatief iets hogere terreinligging.

8.2.4. Zuid-Beveland

De jongere, hogere poldergebieden die als een naar het noordoosten geopende hoefijzervormige krans om de oudere, lagere polders rond Goes heenliggen vormen een tot 20 m diep verzoet stromingsstelsel (PB). Het voedingsgebied van het systeem loopt vanaf Wilhelminadorp via Lewedorp, Heinkenszand, Ovezande, 's-Gravenpolder, Goes en Kapelle-Biezelinge naar Wemeldinge.

Verder oostelijk is opnieuw een verzoetend infiltratiesysteem op een relatief hoger gelegen polderstrook; het Systeem van Krabbendijke/Frederica polder/Rilland (FP).

Aan de oostzijde tussen het Kreekrak en de Brabantse Wal dringt het zoete water vanuit het stromingsstelsel van de Brabantse Wal (hier tot het Kempisch Microcuesta systeem (KMc) gerekend) op naar het westen via een brede verzoetende overgangszone onder de slecht doorlatende deklaag.

Aan de zuidzijde van het schiereiland vormt een stroomtak van het Westerschelde Systeem (WE) de grondwaterinvoer voor een doorgaande strook van polders.

Aan de Noordzijde heeft het Oosterschelde Systeem (OS) drie afzonderlijke stroomtakken, die Zuid-Beveland binnendringen:

a) de meest westelijke tak dringt de hoefijzervormige laagte bij Goes binnen en wordt omsloten door het verzoetende systeem van de hogere omranding;

b) de middelste tak beslaat het gebied tussen de zoete uitloper van Wemeldinge en het verzoetende Systeem van Krabbendijke/Frederica polder/Rilland. Het grenst aan de zuidzijde aan het Westerschelde Systeem;

c) de oostelijke tak dringt vanuit het Noordwesten het Kreekrakgebied binnen tussen Rilland en Woensdrecht en grenst in het zuiden eveneens aan een stroomtak van het Westerschelde Systeem.

8.2.5. Schouwen-Duiveland

Schouwen-Duiveland maakt deel uit van vijf grotere hydrologische systemen:

a) het Schouwense Duin Systeem (SC). Dit zoetwaterinfiltratiesysteem heeft een zoetwaterzak van ongeveer honderd meter diepte opgebouwd en stroomt af naar de Noordzee en naar het lage poldergebied aand de zuidoostrand van de duinen;

b) de Noord-Schouwense tak van het zoute Noordzee Systeem, die tussen het Duinsysteem en de Haringvlietdam naar het centrum van de polder Schouwen ten Noorden van Serooskerke loopt;

c) het Grevelingen Systeem (GS) dat met een Noord-Schouwense en een Noord-Duivelandse tak vanuit het noorden het eiland binnendringt tot in de laagste delen van resp. de polder Schouwen en de polder Vierbannen;

d) het verzoetende, brakke tot zoute Schuddebeurs Systeem (SB), dat in een smalle strook van hogere polders ten oosten van de lijn Brouwershaven-Zierikzee het poldergedeelte van het eiland in twee grote compartimenten scheidt. Het deelt daarmee zowel het Oosterschelde-systeem aan de zuidkant als het Grevelingensysteen aan de noordkant op in twee stroomtakken;

e) het verzoetende brakke tot zoute Bruinisse Systeem (BS) aan de oostpunt van het eiland, dat afvoert naar de omliggende lagere polders.

8.2.6. Tholen

Tholen maakt deel uit van drie stromingsstelsels:

a) het Oosterschelde Systeem (OS) met een Noord-Tholense en een Zuid-Tholense tak, die elkaar in het centrum van het schiereiland ontmoeten;

b) een verzoetend systeem van een hoger gedeelte rond Spijkenisse-St Annaland aan de noordwestelijke rand als scheiding tussen de beide stroomtakken van het Oosterschelde-systeem (SA);

c) een brak/zoete uitloper van de Brabantse Wal, behorende tot het Systeem van de Kempische Microcuesta, aan de oostzijde (KMc).

8.2.7. St Philipsland

Het schiereiland behoort tot twee stromingsstelsels:

a) het ondiepe, verzoetende brak/zoute Systeem van Anna Jacoba-

polder (AJ) aan de iets hoger westzijde dat naar het oosten afvoert;

b) het Oosterschelde-systeem dat met een noordelijke en een zuidelijke St. Philipsland-tak binnendringt naar het lagere oostelijke poldergedeelte.

8.2.8. Goeree-Overflakkee

Op Goeree-Overflakkee zijn de volgende stromingsstelsels te onderscheiden:

a) het kleine zoete Westelijke-Goereesche Duinsysteem (WG) met afstroming naar de Noordzee;

b) het veel grotere, zoete Oostelijke Goereesche Duinsysteem (OG) met afstroming naar de Noordzee in het noorden en naar de Grevelingen en de polders bij Ouddorp aand de zuidoostzijde. De dikte van de zoetwaterzak bedraagt hier maximaal 40 m;

c) het zoute Noordzee Systeem (NZ) met een kleine tak tussen de beide duinsystemen en een grotere Noord-Goereesche tak tussen het oostelijke Duinsysteem en de Haringvlietdam naar het lage midden tussen Ouddorp en Stellendam;

d) het Grevelingen Systeem (GS) dringt langs de volle lengte van het eiland tot aan de Grevelingendam aan de zuidzijde met een stroomtak het eiland binnen;

e) het zoute Oosterschelde Systeem (OS) dringt met een stroomtak het resterende zuidoostelijke deel van Over-Flakkee binnen;

f) het verzoetende Kraayer Systeem (KS), gevoed door infiltratie in een hogere polderstrook ten Noorden van Dirksland;

g) het thans zoete Haringvliet Systeem (HV) heeft een tweetal takken naar het zuidwesten: de noordwestelijke Overflakkee-tak en de zuidoostelijke Overflakkee-tak, gescheiden door het Kraayer Systeem.

Ten NW en NO van Oude Tonge komen vrij uitgestrekte, zoete tot brakke opduikingen voor in de ondergrond, die tevens als zoete kwelarrealen in een recent regionaal onderzoek van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding zijn gekarteerd (Werkgroep Zuid-Holland 1988). Het betreft hier waarschijnlijk geen afzonderlijk systeem maar het verdringen en uitstromen van fossiel zoet water uit de onderliggende Kreftenhije Formatie vanaf een diepte van enkele tientallen meters onder invloed van de huidige stromingsstelsels.

8.2.9. Tiengemeten

Op het eiland Tiengemeten heeft zich sinds de afsluiting van het Haringvliet een ondiep zoetwaterstromingstelsel in lensvorm ontwikkeld (TG).

8.2.10. Voorne-Putten-Hoekse Waard

Voorne-Putten en de Hoekse Waard hebben de volgende grotere stromingsstelsels:

a) het zoete Oost-Voornse Duinsysteem (OV) op de kop van Voorne met een uitloper bij Rockanje en een zoet kwelvenster rond het Voorns kanaal bij Heenvliet;

b) het nu zoete Haringvliet Systeem (HV) met een Voornse stroomtak ten westen van het Spuien een Hoekse waard-tak ten oosten daarvan;

c) de zout/brakke tak uit de Nieuwe Waterweg, gevoed vanuit het Noordzee Systeem aan de noordzijde van Voorne.

d) het zoete Oude Maas Systeem (OM), dat het noordelijke en oostelijke deel van de Hoekse Waard voedt en verzoet.

Literatuur

Grondwaterkaart van Nederland (uitgave TNO-DGV):

1982, 47O,48,49W,53O,54W,55W	Zeeuwsch-Vlaanderen
1984, 36H,42WO,43W	Goedereede Zierikzee Willemstad
1985, 48,49W,43c en d	Middelburg, Bergen Op Zoom

Werkgroep Zuid-Holland, 1988, Wateraanvoerbehoefte Zuidhollandse Eilanden en waarden, ICW Wageningen, rapport in voorbereiding.

Geomorfologische kaart van Nederland (Stiboka/RGD)

1984, 49	Bergen op Zoom
1986, 42, 47, 48	Middelburg, Zierikzee, Cadzand
1987,	Zeeuwsch-Vlaanderen

9. Grondwaterstromingsstelsels in Noord-Brabant

9.1. Inleiding

Vanuit de Belgische Kempen dringen twee grote stromingsstelsels Noord-Brabant binnen: in het westen het Systeem van de Microcuesta van de Kempen (KMc), in het oosten het Systeem van het Kempisch Plateau (KP). Beiden doorstromen ten dele Tertiaire en Oud-Pleistocene afzettingen en worden bedekt door jongere stelsels in Jong-Pleistoceen en Holoceen. Ze reiken met hun uitlopers noordwaarts tot aan de Maas.

Grotere systemen die binnen Noord-Brabant hun voedingsgebieden hebben zijn resp.:
a) het Drunense Duinen Systeem (DD) in Holocene stuifzandcomplexen;
b) het Mid-Brabantse Rug Systeem (MR) in Pleistocene dekzanden;
c) het Weert Systeem (WT) in Pleistocene dekzanden;
d) het Peelschol Systeem (PS) in Pleistocene dekzanden en Holocene hoogvenen (een complex systeem met twee grotere subsystemen: het Oss Systeem en het Venray Systeem).

Talrijke kleinere, locale systemen zijn op bovengenoemde systemen gesuperponeerd, waarbij de laatsten vaak met kwelvensters in de lage delen tussen de opliggende systemen weer aan de dag treden.

9.2. Grondwaterstelsels vanuit het Tertiair gevoed

9.2.1. Systeem van de Microcuesta van de Kempen (KMc)

Dit Tertiair/Pleistocene systeem heeft een zuidelijke stroomtak die afvoert naar het Belgische Scheldebekken en een noordelijke stroomtak, die tot ver in Belgie tot Turnhout reikt en de stroomgebieden van de Roosendaalse en Steenbergse Vliet, de Aa of Weerijs en de Mark beslaat. Het aaneengesloten infiltratiegebied ten westen van de Gilze Rijen-breuk van dit supraregionale systeem verloopt hoefijzervormig (Oosterhout-Turnhout-Kalmthout-Bergen op Zoom) en heeft twee noordwaartse ruggen als uitlopers, die resp. de Rucphen stroomtak en de De Meer stroomtak voeden. De diepere watervoerende pakketten worden door deze stromingsstelsels doorstroomd. De uittreding vindt plaats in de benedenlopen van de beken en langs de overgang Pleistoceen/Holoceen.

9.2.2. Systeem van het Plateau van de Kempen (KP)

Het hoge Kempisch Plateau met Tertiaire afzettingen, gedeeltelijk bedekt door Maasgrinden, vormt een zeer belangrijk infiltratiegebied. De noordzijde watert af naar Nederland en vormt een belangrijke grondwaterstroom, die zich ten zuiden van Eind-

hoven splitst rond het Mid-Brabantse Rug Systeem. De hoofdtak buigt noordoostwaarts af, versmalt en verdiept zich zoals blijkt uit het verloop van het zoet-zout grensvlak en stroomt vervolgens de Centrale Slenk in. De kleinere tak van de splitsing stroomt noordwaarts en wordt vervolgens tegen het Drunense Duinen Systeem (DD) afgebogen met een tak naar het NO richting Den Bosch en een tak naar het NW richting Maas.

Het grondwater van het Kempisch Plateau stroomt aan de noordoostzijde ten zuidoosten van het Weert Systeem (WT) naar de Maas in Midden-Limburg onder en tussen een groep kleinere systemen door. Aan de oostzijde gaat een stroomtak direct naar het Maasdal in Zuid-Limburg.

9.3. Grondwaterstelsels gevoed vanuit het Pleistoceen

9.3.1. Drunense Duinen Systeem (DD)

De grote infiltratie in dit systeem heeft een duidelijke lens veroorzaakt onder dit systeem. Het radiaal afstromende systeem vormt een barriere voor de afgesplitste noordelijke stroomtak van het Kempisch Plateau Systeem. De laatste wordt daardoor gedwongen gedeeltelijk op te kwellen, zich te opnieuw te splitsen en verder af te buigen naar 's-Hertogenbosch en naar het noordwesten.

9.3.2. Mid-Brabantse Rug Systeem (MR)

Dit systeem blokkeert de noordelijke tak van het Kempisch Plateau Systeem en splitst die in tweeën. Het infiltratie gebied van dit systeem is een hogere strook dekzand in ZW/NO richting bij Eindhoven, bedekt met vele resten van heidecomplexen. Locale stroomtakken voeden direct aangrenzende kwelgebieden maar (sub)regionale takken met kwelvensters komen eveneens voor, o.a. in de Dommelbeemden.

9.3.3. Weert Systeem (WT)

De hoge opwelving van Weert ligt dwars over de Centrale Slenk. De NW tak van dit systeem stroomt naar het NW door de bovenste delen van de opvulling van de Centrale Slenk. De ZO-tak voert ondiep af naar de Tungrooyse Beek en dieper onder kleinere systemen door naar de Maas in Midden-Limburg. De supraregionale stroming door Roerdalslenk/Centrale Slenk vanuit de hogere infiltratiegebieden aan de oostzijde van de Maas voert onder het Weert Systeem door naar het NW in de richting 's-Hertogenbosch. De zeer slecht doorlatende Brunssum kleien onder het Weert Systeem maken de tegengestelde stroomrichtingen in onder- en bovenpakket bij Weert mogelijk. Stroomafwaarts van het Systeem van Weert voegen de afgebogen hoofdtak van het Kempisch Plateau Systeem en het water vanuit de Roerdalslenk zich onder de kleinere bedekkende systemen samen in de diepere delen van de Cen-

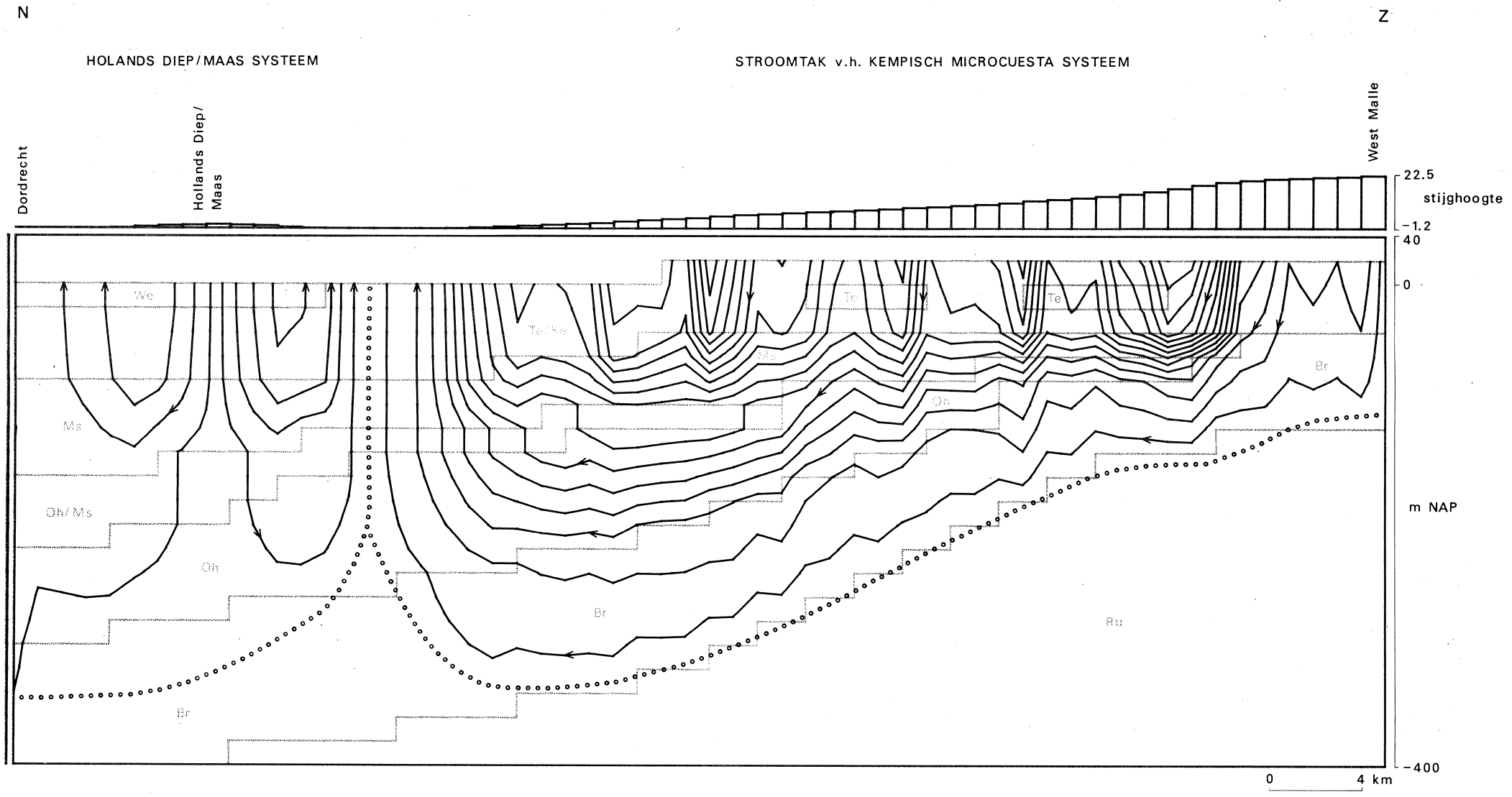
trale Slenk. Binnen het Weert Systeem vormt wegzijging van Maaswater vanuit de Willemsvaart nog een kunstmatig gesuperponeerd stromingsstelsel.

9.3.4. Peelschol Systemen Complex (PS)

Dit systeem is in feite een complex van grotere en kleinere, vooral locale systemen, die over de Peelrandbreuk uitstromen in de hogere niveau's van de Centrale Slenk en aan de oostzijde naar het Maasdal afvoeren, waar ze grenzen aan het Maas Systeem. Grotere eenheden hierbinnen zijn de subsystemen van Oss en van Venray, die vooral uit de COLN-kaarten goed naar voren komen. Door de ondiepe ligging van slechtdoorlatende lagen reikt het Peelschol Systeem niet diep en ligt de zoet-zoutgrens relatief hoog in het profiel.

Van de oorspronkelijke stromingsstelsels vanuit natuurlijke hoogveenkussens op de Peel zijn slechts rudimenten over. Grote delen van het Peelschol Systeem zijn kwalitatief ernstig aangetast door overbemesting in de laatste decennia.

Profiel West Brabant: West Malle (België) – Hollands Diep – Dordrecht



9.4. Profielen

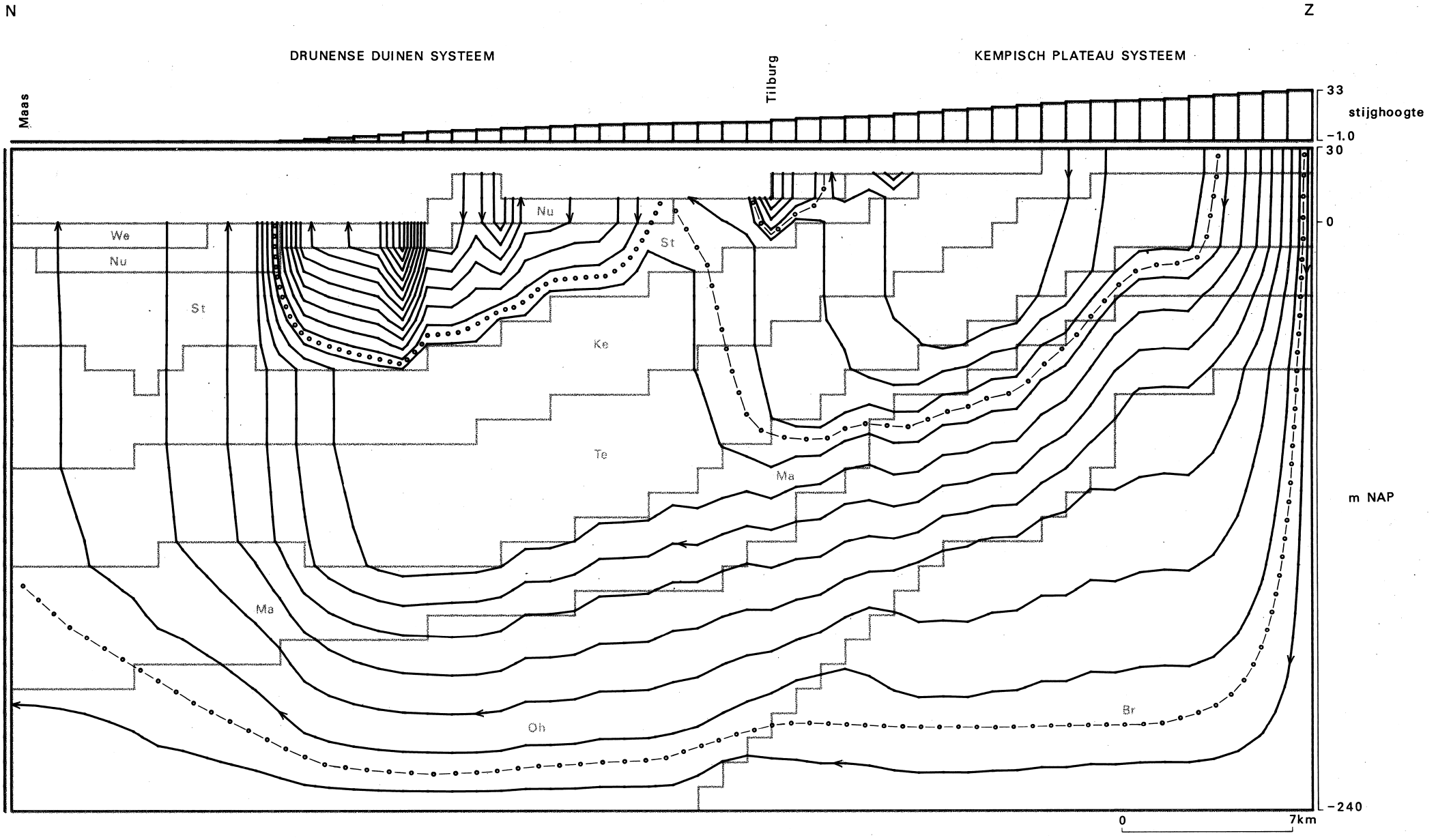
9.4.1. Profiel West Brabant : Westmalle (Belgie) - Hollands Diep (Figuur 35)

In dit van zuid naar noord lopende profiel is het Kempisch Microcuesta Systeem dominerend. In het noorden ligt het kleinere Hollands Diep/Maas Systeem ertegen aan en erop. Talrijke kleinere, ondiepe, locale systemen die in de grotere zijn ingebed komen door de gekozen schaal van het profiel niet tot uiting.

De voeding in het Belgische gebied en het Nederlandse grensgebied passeert eerst de matig- tot slecht doorlatende deklagen van de Tegelen/Kedichem formaties en splitst zich dan in twee grote stroomtakken met grote horizontale uitbreiding door de goed doorlatende formaties van Maassluis en Oosterhout. De bovenste en kortste stroomtak passeert opnieuw de slecht doorlatende deklagen aan de rand van de hogere Pleistocene gronden en komt als kwel in de benedenlopen van de beken en langs de overgang met het aangrenzende lage Holocene gebied als kwel omhoog. De diepste en langste stroomtak met een geringere flux en lage snelheid volgt vooral de Oosterhout Formatie en in mindere mate nog de Formatie van Breda naar het noorden en noordwesten totaan het Maas/Hollands Diep Systeem. In de slecht doorlatende Rupel Formatie treedt vrijwel geen stroming meer op. Het grensoverschrijdend karakter van de diepe grondwaterstroming is opvallend.

Figuur 35: Schematische weergave van de hydrologie in de doorsnede Westmalle - Hollands Diep. De stroomlijnen van kleine systemen zijn niet weergegeven <

Profiel midden Brabant: Kempisch Plateau – Drunense duinen – Maas



9.4.2. Profiel Midden Brabant: Kempisch Plateau - Drunense Duinen (figuur 36)

De grote grondwaterafvoer uit het Belgische Kempisch Plateau splitst zich in een oostelijke hoofdtak die via Eindhoven naar de Centrale Slenk in de richting 's-Hertogenbosch stroomt en een kleinere, westelijke tak die via dit profiel naar het noorden in de richting van de Maas stroomt.

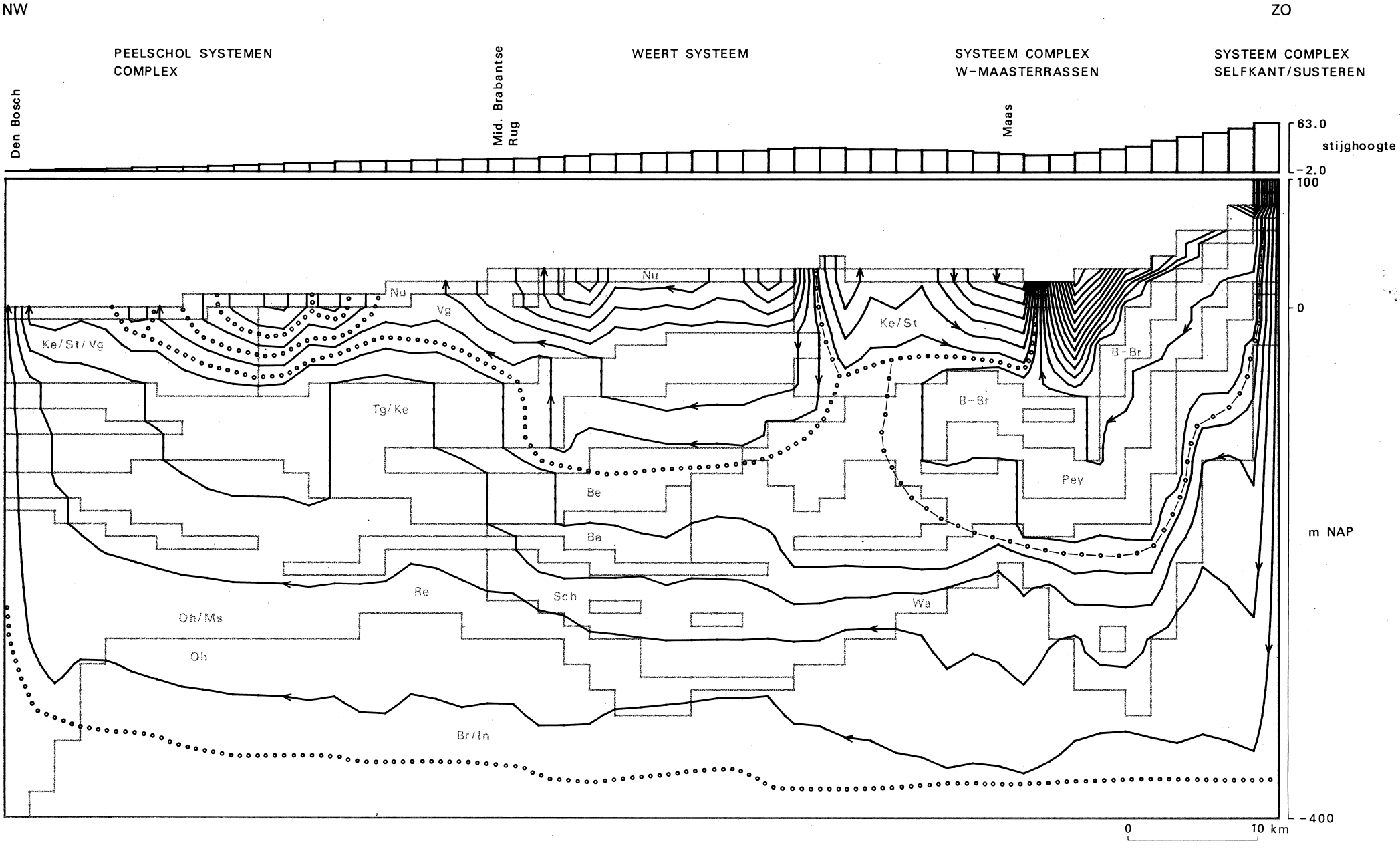
Het Kempisch Plateau Systeem heeft in dit profiel (figuur 36) 4 stroomtakken:

a) De kortste, ondiepste,locale tak die aan de voet van de plateau helling omhoog komt ten zuiden van een uitloper van het Mid-Brabantse dekzand rug Systeem;
b) De daaronderliggende stroomtak, die onder het Systeem van de Mid-Brabantse Rug doorloopt en in de volgende depressie, ten zuiden van het heuvelcomplex van de Drunense Duinen, opkwelt;
c) De daar weer onderliggende lange stroomtak, die onder de Drunense Duinen doorloopt en in het rivierengebied rond de Maas omhoog komt. Deze tak is de belangrijkste omdat die over grote afstand gebruik kan maken van de goed doorlatende Formatie van Maassluis en het volledige hoogteverschil tussen de top van het Kempisch Plateau en de Maas overbrugt.
d) Tenslotte is er nog de langste, diepste en traagste stroomtak die vanaf de waterscheiding op het Plateau tot in het centrum van het rivierengebied zal reiken via de diepere Formaties van Oosterhout en Breda.

<u>Het Drunense Duinen Systeem:</u> Dit eveneens zoete systeem met relatief sterke voeding in de duingebieden hangt als een lens in het Kempisch Plateau Systeem. De verticale uitbreiding beperkt zich tot de basis van de goed doorlatende Formatie van Sterksel. Het systeem is sterk asymmetrisch van vorm met een klein locaal systeem onder het hoogste deel.

Figuur 36: Hydrologische situatie in de sectie Kempisch Plateau - Drunense Duinen. Binnen het Systeem van het Kempisch Plateau vallen een aantal stroomtakken te onderscheiden <

Profiel: Midden Limburg – Weert – 's Hertogenbosch



9.4.3. Profiel Midden-Limburg - Weert - 's-Hertogenbosch (figuur 37)

Het Systeemcomplex van Selfkant/Susteren en Koningsbosch: Dit systeem behoort met het Kempisch Plateau Systeem tot de langsten van Nederland. De lange, diepe, langzaam stromende tak wordt gevoed in het hoge grensgebied met Duitsland ten zuidoosten van de Maas bij Roermond/Sittard. De tak stroomt onder de Maas door en eindigt in een kwelvenster bij 's-Hertogenbosch na de hele Centrale Slenk doorstroomt te hebben. In de slenk onttrekken vele openbare waterwinningen aan dit nog schone systeem. Een korte, ondiepe tak met een sterke flux stroomt uit in het Maasdal bij Roermond.

Het Systeem complex van de westelijke Maasterrassen: Aan de westelijke oever van de Maas bij Roermond ligt een complex van kleinere, ondiepe systemen over het Systeem van Selfkant/Susteren en de uitlopers van het Kempisch Plateau Systeem in de Centrale Slenk heen en stroomt af naar het zuidoosten naar de Maas. Deze tegengestelde stroomrichting in het bovenpakket is mogelijk door de aanwezigheid van de zeer slecht doorlatende Brunssum Formatie die de systemen met tegengestelde stroomrichting erboven en er beneden scheidt.

Het Systeem van Weert: De hogere terreinrug bij Weert, nog versterkt door wegzijging vanuit de Willemsvaart, voedt een vrij groot, tamelijk ondiep stromingsstelsel met een kleine, diepere regionale tak naar de Maas in Midden-Limburg en een ondiepe locale stroomtak tot aan het complex van de westelijke Maasterrassen.

Naar het noordwesten stroomafwaarts in de Centrale Slenk lijkt het systeem zich in dit profiel nog ver voort te zetten met nog halverwege een venster tussen uitlopers van de systemen van de Mid-Brabantse Rug en van het noordwestelijke complex van de Peelschol. De vrij ingewikkelde situatie in en rond de Centrale Slenk maakt dat dit profiel slechts als een benadering kan worden beschouwd en vereist voor een nauwkeuriger beeld een driedimensionale modellering met FLOSA. Voor een gedetailleerd beeld is ten zuidoosten van Weert reeds een detailkartering beschikbaar (Kok, 1988).

Figuur 37: Hydrologische situatie in de sectie Midden-Limburg-Den Bosch. Opvallend is de diepe stroomtak van het Systemencomplex van Selfkant/Susteren en Koningsbosch <

Literatuur[3]

DGV-VU, 1988, Hydrologische systeemkartering Westelijk Noord-Brabant. Serie Technische en Beleidsrapporten, diverse auteurs, DGV-VU, Delft/Amsterdam.

Flink, J., 1985, De verspreiding van Arseen in het grondwater in zuidelijk Noord-Brabant. Rapport nr. 840348004, RIVM, Leidschendam.

Garritsen, A.C. (1988a). Stromingsstelsels en waterkwaliteit in de Dommelbeemden. Consulentschap NMF Noord Brabant, Tilburg.

Heslinga, W., 1988, rapport over stromingssystemen aan de Noord- en Oostrand van het Kempisch Plateau in voorbereiding aan de VU, Amsterdam.

Iwaco, 1987, Eindrapport Geohydrologisch onderzoek Centrale Slenk, Fase 2, Rapport 30.349-A t.b.v. Prov. Waterstaat Noord-Brabant.

Joosten, J.H.J., T.W.M. Bakker, 1987, De Groote Peel in verleden, heden en toekomst, rapport 88-4, SBB Utrecht.

Kok, W. (1988), rapport over stromingssystemen in Midden-Limburg in voorbereiding aan de VU, Amsterdam.

Stuurman, R.J., A. Biesheuvel en J.L. van der Mey (1987). Hydrologische systeemkartering van het Merkske stroomgebied, Noord-Brabant. Eco-Hydrologisch onderzoek van het Merkskedal; Hydrologische systeemanalyse ten dienste van het natuurbeschermingsbeleid (hoofdstuk 3). Uitgave: Benelux Economische Unie, sectie "natuurbehoud en landschapsbescherming", werkgroep "inventarisatie beleidsinstrumenten grensoverschrijdende natuurgebieden".

Stuurman,R.J., A.Biesheuvel, J.L. van der Mey (1987). Hydrologische systeemkartering westelijk Noord-Brabant. Analyse van westelijk Noord-Brabant op kaartschaal 1 : 200.000, Deelrapport 2. Rapport OS 87-42, DGV-TNO/VU.

[3] Verwijzingen naar het kaartmateriaal zijn in de Literatuur te vinden.

10. Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Limburg

10.1. Inleiding

De zeer complexe geologische bouw met vele gesteentetypen, sterke breukwerking, verkarsting en de invloeden van mijnbouw en grote waterwinningen daarop gesuperponeerd, maken een inventarisatie van de hydrologische systemen in korte tijd moeilijk en benaderend[4].

Voorlopig kunnen de volgende grondwaterstromingsstelsels onderscheiden worden, gaande van oud naar jong en van Zuid-Zuidoost naar Noord-Noordwest. Bij deze inventariserende systeemanalyse is dankbaar gebruik gemaakt van de uitvoerige gegevens van een meerjarig hydrologisch onderzoek in dit gebied vanuit de Landbouwuniversiteit Wageningen (o.a. Nota et al. 1988; van Dorenmalen et al. 1988). De bedekkende loesslaag is weggedacht als er in het vervolg over dagzomend gesteente wordt gesproken in dit gebied.

10.1.1. Carboon Systeem

De bovenlopen van Voer, Geul, Gulp en Berwine ontspringen in de sterk versneden afhelling van het Massief van Brabant/Ardennen, waar het oude sokkel met o.a. Devonische en Carbonische gesteenten dagzoomt. Op de flanken van de dalhellingen komt in de verweringslaag een ondiep grondwatersysteem voor dat op de rivieren afwatert. Dit deel ligt grotendeels in de aangrenzende gebieden van Belgie en Duitsland.

Diepere circulaties in de oudere gesteenten langs breuken voeren thermo-mineraal water dat in geisoleerde vensters via bronnen omhoog komt. Bronnen van dit type komen voor bij Aken, Visée/Mons, bij de monding van de Berwine in de Maas, bij Maastricht en werden vroeger aangetroffen in de mijnschachten van de kolenmijnen in Zuid-Limburg. De verder noordelijk in de ondergrond gelegen voorkomens zoals die blijken uit de ligging van het zoet-zout grensvlak en thermische anomalieen, zijn reeds eerder besproken.

10.2. Systemen met voedingsgebieden in het Krijt

In de op het oude masssief liggende Krijtgesteenten van Zuid-Limburg heeft zich een hoefijzervormige krans van stromingsstelsels gevormd:

---

[4] Op bijlage 1 is het gebied tussen het Ubachsberg- en het Heerlen/Brunsummer-Heide Systeem (UB en HB) wit gelaten, omdat hier nauwelijks grondwaterstroming voorkomt.

10.2.1. Pietersberg Systeem (PB)

Dit is een klein, smal systeem op de westelijke Maasoever in de hogere strook tussen Jekerdal en Maasdal in de Krijtkalk van de Formatie van Maastricht. De afvoer is voornamelijk naar het Maasdal gericht.

10.2.2. Plateau van Margraten Systeem (PM)

Dit zeer grote grondwaterstromingsstelsel is door het Maas Systeem begrensd aan de westzijde en door de Voer, de Gulp en de Geul aan resp. de Z-, O-, en N-zijde. De min of meer radiale afwatering van het systeem met een tot tientallen meters dikke onverzadigde zone vindt plaats in ten dele verkarste kalken van de Formaties van Gulpen en van Maastricht. Het water treedt uit via contactbronnen op de onderliggende slechtdoorlatende Formatie van Vaals of in de flanken en dalbodems van de omringende rivierdalen. Op de plaatsen waar water van het systeem vroeger via bronnen naar buiten tradt, zijn nu een aantal grote pompstations geplaatst die het water afvangen.

10.2.3. Heyerath Systeem (HS)

Dit systeem in met name de kalken van de Formatie van Gulpen in het heuvelland tussen Gulp en Geul stroomt af naar de beide beken. Aan de oostzijde treedt het water vooral uit via contactbronnen op de onderliggende Formatie van Vaals.

De geringe aanwezigheid van bronnen aan de noordzijde wijst op direct uittreden in de beekbedding of op een diepere ondergrondse afstroming in noordwestelijke richting langs het Geuldal.

10.2.4. Vijlenerbosch Systeem (VB)

Dit systeem in de Formatie van Gulpen wordt omsloten door de bovenloop van de Geul aan de zuidwestzijde en de Sinselbeek aan de noordoostzijde. Talrijke bronnen vormen de uitvoer van het systeem op het contact met de onderliggende slechtdoorlatende Formatie van Vaals.

10.2.5. Bochholzerheide Systeem (BH)

Van dit systeem, in de Formatie van Gulpen en de Kunrader faciës van de Formatie van Maastricht, dat ligt tussen de Eyserbeek en de Sinselbeek is slechts weinig bekend. Er zijn slechts enkele bronnen op het contact met de Formatie van Vaals. Mogelijk zijn vroegere bronnen als gevolg van onttrekkingen bij Roodborn en Gulpen verdwenen. Eventueel bestaat er nog een die-

pere stroomtak onder het naastliggende Ubachsberg Systeem door in noordwestelijke richting.

10.2.6. Ubachsberg Systeem (UB)

Dit systeem watert af naar Eyserbeek, Geul en Geleenbeek en wordt naar het noordwesten begrensd door een slechtdoorlatende strook van de Tertiaire Formatie van Tongeren tussen Heerlen en Valkenburg. Langs deze noordwestelijke grens zijn veel bronnen door de intensieve grondwaterwinningen verdwenen. Een toekomstige detailstudie en modellering zal moeten uitwijzen of dit systeem nog een diepe stroomtak naar het NW onder het aangrenzende Systeem van het Plateau van Schimmert door heeft.

10.2.7. Schimmert-Plateau Systeem (SP)

Dit systeem sluit in het oosten aan op het Ubachsberg Systeem en wordt verder aan het oppervlak begrensd door Geul, Maas en Geleenbeek. Het centrale infiltratiegebied ligt in de matig doorlatende Tertiaire Formatie van Breda/Heksenberg. De onderliggende slechtdoorlatende Tertiaire Formatie van Rupel vormt een verbroken krans rond het centrale deel. Daarop treedt grondwater via bronnen uit, met name aan de ZW en NW randen. De belangrijkste stroomtak en afvoer verloopt echter naar het NW tussen de Geullebreuk en de Elsloobreuk naar de Maasdalrand. In de kern van het infiltratiegebied van dit systeem treedt waarschijnlijk nog voeding op naar de onderliggende Krijtformaties. Zo voedt dit systeem ook een diepe stroomtak door de kalken naar het NW. In hoeverre dit water verder stroomafwaarts nog opkwelt in het Maasalluvium en zich daar mengt met het water van het Maas Systeem of dat het uiteindelijk ondergronds de Centrale Slenk instroomt in NW richting zal nader onderzoek en modellering moeten uitwijzen. Winningen van het Emma- en mogelijk ook van het Maurits/DSM complex vormen kunstmatige uitvoeren van de diepe stroomtak van dit systeem.

10.2.8. Kasen/Bunde Systeem (KB)

Een klein stromingsstelsel langs de oostoever van de Maas ten NW van Meerssen, in een hogere tektonische schol met de Formatie van Tongeren ten ZW van de Geullebreuk, vult de ruimte op tussen het Schimmert-Plateau Systeem en het Maas Systeem. Een reeks bronnen van dit systeem met een eigen afwijkende chemie voedt de Ravenbeek.

10.2.9. Limbricht Systeem (LB)

De hogere infiltratiestrook tussen de Maas en de Geleenbeek ten W van Geleen in de Tertiaire Formatie van Breda-Heksenberg kan

waarschijnlijk beter als behorend tot een afzonderlijk systeem dan als een uitloper van het Schimmert-Plateau Systeem beschouwd worden. De menselijke invloed in dit systeem via met name het industriecomplex van de voormalige staatsmijn Maurits en DSM is waarschijnlijk groot.

10.2.10. Heerlen/Brunssummer-Heide Systeem (HB)

De strook tussen Geleenbeek en Rode Beek tot Sittard ligt in de trapvormig verbroken zuidelijke randzone van het Centrale Slenk-Roerdalslenk breuksysteem waar de Tertiaire Formaties van Breda-Heksenberg en van de Kiezeloöliet dagzomen. Van dit grote systeem is nog weinig bekend. Ondiepe stroomtakken voeren af naar de nabijgelegen beken. Diepere infiltratie zal de grote regionale grondwaterstroming via de Centrale Slenk in de richting Helmond-Den Bosch voeden.

10.2.11. Selfkant/Susteren Systeem (SK)

Ten noorden van de Rode Beek vormt het hogere Duitse gebied van de Selfkant tot aan de Saeffeler Bach een infiltratiezone van een langgerekt systeem in de richting van de Maas bij Susteren.

10.2.12. Koningsbosch Systeem (KB)

Dit systeem tussen Wurm/Rur, Saeffeler Bach en Maas valt bij nader detail onderzoek waarschijnlijk uiteen in meerdere kleine stromingsstelsels. Thans is hiervan nog zeer weinig bekend. Wel is bekend dat vanuit dit hoge gebied een snelle, ondiepe stroomtak naar de Maas stroomt en een diepe, langzame tak onder de Maas en het Weert Systeem door de Centrale Slenk instroomt (zie fig. 37).

10.2.13. Geulmonding Systeem (GM)

Terwijl de rivier de Geul in boven- en middenloop de omgeving draineert, is dat in de benedenloop juist omgekeerd. De rivier verliest water aan de ondergrond en fungeert als invoer voor een kegelvormig grondwaterstromingsstelsel naar de Maas toe dat tot in het onderliggende Krijt doordringt. De onttrekking van de papierfabriek Weert vormt daarbinnen een klein, gesuperponeerd, kunstmatig stromingsstelsel.

10.2.14. Maas Systeem (Zuid-Limburgse deel) (MS)

Dit min of meer lintvormige, zeer dynamische systeem wordt gevormd door de Maas met zijn sterk wisselende peilen en stuwpanden in wisselwerking met het grondwater in de aangrenzende ri-

vierafzettingen en delen van de oudere ondergrond. Afhankelijk van de Maasstanden en de plaats langs de rivier treedt in tijd en ruimte afwisselend toestroming en oeverinfiltratie op. De grondwaterstromingsstelsels die vanuit de hogere omliggende gebieden naar het Maasdal afvoeren vervingeren op die wijze dynamisch met het Maas Systeem langs de rivier en veroorzaken zo zônes met mengwater. In tijden van lage Maasafvoeren krimpt het Maas Systeem in, bij langere hoogwaterperioden dijt het systeem uit door verdringing en opstuwing van de aangrenzende systemen.

10.2.15. Dekzand en duinsystemen op de Oostelijke Maasoever (Omd)

Op de oostelijke Maasoever tussen Maas en Niers vanaf de stuwwal van Nijmegen tot Roermond ligt een snoer van locale grondwaterstromingsstelsels. Deze zijn voornamelijk gevormd vanuit infiltratiegebieden in culminaties van dekzanden met deels daarop Holocene stuifduincomplexen op een ondergrond van de formaties van Urk, Veghel en Sterksel. Op de hogere delen komen podzolen, enkeerdgronden en duinvaaggronden voor. De situatie vertoont veel overeenkomst met de strook rivierduinen langs de oude IJssel. De systemen hebben kwelzones met locaal veenvorming rond de hogere delen. Aan de oostzijde voeren ze af naar Niers, aqan de westkant vormt het sterk fluctuerende Maassysteem een dynamische begrenzing. Kwel naar een oude Maasloop aan de oostkant van de Maas (noordoostelijk van Venray) heeft tot een grote langgerekte strook met veengroei aanleiding gegeven.

10.2.16. Kempisch Plateau Systeem (Zuid-Limburgse deel) (KP)

Tussen Maastricht en Maaseik grenst het Kempisch Plateau Systeem aan de linkerzijde van het Maasdal aan het Maas Systeem en vervingert daarmee in het Maas alluvium.

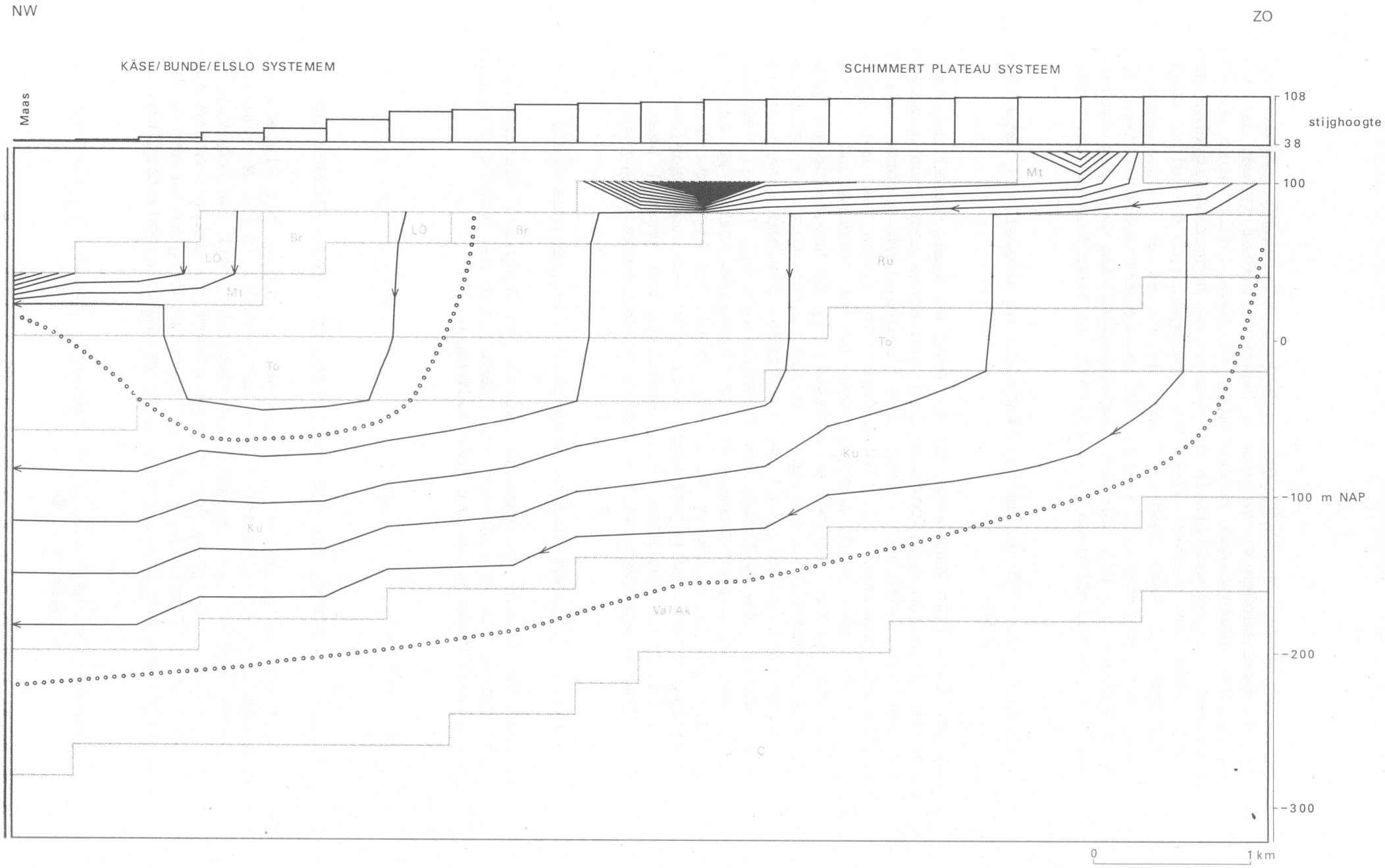
10.3. Profiel

10.3.1. Profiel Plateau van Schimmert - Maas (Figuur 38)

In dit 8km lange en 440 m diepe profiel vanaf het Plateau van Schimmert in het Zuidoosten naar het Maasdal in het Noordwesten zit een aanzienlijk topografisch hoogteverschil van ongeveer 90 m. De loess, de goed doorlatende oudere en jongere Maasafzettingen en de Tertiaire Formatie van Heksenberg/Breda aan de bovenzijde van het profiel voeren de grootste grondwaterfluxen.

Figuur 38: Schematische hydrologische doorsnede Plateau van Schimmert - Maas >

Profiel: Plateau van Schimmert – Maas



Een kleiner, maar niet onaanzienlijk deel zijgt weg naar de onderliggende Krijtkalken van de Formatie van Maastricht. Het daar onder liggende Onder-Krijt en het Carboon zijn zeer slecht doorlatend en vrijwel niet betrokken in de regionale stroming.

Het Systeem van het Plateau van Schimmert: Dit systeem heeft een ondiepe, korte stroomtak door de loess, de goed doorlatende Maasafzettingen en de iets minder doorlatende Tertiaire Formatie van Breda/Heksenberg. Het water treedt uit in een krans van bronnen in de flanken van het plateau op het contact met de onderliggende, slechtdoorlatende Tertiaire Rupel Formatie. Bronnen langs de Vliekerwaterlossing en de Keutelbeek vormen de westelijke begrenzing van de ondiepe stroomtak. Het centrale en oostelijke deel van het Plateau van Schimmert voeden een diepe, regionale stroomtak, die via de Krijtkalken naar het Westen en Noordwesten loopt in de richting van de Centrale Slenk. De kortste verblijftijd van het water in deze diepe stroomtak is binnen het afgebeelde profiel slechts ongeveer honderd jaar. Stroomlijnenpatroon en verblijftijden zijn echter sterk afhankelijk van de gekozen doorlatendheid voor de Formatie van Rupel. Deze is echter slecht bekend en moet hier hoger worden genomen dan verwacht (k hor. = 0.05 m/d, k vert. = 0.005 m/d) om te voorkomen dat alle water bij de modellering uitsluitend via de ondiepe stroomtak naar de bronnen wordt afgevoerd. Dit laatste is echter niet waarschijnlijk.

Een waterbalans studie van het Plateau van Schimmert met zijn omliggende bronnen kan in combinatie met hydrochemische en isotopen-studies definitief uitsluitsel geven over de onderlinge sterkte van de ondiepe en diepe stroomtakken van dit systeem.

Het Systeem van Kase/Bunde/Elsloo: Dit kleinere systeem op de rand van de Maasvallei loopt door löss, Maasafzettingen en de Tertiaire Formatie van Breda/Heksenberg en voedt een reeks bronnen parallel aan de voet van de dalwand van de Maas langs Ravenbeek, Spoorbeek en Hemelbeek, overlopend op het contact met de zeer slechtdoorlatende Formatie van Rupel. Naar het Noorden sluit het Limbricht Systeem aan op het Systeem van Kase/Bunde/Elsloo.

Literatuur

Dorenmalen, N. van, M. Inckel, H. Ligeon, P. Richters, 1988, Bijdragen van het Plateau van Margraten en het Plateau van Schimmert aan de voeding van de Maas, Vakgroep Bodemkunde en Geologie, L.U. Wageningen.

Grondwaterkaart van Nederland (uitagve DGV-TNO):
1974, 57O,58O,58W Roerdalslenk
1977, 60W,6OO Sittard
1980, 61,62W,62O Maastricht, Heerlen

Nota, D.J.G. & B. van de Weerd, 1978, A hydrogeological study in the basin of Gulp Creek - A reconnaissance in a small catchment area 1. Groundwater flow characteristics - Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen. The Netherlands: 78-20.

Nota, D.J.G. & B. van de Weerd, 1980, A hydrogeological study in the basin of Gulp Creek - A reconnaissance in a small catchment area 2. Fissured rocks and their anisotropic behavior in catchment studies - Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen. The Netherlands: 80-15.

Nota, D.J.G., & A.M.G. Bakker, 1983, Surface- and groundwater in the basin of Gulp Creek - Some major characteristics- Geol. & Mijnbouw 62: 511-517.

Nota, D.J.G., A.M.G. Bakker, B. van de Weerd, G. Halma, 1988. A hydrological study in the basin of the Gulp Creek - A reconnaissance in a small catchment area 3. Chemistry of surface- and groundwater - Agr. Univ. Wag. Papers 87-7, 46p.

Provinciale Staten van Limburg, 1987, Grondwaterplan Provincie Limburg.

11. Telescopische of "inzoom" benadering m.b.v. de hiërarchische opbouw van de hydrologie

De hiërarchische opbouw van de hydrologische structuur door een laagsgewijze stapeling van: (a) zeer vele kleine,locale stromingsstelsels op, (b) een volgende laag van meerdere, grotere, subregionale stelsels op, (c) een laag van enkele grote tot zeer grote regionale en supraregionale stromingsstelsels biedt grote mogelijkheden tot een efficient beleid en beheer van alle aspecten van watersystemen.

Indien eerst het grotere hydrologische kader waarbinnen een probleemgebied, b.v. een bedreigd natuurgebied, ligt bekend is, kunnen de randvoorwaarden in ruimte en tijd voor de stroming naar en uit een dergelijk gebied goed worden vastgesteld. Vervolgens wordt voortgaand gefocusseerd ("ingezoomd") op het probleemgebied qua vraagstelling, gegevensverzameling en gegevensbewerking, totdat het vereiste niveau van antwoord op een probleem is gevonden.

De hydrologische systeemanalyse biedt op die wijze een zeer efficiente methode om doelgericht met schaarse tijd, menskracht en hulpmiddelen probleemoplossend om te springen. In systeemtermen betekent dit dat vanuit een afzonderlijk, kleiner deel het grotere geheel niet kan worden begrepen. De omgekeerde hiërarchische weg van overzicht naar detail, van geheel naar de onderdelen biedt door de voortgaande verfijning bij de telescopische benadering deze mogelijkheid wèl. Anderzijds is bij een dergelijke aanpak ook steeds een inhoudelijke terugkoppeling tussen de verschillende hiërarchische niveau's en stromingsstelsels mogelijk en noodzakelijk. Enkele voorbeelden hiervan zijn recente hydrologische systeemkarteringen in Salland, ZW Drenthe, Zuid-Holland, het Merkske dal en de Dommelbeemden in Noord-Brabant.

Bij de karteringen van het Merkske en de Dommelbeemden werd, omdat het grotere hydrologische systeemkader aanvankelijk nog ontbrak, begonnen met gedetailleerd, locaal onderzoek in en rond de te beschouwen natuurterreinen. Al spoedig bleek dat de hydrologische situatie en systeemopbouw ter plaatse alleen konden worden begrepen als het omliggende gebied in een veel wijdere omgeving eveneens werd bestudeerd. Pas toen dit bredere kader beschikbaar kwam kon de situatie worden doorzien en een afgewogen, hiërarchisch opgebouwd pakket van beleids- en beheersadviezen worden geformuleerd.

Dit is dan ook de reden dat in de hiërarchische reeks van regio naar stroomgebied naar beekdal naar individuele beemd iedere schakel zijn eigen plaats en functie heeft en in de juiste tijd/ruimtelijke volgorde bestudeerd dient te worden.

In figuur 39 (Garritsen, 1988a) wordt zichtbaar hoe voor het CRM reservaat "De Dommelbeemden" bij St Oedenrode drie sterk

verschillende schalen van ruimte en tijd nodig zijn om de hydrologische situatie in dit reservaat te begrijpen.

In de kern van het gebied komt schoon kalkrijk kwelwater omhoog dat vele kilometers verder in het infiltratiegebied van het regionale grondwaterstromingsstelsel van de Mid-Brabantse Dekzandrug eeuwen geleden infiltreerde. Aan de randen van de vegetatiekundig waardevolle beemden dringt een ondieper, in de laatste decennia sterk door de landbouw vervuild stromingsstelsel vanaf de aangrenzende hogere rand van het Dommeldal binnen. Binnen de beemden zijn nog weer zeer ondiepe lensvormige stromingsstelsels van recent regenwater tussen de slootjes aanwezig. Tenslotte komt het gebied bij hoogwaters van de Dommel regelmatig nog korte tijd onder vervuild oppervlaktewater.

Een landelijk-dekkende, inventariserende maar nog voorlopige hydrologische overzichtssysteemkartering kan het kader bieden voor het formuleren van landelijk beleid en beheer, b.v. bij het integrale waterbeheer en de plaats van de natuurwaarden daarin.

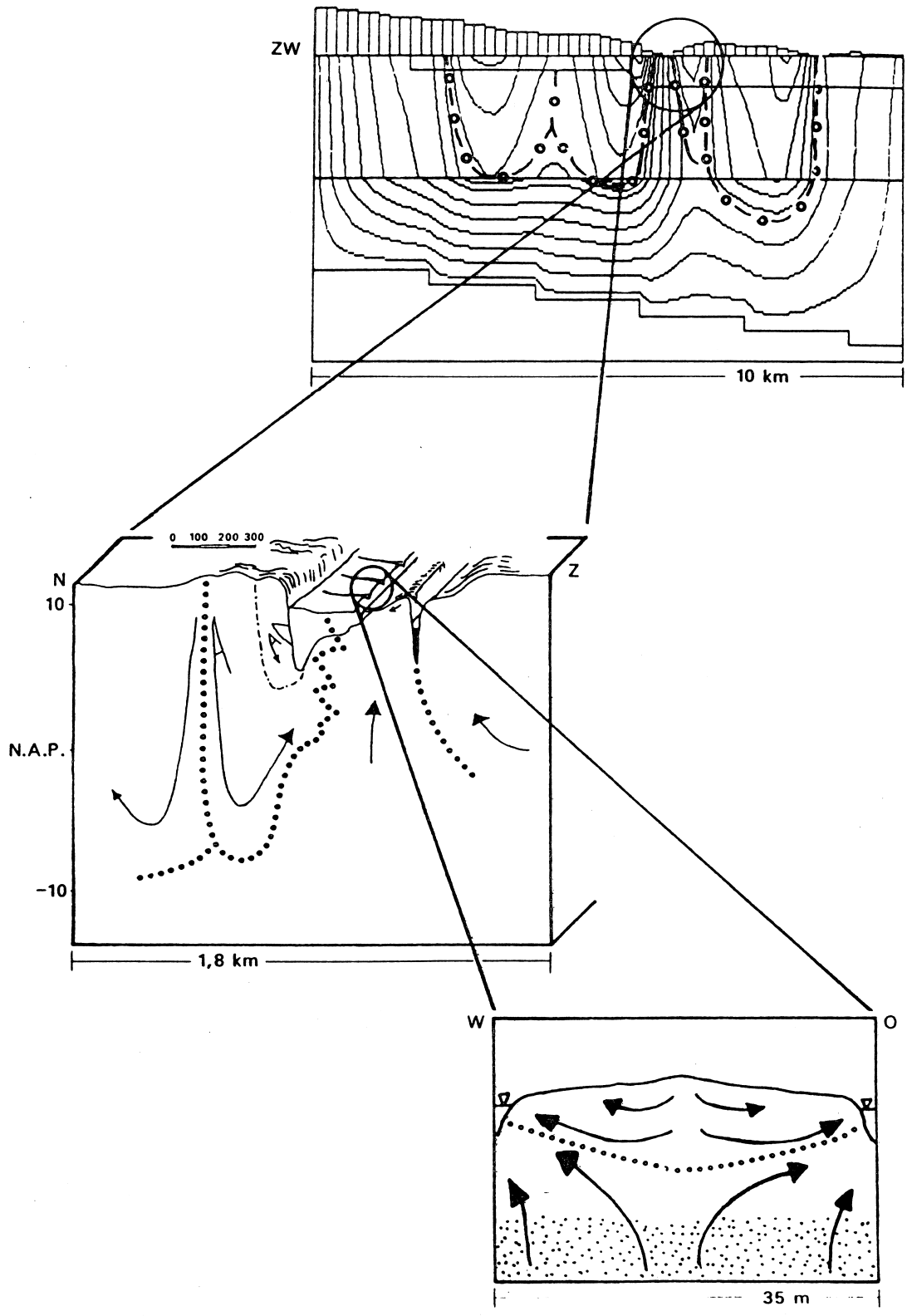
Specifieke maatregelen voor individuele natuurterreinen vereisen echter aanvullende, gedetaileerdere systeemkarteringen en modelleringen. Die kunnen direct binnen de grotere kaders geplaatst worden en vervolgens op maat worden toegesneden. Het is echter niet nodig om een hydrologische systeemkartering op schalen van 1: 10 000 of groter, zoals ten dele bij Merkske en Dommelbeemden nodig bleek, landelijk dekkend uit te voeren. Een uiteindelijke landelijke basiskartering op basis van de hydrologische systeemanalyse op een schaal van 1 : 50 000 lijkt echter noodzakelijk als fundament voor een samenhangend, doelgericht, landelijk, regionaal en locaal integraal waterbeheer.

Literatuur

Diggelen, R. van, A.P. Grootjans, 1988, Hydro-ecologisch onderzoek Gorecht. Vegetatie en grondwatersystemen. Concept rapport Lab. van Plantenoecologie, R.U. Groningen.

Garritsen, A.C., 1988a, Stromingsstelsels en Waterkwaliteit in de Dommelbeemden, Consulentschap NMF Noord Brabant, Tilburg.

Stuurman, R.J., A. Biesheuvel, J.L. van der Mey, 1988, Hydrologische systeemkartering rond beekdalen en dan speciaal met betrekking tot het Merkske. Deelrapport 3. DGV-TNO/VUA, OS 87-43.



Figuur 39: Inzoomen vanuit het overzicht over een groot gebied naar het detail. Allereerst worden grote, regionale systemen onderscheiden. Vervolgens wordt in stappen, waarbij de grote lijnen in het oog worden gehouden, naar het detail gegaan (Garritsen 1988a).

12. Kwetsbaarheid van Natuurgebieden in Relatie tot Vervuiling en Verdroging van Grondwaterstelsels

Veel voor het natuurbeheer interessante levensgemeenschappen zijn voor hun bestaan voor een groot deel afhankelijk van het regiem en de kwaliteit van het grondwater dat het gebied voedt. Als dit grondwater verandert in kwaliteit en hoeveelheid, zoals de afgelopen decennia op verschillende plaatsen is gebeurd, worden daarmee ook levensgemeenschappen die van dit grondwater afhankelijk zijn in hun voortbestaan bedreigd. Teneinde de aard van deze bedreigingen en de mate waarin deze een rol spelen vast te kunnen stellen is kennis omtrent de gevolgen van onttrekkingen en het lozen van vervuilingen onontbeerlijk. De analyse van grondwaterstromingsstelsels is daarbij een noodzakelijk hulpmiddel, o.a. ook om de ruimtelijke gedifferentieerde achtergrondkennis te verschaffen voor een aantal basisvisies op natuurbehoud en natuurontwikkeling (Van Amstel et al. 1988).

12.1. Kwetsbaarheid van Grondwaterstelsels voor Vervuiling

In onderstaande wordt nader ingegaan op de samenhang tussen vervuilingen en en het transport hiervan door grondwaterstromingsstelsels. Van belang is om hierbij inzicht te krijgen in de verbreiding, de snelheid van de verspreiding, en de uiteindelijke samenstelling van een vervuiling.

De verbreiding van een vervuiling hangt af van de volgende factoren:

- De aard van de lozing. Deze kan in een puntbron worden geconcentreerd, zoals vaak bij industrieen het geval is of als diffuse bron over een groot vlak worden uitgesmeerd (b.v. bij landbouw).
- De aard van de vervuilende stof: Slecht of niet afbreekbare stoffen zullen als ze onderweg niet irreversibel gebonden worden uiteindelijk de hele weg van inzijg- tot uitgangspunt afleggen. Goed afbreekbare stoffen kunnen onderweg omgezet worden, waardoor het vervuilde areaal, afhankelijk van de tijdsduur waarover de vervuiling plaatsvindt en het vermogen van de omgeving de stof om te zetten, beperkt kan blijven.
- De hiërarchie en de grootte van het systeem waarop de lozing plaatsvindt. Omdat de vervuiling zich in het algemeen slechts binnen éénzelfde systeem verplaatst, zal deze zich bij een lokaal, ondiep systeem minder ver uitbreiden dan bij een groot, regionaal systeem.
- De plaats in het systeem waarop wordt geloosd. Indien een vervuiling in het infiltratiegebied plaats vindt, zal het gehele systeem worden vervuild. Wanneer de vervuiling aan de uitgang plaatsvindt, dan heeft de vervuiling geen kans het systeem binnen te dringen. Bij vervuilingen tussen de in- en uitgang van een systeem zal alleen het benedenstroomse gedeelte van het systeem worden vervuild.

- Het dynamische karakter van het systeem. Indien een systeem grote fluctuaties vertoont, zal de vervuiling een sterk dispersief karakter hebben. In het geval dat een lokaal systeem wordt vervuild dat boven een groter systeem ligt, kan wanneer het systeem tijdelijk verdwijnt de pluim met vervuild water door inkrimping van het systeem buiten de lokale systeemgrens komen te liggen. Op deze manier dringt de vervuilde pluim door in het onderliggende systeem en wordt daar vervolgens door aangedreven.

In dit verband is een begripsmatig onderscheid nuttig tussen stroomlijnen en padlijnen. Bij modellering van stroomlijnen in een evenwichtssituatie van een systeem (zoals tot dusverre bij de modelleringen met FLOWNET en FLOSA-FD is gedaan) ligt de positie van alle stroomlijnen in de ruimte vast en verandert niet met de tijd. Als echter de randvoorwaarden voor de stroming in een grondwaterstromingsstelsel in de loop van de tijd veranderen (b.v. door een wijziging in de grondwatervoeding, veranderend landgebruik of door ontrekking, kunstmatige infiltratie of gewijzigd peilbeheer van oppervlaktewater) zullen de stroomlijnen zich ook schoksgewijs of geleidelijk in de ruimte verplaatsen. Bij de modellering van een dergelijke niet-evenwichtssituatie volgen de waterdeeltjes niet langer een vastliggende stroomlijn maar een z.g. padlijn door de ondergrond. Dergelijke padlijnen beschrijven de werkelijke baan van de waterdeeltjes in het geval van niet-stationaire stroming en kunnen worden opgevat als de resultante van de beweging langs deelstukken van elkaar in de ruimte en de tijd opvolgende stroomlijnpatronen. In het geval van stationaire stroming vallen padlijnen en stroomlijnen samen. Dit kan ook een verklaring geven waarom waterkwaliteitspatronen binnen grondwaterstromingsstelsels soms niet in overeenstemming zijn met de stroomlijnpatronen. De watermassa's met verschillende hydrochemische kenmerken weerspiegelen in hun ruimtelijke verbreiding nog de verplaatsingen bij één of meer voorafgaande stromingsituaties en hun posities kunnen dan wel met padlijnen maar niet met de actuele stroomlijnen worden begrepen.

De snelheid waarmee het transport van de vervuiling plaatsvindt hangt af van:
- De snelheid van de grondwaterstroming binnen een stromingsstelsel. In het algemeen is de verblijftijd in een lokaal systeem kleiner dan in een regionaal systeem.
- De interactie tussen de vervuiling en de ondergrond hangt af van chemische, vaak pH- en redox-afhankelijke reacties en de adsorptie- en desorptiekarakteristieken van de ondergrond en van het materiaal waaruit de vervuiling bestaat. In het algemeen hebben bodems die uit kleien en venen bestaan een groot, die uit zanden bestaan een klein vermogen om stoffen te adsorberen. Verder geldt dat organische stoffen en meerwaardig valente en/of zware ionen gemakkelijker worden geadsorbeerd dan b.v. éénwaardige of lichte ionen.

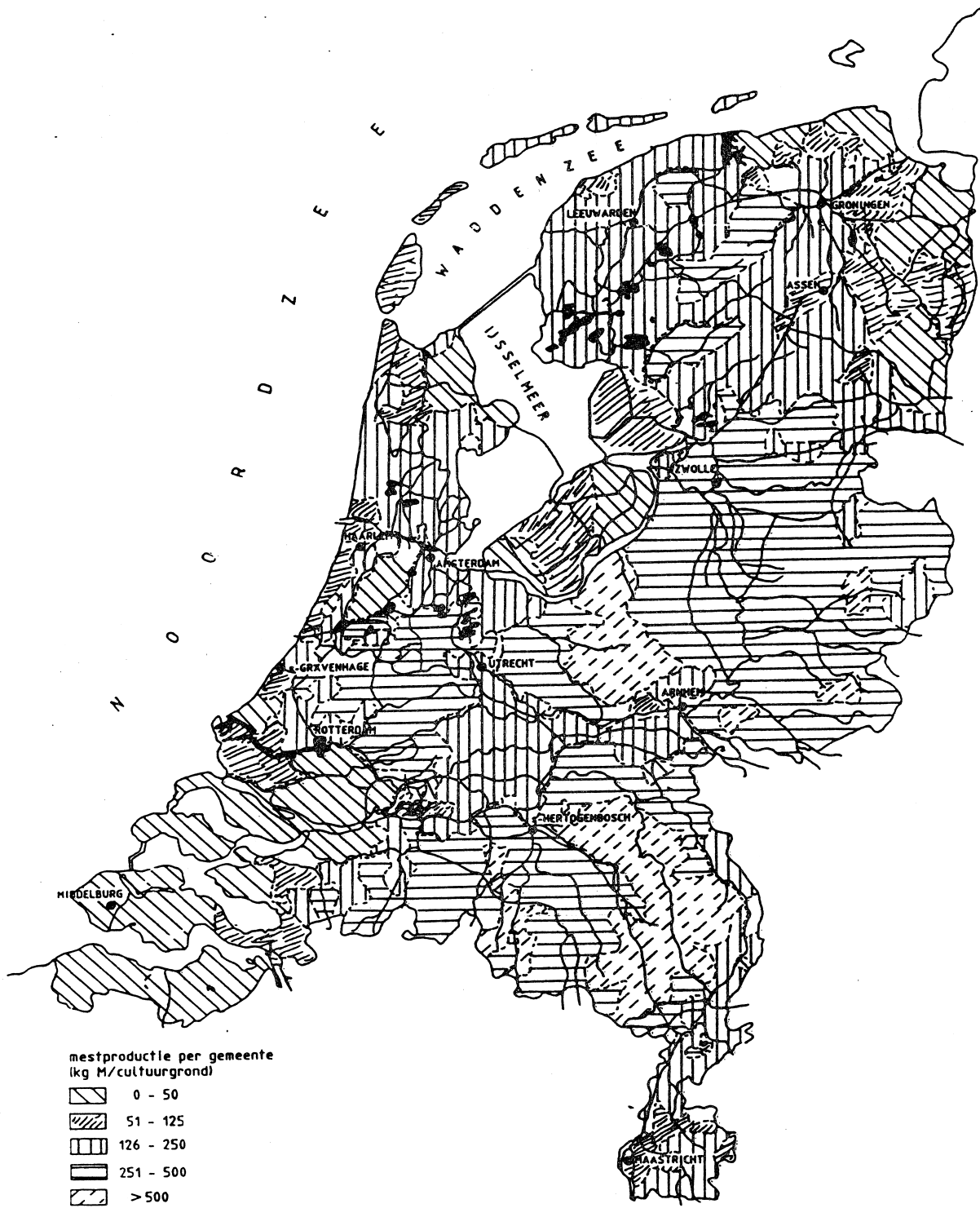
De vervuiling van grondwaterstromingsstelsels vindt grotendeels plaats op of in de nabijheid van het oppervlak en treft in de eerste plaats de zeer talrijke, kleinere, locale systemen. Op de voorlopige systemenkaart van bijlage 1 zijn die echter vanwege de gekozen kaartschaal en het grotendeels ontbreken van een systematische kartering daarvan, niet aangegeven. Deze kleinere, locale systemen, die de grotere diepere over aanzienlijke oppervlakken bedekken nemen echter wel het grootste deel van de totale grondwaterflux voor hun rekening met relatief hoge snelheden (in de orde van meters tot honderd(en) meters per jaar) en relatief korte verblijftijden (vaak in de orde van jaren tot tientallen of honderden jaren). Zij zijn in het algemeen het snelst vervuild en het kwetsbaarst, anderzijds zijn ze door hun beperkte omvang, diepte en snelle verversing eerder te reguleren en te saneren. Vervuilingen direct in de infiltratiegebieden van grotere systemen werken veel langzamer door naar de uitgangen van dergelijke systemen, maar zijn door hun grote omvang en diepte veel moeilijker te corrigeren. Na langere tijd raken dan ook grote arealen van de ondergrond verontreinigd. Juist de grondwatervoorraden, die worden gevoed door de grotere diepere stromingsstelsels, worden veel gebruikt voor de openbare watervoorziening en verdienen een gericht, op de systemen gebaseerd, beschermingsbeleid met een veel langere tijdshorizon dan vaak tot nog toe het geval was.

Bij de bestudering van afzonderlijke verontreinigingsbronnen zal dan ook steeds moeten worden nagegaan in welke systemen en op welke positie daarbinnen ze zich bevinden, en tevens of de kennis van de systemen op voldoende nauwkeurige schaal aanwezig is voor de bestudering van het probleem. Dikwijls zal plaatselijk een aanvullende kartering van de locale hydrologische systemen nodig zijn, eventueel aangevuld met een niet-stationaire modellering (dit laatste is in principe mogelijk met FLOSA-FD maar tot dusverre niet toegepast).

De uiteindelijke samenstelling van het vervuilde grondwater dat aan de uitgang van een systeem wordt aangetroffen hangt af van chemische reacties die hebben plaatsgevonden tijdens het transport in de ondergrond. Als voorbeeld kunnen verschillende reacties worden genoemd die bij omzetting van nitraat onder aërobe en anaërobe condities een rol spelen. Enkele produkten die door de omzetting van nitraat kunnen vrijkomen zijn H^+ ionen (verzuring), waardoor de pH daalt en meer carbonaten opgelost kunnen worden. Bij sterke denitrificatie kan de pH beneden 5 dalen en wordt Al uit de bodem vrijgemaakt. Bij denitrificatie onder anaërobe omstandigheden kan SO_4 vrijkomen.

12.2. Gevolgen voor Grondwaterkwaliteit door Overbemesting

In fig 40 zijn de hoeveelheden nitraat uitgezet die jaarlijks op de Nederlandse bodem terecht komen door het uitrijden van dierlijke mest. Het ernstigst worden de westelijke Veluwe en



Figuur 40: Jaarlijkse hoeveelheiden in kg Nitraat die door het uitrijden van dierlijke mestop de nederlandse bodem terecht komt (Vissers et al. 1985).

het oostelijk deel van Brabant (rond de Peel) vervuild. Ook in de Achterhoek wordt grondwater lokaal sterk door mest vervuild.

Bij de westelijke tak van het Veluwe systeem wordt een deel van het infiltratiegebied vervuild, en daarmee wordt ook de water-

kwaliteit in het benedenstroomse en het gehele uitgangsgebied bedreigt. Hetzelfde geldt voor de gehele tak die vanuit de stuwwal van Garderen wordt gevoed. De vervuiling van het grondwater vanuit de infiltratiegebieden kan vrij diep gaan en zich relatief snel verbreiden. De snelle verbreiding wordt veroorzaakt door de relatief hoge stroomsnelheden van het water en het lage adsorberend vermogen van de ondergrond.

In het oostelijk deel van Brabant wordt met name het Systeemcomplex van de Peelschol vervuild. Dit bestaat uit ondiepe, lokale systemen, die over de randen van de schol afwateren. Doordat het hier voor het merendeel de vervuiling van lokale systemen betreft reiken deze niet diep en worden derhalve de stroomtakken die vanuit het Kempisch Plateau en vanaf de oostzijde van de Maas in Limburg komen, niet aangetast.

Het gebied van de Achterhoek en de IJsselvallei bestaat voor het merendeel uit lokale systemen (glaciale-, dekzand- en duinrugsystemen). Met name de dekzand- en duinrugsystemen kunnen gedurende droge perioden droogvallen en daarna door de grotere systemen van de stuwwallen worden aangedreven. Vervuilingen die op de dekzandgebieden plaatsvinden kunnen zich op die manier verder verplaatsen dan de begrenzing die men op grond van de lokale systeemgrenzen zou verwachten.

Voor het kwaliteitsherstel van grondwaterstelsels geldt dat twee uiterste gevallen kunnen worden onderscheiden, waartussen zich een geheel scala bevindt (Engelen 1985). Deze gevallen zijn:

- Kleine lokale stromingsstelsels waarin het water snel stroomt en waarbij de ondergrond uit zand bestaat, zullen wanneer de vervuiling stopt relatief snel tot hun oude staat terugkeren.
- Grote regionale systemen met lage stroomsnelheden en veel klei of veen in de bodem, waarbij desorptie processen voor een lange nalevering zorgen, zullen veel tijd nodig hebben om tot hun oorspronkelijke staat terug te keren.

12.3. De invloed van onttrekkingen op systemen

Voor het beoordelen van de invloed van onttrekkingen op systemen moeten de volgende punten in beschouwing worden genomen:

- Het evenwicht tussen systemen onderling is een dynamisch evenwicht. Onttrekkingen kunnen dit evenwicht doen verschuiven, waarbij de ruimte die oorspronkelijk door een systeem werd ingenomen door onttrekkingen kleiner kan worden, en een aangrenzend systeem zich kan uitbreiden.

- Voor het evenwicht binnen een systeem is de verhouding tussen de grootte van het systeem en de grootte van de onttrekking van belang. Een kleine onttrekking in een groot systeem heeft wei-

nig invloed, doch een grote onttrekking in een klein systeem kan het hele systeem doen verdwijnen.

- Hierbij moet ook de plaats van de onttrekking binnen het systeem worden beschouwd. Er is een zekere speelruimte wanneer een onttrekking zich in de natuurlijke uitgang van het systeem bevindt. Wanneer de onttrokken hoeveelheid de aanvoer door kwel niet overschrijdt zullen het kwantitatieve evenwicht en de grondwaterstanden binnen het grootste deel van het systeem niet ernstig verstoord worden, is dit wel het geval dan zullen de systeemgrenzen verschuiven. De kwalitatieve gevolgen van een dergelijke relatief kleine onttrekking kunnen lokaal wel van grote betekenis zijn. In het kwelgebied kunnen bijvoorbeeld de waterkwaliteitsgrenzen ten nadele van de vegetatie verschuiven. Een onttrekking op elke andere plaats binnen een systeem zal, mits bovengenoemde verhouding voldoende groot is, eveneens effekt hebben op de omvang van het systeem en de ruimtelijke waterkwaliteisverdeling.

- Verder is het al dan niet stationaire karakter van de onttrekking van belang; een niet stationair onttrekkingspatroon kan dispersie van de systeemgrenzen veroorzaken.

- Tenslotte is de verhouding tussen de mate van (kunstmatige) aanvulling en de grootte van de onttrekking van belang. Is de aanvulling in de orde van grootte van de onttrekking, dan zal de sterkte van het systeem gehandhaafd worden. Wel kunnen nog belangrijke vormveranderingen van het systeem optreden afhankelijk van de onderlinge positie van de aanvullings- en onttrekkingspunten of -zones en hun plaats binnen het systeem. Uiteraard kunnen dan ook belangrijke veranderingen in de waterkwaliteit en in de waterkwaliteitspatronen optreden, met mogelijk grote gevolgen voor hele systemen.

Omtrent de lokatie van de onttrekkingen binnen de onderscheiden systemen kunnen de volgende algemene opmerkingen gemaakt worden:

Bij een aantal systemen valt het op dat de meeste en de grootste onttrekkingen nabij de randen van het infiltratiegebied van de systemen gesitueerd zijn. Dit is het geval bij het Glaciale Plateau Systeem, bij het Oost-Gronings Dekzand Systeem en bij het Veluwe Systeem (vergelijk bijlage 1 met fig 14).

Bij enkele andere systemen zijn de onttrekkingen juist grotendeels in het infiltratiegebied geplaatst. Het Utrechtse Heuvelrug systeem, de Duinsystemen, het Twente Systeem, het Sallandse Stuwwal Systeem, het Systeem van de Achterhoek en de kleinere Systemen van het Montferland, van St. Nicolaasga/Joure en van Vroomshoop/Hooge-Hexel zijn hier voorbeelden van. Verder valt op dat in het Twente Systeem de onttrekkingen zijn geconcentreerd in de glaciale geulen, daar hier de ondoorlatende basis

met zout water diep ligt en een relatief grote hoeveelheid zoet water wordt aangetroffen.

In Brabant valt op dat de onttrekkingen verspreid voorkomen in de verschillende systemen, behalve in het Peelschol Systeem. Dit laatste systeem bestaat uit een groot aantal kleine lokale systemen, waaruit geen waterwinning van betekenis mogelijk is.

Het overgrote deel van de resterende onttrekkingen komt voor in riviersystemen, waar oeverfiltraat wordt onttrokken.

Enkele industriele onttrekkingen komen voor in gebieden met zout of brak grondwater (o.a. Hoogovens/IJmuiden).

Literatuur

Amstel, A.R. van, G.F.W. Herngreen, C.S. Meyer, E.F. Schoorl-Groen, H.E. van Veen, 1988, Vijf visies op natuurbehoud en natuurontwikkeling. Publ. RMNO, nr. 30, 15p.

Engelen, G.B., 1985, Vulnerability and restoration aspects of groundwater flow systems, Mem 18th Gongres IAH, Cambridge 1985, XVIII, part 3, p 64-69.

Garritsen, A.C., 1988b, Permanente onttrekkingen van grondwater in Nederland, Interim rapport jan 1988, Instituut voor Milieuvraagstukken Vrije Universiteit Amsterdam.

Rolf, H.L.M, 1988, Verdroging in Nederland? Jaarverslag 1987, DGV-TNO, p 83-89.

Vissers, H.J.S.M., N.H.S.M. de Wit en W. Bleuten, 1985, Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater, Vakgroep Fysische Geografie, R.U. Utrecht.

Algemene Literatuur - opmerkingen

De gegeven literatuurverwijzingen vormen slechts een zeer klein deel van het beschikbare bestand. Een kleine selectie van de meest op het onderwerp stromingsstelsels betrekking hebbende titels biedt de geïnteresseerde lezer de mogelijkheid via de daarin opgenomen uitvoerige literatuurverwijzingen zelf verder zijn weg te zoeken.

Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO (1986). Water in the Netherlands Proc. and Information no. 37, The Hague

Elburg, H. van, G.B. Engelen, C.J. Hemker (1987). FLOWNET, Gebruikersgids versie 5, Vrije Universiteit, Amsterdam

Pedroli, G.B.M. (1987). Ecohydrologie, een overzicht. Landschap, 1987,4, 320-330.

Stuyfzand, P.J., 1986, Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing, H_2O (19) nr. 23, 562-568.

Streefkerk, J.G., W.A. Casparie (1987). De hydrologie van hoogveen systemen. Staatsbosbeheer 1987-19, Utrecht.

Tukkers, A., b.v., IWACO (1987). Herstelbaarheid van bodemverontreiniging: verblijftijden van verontreinigd grondwater in de bodem. Project 223 en 1163 Ministerie VROM, Woerden.

Zagwijn, W.H. (1975). De paleogeografische ontwikkeling van Nederland in de laatste drie miljoen jaar. K.N.A.G. Geogr. Tijdschr. IX, 3, 181-201

Zagwijn, W.H. (1986). Nederland in het Holoceen.Geologie van Nederland, Deel 1. Rijks Geologische Dienst, Haarlem. Staatsuitgeverij, Den Haag

Zijl, W. (1988). Three-dimensional flow systems analysis: Basic equations and numerical modeling. Rapport OS 88-12, DGV TNO, Delft.

Atlas van Nederland (1987) Deel 16, Landschap. Staatsuitgeverij, Den Haag.

Appendix A

Een chronologisch overzicht van hydrologische systeemkarteringen in Nederland tot medio 1988 (bijlage 2).

Hydrologische systeemkarteringen vanuit het hiërarchisch stromingsconcept van Tóth zijn in Nederland aanvankelijk vanuit de Vrije Universiteit reeds verricht voordat de methode later meer geformaliseerd en uitgewerkt zou worden (Engelen,1984; Engelen & Jones, 1986). In de tweede helft van de tachtiger jaren is de ontwikkeling versneld en verdiept door een samenwerkingsverband met DGV-TNO.

Een eerste voorbeeld van een regionale studie op deze basis was een hydrochemisch detailkartering van grond- en oppervlaktewater van de Alblasserwaard (Engelen,1963). Daarbij werden reeds de recente stromingsstelsels vanuit de omringende rivierarmen, de onderliggende schone, oudere wateren uit de aangrenzende zandgebieden en de thermo-minerale anomalie van het Carboon Systeem in het centrum onderscheiden.

In 1974 publiceerde de Vries een dissertatie over geheel Nederland waarin vooral op de relatie tussen grondwaterstromingsstelsels en het oppervlaktewaternet werd ingegaan.

In 1976 werden de stromingstelsels op de Friese Waddeneilanden in de dissertatie van Beukeboom behandeld, waarbij de uitbreidingsmogelijkheden van zoetwaterzakken in verband met de aanwezigheid van slechtdoorlatende lagen aandacht kregen.

In de periode 1977/1978 werd door Vasak (1979) een zeer gedetailleerde studie in het gebied van de Barneveldse beek verricht waarbij de schone westelijke stroomtak van het Veluwe systeem en de daarop gesuperponeerde sterk landbouwkundig vervuilde kleinere systemen konden worden onderscheiden. Bovendien bleek hier dat er daarboven nog een laag van zeer ondiepe, slechts gedurende het winterseizoen bestaande stromingsstelsels voorkwam. Chemisch en isotopenonderzoek met een nauw interval van minifilters in proefboringen was hierbij een belangrijk hulpmiddel.

Een eerste hydrologische indeling van Nederland op systeemanalytische basis werd in 1980 door Engelen voorgesteld.

In 1981 werd door Verkooyen in het kader van een stage bij Provinciale Waterstaat van Gelderland een gebiedsdekkende systeemkartering van de Boven-Betuwe uitgevoerd. Hierbij kon o.a. een venster van het Veluwe Systeem via een stroomtak onder de Boven Rijn door worden vastgesteld.

Eveneens in 1981 werd een dwarsdoorsnede door West-Nederland vanaf de kust tot het Gooi bestudeerd (Engelen,1981) waar de complexe hydrologische geschiedenis van dit gebied in geolo-

gisch perspectief werd geplaatst om de huidige zoet/zout verdeling te kunnen begrijpen. Tevens werd de zeer belangrijke rol van de ontginningsgeschiedenis en het waterbeheer in het gebied voor het ontstaan en de vervorming van stromingsstelsels uitgediept. Een methodologische ondersteuning voor de chemische aspecten van systeemkarteringen vond een aanzet (Engelen,1981).

Een proefkartering van hydrologische systemen en een uitwerking van de methodiek vond plaats voor kaartblad Arnhem-Oost op schaal 1 : 50.000 in een sindsdien nauwe samenwerking tussen DGV-TNO en de Vrije Universiteit (Engelen,1984).

In 1986 werd een hydrologische systeemanalyse van Zuidwest Drenthe in het kader van een stage bij Provinciale Waterstaat van Drenthe afgesloten door Oude Munnink. Een vertaling naar mogelijke beleids- en beheersimplicaties volgde (Oude Munnink, 1986).

Eveneens in het kader van een stage werd voor de provincie Zuid-Holland een sterk chemisch gerichte systeemkartering verricht (De Ruiter, 1986). Hierbij werd met behulp van een nieuw hydrochemisch classificatiesysteem (Stuyfzand, 1986) veel aandacht besteed aan de verzoetings- en verziltingsprocessen en een groot aantal kaarten en doorsneden van de stromingsstelsels in hydrochemische context gegeven.

Als vervolg op de proefkartering van kaartblad Arnhem Oost werd door Brouwer en Hoogendoorn (1986) een systeemkartering van Salland op overzichtsschaal uitgevoerd en op grond daarvan een uitvoerig aanvullend meetnet ter verificatie geïnstalleerd.

Een gezamenlijke kaartenbrochure van de Geologische Dienst, Stiboka en DGV-TNO getiteld 'De Bodem in Beeld' (1986) bevat een hydrologische systemenkaart van de Midden-Betuwe.

Hydrologische systemen vormen tevens een essentiële onderzoekscomponent in een langjarig samenwerkingverband Waterkwaliteits Onderzoek Loosdrechtse Plassen (WOL), in het kader van eutrofiëringsbestrijding (Engelen, 1986; Engelen et al. 1988).

In 1987 wordt een aantal systeemkarteringen afgerond, inmiddels allemaal verder uitgewerkt en ondersteund met steeds verbeterde versies van numerieke modellen zoals FLOWNET van de Vrije Universiteit en FLOSA van DGV-TNO.

Een gedetailleerd onderzoek van het stroomgebied van het Merkske in Noord Brabant (Stuurman et al, 1987) in opdracht van NMF van het Ministerie van Landbouw en Visserij in het kader van de Benelux Economische Unie varieerde in schaal van 1 : 1000 tot 1 : 100.000. Het was vooral gericht op de problematiek van de bescherming van waardevolle natuurgebieden en heeft tot een aantal concrete aanbevelingen en verdere verfijning van de onderzoeksmethodologie geleid.

Als vervolg op de systeemkartering in Zuidwest Drenthe is door Gieske (1987) een aanvullend hydrochemisch onderzoek en een uitvoerige modellering met het 3-dimensionale model FLOSA van DGV-TNO uitgevoerd. De eerder gevonden resultaten konden in grote lijn bevestigd worden en tevens verder verfijnd met behulp van de modellering.

Een onderzoek in het kader van een stage bij Prov. Waterstaat van Friesland over de hydrologie van Zuidwest Friesland vond plaats in samenwerking met het Limnologisch Instituut in verband met de eutrofiëringsproblematiek van de Friese boezem.
De belangrijke rol van de grote verschillen in polderpeilen in dit gebied voor de stromingsstelsels kon worden gedocumenteerd aan de hand van een zeer groot aantal kaarten en doorsneden op een schaal van 1 : 100.000 (Broers,1987).

Een stage onderzoek bij NMF over de hydrologische systemen in het natuurgebied van de Dommelbeemden bij St. Oedenrode in Noord-Brabant door Garritsen (1988a) laat zien hoe een 'inzoom' methodiek met schalen van 1 : 100.000 tot 1 : 1000 noodzakelijk was om tot verantwoorde beleids- en beheersadviezen voor dit natuurterrein te kunnen komen.

In 1988 is het aantal en de diversiteit van in een afsluitingsfase verkerende en juist aangevangen systeemstudies sterk toegenomen.

Een systeemkartering van westelijk Noord-Brabant in opdracht van de provincie door DGV-TNO in samenwerking met de Vrije Universiteit (Stuurman et al. 1988) behandelt in een reeks deelrapporten op schalen van 1 : 200.000 tot 1: 50.000 alle aspecten van de regionale hydrologie in verband met de wensen voor integraal waterbeheer en het bodem- en grondwaterbeschermingsbeleid.

In 1988 komen de rapporten beschikbaar van hydrologische systeemkarteringen die vanuit de Vrije Universiteit in het kader van het Belgisch/Nederlandse samenwerkingsverband Stuurgroep Wetenschappelijk Onderzoek Maas (SWOM) worden uitgevoerd sinds 1986. De regionale hydrologie van de oostelijke en noordelijke afhelling van het Kempisch Plateau en van de aangrenzende delen van Zuid Limburg wordt op schaal 1 : 50.000 behandeld door Kok (1988) en Heslinga (1988).

Het noordelijk aansluitende gebied van de Centrale Slenk is onderwerp van een inventariserende systeemkartering door DGV-TNO op schaal 1 : 200.000 (Bloemendaal,1988).

In Zuid-Holland wordt als vervolg op de systeemkartering van het Centrale deel door De Ruiter in 1986 voor de gehele provincie een systeemkartering door DGV-TNO uitgevoerd en afgerond

als basis voor het grondwaterkwaliteitsmeetnet (De Ruiter, 1988).

Eveneens in 1988 wordt het noordelijk deel van Zuid-Holland met de computercodes FLOWNET en FLOSA-FD door Promes (1988) bij DGV-TNO gemodelleerd. Er wordt een goede overeenstemming gevonden met de eerdere vooral op hydrochemie gebaseerde systeemanalyse van Zuid-Holland van de Ruiter (1986).

In Zuid Friesland komt in opdracht van de provincie een uitvoerige modelstudie als vervolg op de eerdere systeemkartering tot stand in een samenwerking DGV-TNO en VU met behulp van de modellen FLOWNET, MICROFEM en FLOSA. Hierbij wordt de invloed van grote wijzigingen in grondwaterontrekkingen, voorgenomen ruilverkavelingen, polderpeilverhogingen en vuilstortbemaling op de grondwaterstelsels in detail onderzocht (Broers,1988).

Op de linker Maasoever bij Roermond wordt in aansluiting op een eerder onderzoek door Allewijn (1986) op de rechteroever opnieuw remote sensing informatie gebruikt als een verdere uitbreiding van het onderzoeksinstrumentarium bij de hydrologische systeemanalyse (Padt, 1988). Dit alles in het kader van een verdere voortzetting van het onderzoek door SWOM. Voor 1988 en 1989 zijn in het Maasgebied verdere gedetailleerde karteringen in gang gezet en zal tevens voor de gehele afhelling van het Kempisch Plateau naar de Maas een aanvullende overzichtsstudie met behulp van Landsat en Spot satellietbeelden plaats vinden.

In 1988 of 1989 zal eveneens een langjarig, zeer uitvoerig en gedetailleerd dissertatieonderzoek van de hydrologie en hydrochemie van de Hollandse duinkust dat sterke verwantschap met de hydrologische systeemanalyse vertoont afgerond worden (Stuyfzand, 1988, in voorbereiding).

In 1988 is een vierjarig dissertatieonderzoek gestart in een samenwerkingsverband tussen DGV-TNO, RU Groningen en de Vrije Universiteit met als thema de koppeling en uitbreiding van isotopenstudies in samenhang met watersystemen van Nederland.

Eveneens in 1988 is door Schot vanuit de interfacultaire vakgroep milieukunde van de Rijksuniversiteit Utrecht een vrij gedetailleerde systeemanalyse verricht ten behoeve van het beheer van het natuurmonument Naardermeer. Hierbij kon het recente proces van brakke kwel aan de westzijde van het Naardermeer verklaard worden uit een oostwaartse verschuiving van de westelijke stroming van het systeem van de Utrechtse Heuvelrug.

De studie van de (grond-)watersystemen van Nederland in opdracht van NMF/Staatsbosbeheer (Engelen et al.,1988) vormt een eerste tussentijdse balans van de snelle ontwikkelingen op het gebied van de hydrologische systeemkartering in Nederland. Mede naar aanleiding van en als vervolg op bovengenoemde studie is in oktober 1988 begonnen met een eerste verkennende studie naar

strategische grondwatervoorraden voor de drinkwatervoorziening in opdracht van de Rijks Planologische Dienst in een samenwerkingsverband van de Vrije Universiteit en DGV-TNO (Engelen et al, in voorb.).

Literatuur

De nummers voor de literatuuropgaven verwijzen naar de bij benadering aangegeven gebieden met detailstudies op de kaart (bijlage 2).

1. Engelen, G.B. (1963). Hydrochemistry as a tool in the determination of the origin of upward seepage in the polder area Alblasserwaard (the Netherlands). Geol. en Mijnb., vol 48 (no 2) p: 226-239.

2. Beukeboom Th.J. (1976). The hydrology of the Frisian Islands. Ph. D. Thesis, Free University, Amsterdam.

3. Vasak, L. (1979). De chemische samenstelling van het grondwater in het Barneveldse Beek gebied. Basisrapport ten behoeve

van de Commissie Bestudering Waterhuishouding Gelderland. Prov. Gelderland, Arnhem.

4. Verkooyen, R.G.V.A. (1981). Een geohydrologische inventarisatie voor het Gelderse rivierengebied en een regionaal-hydrologische systeembenadering voor het rivierengebied ten Oosten van Tiel. Dienst Waterbeheer, Prov. Gelderland, Arnhem.

5. Engelen, G.B. (1986). Interaction of hydrological systems and eutrophication of the Loosdrecht Lakes. Hydrobiol. Bull. 20 (1/2), 17-25.

Engelen, G.B., B.F.M. Kal, J.J. Buyse, A.Wakjira, S.O. Los (1988). Waterhuishoudkundige beleids- en beheersmogelijkheden in verband met waterkwaliteitsherstel van het Loosdrechtse Plassen Systeem. W.O.L.-rapport 1988-1, Vrije Universiteit, Amsterdam

6. Engelen, G.B. (1984). Hydrological systems analysis. A regional case study. Arnhem east. Report OS 84-20,Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

7. Oude Munnink, J.M.E. (1985a). Geohydrochemisch onderzoek Zuidwest Drenthe. Een toepassing van de regionale hydrologische systeemanalyse. Vrije Universiteit Amsterdam/Prov. Waterstaat Drenthe.

Oude Munnink, J.M.E. (1985b). De regionale hydrologische systeemanalyse in de praktijk. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Oude Munnink, J.M.E. (1986). Isotopenonderzoek Zuidwest Drenthe. Vrije Universiteit, Amsterdam.

Oude Munnink, J.M.E. & G.B. Engelen (1986). hydrological systems of the dissected Pleistocene Plateau in south-west Drenthe (the Netherlands), in: Engelen, G.B and G.P. Jones (Ed.) Developments in the analysis of groundwater flow systems, IAHS Publ. 163, p.224-239

Gieske, J.M.J. (1987), Hydrologische systemen in Zuidwest Drenthe, Provinciale Waterstaat Drenthe.

8. Ruiter, J.C. de (1986). Hydrologische systeemanalyse in Centraal Zuid-Holland. Prov. Waterstaat van Zuid-Holland/ Vrije Universiteit

9. Brouwer, G.K., J. Hoogendoorn (1986). Grondwaterstromingssystemen Salland/O.Veluwe. rapport OS 86-36, DGV-TNO, Delft

10. Rijks Geologische Dienst, Stichting voor Bodemkartering, Dienst Grondwaterverkenning TNO (1986). Bodem in beeld.

11. Stuurman,R.J., A. Biesheuvel en J.L. van der Mey (1987). Hydrologische systeemkartering van het Merkske stroomgebied, Noord-Brabant. Eco-Hydrologisch onderzoek van het Merkskedal; Hydrologische systeemanalyse ten dienste van het natuurbeschermingsbeleid (hoofdstuk 3). Uitgave: Benelux Economische Unie, sectie "natuurbehoud en landschapsbescherming", werkgroep "inventarisatie beleidsinstrumenten grensoverschrijdende natuurgebieden".

12. Broers, H.P. (1987). Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland. Toepassing van regionale hydrologische systeemanalyse ten behoeve van het eutrofiëringsonderzoek van de Friese boezem. Provincie Friesland, Limnologisch Instituut, Vrije Universiteit, Leeuwarden

Broers, H.P. (1988). Modelstudie grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland. Rapport 88-08, DGV-TNO, Delft

13. Garritsen, A.C. (1988a). Stromingsstelsels en waterkwaliteit in de Dommelbeemden. Consulentschap NMF Noord Brabant, Tilburg.

14. Stuurman,R.J., A.Biesheuvel, J.L. van der Mey (1987). Hydrologische systeemkartering westelijk Noord-Brabant. Analyse van westelijk Noord-Brabant op kaartschaal 1 : 200.000, Deelrapport 2. Rapport OS 87-42, DGV-TNO/VU

15. Kok, W. (1988), rapport over stromingssystemen in Midden-Limburg in voorbereiding aan de VU, Amsterdam.

Heslinga, W., 1988, rapport over stromingssystemen aan de Noord- en Oostrand van het Kempisch Plateau in voorbereiding aan de VU, Amsterdam.

Padt, F.J.G. (1987). Integratie van Landsat-TM beelden in hydrologische systeemanalyse van de Maasvallei. Vrije Universiteit, Amsterdam

16. Allewijn,R. (1987). Regional hydrological systems analysis of the Roermond area. Proc. Earsel Symp.: European Remote Sensing Needs in the 1990s, May,1987, Noordwijkerhout.

17. Bloemendaal, S. (1988). Grondwaterstromingssystemen in het slenkgebied van zuidoost Nederland. DGV-TNO rapport in voorbereiding.

18. Stuyfzand, P.J., 1988, Hydrochemical evidence of fresh and salt water intrusion in the coastal dunes aquifer system of the Western Netherlands. Proc. SWIM 10 symposium, Gent 1988, Natuurwetenschappelijk Tijdschrift (in druk).

19. Promes, P. (1988), Modelstudie hydrologische systemen in Centraal Zuid Holland, DGV-TNO, OS 88-21.

20. Ruiter, J.C. de, 1988, Hydrologische systeemanalyse van Zuid-Holland, TNO-DGV, Rapport in voorbereiding.

21. Schot, P.P., Groundwater systems analysis as a basis for wetland management in the Central Netherlands - Case: the wetland Naardermeer, Proc. VIIIth Int. Symp. on Problems of Landscape Ecological Research, 3-7 Vol 1988, Czechoslovakia.

Appendix B

Hydrogeologische schematisatie van de profielen

Voor het modelleren van grondwaterstroming in een doorsnede verwacht het programma FLOWNET o.m. lengte en hoogte van het profiel en waarden voor de stijghoogtes, de doorlatendheid en de porositeit (alleen voor tijdstappen). De lengte en hoogte zijn per profiel gegeven. Het verloop van de stijghoogtes wordt aan de bovenkant (evt. zijkanten en onderkant) van ieder profiel getekend, daarnaast zijn de maximale en minimale waarde van de stijghoogtes aangegeven. De waarden voor de vertikale en horizontale doorlatendheden in de profielen zijn in de tabel opgegeven. De profielen die met FLOWNET zijn berekend laten stroomlijnen en de formaties (achtergrond) zien. Omdat het debiet tussen stroomlijnen voor een bepaald profiel constant is geeft verdichting van het patroon aan dat het debiet (per eenheid oppervlak) toeneemt.

K waarden voor lithologische eenheden in profielen

Profielen Noord-Nederland en Noord-Holland

Figuur	16		17		18		19		29		30	
	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v
Formatie												
Duinen											10	10
Holoceen	1	.1			1	.1	1	.1	1	.1	1	.1
Twente	5	1	5	.5	5	.5	5	.5	5	1	5	1
Kreftenh.	15	1.5										
Eem	.1	.1			1	.1						
Drenthe	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.001	.001	.001	.001	.001	.001
Eindhoven	5	1	5	.5	10	1	10	1				
Peelo	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.02				
Urk	30	3	20	2	30	3	30	3	30	3	30	3
Sterksel									20	2		
Enschede	60	6	30	3					20	2	20	2
Kedichem									.01	.01		
Harderw.	50	5	60	6	50	5			60	6	60	6
Tegelen									.01	.01	.01	.01
Maassluis			5	1					1	1	1	1
Scheemda	5	1			5	1	20	2				
Breda							1	.1				

Profielen Midden-Nederland

Figuur	21		20		22		23		24		25		26	
	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v	K_h	K_v
Formatie														
Holoceen									2	.1	.1	.01	1	.4
										.1	.007			
										.005	.0005			
Stuwwal					10	.1	15	.02	15	.05	20	.02	15	.1
Eem						.01	.005					.04	.004	
wvp 1			5	.2	2	.1	35	1	10	.1	5	.04	50	.5
Drenthe	.005	.001	.01	.001	.01	.002	.002	.002	.01	.002	.01	.001		
wvp 2			30	2	25	.5	35	1	10	.1	30	.04	25	1
Techelen	.005	.005			.01	.001	.01	.01	.05	.005			1	.01
wvp 3	15	2	5	.1	25	.5	10	.2					15	.05
				2	.1	5	.1					30	1	
Breda	.1	.01	.05	.008	.1	.01	.5	.01	.5	.06			1	.01
Bentheim	5	1												

Profielen Brabant

Figuur	35		36	
Formatie				
	K_h	K_v	K_h	K_v
Westland			.05	.05
Holoceen	.07	.01	7	4
Nuenen			30	30
Sterksel			.5	.5
Kedichem	5.1	2.1	.002	.002
Techelen	2.5	2.5	3	3
Maassluis	26	18	20	20
tussenlg	.02	.007		
Oosterht	20	10	15	15
Breda	6	6	6	6
Rupel	1E-4	1E-4		

37		
Formatie		
	K_h	K_v
Nuenen	.01	.01
Veghel	70	22
Ked/St/Vg	50	17
Tegelen	40	13
Brunsum	1E-4	1E-4
Teg/Ked	.01	.01
Waubach	30	10
+Reuver	30	10
Maassluis	20	7
Breda	6	2

Profiel Limburg

Figuur	38	
	K_h	K_v
Maasterr	200	50
löss	.1	.03
Breda	1	.5
Rupel	.05	.005
Tongeren	.5	.02
onverz		
Gulpen		
Maastr.	200	50
(Kunr f)		
Vaals/Ak	.1	.01
Carboon	3E-4	1E-4

Gevoeligheid van het model FLOWNET voor veranderingen in het doorlatendheidspatroon van de ondergrond.

Aan de hand van het West-Oost profiel (figuur 41) door Noord-Holland kan een indruk worden gekregen van de gevoeligheid van het stroomlijnenpatroon m.b.v. FLOWNET voor veranderingen in het doorlatendheidspatroon van de ondergrond. In de figuren 41 a,b en c zijn de stijghoogte-randvoorwaarden steeds hetzelfde gehouden.

In figuur 41a is een homogene, isostrope ondergrond met een horizontale en verticale doorlatendheid van 24 m/d voor het gehele pakket gemodelleerd.

In figuur 41b is een homogene maar anisotrope ondergrond gemodelleerd. De horizontale doorlatendheid is opnieuw 24 m/d. Deze waarde is het gemiddelde van het complexe patroon van horizontale doorlatendheden van figuur 41 c, zoals dat op basis van literatuurgegevens over boringen, laboratoriummetingen, pompproeven en waterbalansen voor de verschillende formaties is afgeleid. De verticale doorlatendheidswaarde bedraagt nu echter voor het gehele pakket slechts 0,02 m/d. Deze waarde is berekend uit de som van alle verticale stromingsweerstanden in het profiel en vervolgens daaruit de omrekening naar een gemiddelde voor de volledige diepte van het profiel.

In figuur 41 c is de "werkelijke" (benaderd voorzover bekend) inhomogene en anisotrope doorlatendheidssituatie als basis voor de modellering genomen. De voor de verschillende formaties gebruikte horizontale en verticale doorlatendheidswaarden zijn in de tabel van appendix B gegeven. De formatiegrenzen zijn in het profiel zelf weergegeven.

Uit de vergelijking van de drie modelleringen blijkt dat verwaarlozing van de anisotropie (figuur 41 a) tot een onrealistisch beeld van een groot aantal tot grote diepte doordringende, locale stromingsstelsels voert.

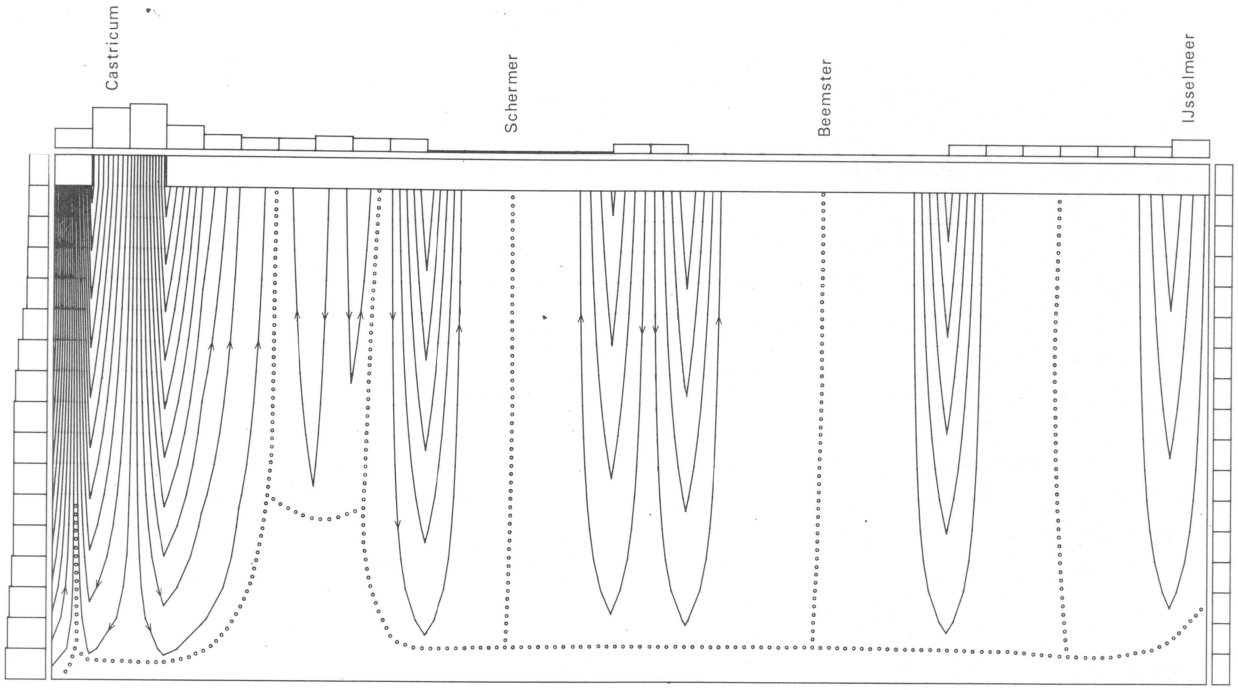
De invoering van een gemiddelde anisotropie voor het hele profiel heeft tot gevolg dat een duidelijke hierarchie van locale, subregionale en regionale stromingsstelsels ontstaat, die reeds verregaand lijkt op de modelresultaten van figuur 41 c met de volledige invoer van inhomogeniteit en anisotropie voor iedere formatie.

Het geprononceerde stijghoogtepatroon op de randen is hier van grotere invloed op het stroomlijnenpatroon dan de inhomogeniteit van de ondergrond. Anisotropie, ook al is het slechts in gemiddelde vorm, is echter essentieel om tot een redelijke benadering van de "goede" modelresultaten van figuur 41 c te komen. De laatsten zijn met onafhankelijke gegevens van b.v. hydrochemie en verloop van de zoet/zoutgrenzen zo goed mogelijk geverifieerd.

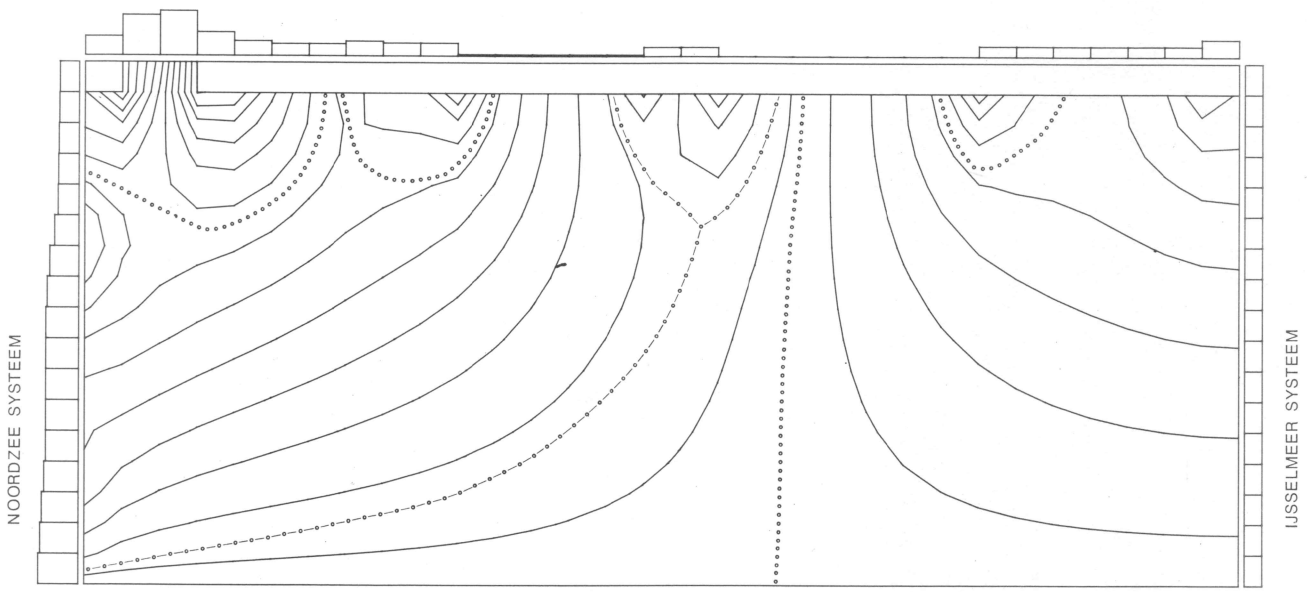
Soortgelijke, voortgezette gevoeligheidsanalyses wijzen erop dat indien bij de modellering het doorlatendheidspatroon wel inhomogeen en anisotroop word ingevoerd de verticale doorlatendheid bovenin het profiel een doorslaggevende invloed heeft op aantal en typen van stromingsstelsels en op de plaats van kwelvensters. De hoofdlijnen van de stromingspatronen variëren aan het oppervlak echter veel minder wanneer grotere variaties in doorlatendheden dieper in de profielen worden nagebootst. In dat geval is het verloop van de grondwaterspiegel aan het bovenvlak van veel grotere invloed op het ontstane stroomlijnenpatroon (Zie voor aanvullende opmerkingen over beoordeling van de modelresultaten ook hoofdstuk 1.2).

Figuur 41 a,b,c: Gevoeligheid van de modelresultaten voor verschillende manieren van invoer van de doorlatendheden in een WO profiel door Noord-Holland (fig 30). De stijghoogten op de randen zijn steeds dezelfde >

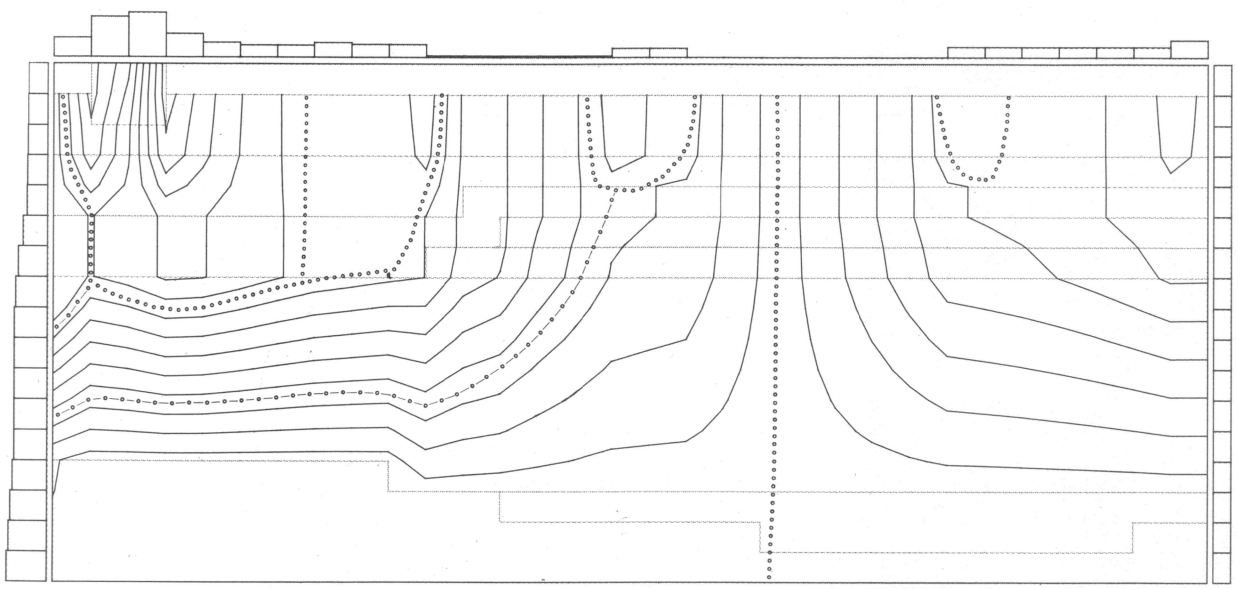
Profiel Noordzee – Schermer – Beemster – IJsselmeer



(a) homogeen, isotroop: $k_h = k_v = 24$m/dag



(b) homogeen, anisotroop: $k_h = 24$m/dag, $k_v = 0{,}02$m/dag



(c) inhomogen, anisotroop, voor k_h, k_v zie tabel 8 fig. 30

Appendix C

Gebruikte afkortingen op Bijlage 1

De nummering verwijst naar het hoofdstuk waarin het betreffende deel van Nederland wordt besproken.

3. Noord-Nederland

FB Friese boezem Systeem
GP Glaciaal Plateau Systeem
YM IJsselmeer Systeem
KP Complex van Kwelderwal- en Poldersystemen
LM Lauwersmeer Systeem
NJ Stuwwal Systeem van St. Nicolaasga - Joure
NP Noordelijk Gronings Poldersysteem
OD Oost-Gronings Dekzand Systeem
OM Dekzand Systeem van het Ommerveld
RM Randmeren Systeem
SF Stuwwal Systeem van Finsterwolde
SG Stuwwal Systeem van Gaasterland
SM Stuwwal Systeem van Midwolda
SO Stuwwal Systeem van Onstwedde
ST Stuwwal Systeem van Steenwijk
SW Stuwwal Systeem van Schildwolde
WR Systeem van de Weerribben
WZ Waddenzee Systeem
ZP Zuidelijk Gronings Poldersysteem

4. Waddeneilanden

Texel

ED Eierlandsche Duinen Systeem
NZ Noordzee Systeem
OO Polder Systeem van Oosterend
SB Systeem van de Stuwwal van Den Burg
WD Westerduinen Systeem
WZ Waddenzee Systeem

Friese Waddeneilanden

BA Ballumer duin Systeem
BP Systeem van de Boschplaat
BU Buurder duin Systeem
DS Duinsysteem van Schiermonnikoog
NZ Noordzee Systeem
OE Systeem van de Oerderduinen
OS Systeem van Oost-Schiermonnikoog
OT Oost-Terschellings duin Systeem
VD Vlielandse duinen Systeem

WT West-Terschellings duin Systeem
WZ Waddenzee Systeem
ZW Systeem van de Zoute Weide

5. Midden-Nederland

AH Systemencomplex van de Achterhoek
BL Systeem van de bedekte stuwwallen van Lochhuizen
BW Systeem van Bergharen/Wijchen
dd dekzand en duinrug systemen ten oosten van de IJssel
DV Systeem van Deventer
DW Dekzandsystemen van Didam en Wehl
GD Systeem van Geesteren/Delden
MO Stuwwal Systeem van het Montferland
NM Nijmeegs stuwwal Systeem
OV Systeem van de Overijsselse Vecht
RS Systeem van de Rijn
SA Sallandse stuwwal Systeem
SI Systeem van de Stuwwal van Sibculo
TW Systeem van de Twentse Stuwwallen
UH Systeem van de Utrechtse Heuvelrug
VA Systeem van de Vecht en het Amsterdam Rijn Kanaal
VE Systeem van de Veluwe
VH Systeem van de glaciale rug Vroomshoop-Hooge Hexel
VI Syseem van de Vinkeveense Plassen
WI Systemencomplex van Winterswijk
WL Systeem van de Waal
YS Systeem van de IJssel

6 & 7. West-Nederland

AM Polder Systemencomplex van Amsterdam
BW Braasemer/Westeinder polder Systemencomplex
C Carboon systeem
DC Duin Systeem van Castricum
DH Duin Systeem van Den Helder
DP Duin Systeem van Petten
DZ Duin Systeem van Zandvoort
EP Eilandspolder Systeem
GA Geestmerambt polder Systeem
GS Giessen systeem
HD Haags duin Systeem
HY Hollandsche IJssel Systeem
LI Linge Systeem
MS Maas Systeem
NZ Noordzee Systeem
OR Oude Rijn Systeem
RS Rijn Systeem
SR Systeem van Rotterdam
SW stuwwal Systeem van Wieringen
WF polder Systemencomplex van West-Friesland
WL Waal Systeem

YM IJsselmeer Systeem
ZS Zoetermeer polder Systeem

8. Deltagebied van Zuid-West Nederland

AJ Anna Jacobapolder Systeem
BI Biervliet tak van het Westerschelde Systeem
BR Breskens tak van het Westerschelde Systeem
BS Bruinisse polder Systeem
CP Systeem van Colijnsplaat
CZ Duin Systeem van Cadzand
ET Eendrachts tak van het Westerschelde Systeem
FP Frederica polder Systeem
GS Grevelingen Systeem
GT kanaal Gent/Terneuzen Systeem
HP Hoofdplaat Systeem
HV Haringvliet Systeem
JP Jeronimus polder Systeem
JS Systeem van St Jansteen
KG Systeem van Kortgene
KL Kamperland Systeem
KS Kraayer Systeem
KZ Kloosterzande Systeem
NW noord-westelijk Duinsysteem van Walcheren
NZ Noordzee Systeem
OG oostelijke Goereesche Duinsysteem
OM Oude Maas systeem
OS Oosterschelde Systeem
OV Oost-Voornse duin Systeem
PB polder Systeem van Zuid-Beveland
SA Spijkenisse/St Annaland Systeem
SB Schuddebeurs Polder Systeem
SC Schouwense Duin Systeem
SL Sluis Systeem
ST Saaftinge tak van het Westerschelde Systeem
TG Systeem van Tiengemeten
TZ Terneuzen/Zaamslag Systeem
VM Veerse Meer Systeem
WE Westerschelde Systeem
WG westelijke Goereesche duin Systeem
ZW zuid-westelijk duin Systeem van Walcheren

9 & 10. Zuid-Nederland

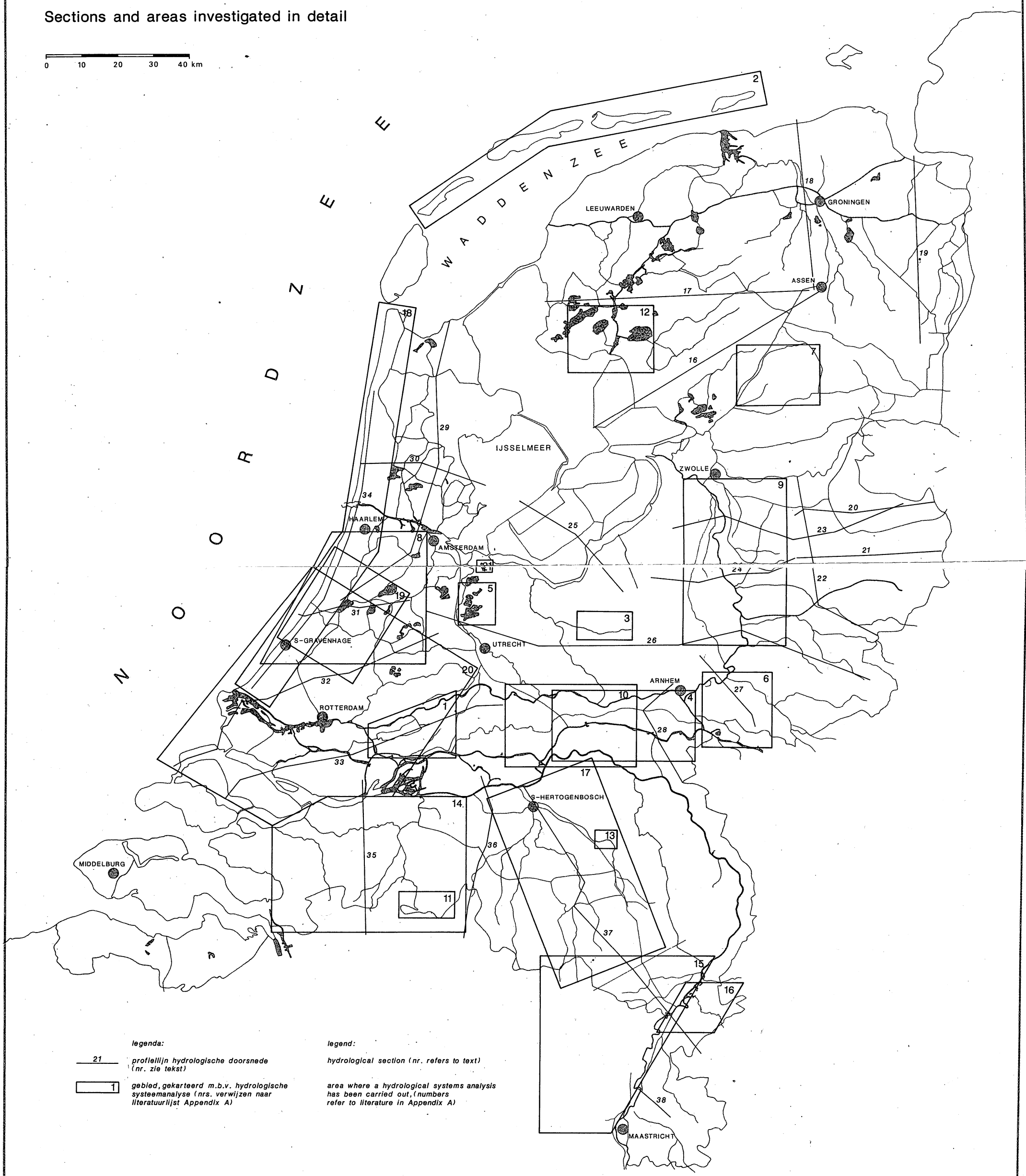
BH Bochholzerheide Systeem
DD Drunense duinen dekzand Systeem
GM Geulmonding Systeem
HB Heerlen/Brunssum Systeem
HP Hoge Peel hoogveen Systeem
HS Heyerath Systeem
KB Kasen/Bunde Systeem
KBs Koningsbosch Systeem

KMc Kempisch Microcuesta Systeem
KP Kempisch Plateau Systeem
LB Limbricht Systeem
MR Mid-Brabantse Rug dekzand Systeem
MS Maas Systeem
OMd Dekzandsystemen op de oostelijke Maasoever
PB Systeem van de Pietersberg
PM Systeem van het Plateau van Margraten
PS Peelschol Systemen Complex
SK Selfkant/Susteren Systeem
SP Schimmert Plateau Systeem
UB Ubachsberg Systeem
VB Vijlenerbosch Systeem
WMt Systeem van de Westelijke Maasterrassen
WT Weert dekzand Systeem

Profiellijnen en in detail onderzochte gebieden

Sections and areas investigated in detail

0 10 20 30 40 km



legenda: *legend:*

21 — *profiellijn hydrologische doorsnede (nr. zie tekst)* — *hydrological section (nr. refers to text)*

1 — *gebied, gekarteerd m.b.v. hydrologische systeemanalyse (nrs. verwijzen naar literatuurlijst Appendix A)* — *area where a hydrological systems analysis has been carried out, (numbers refer to literature in Appendix A)*

bijlage 2 bij: G.B. Engelen, J.M.J. Gieske, S.O. Los, 1988 (Grond) waterstromingssstelsels in Nederland (SBB, VU, NMF).

KARTOGRAFIE: STAATSBOSBEHEER UTRECHT

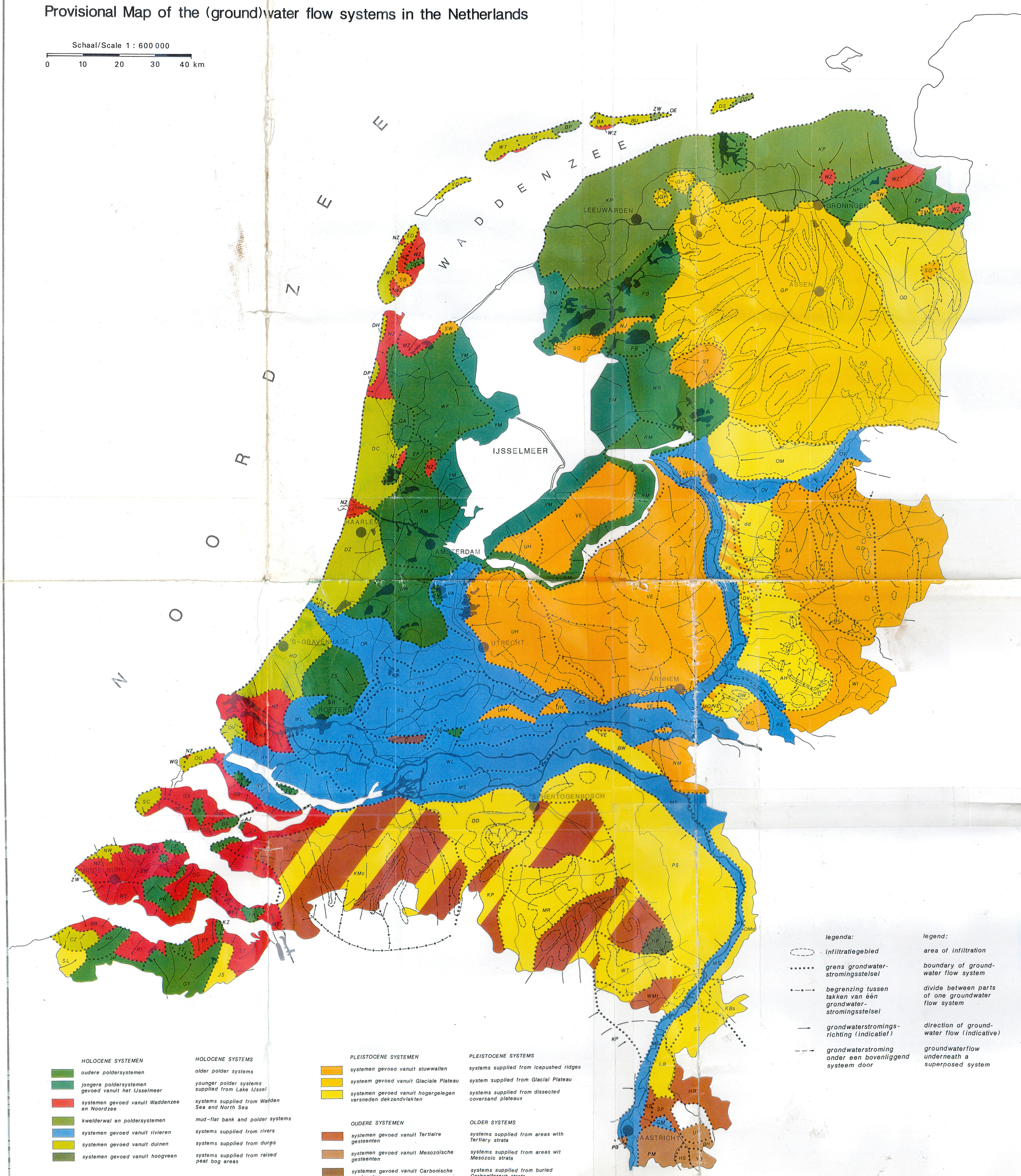
BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

Voorlopige kaart van de (grond)water systemen in Nederland

Provisional Map of the (ground)water flow systems in the Netherlands

Schaal/Scale 1 : 600 000

0 10 20 30 40 km



bijlage 1 bij: G.B. Engelen, J.M.J. Gieske, S.O. Los, 1988 (Grond) waterstromingsstelsels in Nederland (SBB,VU,NMF).

KARTOGRAFIE: STAATSBOSBEHEER UTRECHT