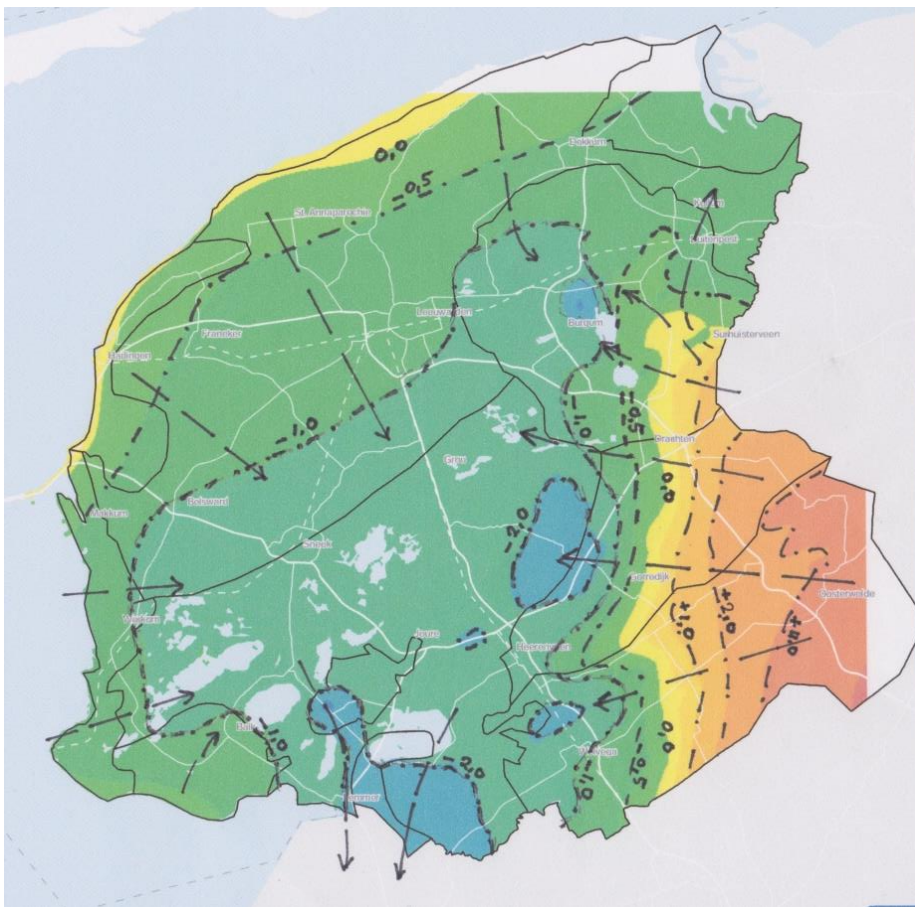
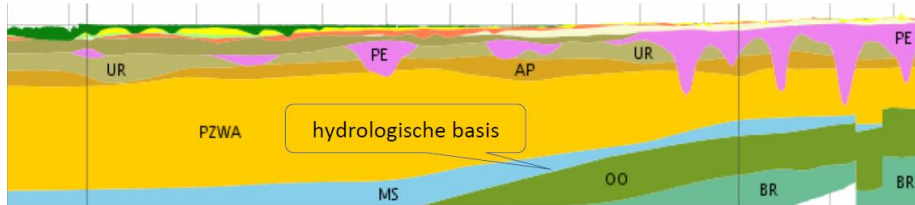


Grondwatersysteembeschrijving Fryslân



**Eindrapportage
Hunzebreed, rapport 188
December, 2017**

Inhoudsopgave

	blz
1 Inleiding	3
1.1 Achtergrond	3
1.2 Aanpak en leeswijzer	4
2 Opbouw ondergrond en ontstaansgeschiedenis provincie Fryslân	6
2.1 Diepe ondergrond, hydrologische basis	6
2.2 Sedimenten uit het Laat-Tertiair en Kwartair (Pleistoceen)	8
2.3 Het Holoceen en de vorming van Fryslân	16
2.4 Landschapshistorische ontwikkelingen	22
3 Ontwikkeling zoet-zout grondwatersysteem	28
3.1 Natuurlijke ontwikkeling zoet-zout grondwatersysteem	28
3.2 Invloed van de mens op zoet-zout grondwatersysteem	42
4 Huidig grondwatersysteem	58
4.1 Definitie en uitwerking grondwatersystemen	58
4.2 Watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen: diep, middeldiep, ondiep en freatisch grondwater	59
4.3 Ontwikkeling onderzoek grondwatersystemen in Fryslân	63
4.4 Sturende factoren regionale grondwatersystemen	66
4.5 Grondwater nabij het maaiveld	70
4.6 Toelichting landelijke grondwatersysteemkartering 1989	76
4.7 Toelichting grondwatersysteemanalyse IWACO, 1989	79
5 Verziltingsproblematiek drinkwaterwinning	92
5.1 Overzicht huidige grondwaterwinning, toekomstige ontwikkeling	92
5.2 Verziltingsproblematiek huidige grondwaterwinningen	94
5.3 Vroeger winplaatsonderzoek (vlekkenplan) en keuzes uit het verleden	109
5.4 Locatiestudie grondwaterwinning Friesland, IWACO, 1992 en Bronnenonderzoek Friesland, Royal Haskoning, 2008.	113
6 Referenties	120

Kaarten (afzonderlijk toegevoegd)

- 1 Maaiveldhoogte
- 2 Keileemverbreiding
- 3 Potkleiverbreiding
- 4 Bodemkaart
- 5 Veendiktekaart
- 6 Oppervlaktewaterpeilen
- 7 Grondwatertrappen
- 8 Kwel en infiltratie (kwalitatief beeld uit provinciaal waterhuishoudingsplan, 2009)
- 8a Kwel en infiltratie (kwantitatief beeld op basis van MIPWA-berekeningen)
- 9 Gemiddelde stijghoogte diep grondwater
- 10 Grensvlak brak en zout grondwater (Cl- 1000 mg/l)
- 11 Regionale grondwatersystemen
- 12 Meetpunten provincie diep grondwater

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

De provincie Fryslân laat een Brede Grondwaterstudie uitvoeren naar de huidige situatie en de toekomstige ontwikkeling van het grondwater in de provincie. De noodzaak voor het uitvoeren van deze studie wordt ingegeven door natuurlijke en economische ontwikkelingen die van invloed zijn op de toekomstige toestand van het grondwatersysteem. Belangrijke ‘natuurlijke’ ontwikkelingen zijn die van klimaatverandering en zeespiegelrijzing. Door zeespiegelrijzing neemt de kweldruk in de ondergrond toe, waardoor op kwetsbare plaatsen (potentiële) verzilting op kan gaan treden. Deze verzilting kan zich enerzijds manifesteren in een toename van het zoutgehalte van het oppervlaktewater en anderzijds in een afname van de zoete grondwatervoorraad. Economische ontwikkelingen betreffen die van peilverlaging en gebruik van grondwater voor industrie- en drinkwatervoorziening. Ook de ontwikkelingen van koude/warmte opslag (KWO) in de ondergrond dienen in dit verband genoemd te worden. Bepaalde natuurlijke en economische ontwikkelingen hangen met elkaar samen en kunnen elkaar versterken en verzwakken. Zo wordt verzilting als gevolg van zeespiegelrijzing versterkt door peilverlaging. Ook treden autonome en veelal onomkeerbare processen op, waarbij het ‘gevolg’ weer de ‘oorzaak’ van de te nemen maatregelen is. Zo kan in het veenweidegebied van Fryslân bodemdaling tot noodzakelijke peilverlaging leiden, welke op haar beurt de bodemdaling weer versterkt. Peilverlaging leidt eveneens tot een daling van de diepe grondwaterstand, waardoor de verzilting versterkt wordt. Ook zijn er knelpunten in de drinkwatervoorziening, welke in Fryslân geheel gebaseerd is op grondwater als grondstof. Twee drinkwaterwinningen hebben last van verzilting (Noordbergum en Garyp) terwijl voor een deel van de winning van Terwisscha (50% reductie) een alternatief gezocht dient te worden.

Als onderdeel van de grondwaterstudie wordt een beschrijving van de ontstaanswijze en de huidige situatie van het Friese (grondwater)systeem opgenomen. De systeembeschrijving gaat in op de geologische ontstaansgeschiedenis van Fryslân en de ontwikkelingen van het watersysteem in de provincie, gerelateerd aan natuurlijke processen en menselijke ingrepen (zoals vervening, landaanwinning, peilverlaging, etc.). Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de ontwikkeling van de verdeling van zoet- en zout water in de ondergrond. Ook de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening, gerelateerd aan de verziltingsproblematiek vormt een onderdeel van de systeembeschrijving.

De systeembeschrijving is ondersteunend voor de op te stellen en uit te werken hydrologische ontwikkelingsscenario's uit te voeren m.b.v. grondwatermodelberekeningen in het kader van de Brede Grondwaterstudie. Laatstgenoemde studie vormt een bouwsteen voor de op te stellen Omgevingsvisie voor Fryslân.

De systeembeschrijving is gebaseerd op oude en recente grondwaterinformatie (veelal onderzoeksrapporten), deels ontleend aan algemene (Nederlandse) geohydrologische informatie en deels aan specifieke onderzoeken uitgevoerd in de provincie Fryslân. Bepaalde onderdelen uit de rapportage (m.n. enkele kaarten) kunnen achterhaald zijn door recent uitgevoerde onderzoeken en/of het grondwatermodelonderzoek van de lopende Brede Grondwaterstudie. In de systeembeschrijving worden geen aanbevelingen voor het

toekomstige grondwaterbeheer gegeven. Deze worden overgelaten aan de rapportages in het kader van de Brede Grondwaterstudie.

Provincie Fryslân heeft in november 2016 aan bureau Hunzebreed opdracht gegeven voor de uitvoering van de grondwatersysteembeschrijving.

1.2 Aanpak en leeswijzer

Het onderhavige rapport begint met een beschrijving van de opbouw van de ondergrond en de ontstaansgeschiedenis van de provincie Fryslân (hoofdstuk 1). Binnen dit hoofdstuk wordt eerst ingegaan op de onderbegrenzing (hydrologische basis) van het regionale grondwatersysteem (paragraaf 2.1). Vervolgens wordt de opbouw van de ondergrond boven deze basis beschreven: in paragraaf 2.2. de oudere Pleistocene afzettingen en in paragraaf 2.3 de hierboven liggende jongere Holocene afzettingen. De ontstaansgeschiedenis van Fryslân, zoals deze nu nog grotendeels aan de oppervlakte te herkennen is, is in belangrijke mate gekoppeld aan het Holocene. In deze jongste geologische periode, na de laatste ijstijd, steeg de zeespiegel en kwam de provincie en het hydrologische systeem onder invloed van de zee. Bij de beschrijving in paragraaf 3 is dankbaar gebruik gemaakt van de gereconstrueerde landschapskaarten uit de Atlas van Nederland in het Holocene.

In hoofdstuk 3 wordt de ontwikkeling van het grondwatersysteem van de provincie gegeven. Het betreft de ontwikkeling van het systeem van het zoete grondwater in relatie tot verschillende verziltingsprocessen die zich in het verleden hebben voorgedaan. Tot rond 1200 na Chr. had de mens nog nauwelijks invloed op het (grond)watersysteem. Na die tijd namen de (kunstmatige) ingrepen in het landschap toe (bedijkingen en later verveningen en bemalingen) en werd het watersysteem, met haar invloed op het grondwater, steeds maakbaarder. Nog later kwamen de grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening, industrie en landbouw op.

Daarom is onderscheid gemaakt tussen de beschrijving van de natuurlijke ontwikkeling van het zoet-zout grondwatersysteem (paragraaf 3.1) en de invloed van de mens op dit systeem (paragraaf 3.2).

Het huidige grondwatersysteem in de provincie wordt beschreven in hoofdstuk 4. De beschrijving vindt grotendeels plaats aan de hand van de regionale grondwatersysteemanalyses destijds uitgevoerd door TNO (geheel Nederland) en IWACO (specifiek voor Fryslân). Eerst wordt de definitie en de uitwerking van grondwatersystemen nader toegelicht (paragraaf 4.1), alsmede de schematisatie van grondwatersystemen tot watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen (paragraaf 4.2). Het verloop van het onderzoek naar grondwatersystemen in Fryslân komt aan de orde in paragraaf 4.3. Vervolgens worden de sturende factoren, die van invloed zijn op het Friese grondwatersysteem behandeld in paragraaf 4.4, gevolgd door een beschrijving van het grondwater aan het maaiveld (paragraaf 4.5). Tot slot worden in de paragrafen 4.6 en 4.7 de afzonderlijke regionale grondwatersystemen van Fryslân beschreven. In paragraaf 4.6 betreft dit de landelijke indeling in grondwatersystemen volgens TNO en in paragraaf 4.7 de op Fryslân toegespitste indeling volgens de grondwatersysteemanalyse van IWACO uit 1989.

In hoofdstuk 5 wordt de verziltingsproblematiek van de grondwaterwinning t.b.v. de drinkwatervoorziening besproken. Eerst wordt een overzicht gegeven van de huidige grondwaterwinning en de toekomstige ontwikkelingen (paragraaf 5.1). Deze zijn grotendeels ontleend aan de Langetermijnvisie van Vitens uit 2011 (Zicht op water). Vervolgens wordt per grondwaterwinning een korte analyse gegeven van verziltingsproblematiek rond de winningen (paragraaf 5.2), mede gebaseerd op verziltingsfactsheets van Vitens uit 2016. In paragraaf 5.3 worden de vroegere winplaatsonderzoeken, die aan de basis hebben gestaan van meerdere winningen besproken. De provinciebrede locatieonderzoeken van IWACO (1992) en Royal Haskoning (2008) worden afzonderlijk besproken in paragraaf 5.4.

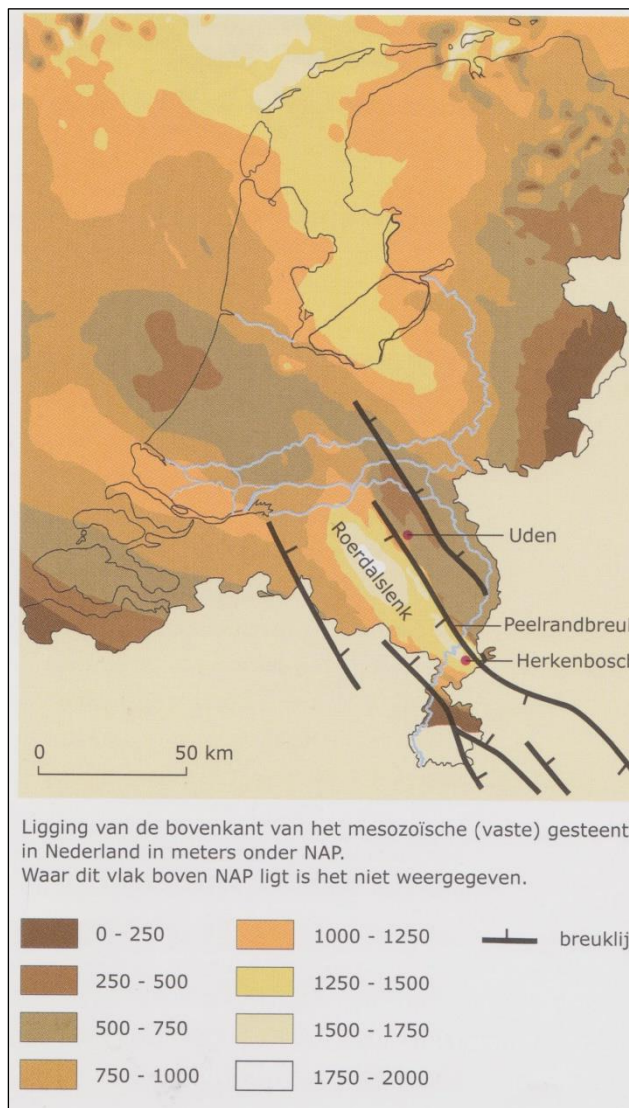
Het rapport wordt afgesloten met een referentielijst (hoofdstuk 6).

Ter onderbouwing en ter verduidelijking van meerdere figuren in de tekst zijn een twaalfstal watersysteemkaarten opgenomen, welke door de provincie Fryslân als GIS-kaarten zijn vervaardigd.

2. Opbouw ondergrond en ontstaansgeschiedenis provincie Fryslân

2.1 Diepe ondergrond, hydrologische basis

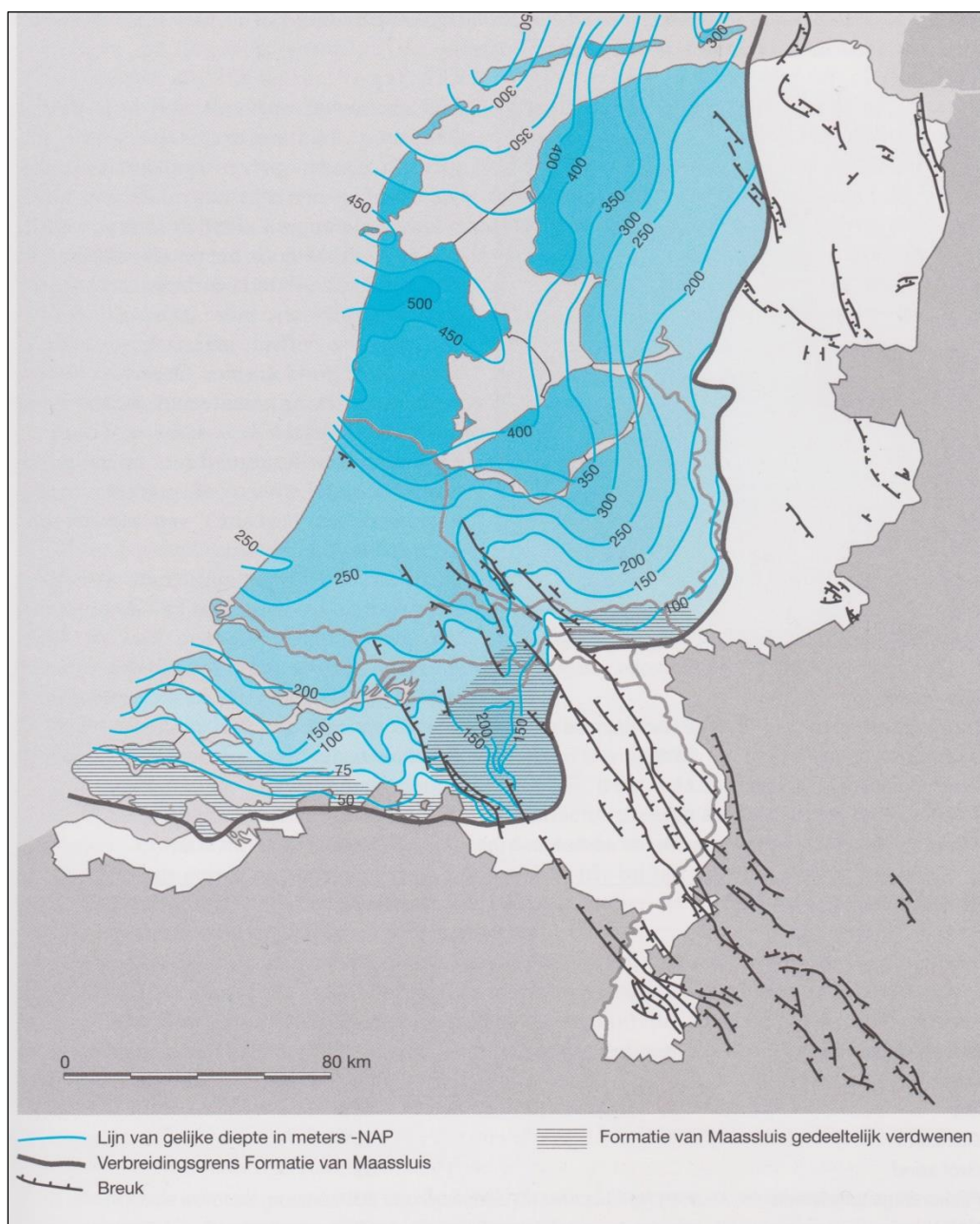
De ondergrond van de provincie Fryslân bestaat tot op grote diepte uit zand-, klei- en veenlagen, ook wel sedimentaire afzettingen genoemd. Dit bodemmateriaal bestaat uit losse deeltjes, waartussen zich water (grondwater) bevindt. Bovenin, nabij het maaiveld bevindt zich naast water ook lucht tussen de bodemdeeltjes. Op grotere diepte gaan de losse sedimentaire afzettingen over in vast gesteente, waarin zich nauwelijks (beweegbaar) water bevindt. Nederland ligt in de randzone van het Noordzee Bekken, een laagte in het vaste gesteente opgevuld met jongere sedimenten. In noordwest Nederland en daarmee in Fryslân ligt het vaste gesteente relatief diep, terwijl in zuidoost Nederland het vaste gesteente nabij de oppervlakte ligt (figuur 2.1). De diepte van het vaste gesteente ligt in Fryslân op meer dan 1000 meter.



Figuur 2.1 Diepteligging vast gesteente in Nederland (uit: Wim de Gans, Geologieboek Nederland, uitgave ANWB, 2006).

In de onderste sedimentaire afzettingen boven het vaste gesteente komen in Fryslân dikke kleipakketten voor waarin nauwelijks grondwaterstroming aanwezig is of kan plaats vinden. Daarom wordt doorgaans de hydrologische basis, waarboven de kringloop van het grondwater plaats vindt of kan plaats vinden op een niveau boven deze kleilagen gelegd. Als regel wordt de hydrologische basis op een diepte van de onderzijde van de geologische eenheid (Formatie) van Maassluis gelegd (figuur 2.2). Deze ligt in noordwest Fryslân op een diepte van ca. 400 m – NAP en loopt op naar een diepte van 200 m – NAP in zuidoost Fryslân. De helling van de hydrologische basis in Fryslân is daarmee ongeveer in dezelfde richting als dat van het vaste gesteente (vergelijk figuur 2.2 met figuur 2.1).

Figuur 2.2 Diepteligging onderzijde Formatie van Maassluis, doorgaans aangehouden als hydrologische basis (uit: Dufour, Grondwater in Nederland, 1998).



2.2 Sedimenten uit het Laat-Tertiair en Kwartair (Pleistoceen)

De grondwatercondities boven de hydrologische basis worden in belangrijke mate bepaald door de geologische opbouw. Met name de sedimenten uit de geologische tijdsperioden van het Pleistoceen en het Holoceen, gezamenlijk ook wel het Kwartair genoemd (figuur 2.3) zijn van belang voor de aanwezigheid en de stroming van zoet- en zout grondwater in de ondergrond. Onder de Kwartaire afzettingen liggen oudere Tertiaire afzettingen, welke veelal slecht doorlatend zijn.

Zand- en grindlagen zijn goed doorlatend en maken grondwaterstroming mogelijk. Zij worden 'watervoerende pakketten' genoemd. Klei- en veenlagen vormen 'slecht doorlatende lagen' en houden in meer of mindere mate de grondwaterstroming tegen. Om de ondergrond t.a.v. de hydrologische eigenschappen goed te kunnen beschrijven en in te delen in watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen wordt gebruik gemaakt van geologische karteringen. In de geologie behoort iedere aardlaag tot een specifieke geologische eenheid ofwel 'formatie'. De naam van de formatie is ontleend aan de plaats of het gebied waar zij in kenmerkende vorm (voor het eerst) is gevonden. Binnen een formatie worden veelal weer afzonderlijke laagpakketten en lagen onderscheiden. De formaties van de sedimentaire afzettingen in Fryslân kunnen van verschillende afkomst zijn. Zo worden een viertal typen formaties onderscheiden: (mariene) formaties opgebouwd in zee en bij de kust, (fluviatiele) formaties opgebouwd door de grote rivieren, (glacigene) formaties ontstaan door ijswerking en formaties van lokale herkomst. Het type formatie geeft soms direct al informatie over de hydrologische eigenschappen. Zo bestaan de mariene formaties veelal uit afzettingen van klei en veen met slecht doorlatende eigenschappen en de formaties van grote rivieren uit zandige afzettingen met goed doorlatende eigenschappen. Echter binnen de formaties kunnen laagpakketten en lagen voorkomen met afwijkende eigenschappen.

In figuur 2.4 is een typerend geologisch dwarsprofiel van de provincie gegeven, ontleend aan het digitale archief van ondergrondgegevens (DINO-loket van TNO). Het profiel loopt vanaf de Waddenzee, over Harlingen naar Oosterwolde tot over de provinciegrens met Drenthe. In het profiel zijn de geologische formaties (zie kader) aangegeven, zoals deze door TNO in 1997 zijn herzien. Deze worden momenteel algemeen gehanteerd in grondwateronderzoek, maar wijken af van de oudere benamingen in onderzoeken van voor die tijd.

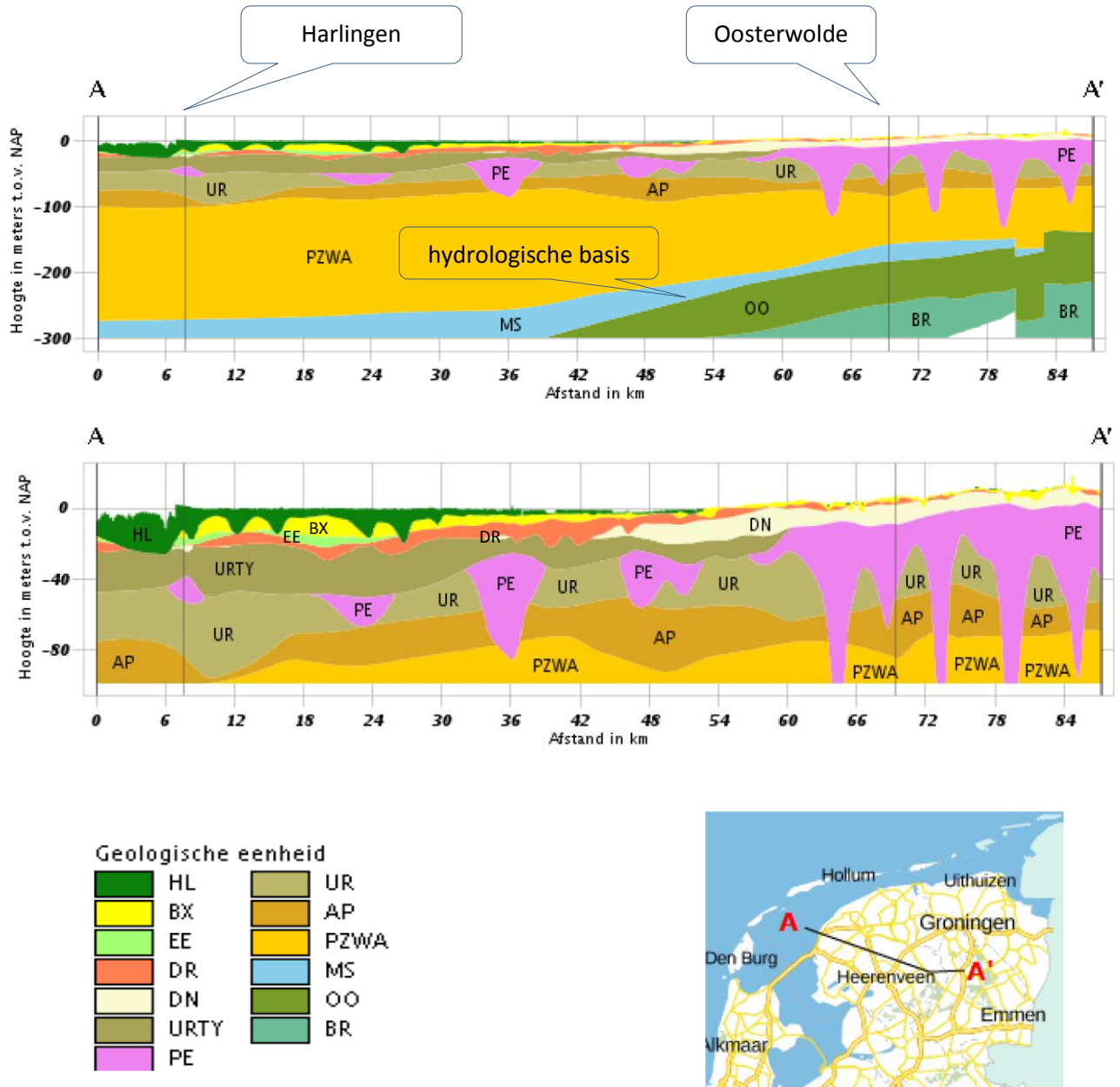
Onderin het profiel van figuur 2.4 worden formaties van grotendeels mariene, kleiige afzettingen aangetroffen: de Formaties van Breda (BR), Oosterhout (OO) en Maassluis (MS). Grondwaterstroming treedt nauwelijks op in deze slecht doorlatende lagen. De Formaties van Breda en Oosterhout zijn ontstaan in het geologische tijdvak van het Tertiair, meer dan 2 miljoen jaar geleden (figuur 2.3), waarbij Nederland grotendeels onder zeeniveau lag en kustnabije kleilagen zijn afgezet. De Formatie van Maassluis, die hierboven ligt wordt gerekend tot het begin van het Kwartair (Pleistoceen) en vormt de overgang van afzettingen uit het mariene milieu naar het fluviatiele milieu. De formatie omvat zowel kleilagen als zandige lagen en vormt daarmee een complexe eenheid. De ondergrens van deze formatie wordt, zoals eerder aangegeven, doorgaans aangehouden als hydrologische basis.

Figuur 2.3 Geologische tijdsindeling van het Laat-Tertiair en het Kwartair (uit: 'Ondergrond van Nederland', TNO, 2003)

In onderstaande tabel is de geologische tijdsindeling van het Laat-Tertiair en het Kwartair gegeven. In de periode van het Tertiair lag Nederland grotendeels onder zeenniveau. Het Kwartair betreft de periode waarin we nu nog leven en wordt wel beschouwd als de geologische periode van de ijstijden. Onderscheid wordt gemaakt tussen koude perioden (ijstijden of glacialen) en warme tussenliggende perioden (interglacialen). Het Holoceen, ofwel de huidige tijd vormt de laatste interglaciale periode. Het Pleistoceen betreft de – veel langere – periode hiervoor, met een opeenvolging van ijstijden en interglacialen. In de tabel zijn de laatste drie ijstijden (in tijdsvolgorde: het Elsterien, het Saalien en het Weichselien) van belang voor het grondwatersysteem van Fryslân aangegeven met een kader).

Systeem	Serie	Subseries	Etages in Noord-Europa	Subseries in Noord-Europa	Serie in Noord-Europa	Ouderdom in miljoenen jaren
Kwartair	Holoceen		'Flandrien'	Holoceen	Holoceen	
		Laat-Pleistoceen	Weichselien	Laat-Pleistoceen		0,01
	Pleistoceen		Eemien			0,13
			Saalien			
		Midden-Pleistoceen	Holsteinien	Midden-Pleistoceen		
			Elsterien			
			Cromerien			
			Bavelien		Pleistoceen	0,85
		Vroeg-Pleistoceen	Menapien			
			Waalien	Vroeg-Pleistoceen		
			Eburonien			1,81
Neogeen (Tertiair)	Pliocene	Laat-Pliocene	Tiglien			
			Pretiglien			2,6
			Reuverien	Laat-Pliocene	Laat-Pliocene	

Figuur 2.4 Geologisch profiel noordwest (A) – zuidoost (A') provincie Fryslân met bijbehorende geologische formaties en hydrologische basis. Bovenste profiel tot ca. 300 m – NAP; onderste profiel tot ca. 100 m – NAP. Voor toelichting naamgeving formaties, zie tekst onder figuur (uit: ondergrondgegevens DINO-loket TNO).



Toelichting codes figuur 2.4:

HL: Holoceen; BX: Formatie van Boxtel; EE: Eemformatie; DR: Formatie van Drente; DN: Formatie van Drachten; URTY: Formatie van Urk, laagpakket van Tynje; PE: Formatie van Peelo; UR: Formatie van Urk; AP: Formatie van Appelscha; PZWA: Formatie van Peize-Waalre; MS: Formatie van Maassluis; OO: Formatie van Oosterhout; BR: Formatie van Breda

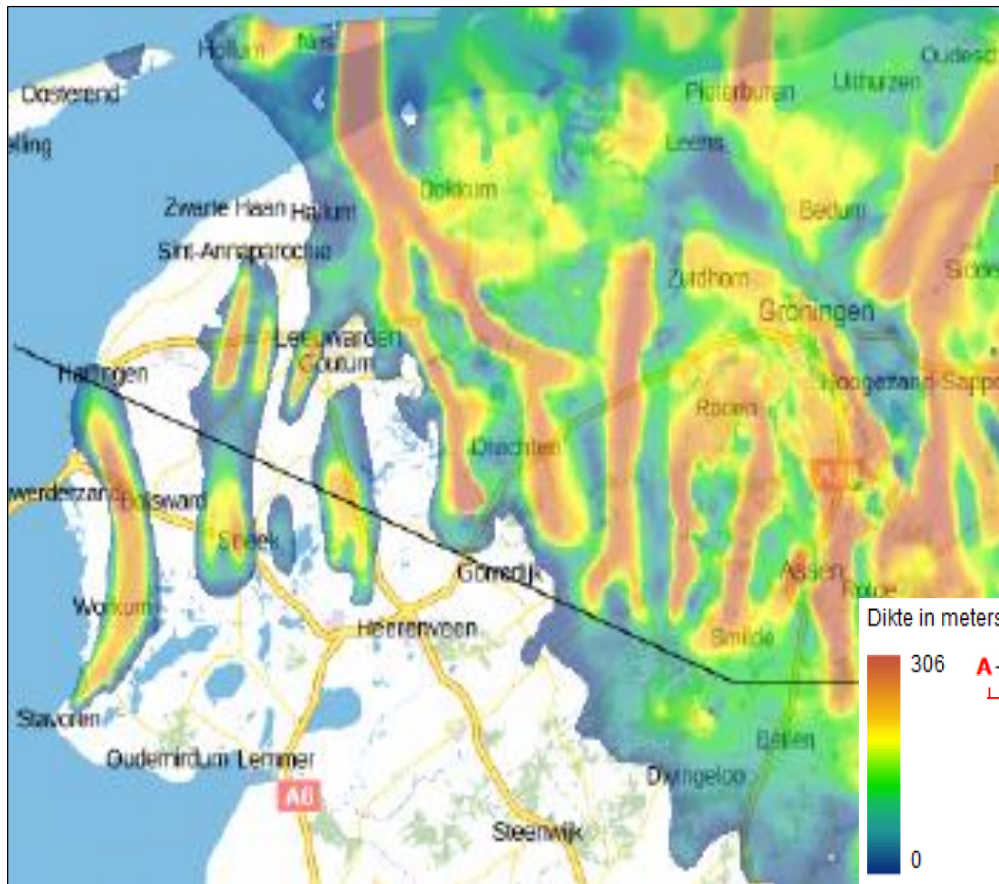
Aan het einde van het Tertiair (begin Kwartair, Vroeg-Pleistoceen, figuur 2.4) daalde de zeespiegel en raakte het Noordzee Bekken geleidelijk opgevuld. De kustlijn trok zich terug naar het noorden terwijl Nederland en daarmee Fryslân onder invloed kwam van, grotendeels, oostelijke rivieren (het zogenaamde Eridanos-systeem). Boven de kleilagen van de Formatie van Maassluis (MS) worden rivierafzettingen aangetroffen bestaande uit matig grof tot zeer grof en grindrijk zand, behorend tot de Formatie van Peize. Vergelijkbare rivierafzettingen afkomstig van zuidelijke rivieren (Rijn, Maas) worden aangetroffen in het zuiden van Nederland, welke behoren tot de Formatie van Waalre. Het pakket aan afzettingen van beide formaties wordt ook wel de Peize-Waalre Formatie genoemd (PZWA). De formatie bestaat grotendeels uit (grof-)zandige afzettingen, waarbij slechts een beperkt aantal kleilagen, veelal van geringe dikte en verbreiding worden aangetroffen. Alleen onder in de formatie op een diepte van meer dan 150 meter wordt een zone aangetroffen met afwisselende klei- en zandlagen: het Peizercomplex genoemd. De zogenaamde Tegelen-kleilaag (oude benaming), welke een belangrijke rol speelt bij het stromingsproces rond bepaalde grondwaterwinningen, zoals die bij Noardburgum, behoort tot dit complex. De totale dikte van de Formatie van Peize-Waalre varieert van ca. 80 meter in het zuidoosten tot ca. 200 meter in het noordwesten en vormt daarmee het belangrijkste diepe watervoerend pakket in de ondergrond van de provincie.

Boven de Formatie Peize-Waalre ligt de Formatie van Appelscha (AP), welke eveneens bestaat uit zand- en grindhoudende afzettingen, aangevoerd door rivieren, hoofdzakelijk uit Midden-Duitsland aan het einde van het Vroeg-Pleistoceen. De formatie komt in geheel Fryslân voor met een dikte die varieert van 10 tot 30 m. Tussen beide formaties, PZWA en AP, komen nauwelijks kleilagen voor, zodat veelal sprake is van één watervoerend pakket van grote dikte.

Hierboven liggen rivierafzettingen van de Formatie van Urk (UR), afkomstig uit het Rijnstroomgebied en daterend uit het Midden-Pleistoceen. Het zijn overwegend zandige afzettingen, waarbij plaatselijk kleilagen kunnen voorkomen (urk1 t/m urk3, figuur 2.6). De afzettingen van de Formatie van Urk worden op meerdere plaatsen doorsneden door glaciële afzettingen van de Formatie van Peelo. In Fryslân ligt de bovenste zone van de Formatie van Urk (URTY, ofwel laagpakket van Tynje) boven de Peelo-afzettingen (zie profiel tot 100 m, figuur 2.4).

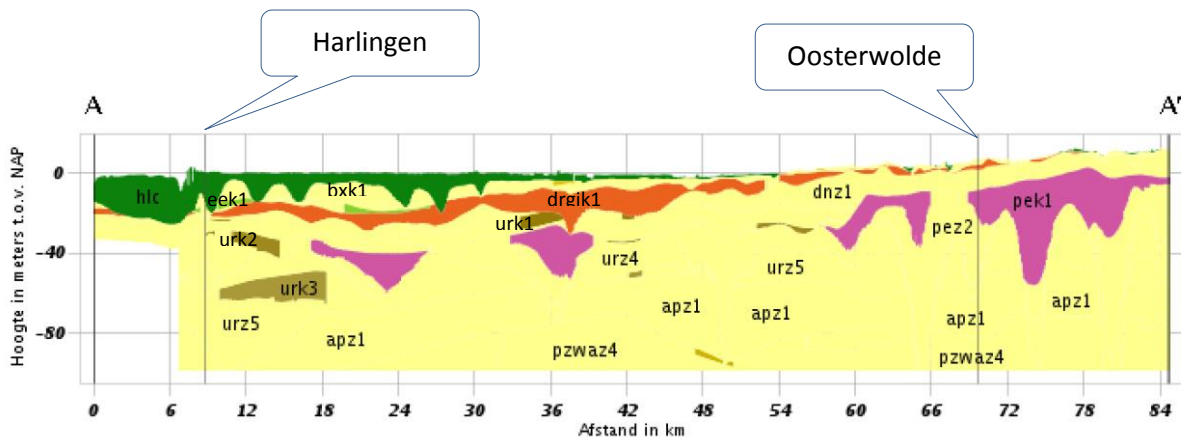
Boven de formaties met grotendeels zandige rivierafzettingen (PZWA, AP en UR) liggen twee geologische formaties die verband houden met het vroegere landijs en een belangrijke rol spelen binnen het grondwatersysteem en de hieraan gekoppeld functies. Het betreft de Formaties van Peelo (PE) en Drente (Dr). De Formatie van Peelo is ontstaan in de twee na laatste ijstijd, het Elsterien, ca. 450.000 jaar geleden (figuur 2.3) en bestaat uit smeltwaterafzettingen. Kenmerkend voor de formatie zijn de diepe geulen, welke tot grote diepte de oudere formaties doorsnijden (figuur 2.5). Onderin bestaan deze geulen veelal uit fijn zand en/of een afwisselende mix van klei- en zandlagen, terwijl bovenin de geulen dikke kleipakketten (zogenaamde potkleilagen) kunnen voorkomen. In het oostelijke deel van de provincie en in Drenthe komt de formatie gebiedsdekkend voor en bestaat bovenin veelal uit zeer fijn zand. Bovenin de geulen komt veelal potklei voor. Potklei is zeer slecht doorlatend. Daar waar potkleilagen voorkomen (figuur 2.6, hydrogeologische profiel en kaart 3) is de interactie tussen het ondiepe en diepe grondwater gering. Meerdere grondwaterwinningen in de provincie onttrekken grondwater onder potkleilagen vanwege de geringe beïnvloeding van het bovenste grondwater.

Figuur 2.5 Verbreiding en dikte Formatie van Peelo (uit: ondergrondgegevens DINO-loket TNO)



In figuur 2.6 is over het geologische dwarsprofiel van figuur 1.4 een hydrogeologisch profiel getrokken, waarbij in de desbetreffende formaties tevens de zandlagen (watervoerende pakketten) en de klei- en veenlagen (slecht doorlatende lagen) zijn aangegeven. De naamgeving van deze lagen is zodanig, dat de eerste letters betrekking hebben op de geologische codering (naam van de formatie of laagpakket) en de laatste letter(s) op de hydrologische eigenschappen (k=kleilaag, z=zandlaag, c= complex). In een complexe laag komen zowel klei- als zandlagen voor. Zo heeft de code 'pek1' betrekking op de 1^e klei- of slecht doorlatende laag van de Formatie van Peelo.

Figuur 2.6 Hydrogeologisch dwarsprofiel noordwest (A) – zuidoost (A') provincie Fryslân tot ca. 100 m – NAP met bijbehorende hydrogeologische eenheden (uit: ondergrondgegevens DINO-loket TNO).



Legenda profielen:

geel: : watervoerende pakketten (zand- of z-lagen)

groen, bruin, paars: slecht doorlatende lagen (klei- of k-lagen en complexe-lagen (c-lagen))

Zie toelichting kader in tekst

Hydrogeologie

hlc	pek1
bxx1	urk3
bxx2	zand
eek1	
drkik1	
urk1	
urk2	

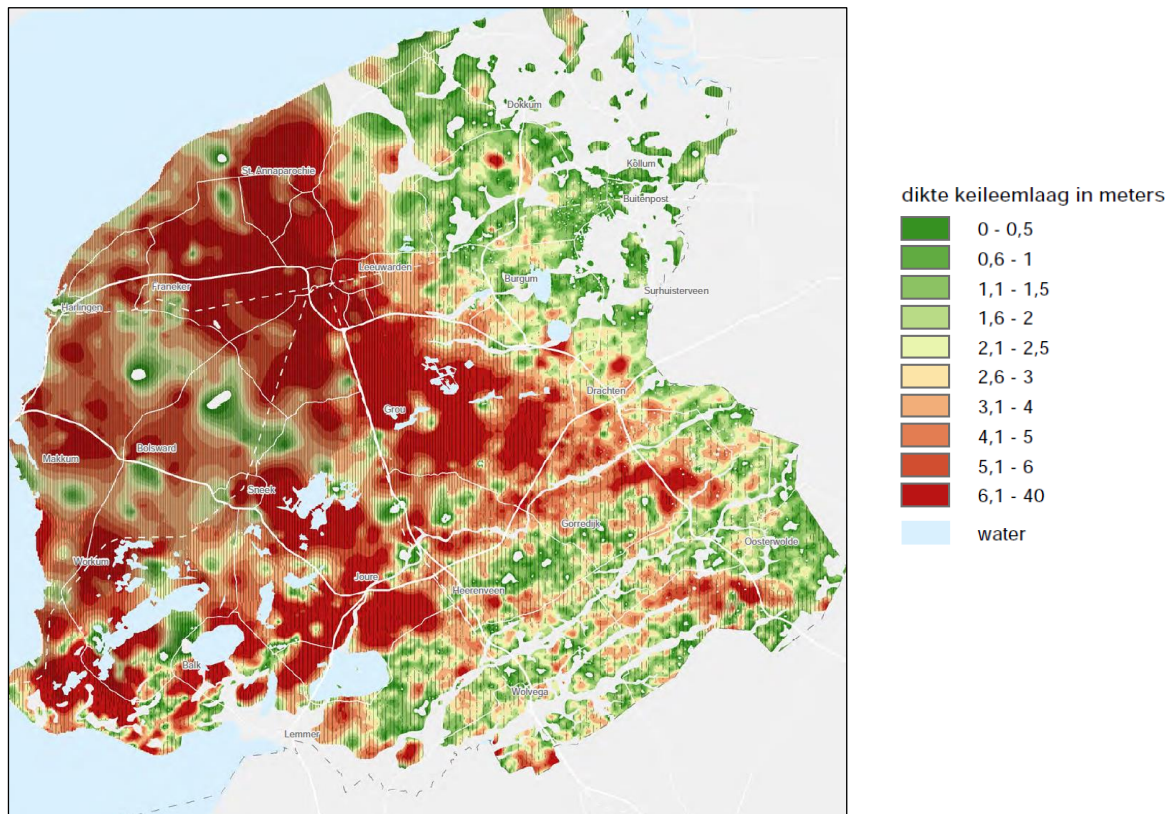


De Formatie van Drente is ontstaan in de één na laatste ijstijd, het Saalien (ca. 200.000 jaar geleden) en kan uit verschillende typen glaciële afzettingen bestaan. Kenmerkend voor de formatie en van groot belang voor de grondwaterstroming is de keileem, behorend tot het laagpakket van Gieten (drkik1, figuur 2.6) een gletsjer afzetting (morenemateriaal) bestaande uit een mix van (lemig) zand, (zandige) leem met daarin grind en keien. De opbouw van deze elementen kan sterk variëren, maar de doorlatendheid is veelal gering tot (zeer) slecht. Het keileempakket van de Formatie van Drente komt in een groot deel van de provincie voor (figuur 2.7 en kaart 2), maar ontbreekt veelal in de beekdalén, waar de keileemlaag is geërodeerd door de afstroming van oppervlaktewater. Tevens ontbreekt de keileemlaag in de noordoosthoek van de provincie. Zoals uit de figuren 2.4 en 2.6 opgemaakt kan worden helt het keileempakket van de Formatie van Drente, evenals de Peelo-Formatie naar het noordwesten. Deze helling is in lijn met de sedimentatiegeschiedenis, waarbij in koude perioden de zee zich terugtrok in noordwestelijke richting. In het noordwesten van de

provincie ligt de top van de keileem op een diepte van 15 tot 20 m – NAP, terwijl in het zuidoosten de keileem aan of nabij de oppervlakte ligt.

Tussen het keileempakket van de Formatie van Drente en de Peelo-afzettingen worden in het noordwesten voornamelijk zandlagen van de Formatie van Urk (URTY, figuur 2.4) aangetroffen en in het zuidoosten zandlagen van de Formatie van Drachten (DN, figuur 2.4).

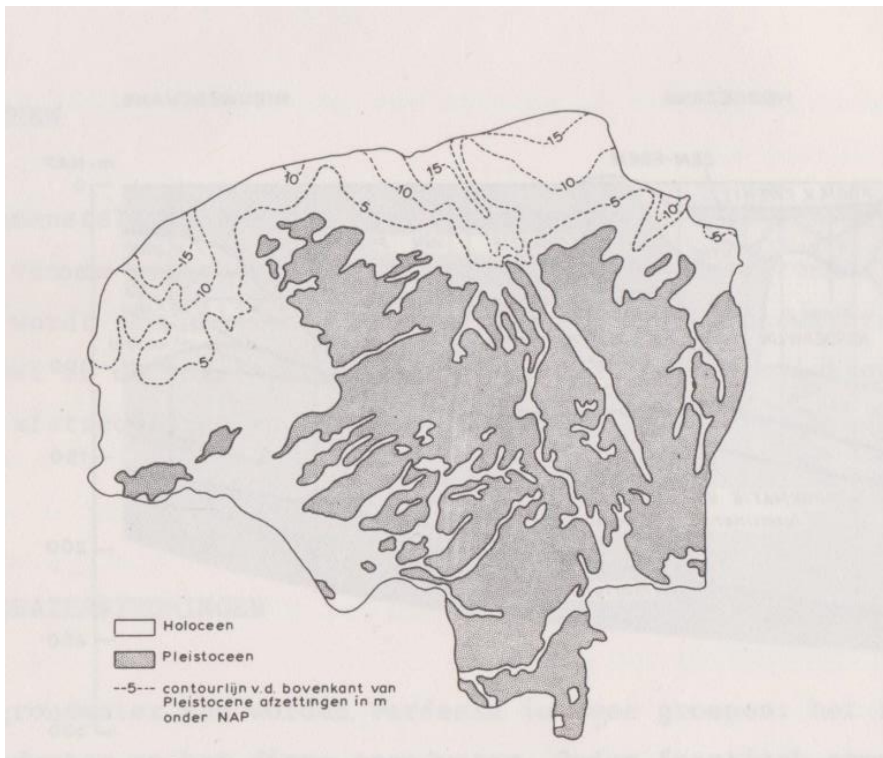
Figuur 2.7 Verbreiding en dikte keileem (Formatie van Drente, laagpakket van Gieten) (uit: ondergrondgegevens (REGIS) TNO, bewerkt door provincie Fryslân, zie ook kaart 2)



Aan het einde van het Saalien (ca. 120.000 jaar geleden) brak er weer een warme periode aan (het Eemien) en steeg de zeespiegel. In een beperkt deel van het noordwesten van Fryslân zijn toen mariene klei- en zandlagen afgezet (Eem-Formatie (EE), figuur 2.4). Ook komt de formatie langs de oostzijde van het Lauwersmeer voor (oerstroomdal van de Hunze).

Na het Eemien volgde een koude periode, de laatste ijstijd, het Weichselien (115.000 tot 10.000 jaar geleden). In deze laatste koude periode is Nederland niet bedekt geweest met landijs. Er heerste wel een koud en winderig toendra klimaat, waarbij zandafzettingen van oudere formaties zijn verplaatst door de wind. De in deze periode gevormde dekzandafzettingen (Formatie van Boxtel, voorheen afzettingen van Twente genoemd) liggen op de keileemafzettingen. De afzettingen zijn relatief dik in het noordwesten (meer dan 10 m) en relatief dun in het zuidoosten (enkele meters dikte).

Na de laatste ijstijd van het Weichselien brak er weer een warme periode aan: het huidige Holoceen. Een periode waarin we nu nog leven. Het Pleistoceen (ofwel de laatste ijstijd, het Weichselien) had een kaal zandlandschap achtergelaten, dat in hoogteligging varieerde. In de huidige situatie ligt de Pleistocene ondergrond op ca. 15 m – NAP in het meest noordwestelijke deel van de provincie en loopt op naar het zuidoosten tot ca. 10 m + NAP op de grens met Drenthe.

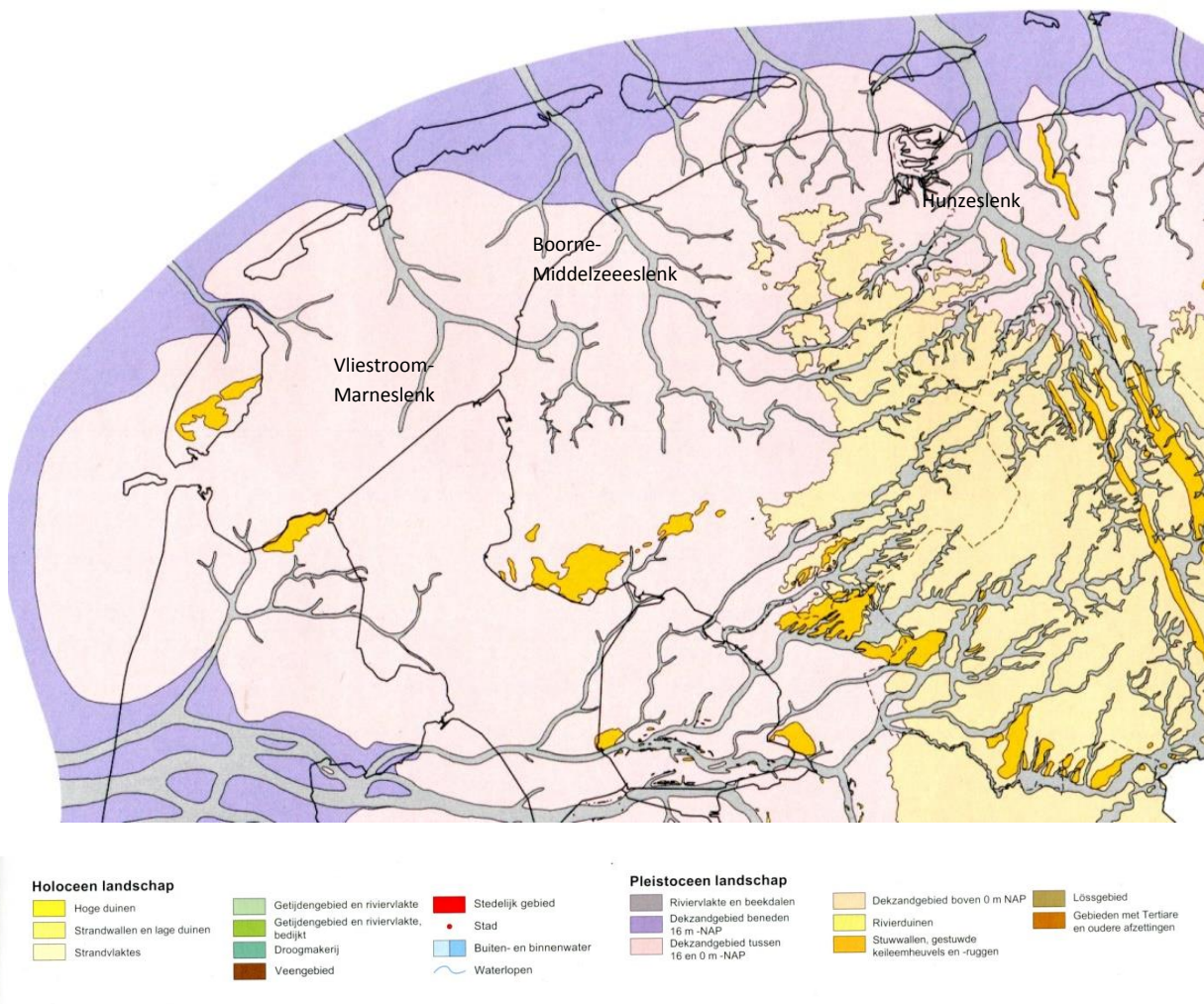


*Figuur 2.8 Diepteligging
in meters t.o.v. NAP
Pleistocene ondergrond
in Noord-Nederland
(uit: Regionale studie nr.
13 van ICW,1978)*

2.3 Het Holoceen en de vorming van Fryslân

Aan het einde van de laatste ijstijd, het Weichselien (ca. 9000 v. Chr.) lag de zee nog ver weg van het huidige Fryslân. De zeespiegel stond nog enkele tientallen meters onder het huidige niveau, zodat de Noordzee grotendeels droog lag. Friesland was een pleistoceen dekzandgebied (figuur 2.9) doorsneden door enkele grote stroomdalen, deels afvoerend in noordelijke richting en deels in westelijke richting. In het noorden betrof dat de slenken/beekdalen van Boorne-Middelzee en Vlietstroom-Marne en in het zuidoosten die van Hunzeslenk.

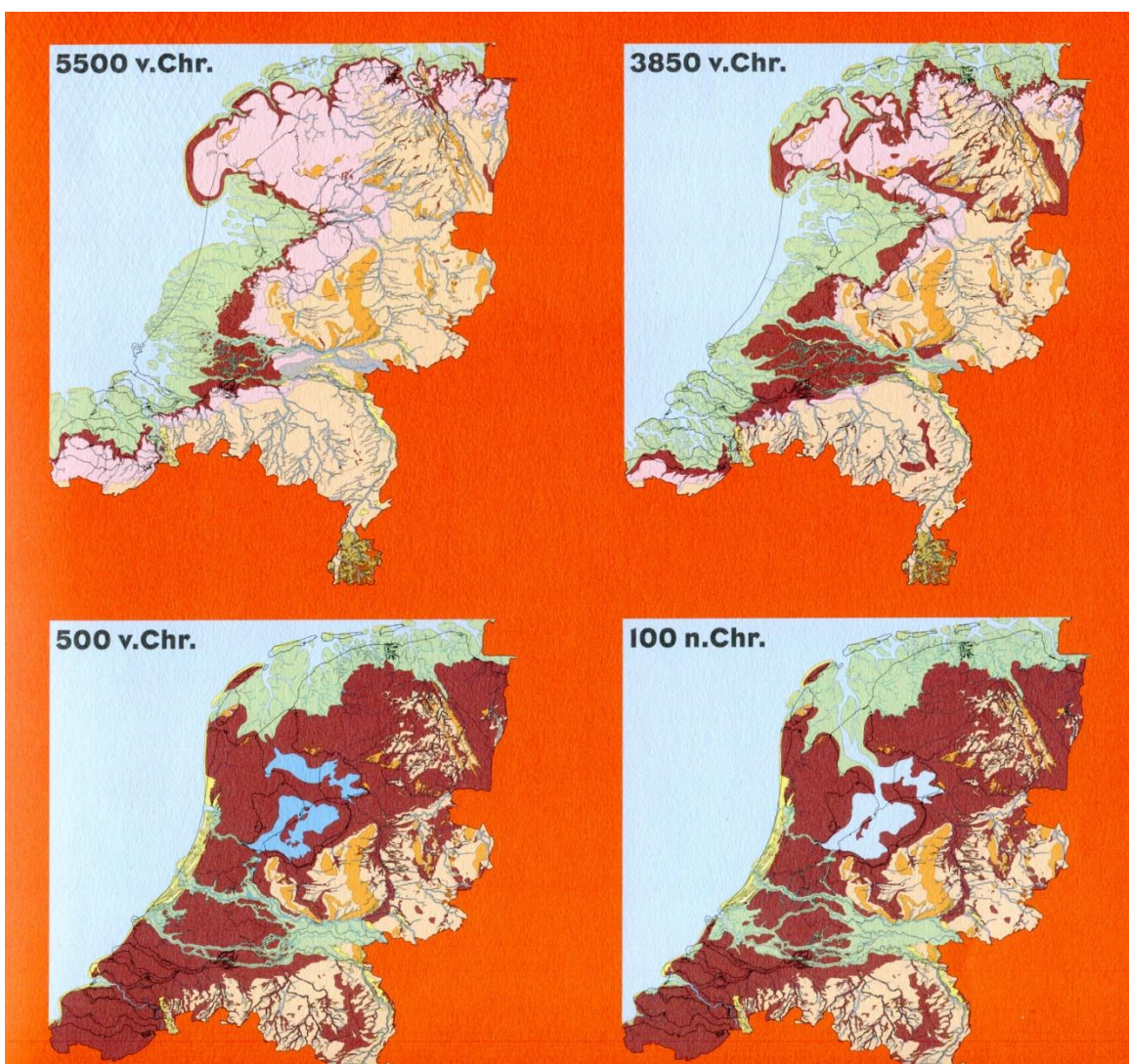
Figuur 2.9 Holoceen landschap rond 9000 v. Chr. (uit: Atlas van Nederland in het Holoceen, TNO, e.a. 2011)



In het begin van het Holoceen (9000 - 5500 v. Chr.) steeg de zeespiegel als gevolg van de stijgende temperatuur relatief snel. Hierdoor werd het 'voorland' van Nederland en daarmee Fryslân steeds kleiner.

In figuur 2.10 is de ontwikkeling van het Holocene landschap van Nederland van 5500 v. Chr. tot 100 n. Chr. gegeven. Rond 3850 v. Chr. kwam er een eind aan de voortschrijding van de verkleining van Nederland. De zeespiegel steeg nog wel, maar door afzetting van zand en klei hoogde het vasteland even snel op. De zeespiegel lag 4 à 5 meter lager dan nu, zodat een groot deel van de Waddenzee nog behoorde tot het hogere gelegen pleistocene dekzandgebied. Ten noorden en noordwesten (en zuidwesten) van dit hogere gebied lag een getijdebekken, te vergelijken met de huidige Waddenzee, aan de noordwestzijde ingesloten door een serie strandwallen en kustduinen. Op de grens van het dekzandgebied en het getijdebekken kon zich vanwege de gunstige hoge grondwaterstand veen vormen. In het noordelijke getijdebekken zijn nabij Fryslân twee belangrijke getijde geulen aanwezig: de Boorne-Middelzee en de Vliestroom/Marneslenk. Aan de noordoostzijde van de provincie lag de brede getijdegeul van de Hunze.

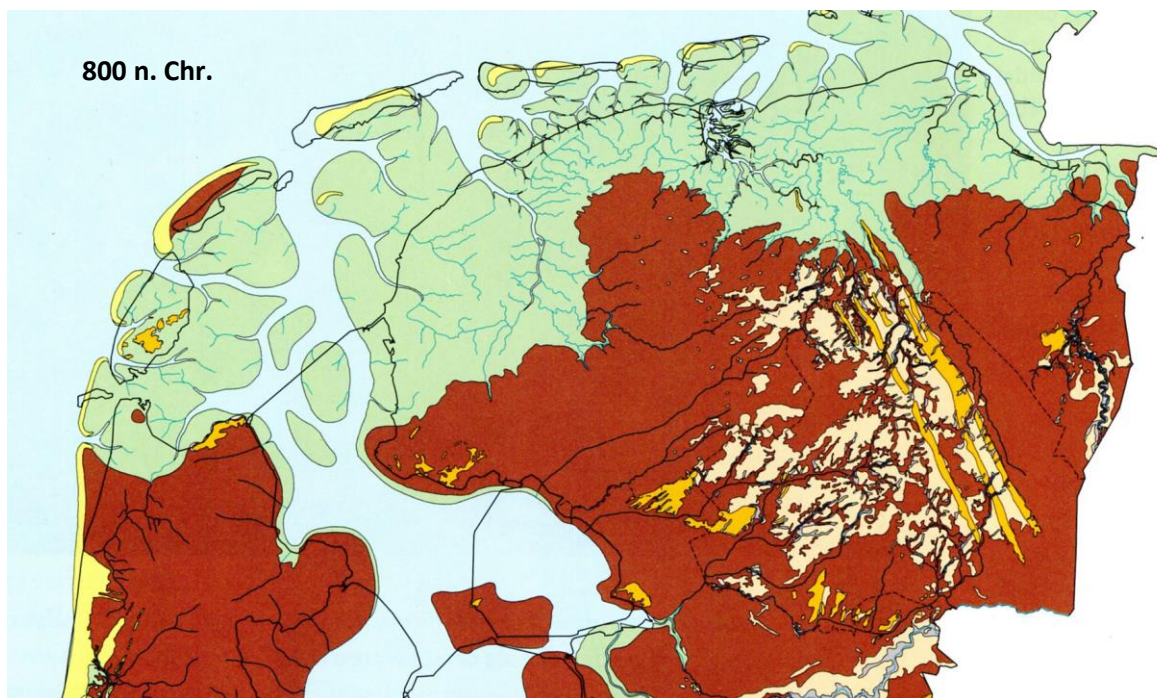
Figuur 2.10 Ontwikkeling Holoceen landschap vanaf 5500 v. Chr. tot 100 n. Chr.; voor legenda zie figuur 2.9 en 2.11 (uit: Atlas van Nederland in het Holoceen, TNO, e.a. 2011)



In West-Nederland sloot de kustlijn zich geleidelijk vanaf ca. 3500 v. Chr. terwijl in Noord-Nederland een open getijdegebied bleef bestaan, vergelijkbaar met het huidige Waddengebied. Het noordwesten van Fryslân maakte deel uit van dit getijdegebied, waarbij klei- en zandlagen zijn afgezet. In het overige deel van de provincie kon een dik veenpakket tot ontwikkeling komen, welke aansloot op de veenpakketten in West-Nederland. Ook een groot deel van het IJsselmeergebied werd bedekt met veen, met binnen het veengebied enkele grote veenplassen. Het veenpakket breidde zich uit in oostelijke richting, waar op de hogere gronden uitgestrekte hoogveenpakketten konden ontstaan.

Rond 500 v. Chr. was door deze ontwikkeling een groot deel van Fryslân bedekt met veen, (figuur 2.11). Nadien kreeg de zee geleidelijk aan weer meer vat op het vaste land. Zo ontstonden in Noord-Nederland nieuwe zee-inbraken (afbeelding rechtsonder van figuur 2.10) en werd op grote delen van het oorspronkelijke veengebied een pakket aan zeeklei afgezet. Deze klei-op-veengronden vinden we terug in het midden van Fryslân tussen de kleigronden in het (noord-)westen en de veengronden in het oosten (figuur 2.12). Rond 800 n. Chr. waren grote delen van het veengebied tussen Fryslân en Noord-Holland door de zee weggeslagen en waren de veenmeren omgevormd tot een binnenzee (Zuiderzee) met een brede open verbinding met de Waddenzee (figuur 2.11, onderste afbeelding). De kaart van figuur 2.11 laat nog het landschap zien, dat grotendeels door de natuur gevormd werd. Zo is te zien dat de Middellzee, als een grote getijdegeul nog ver doordrong tot in het midden van de provincie. Na die tijd werd veel sediment aangevoerd en slibden langs de gehele kust de kwelders hoog op. Dit leidde tot een gunstig vestigingsklimaat. Geleidelijk aan ging het natuurlijke landschap over in een maakbaar landschap, waarbij bedijkingen en ontginningen de rol van de natuur grotendeels overnamen. Geologische processen als erosie en sedimentatie kwamen binnen de (dijk-)grenzen van de provincie tot stil stand. Het geologische tijdperk van het Holoceen heeft (tot heden) in Fryslân een pakket aan klei-, zand- en veenlagen nagelaten, dat vanaf de pleistocene zandgronden in het oosten geleidelijk aan in dikte toeneemt tot plaatselijk meer dan 25 m langs de Waddenzee. (figuur 2.13).

Figuur 2.11 Holoceen landschap van Noord-Nederland rond 500 v. Chr. en 800 n. Chr. (uit: Atlas van Nederland in het Holoceen, TNO, e.a. 2011)



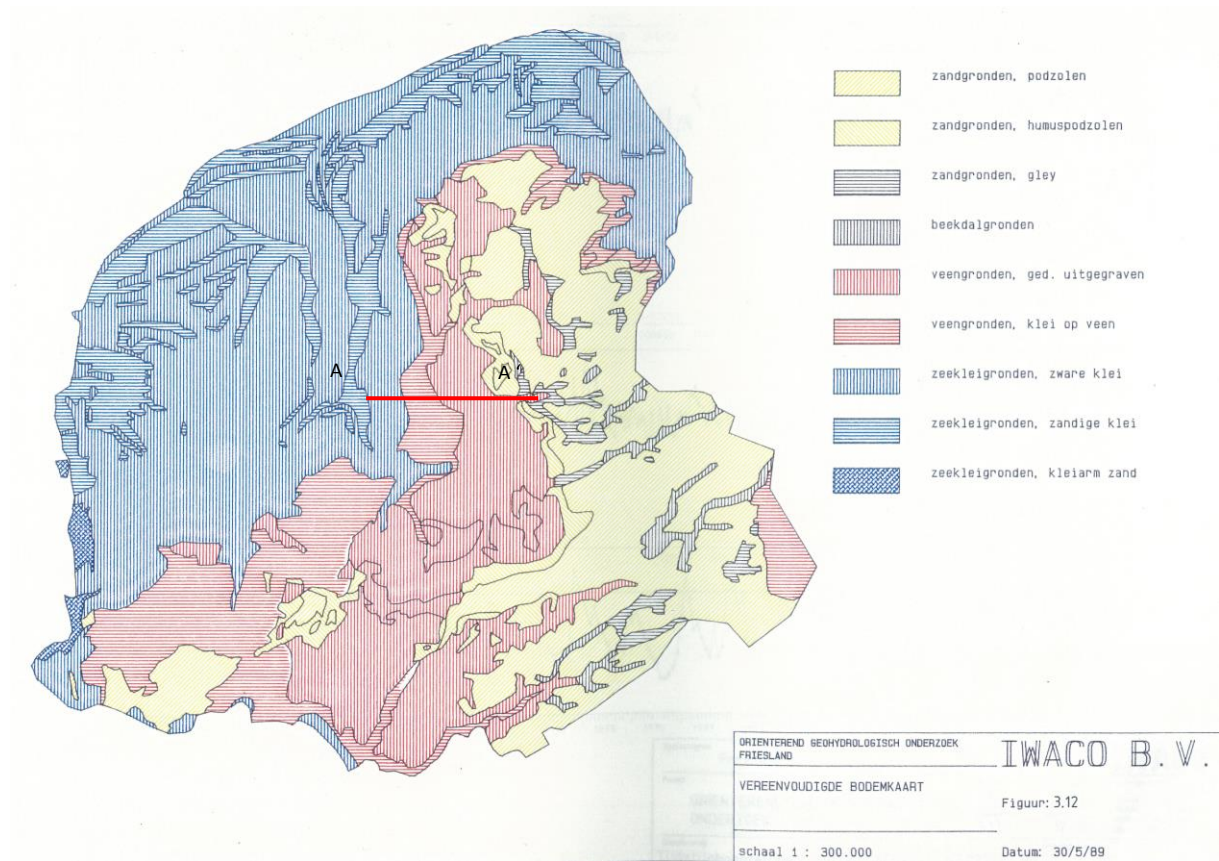
Holoceen landschap

- | | | |
|-----------------------------|---|------------------------|
| Hoge duinen | Getijdengebied en riviervlakte | Stedelijk gebied |
| Strandwallen en lage duinen | Getijdengebied en riviervlakte, bedijkt | Stad |
| Strandvlaktes | Droogmakerij | Buiten- en binnenwater |
| Veengebied | Waterlopen | |

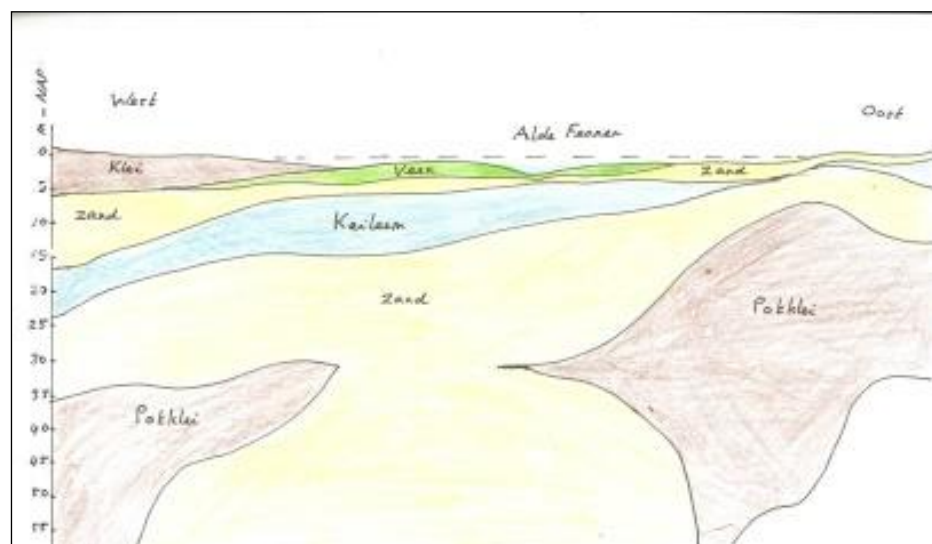
Pleistocene landschap

- | | | |
|-------------------------------------|--|---|
| Riviervlakte en beekdalen | Dekzandgebied boven 0 m NAP | Lössgebied |
| Dekzandgebied beneden 16 m -NAP | Rivierduinen | Gebieden met Tertiäre en oudere afzettingen |
| Dekzandgebied tussen 16 en 0 m -NAP | Stuwwallen, gestuwde kelleemheuveld en -ruggen | |

Figuur 2.12 Vereenvoudigde bodemkaart van Fryslân met ligging van de klei-op-veengebieden (uit oriënterend geohydrologisch onderzoek, IWACO, 1989); in kader: schets bodemopbouw in Midden-Fryslân rond Alde Feanen (uit: Watergebiedsplan Alde Feanen, Wetterskip Fryslân, 2015)

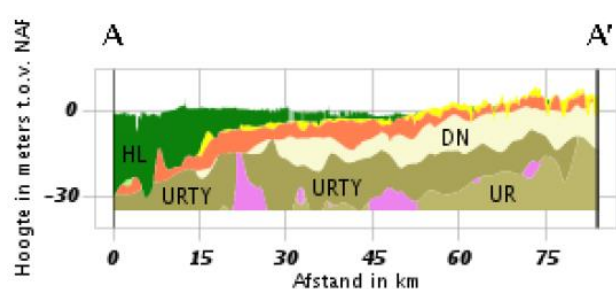
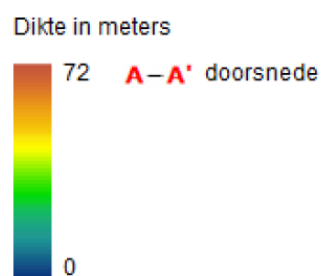
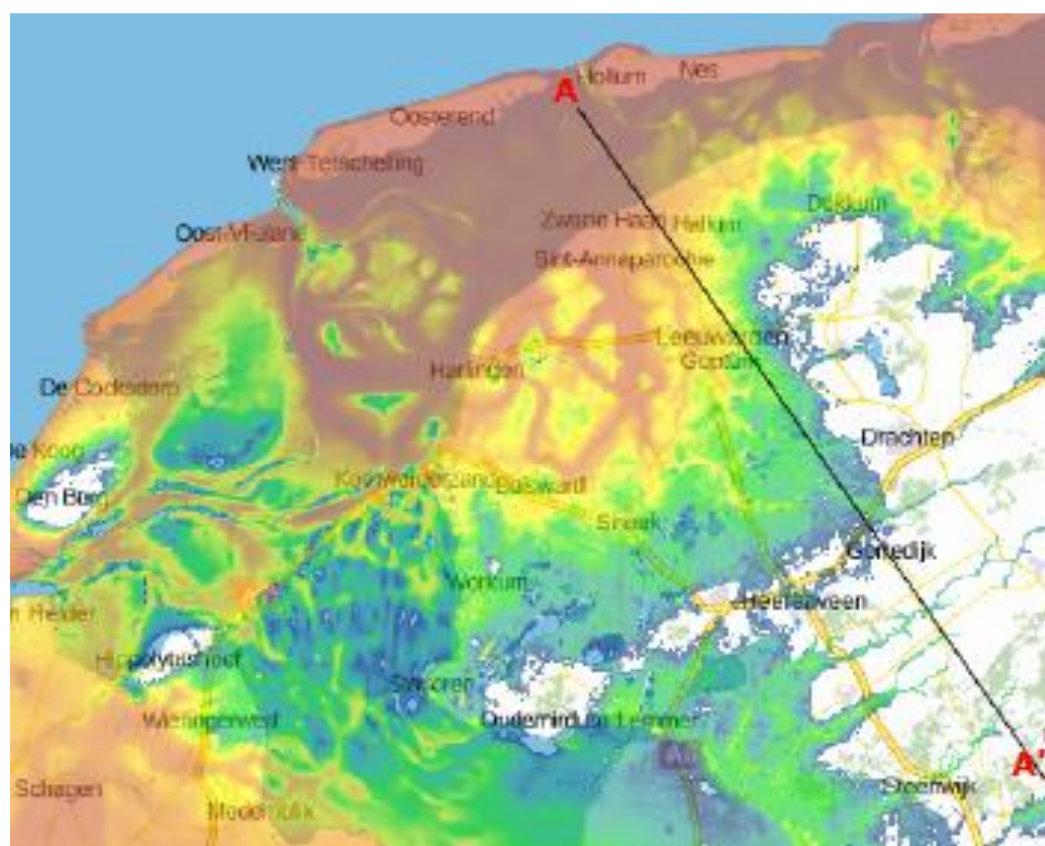


A



A'

Figuur 2.13 Dikte van de holocene afzettingen (wit gebied betreft de pleistocene afzettingen aan maaiveld) (uit: ondergrondgegevens DINO-loket, TNO)



2.4 Landschapshistorische ontwikkelingen

Nadat door geologische processen Fryslân grotendeels opgebouwd was, begon de mens in de vroege middeleeuwen het landschap verder vorm te geven. De belangrijkste door de mens geïnitieerde historische ontwikkelingen zijn die van bedijkingen, verveningen, inpolderingen en ontwikkeling van de Friese Boezem. Deze ontwikkelingen hebben een grote invloed gehad op het oppervlakte- en grondwatersysteem in de provincie. Ook belangrijk, maar meer van recente datum, zijn de ingrepen van peilaanpassing (ruilverkavelingen) en de inpoldering van de Noord-Oostpolder. Niet minder belangrijk voor het grondwatersysteem, maar zich afspelend in de ondergrond, is de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening geweest. Om de landschapshistorische ontwikkelingen goed te kunnen beschrijven wordt gebruik gemaakt van de indeling en naamgeving van de Friese landschappen (figuur 2.14) opgenomen in het boekwerk van Meindert Schoor (M. Schoor, 1993).

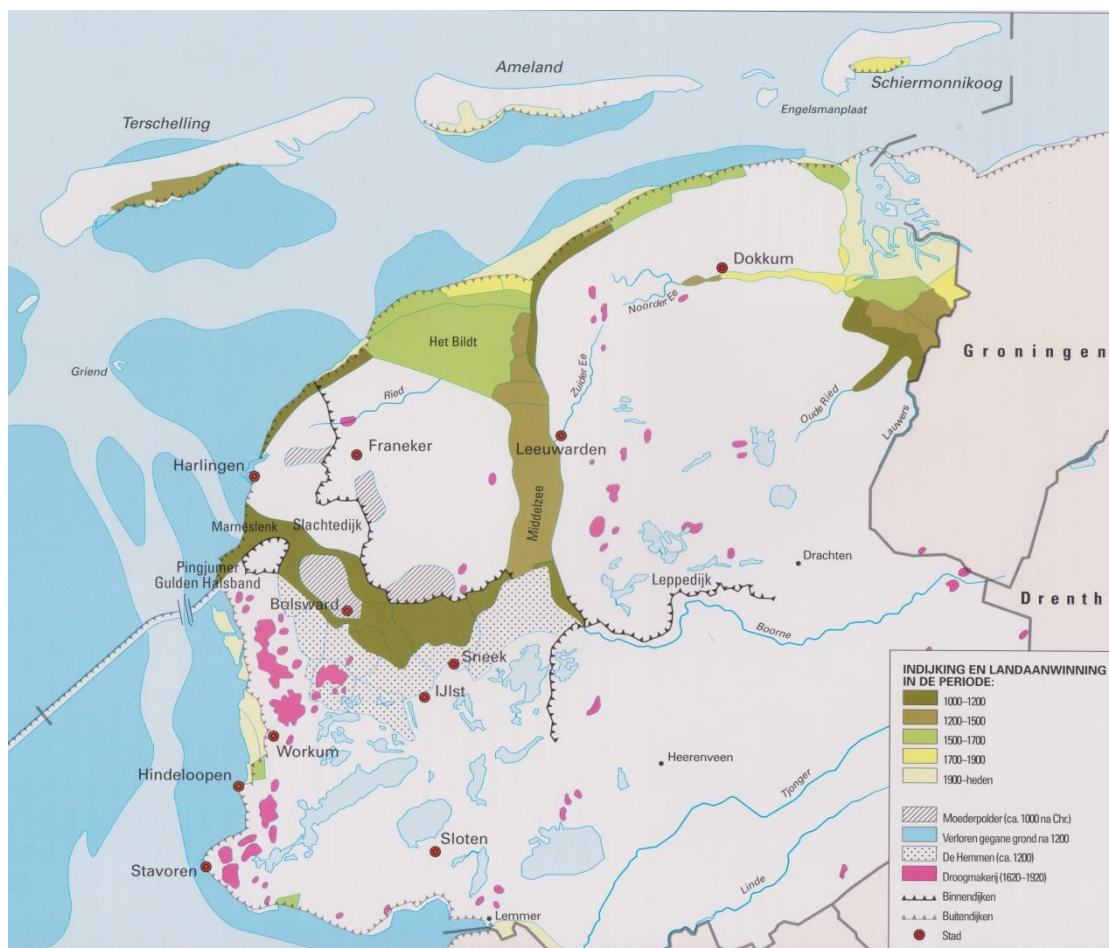
Figuur 2.14 Overzicht landschappen van Fryslân (uit: 'De wereld van het Friese landschap' door Meindert Schoor, 1993)



Bedijkingen

Rond 1000 n. Chr. werden de eerste primitieve bedijkingen in Noordwest-Fryslân aangelegd, gericht op de bescherming van de hogere gronden rond de terpen. Zo ontstonden kleine bedijkte poldergebiedjes (zogenaamde moederpolders). Door het verbinden van de dijken van deze poldertjes kon de Slachtedyk, de oudste binnendijk van Nederland ontstaan (figuur 2.15). Door de stijging van de zee en daarmee de waterstand in de geulen en prielen werd de noodzaak tot verdere bedijking steeds urgenter. Zo kwam er al een omringdijk rond Westergo (ten westen van de Middelsee) tot stand in de 11^e eeuw. Vanuit deze omringdijk zijn in de jaren 1100-1300 de grootste zeearmen (Middelsee bij Leeuwarden en Marneslenk onder Harlingen) grotendeels ingedijkt. Ook delen van de Lauwerszee zijn al in de vroege Middeleeuwen bedijkt.

Figuur 2.15 Overzicht bedijkingen in Fryslân (uit: 'De wereld van het Friese landschap' door Meindert Schoor, 1993)



De bedijkingen van de grote zeegaten zijn in latere tijden in noordelijke richting uitgebreid. Zo werd rond de Middeleeuwen het noordelijke deel van het getijdegebied van de Middelsee bedijkt, waardoor jonge kalkrijke gronden van Het Bildt beschikbaar kwamen voor de landbouw. Door de hoge aanslibbing en de zandige bovengrond (zandige klei, kleiig zand) liggen deze gronden momenteel hoog boven zeeniveau. De bedijkingen beschermden het land tegen overstromingen of hoge vloedstanden; van inpoldering met bemaling was toen

nog geen sprake. De waterstanden in het binnenland waren gelijk of hoger dan de zeestanden.

Droogmakerijen

In tegenstelling tot de ontwikkelingen in Holland zijn in Fryslân weinig meren drooggelegd. Dit had enerzijds te maken met de overwegende zandige bodems van de Friese meren en anderzijds met de functie van de meren als boezemgebied. De meeste droogmakerijen liggen in het westen van de provincie tussen Stavoren en Harlingen (figuur 2.15). Een bekende oude droogmakerij, welke in de 17^e eeuw is drooggemalen is die van de Greate Wergeastermar ten zuiden van Leeuwarden. De droogmakerijen vormden de eerste laaggelegen (onder zeeniveau) poldergebieden in Fryslân.

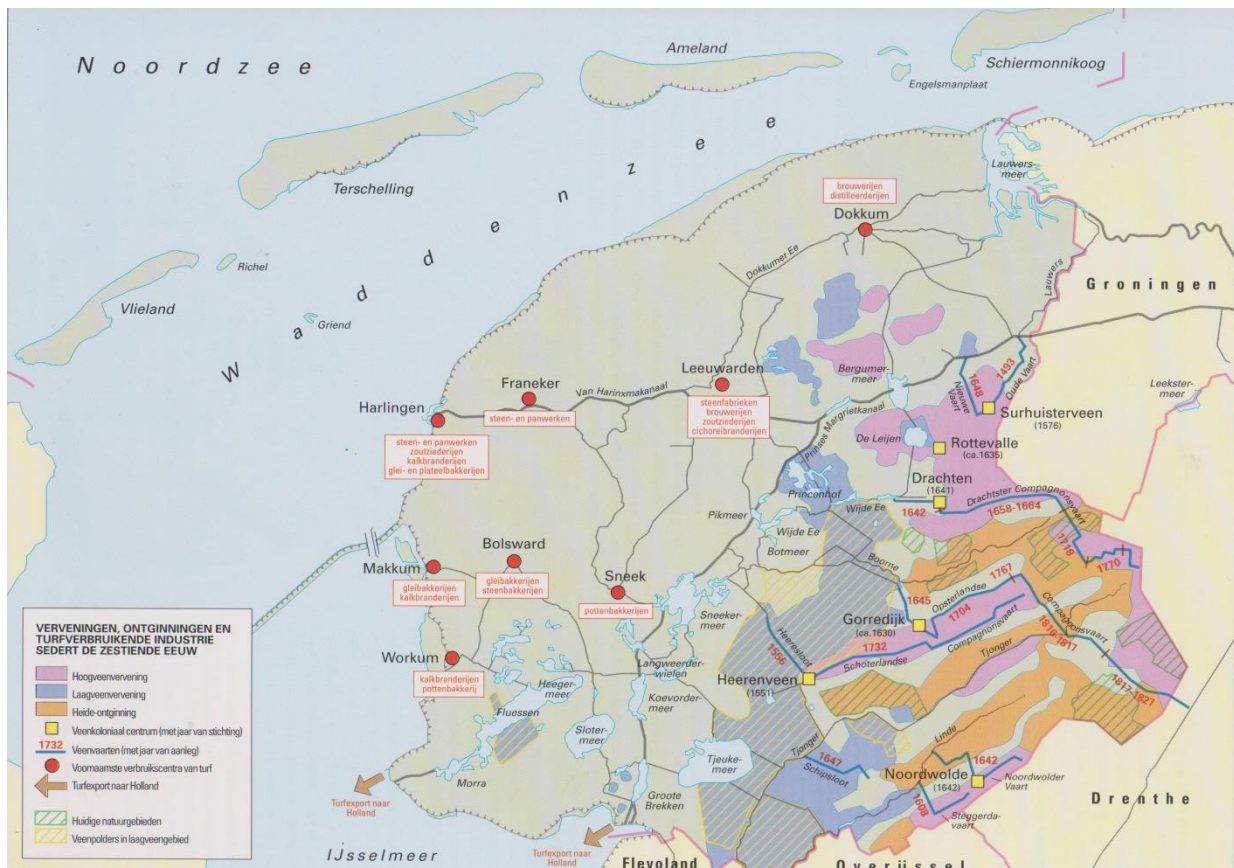
Verveningen

Tot omstreeks 1100 na Chr. lag het veengebied in het midden van Fryslân boven zeeniveau. Door ontginning en ontwatering kwamen deze gronden steeds lager te liggen. De eerste verveningen voor turfwinning waren kleinschalig en vonden met name plaats door kloosters in Noordoost-Fryslân. Vanaf de zestiende eeuw kwam de vervening van het zuidoosten van de provincie geleidelijk aan op gang. De aanleg van wijken en kanalen voor de ontwatering en het transport van veen was hierbij van essentieel belang. In figuur 2.16 is een overzicht gegeven van de vroegere verveningen, ontginningen en aanleg van vaarten. Nabij het boezemgebied, tegen de hogere zandgronden aan, lag ten westen van de lijn Drachten-Gorredijk-Heerenveen-Wolvega een veenpakket van aanzienlijke dikte. Het veen lag echter laag t.o.v. de heersende waterstanden en voor exploitatie van het veen diende gebaggerd en/of bemalen te worden. Dit maakte laagveen-vervening duur, waardoor deze vorm van vervening lange tijd kleinschalig is gebleven in Fryslân. Ook het ontstaan en de uitbreiding van veenplassen door golfwerking gaf problemen bij de ontginning.

Pas in de 19^e eeuw is deze strook 'laagveen' grootschalig ontgonnen, waarbij uitgestrekte en diep bemalen veenpolders zijn ontstaan (o.a. polders van het 4^e en 5^e veendistrict). Deze laagveen-verveningen hebben het regionale grondwatersysteem van dit deel van de provincie in belangrijke mate bepaald.

Voor de hoogveenontginningen in het oosten van de provincie is een netwerk van vaarten (Compagnonsvaarten) aangelegd. De meest oostelijk gelegen vaarten en ontginningen zijn het laatst gerealiseerd. Het verst gelegen hoogveengebied, dat van het Fochteloërveen, op de grens met Drenthe, heeft de vervening overleefd en vormt nu als natuurgebied een van de grootste aaneengesloten hoogveengebieden van Nederland.

Figuur 2.16 Overzicht ontwikkeling verveningen, veldontginningen en aanleg van vaarten in Fryslân (uit: 'De wereld van het Friese landschap' door Meindert Schoor, 1993)



Tussen de Veenpolders en het westelijk/noordwestelijk kleigebied ligt het 'Lage Midden' van Fryslân. Bodemkundig gezien is het voor een belangrijk deel een klei- op- veengebied (figuur 2.12). Het gebied wordt getypeerd door vele meren, onderdeel uitmakend van de Friese Boezem. De lage bemalen polders tussen de meren zijn deels ontstaan door vervening, deels door voortgaande ontwatering of een combinatie van beiden.

Zoals uit de hoogtekarte (figuur 2.17 of kaart 1) opgemaakt kan worden zijn de hoogteverschillen tussen het Lage Midden van de provincie en de Veenpolders gering, zodat de Veenpolders vaak tot het Lage Midden gerekend worden. De relatief hooggelegen Friese meren ontbreken echter in de Veenpolders, waardoor het gebied landschappelijk, maar ook hydrologisch (infiltratie vanuit de meren en kanalen!) verschilt van het Lage Midden.

Ontwikkeling Friese Boezem

De Friese Boezem vormt in feite een grote binnenlandse waterbak van meren, kanalen en sloten die onderling verbonden zijn en - in rust – dezelfde waterstand hebben. Het geheel heeft in de huidige situatie een oppervlakte van ca. 14.000 ha, waarop een gebied van ca. 300.000 ha afwatert, deels door vrije afstroming (hogere gronden in het oosten) en deels door bemaling van inliggende polders. Het huidige peil van de Friese Boezem ligt op NAP - 0,52m. Het peil en de grootte van de boezem heeft mede invloed op het grondwatersysteem. Sinds de 17^e eeuw wordt het peil van de Friese Boezem centraal door de Staten van Friesland beheerd. Destijds in de 17^e eeuw stond de boezem in verbinding

met de zee door middel van een vijftiental zijlen of zeesluizen. Bij laagwater kon er op zee gespuid worden; bij hoogwater sloten de zijlen. Bij een daling van de waterstand van de boezem onder het streefpeil werd (zout!) buitenwater ingelaten, hetgeen een knelpunt vormde voor de landbouw. In die tijd stond het belang van de scheepvaart echter nog voorop.

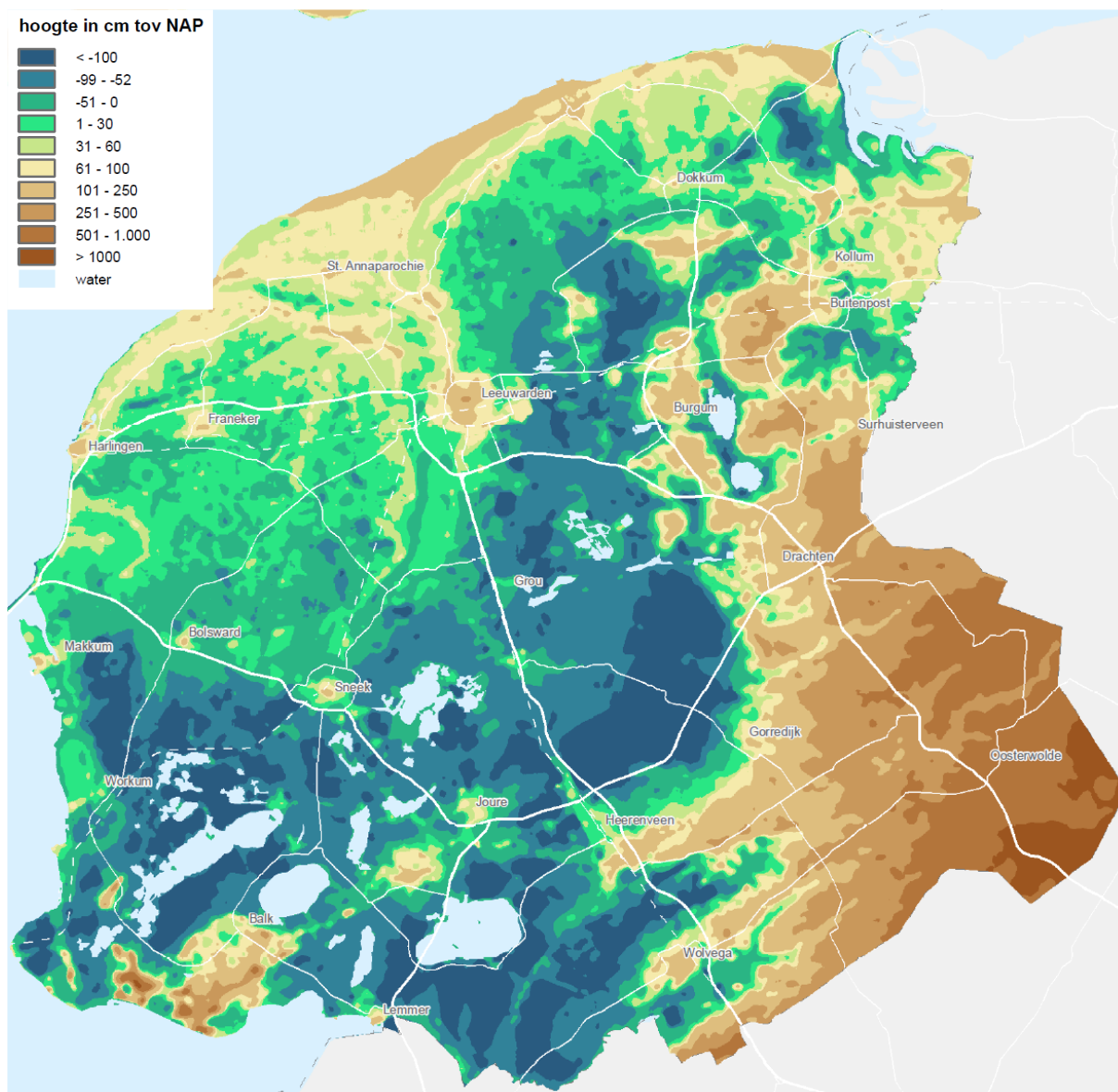
In vroegere tijden bestonden lage delen van de provincie voor een belangrijk deel uit boezemland (bûtlân), dat in de winterperiode onder water stond. Hierdoor drukte de boezem in de winterperiode nog een groter stempel op het hydrologische systeem van Fryslân. Het uitgestrekte boezemgebied had als voordeel dat er een grote buffer was voor de berging van neerslag- en bemalingswater. Door verdere inpolderingen is de oppervlakte van de boezem steeds kleiner geworden, waardoor extreem hoge waterstanden steeds vaker voorkwamen. Een ander probleem was (is) dat van opwaaiing. Bij aanhoudende westen of zuidwesten wind werd (wordt) het water van de boezem opgestuwd in de noordoosthoek van de provincie. Om de boezemwaterstand beter te kunnen beheersen is in 1920 het grote Wouda-stoomgemaal bij Lemmer gerealiseerd. In de jaren '60 is bij Stavoren een tweede boezemgemaal in gebruik genomen: het Hooglandgemaal.

Door de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 werd het toen gevormde IJsselmeer steeds zoeter. Bij daling van de waterstand onder het streefpeil behoefde enkele jaren later geen zout water meer ingelaten te worden om het peil van de Friese Boezem te handhaven. In 1935 werd bij het Woudagemaal in inlaatsluis aangelegd (Teroelsterkolk).

In de jongste geschiedenis van de provincie is het maaiveld in meerdere gebieden verder gedaald. De voornaamste oorzaak hiervan is de peilverlaging in de landbouw. Om voldoende drooglegging te realiseren werden steeds lagere peilen aangehouden. Deze lage peilen leidden op hun beurt tot inklinking van bodemlagen, oxidatie van veen en maaiveldsdaling. De daling van het maaiveld heeft zich met name gemanifesteerd in de veen- en klei-op-veengebieden in de provincie. Dit betrof het gebied van de Veenpolders en het Lage Midden van Fryslân. De daling van het maaiveld en daarmee de waterstanden in dit gebied heeft geleid tot een 'soepbord' vorm van de provincie, met hoge zandgronden in het oosten en zuiden (Gaasterland), relatief hoge kleigronden in het noorden en een rand in het westen en een laaggelegen centraal middengebied (figuur 2.18 of kaart 1). Deze uiteindelijke soepbord-vorm is sterk bepalend voor het grondwatersysteem in de provincie (zie huidig watersysteem, hoofdstuk 4).

Met name de ruilverkavelingen in de jaren '60 en '70 zijn verantwoordelijk geweest voor de sterke peilverlagingen in de landbouw. In figuur 3.18 (volgende hoofdstuk) is een voorbeeld gegeven van de peilverlaging in de ruilverkaveling van Nij Beets.

Figuur 2.17 Hoogtekaart van het vaste land van Fryslân (uit: Waterhuishoudingsplan en Waterbeheerplan Fryslân, 2009). Zie ook kaart 1

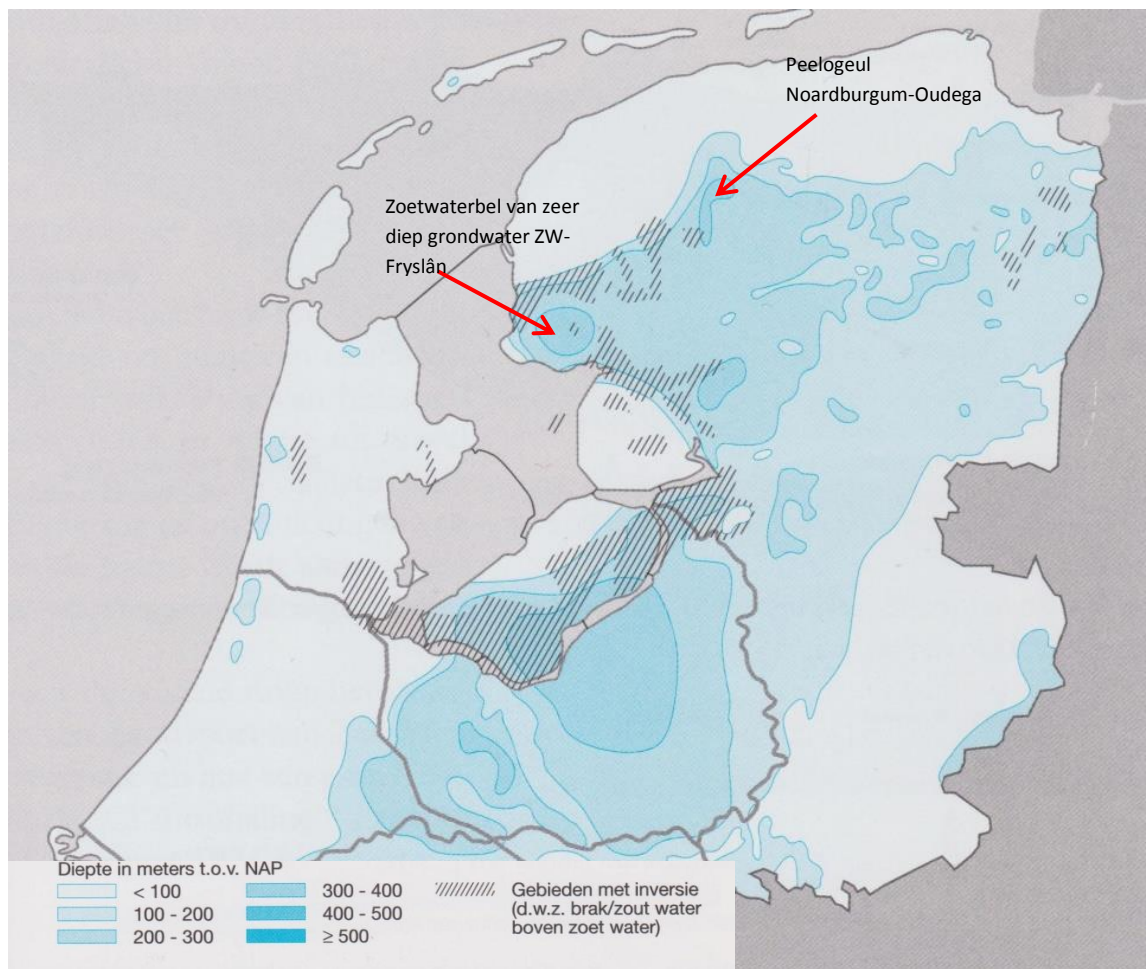


3. Ontwikkeling zoet-zout grondwatersysteem

3.1 Natuurlijke ontwikkeling zoet-zout grondwatersysteem

In het Tertiair, zo'n 2 miljoen jaar geleden lag Nederland en daarmee Fryslân grotendeels onder zeeniveau. De kleiige afzettingen uit het Tertiair bevatten daarom grotendeels zout of brak water. De Tertiaire kleilagen, ofwel de basis van het zoete grondwatersysteem loopt van noordwest naar zuidoost op (figuur 2.2). Op de grens met Drenthe ligt deze kleibasis op ca. 200 m – NAP, terwijl in Zuidoost-Drenthe en Twente de tertiaire kleilagen op een diepte van minder dan 50 m voorkomen. De Tertiaire kleilagen zijn in een marien, zout milieu afgezet en vanwege de geringe doorlatendheid slechts in beperkte mate verzoet. Het zoet-brakgrensvlak en/of brak-zoutgrensvlak ligt dan ook in Oost-Nederland minder diep dan in Midden-Nederland en grote delen van Fryslân. In figuur 3.1 is de ligging van het huidige zoet-brakgrensvlak (chloridegehalte 150 mg/l) van Midden- en Noord-Nederland gegeven.

Figuur 3.1 Diepte van het zoet-brakgrensvlak (chloridegehalte 150 mg/l) in meters t.o.v. NAP voor Noord- en Midden Nederland (uit: Dufour, Grondwater in Nederland, 1998)



Onder zout (grond)water wordt in de hydrogeologie doorgaans verstaan water met een chloridegehalte (Cl^-) van meer dan 1000 mg/l; brak (grond)water heeft een chloridegehalte van 150 tot 1000 mg/l, terwijl zoet (grond)water een chloridegehalte heeft van minder dan 150 mg/l.

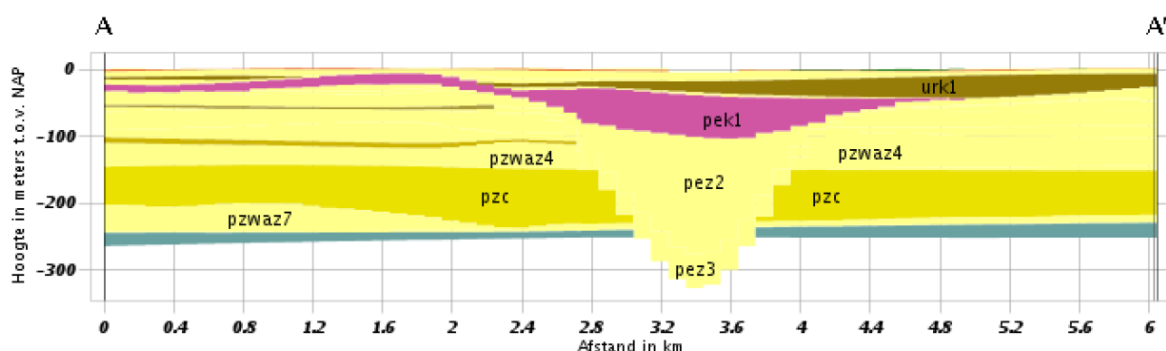
In een grondwatersysteem met zout, brak en zoet grondwater heeft het zoet-brakgrensvlak een chloridegehalte van 150 mg/l en het brak-zoutgrensvlak een chloridegehalte van 1000 mg/l.

In grote delen van Fryslân is de brakwaterzone in de ondergrond (diepste grensvlak) gering van dikte. Hier is de overgang in de diepte van zoet grondwater naar zout grondwater relatief sterk en ligt het zoet-brakgrensvlak dicht tegen het brak-zoutgrensvlak aan en is er in feite sprake van één zoet-zoutgrensvlak.

In het Pleistoceen, volgend op het Tertiair (figuur 2.3) lag Fryslân ver van zee en zijn in die tijd dikke, zoetwaterhoudende zandpakketten door oostelijke en zuidelijke rivieren afgezet. Waarschijnlijk was het grondwatersysteem in geheel Fryslân, inclusief de Waddenzee en het IJsselmeer zoet tot op de hydrologische basis (Tertiaire kleilagen). Waar de Tertiaire afzettingen zandig ontwikkeld zijn, zijn deze bovenin ook verzoet (zie b.v. figuur 5.2, hydrogeologische opbouw bij Terwisscha).

In het Midden-Pleistoceen zijn tijdens de twee na laatste ijstijd (Elsterien) diepe geulen ontstaan in de grotendeels horizontaal afgezette rivierzanden (figuur 2.5). Deze 'Peelogeulen', welke bovenin veelal gevuld zijn met potklei, snijden op meerdere plaatsen door de Tertiaire kleilagen. In Noord-Fryslân ligt een dergelijke geul bij Noardburgum (figuur 3.2).

Figuur 3.2 Doorsnijing van Tertiaire en Kwartaire afzettingen door de 'Peelogeul' te Noard-Burgum (uit: ondergrondgegevens Dino-loket TNO)



Daar waar de Peelogeulen door kleilagen of de hydrologische basis snijden, zoals bij Noardburgum kan een dieper liggend zoet-zoutgrensvlak worden gevonden. In de geul bij Noardburgum wordt op meer dan 300 m diepte nog zoet water aangetroffen (figuur 3.1). De diepe geulopvullingen zijn in de Elsterijstijd als zoete glaciale sedimenten afgezet. In latere perioden heeft mogelijk ook infiltratie van zoet water een rol gespeeld bij de instandhouding van deze zoetwatergeulen.

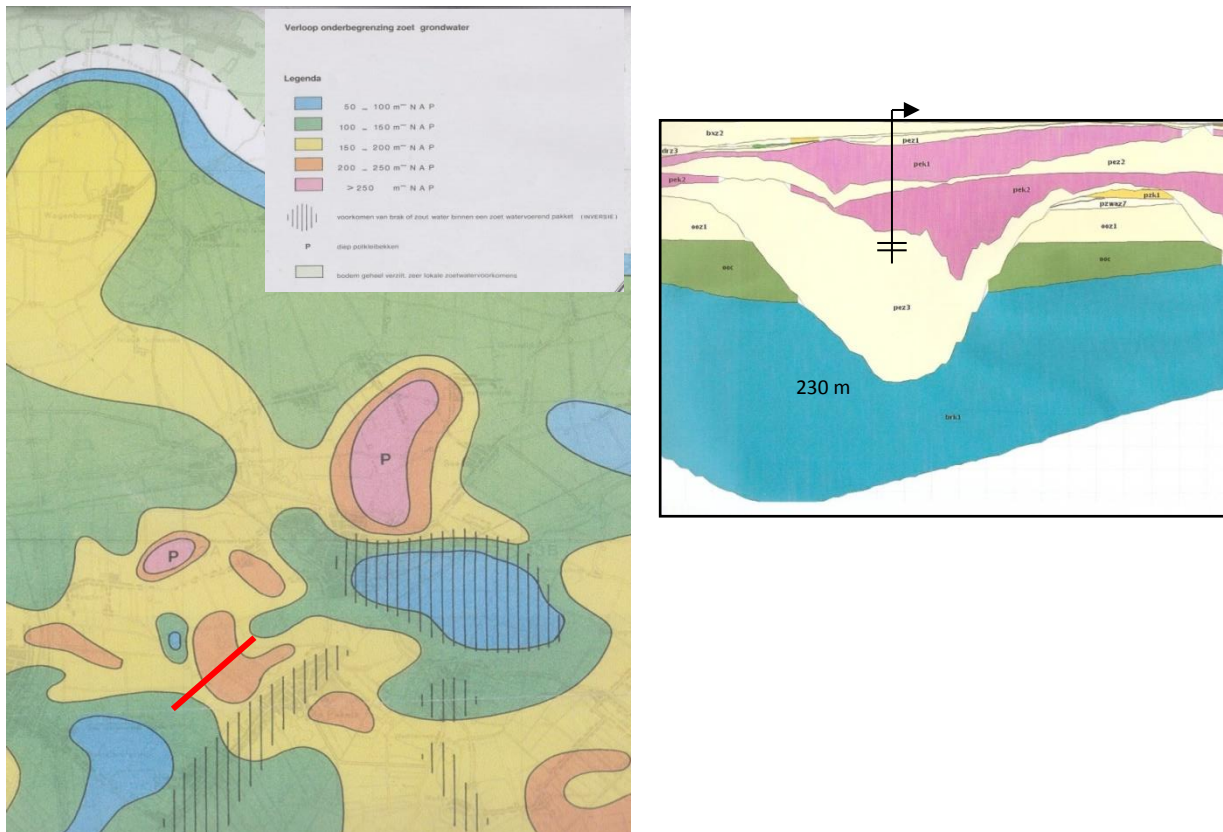
Daar waar de kleilagen van het Peizercomplex (pzc in figuur 3.2) worden doorsneden door een Peelogeul, zoals bij Noardburgum, ontstaat er een kortsluiting tussen het watervoerende pakket boven en onder het Peizercomplex (of indien het complex uit een enkele kleilaag bestaat, zoals de Tegelenklei, tussen het watervoerende pakket boven en onder de Tegelenklei). Deze kortsluiting kan in de huidige hydrologische situatie tot verzilting leiden. Indien zich onder het Peizercomplex zout water bevindt of indien de Peelogeul insnijdt in de (zoute) geohydrologische basis, kan zout grondwater (potentieel) naar boven stromen. Deze vorm van verzilting treedt o.a. op bij de grondwaterwinning van Noardburgum, waar grondwater gewonnen wordt boven het Peizercomplex (Tegelenklei) in de nabijheid van de Peelogeul (IWACO,1979). Ook elders in de provincie Fryslân treedt bij grondwaterwinning verzilting op via kortsluitingen in glaciale geulen (zie verder hoofdstuk 5 onderdeel grondwaterwinning).

Destijds in de jaren '80 is bij het zoeken naar nieuwe locaties voor grondwaterwinning in de provincie Fryslân (vlekkenplanonderzoek) met name gekeken naar de aanwezigheid van slecht doorlatende lagen boven de winning, zodat de hydrologische effecten aan het maaiveld (verdroging/droogteschade) zo gering mogelijk zouden zijn (winplaatsonderzoeken, IWACO 1980,1983; Zevenhoek e.a. 1982). Daarom scoorden locaties onder zeer slecht doorlatende potkleilagen gunstig. In die tijd was niet bekend dat grondwaterwinning in of nabij glaciale geulen (Peelogeulen) verziltingsrisico's met zich meebracht. In Groningen en Drenthe zijn/waren meerdere grondwaterwinningen gelegen in glaciale geulen, waar geen of nauwelijks verzilting optreedt/optrad. Dus ook vanuit de regio kwamen geen signalen dat grondwaterwinning in of nabij glaciale geulen van risicovol zou zijn..

Figuur 3.3 Diepe zoetwaterhoudende 'Peelogeulen' in Oost-Groningen

Linker figuur: Ligging zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) in Noordoost-Groningen (uit: Grondwaterplan Groningen, 1987)

Rechter figuur: Hydrogeologisch profiel (ZW-NO) over de Peelogeul van Kibbelgaarn te Groningen (zie rode lijn in figuur links) met voormalige grondwaterwinning van AKZO (uit: ondergrondgegevens Dino-loket TNO en gegevens AKZO-winning Kibbelgaarn)



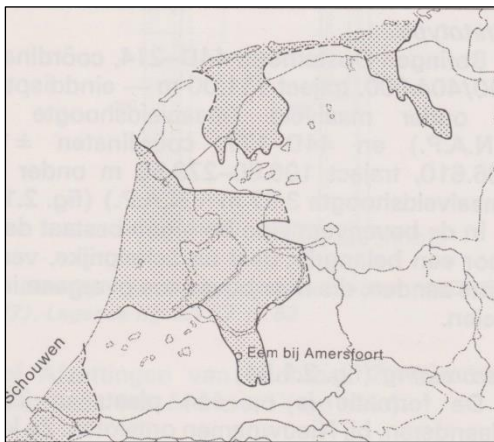
Ook in Drenthe en Groningen komen diepe glaciale geulen voor liggend in de Tertiaire kleiafzettingen. In de Peelogeulen ligt het zoet-zoutgrensvlak veelal dieper dan buiten de geulen, zoals de kaart van het Grondwaterplan van Groningen uit 1987 laat zien (figuur 3.3 boven). In een potkleibekken ten noorden van Winschoten, ligt het zoet-brakgrensvlak volgens de kaart van het Grondwaterplan dieper dan 250 m – NAP, terwijl in de omgeving het grensvlak tussen 100 en 150 m – NAP ligt. Grondwaterwinning uit deze geulen, zo blijkt bij meerdere pompstations in Groningen en Drenthe, leidt in veel gevallen niet tot een significante toename van het zoutgehalte van het gewonnen water. Het chloridegehalte van de voormalige winning van AKZO te Kibbelgaarn (ca. 5 miljoen m³/jaar), gesitueerd in een Peelogeul (figuur 3.3, rechter afbeelding), is tijdens de gehele winperiode laag gebleven (ca. 30 mg/l).

In een diepe waarnemingsput op het puttenveld van deze winning bleef het chloridegehalte van het diepste filter (226 m – NAP) op een stabiel, laag niveau van ca. 30 mg/l hangen.

In de warme periode, het Holsteinien (figuur 2.3), volgend op de ijstijd van het Elsterien, kwam Noord-Nederland weer onder invloed van de zee. Mariene of estuariene afzettingen kunnen aangetroffen worden in benedenstroomse delen van rivierdalen of in diepere delen van de Peelgeulen (De ondergrond van Nederland, TNO, 2003). Mogelijk dat deze Holstein-afzettingen brakwaterpockets achter gelaten hebben. Veel informatie over de afzettingen uit het Holsteinien is echter niet gevonden.

In de daaropvolgende ijstijd, het Salien, is de ondergrond door ijswerking in sterke mate bewerkt (vorming van keileem, stuwwallen, etc.). Deze processen speelden zich echter af in een zoetwater omgeving. De zee lag immers ver ten noordwesten van Fryslân.

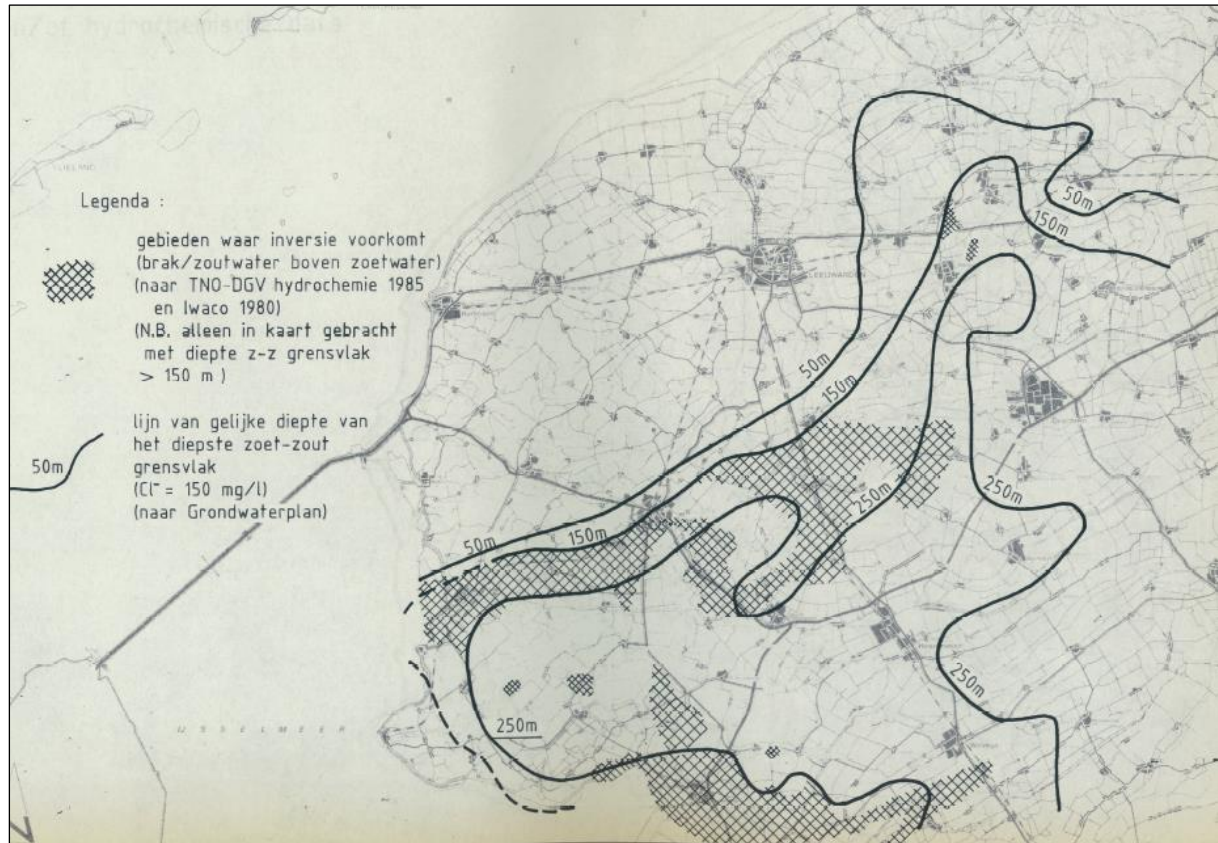
Daarna volgde weer een warme periode: het Eemien of de Eemtijd. In deze periode kwam de zee zodanig hoog dat zij kon doordringen in de laaggelegen, glaciale bekkens welke in het Saalien waren achtergelaten. In deze gebieden zijn mariene kleilagen afgezet (figuur 3.4). In Fryslân worden de Eemkleilagen gevonden in het noordwesten, alsmede in het zuidwesten op de grens met het IJsselmeer.



Figuur 3.4 Verbreiding Eemafzettingen in Nederland (uit: Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland, RGD 1975)

De invloed van de zee tijdens de Eemtijd op het zoete grondwatersysteem reikte mogelijk/waarschijnlijk verder landinwaarts dan de begrenzing van de Eemkleilagen. Mogelijk is een groot deel van het zoete watervoerende pakket in het westen en noordwesten van Fryslân in die tijd verzilt geraakt. Bij terugtrekking van de zee in de laatste ijstijd (Weichselien) is het verzilte grondwater deels weer verzoet. Tijdens dit verzoetingsproces is plaatselijk en met name daar waar slecht doorlatende, kleiige lagen voorkomen waarschijnlijk zout of brakwater blijven hangen. Dit zou een verklaring kunnen zijn van het voorkomen van ondiepe brakwaterlenzen boven zoet diep grondwater (ook wel inversie genoemd) langs de rand van de Eemkleiafzettingen in de huidige situatie (figuur 3.1). Opmerkelijk is de inversiestrook van brak grondwater langs de noordrand van de Noordoostpolder en in het dal van de Linde. In het Eemien drong de zee dit gebied binnen, globaal overeenkomend met het voormalige dal van de Vecht. In figuur 3.5 is wat betreft de ligging van het diepe zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) en de inversiegebieden nader ingezoomd op de provincie Fryslân. Uit deze figuur blijkt hoe ver landinwaarts brakwaterzones kunnen voorkomen, tot aan Nij Beets toe. Echter in welke mate de verzilting in de Eemtijd verantwoordelijk is voor de huidige brakwatervoorkomens is niet zeker. Ook zeespiegelrijzing en overstromingen in het Holoceen kunnen hier debet aan zijn.

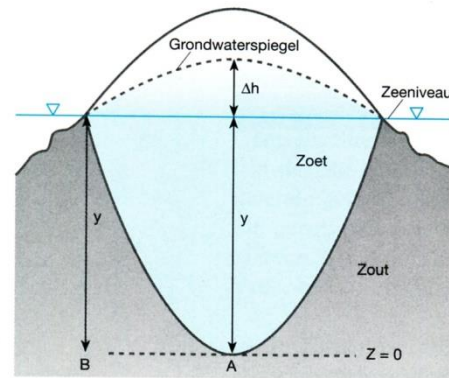
Figuur 3.5 Diepte zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) in meters t.o.v. NAP en inversiegebieden (brak/zout water boven zoet water) (uit: Oriënterend geohydrologisch onderzoek, IWACO, 1989)



In de laatste ijstijd, het Weichselien, lag de zee ver weg van Fryslân (figuur 2.8). Het zeenniveau stond enkele tientallen meters onder het huidige niveau, zodat in potentie een diepe zoetwatervoorraad opgebouwd kon worden. Dit was ook nog het geval in het begin van het holoceen (ca. 9000 v. Chr., figuur 2.9). Daarna steeg de zeespiegel snel en rond 3850 v. Chr. lag de kustlijn in Noordwest-Fryslân weer ongeveer op de huidige kustlijn, afgezien van enkele diepe zeegoeulen (figuur 2.10). In West- en Zuidwest-Fryslân lag de zee in die tijd verder weg van de huidige kustlijn (IJsselmeer). De zeespiegel lag ca. 4 à 5 meter lager dan nu, zodat de diepte van de regionale drainagebasis t.o.v. het landoppervlak flink gedaald was. In Zuid- en Oost-Fryslân kon echter een dik veenpakket tot ontwikkeling komen, dat aansloot bij de veenpakketten in Noord-Holland en het IJsselmeergebied. Rond 500 v. Chr. was de veenontwikkeling mogelijk maximaal (figuur 2.11, bovenste afbeelding), terwijl de zee ver verwijderd was van Zuidwest-, Zuid- en Oost-Fryslân. Deze ontwikkeling verklaart mogelijk de zeer diepe ligging van het zoet-zoutgrensvlak in Zuidwest-Fryslân (figuren 3.1, 3.5 en kaart 10). De vraag is dan waarom de ligging van het zoet-zoutgrensvlak naar het oosten toe ondieper ligt. Deze is waarschijnlijk gerelateerd aan de ondiepere ligging van de – in een zout zeemilieu afgezette - Tertiaire kleien (hydrologische basis) in Oost-Fryslân.

Wordt – ter oriëntatie - uitgegaan van een diepte van het zoete grondwater in Zuidwest-Fryslân van 300 m – NAP en het principe van Badon-Ghyben (zie kader hieronder), dan zou in een evenwichtssituatie tussen het zoete en zoute grondwater, de grondwaterstand minimaal ca. 7 m boven de toenmalige gemiddelde stand van de (nabije) zee hebben moeten staan. Bij een voldoende dik veenpakket zou dit mogelijk zijn geweest.

In een evenwichtssysteem van zoetwaterlenzen in een zoutwateromgeving, zoals in duingebieden langs de kust gaat het principe van Badon-Ghyben op, welke de relatie weergeeft tussen de grondwaterstand (Δh , afbeelding hiernaast) in de zoetwaterlens en de diepte van de zoetwaterlens (y). Voor een systeem met een dichtheid van zeewater van 1,023 kg/liter en zoet water van 1,0 kg/liter geldt dat de diepte van de zoetwaterlens 43,5 x de hoogte (opbolling) van de grondwaterstand bedraagt, beiden (grondwaterstand en diepte lens) gerekend vanuit zeeniveau. Bij een grondwaterstand van een meter boven zeeniveau behoort dan een diepte van de zoetwaterlens van 43,5 m beneden zeeniveau.



In Noordwest-Fryslân lag de zee, na de relatief snelle stijging rond 3850 v. Chr. dichtbij de huidige kustlijn. Dit deel van Fryslân is sindsdien lange tijd een getijdegebied gebleven, met open slenkssystemen (Middelzee, Marneslenk) tot midden in de provincie (figuren 2.9 t/m 2.13). Pas rond 1100-1300 zijn de grootste zeearmen bedijkt, hetgeen overigens niet betekende dat er geen zout zeewater meer het bedijkte gebied kon binnendringen. De bedijkingen hadden immers in de eerste plaats tot doel om het land te beschermen tegen hoog zeewater; de aanwezigheid van zout water voor b.v. de landbouw kwam op de tweede plaats (zie paragraaf 2.4).

De zeespiegelstijging en het binnendringen van de zee heeft het zoete grondwater in dit gebied in sterke mate verdrongen. Het verziltingsproces manifesteerde (manifesteert) zich op verschillende wijze binnen het van oorsprong zoete grondwatersysteem:

1. Verzilting van het watervoerende pakket boven de hydrologische basis, met verzilting van de Formatie van Maassluis en onderste laagpakketten van de Formatie van Peize-Waalre
2. Binnendringen van zout grondwater over de kleilagen (Peizercomplex: pzc in huidige hydrogeologische benaming) binnen de Formatie van Peize-Waalre. De kleilagen van het Peizercomplex, vroeger kleilagen van Tegelen binnen de Formatie van Harderwijk genoemd, liggen in Noord-Fryslân op een diepte van ca. 150 m – NAP en duiken weg naar grotere diepte, tot ca. 200 m – NAP in Zuidwest-Fryslân (zie profiel NO-ZW, figuur 3.6)
3. Verzilting via/van ondiepere watervoerende pakketten, al of niet over kleilagen

4. Verzilting van het afdekkend Holocene kleipakket en plaatselijk lagen daaronder, door overstroming van zout zeewater en vanuit krekken en geulen die in open verbinding stonden met de zee

De eerste drie verziltingsprocessen betreffen verzilting binnen het grondwatersysteem, waarbij laterale verzilting een grote rol speelt. Het vierde verziltingsproces is in belangrijke mate een verticaal proces, waarbij zout oppervlaktewater infiltreert in de bodem.

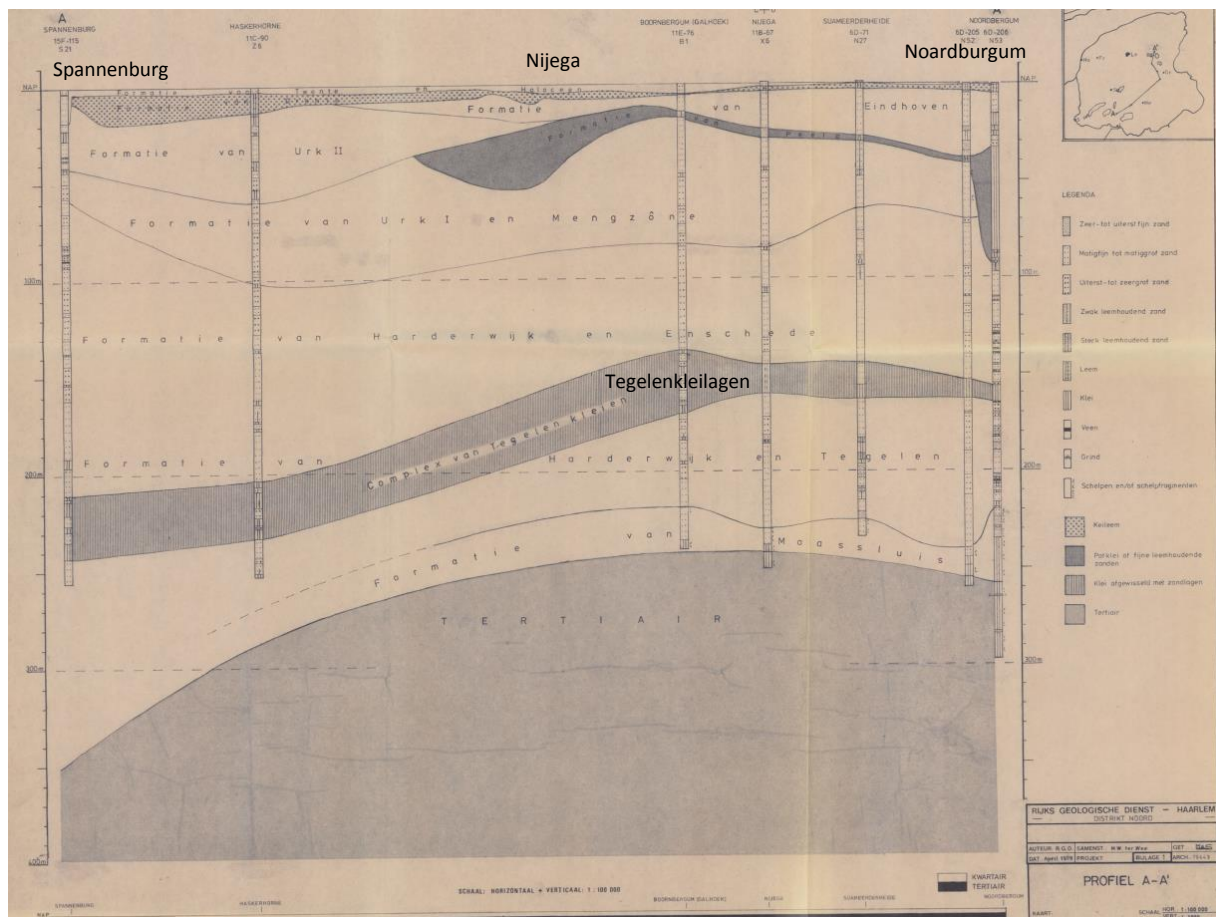
Verzilting van het watervoerende pakket boven de basis (verziltingsproces 1) kan enerzijds verklaard worden vanuit laterale verzilting vanuit de ondergrond in de Noordzee (uit het westen en noordwesten) en anderzijds door verzilting vanuit de zoutwaterhoudende geohydrologische basis. Door de slechte doorlatendheid van de kleilagen in de basis is verzilting vanuit de basis waarschijnlijk eerder een proces van diffusie dan van stroming. Ook dient bedacht te worden dat de Tertiaire lagen in de basis niet overal uit ondoorlatende kleien bestaan. Daar waar diepe zandige lagen met zout grondwater voorkomen kan ook door verticale stroming verzilting plaatsvinden.

Door de heterogeniteit van de ondergrond en verschillen in doorlatendheid is de laterale verzilting gerekend in een verticaal profiel veelal niet gelijk. Dit leidt er toe dat zoutwaterintrusies kunnen ontstaan waaronder zich zoet of brak water bevindt. Dit verschijnsel wordt ook wel inversie genoemd. Deze inversieverschijnselen komen veel voor in het overgangsgebied van zoet naar zout grondwater (zo tussen de lijnen van gelijk chloridegehalte van 150 mg/l op een diepte van 50 en 250 m, figuur 3.5). Het betreft dan veelal inversies van de zoet-zoutverdeling over kleilagen, waarbij het doorlaatvermogen boven de kleilaag groter is dan onder de kleilaag. Deze inversieverschijnselen worden in genoemd overgangsgebied vaak aangetroffen boven de kleilagen van het Peizercomplex (of voorheen Tegelenkleilagen genoemd). Op meerdere plaatsen in dit gebied wordt boven het Peizercomplex brak of zout water aangetroffen, terwijl het watervoerend pakket onder het kleipakket zoet of brak is. Er was/is als het ware sprake van een laterale zoutwaterintrusie boven de kleilagen van het Peizercomplex (verziltingsproces 2). Een voorbeeld van een dergelijke laterale intrusie van zout water over het Peizercomplex doet zich voor in boring/waarnemingsput 10GP0016 bij Oudega onder Sneek (figuur 3.7). Een ander voorbeeld van verzilting boven het Peizercomplex (Tegelenklei) is de verzilting van het oude puttenveld van de drinkwaterwinning van Noardburgum, waarbij uiteraard een niet-natuurlijk proces van het aantrekken van een zoutwatertong door de drinkwaterwinning een belangrijke rol speelt (zie hoofdstuk 5, onderdeel grondwaterwinning).

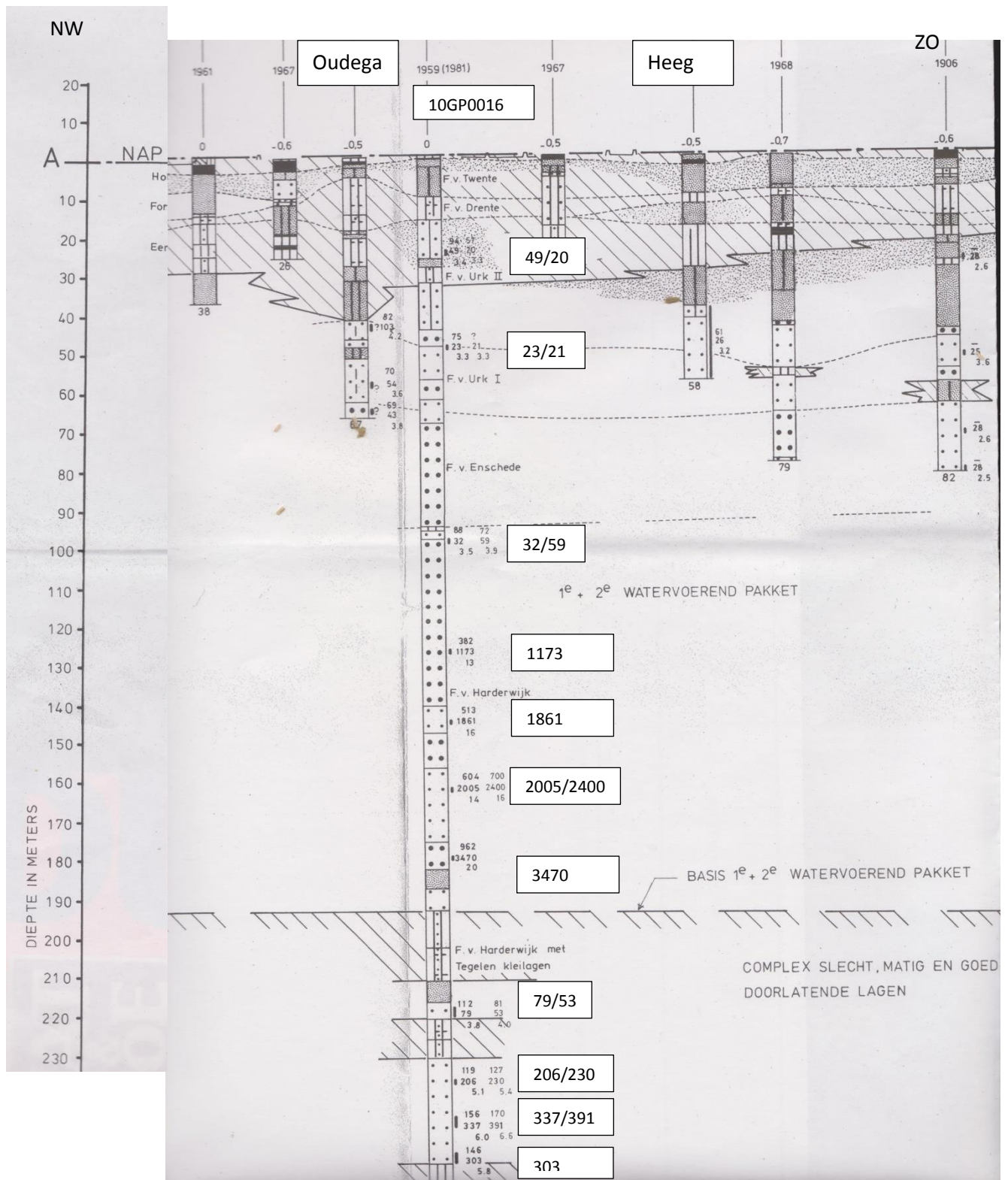
Ook op geringere diepte worden inversies van zoet en zout grondwater gevonden, zoals in de omgeving van Akkrum-Vegelinsoord, ten westen van De Deelen. In dit gebied komen zowel inversies boven de potklei voor (zout water boven en zoet water onder de potklei, waarnemingsput 11CP0094 profiel B-B' van rapport hydrochemie van DGV-TNO uit 1985) als inversies op grotere diepte (11CP0096 profiel F-F' van genoemd rapport). Vaak zijn het verziltingspockets (verziltingsproces 3) die niet direct te herleiden zijn aan processen van laterale grondwaterverzilting of door verticale indringing van zout oppervlaktewater. Een voorbeeld hiervan is de brakwaterzone ten westen van Nijbeets (figuur 3.8).

Overigens dient bij de analyse van deze ondiepe en middeldiepe verzilting rekening gehouden te worden met het feit dat bepaalde zout- en brakwater pockets nog restanten kunnen zijn van verzilting uit de Eemtijd.

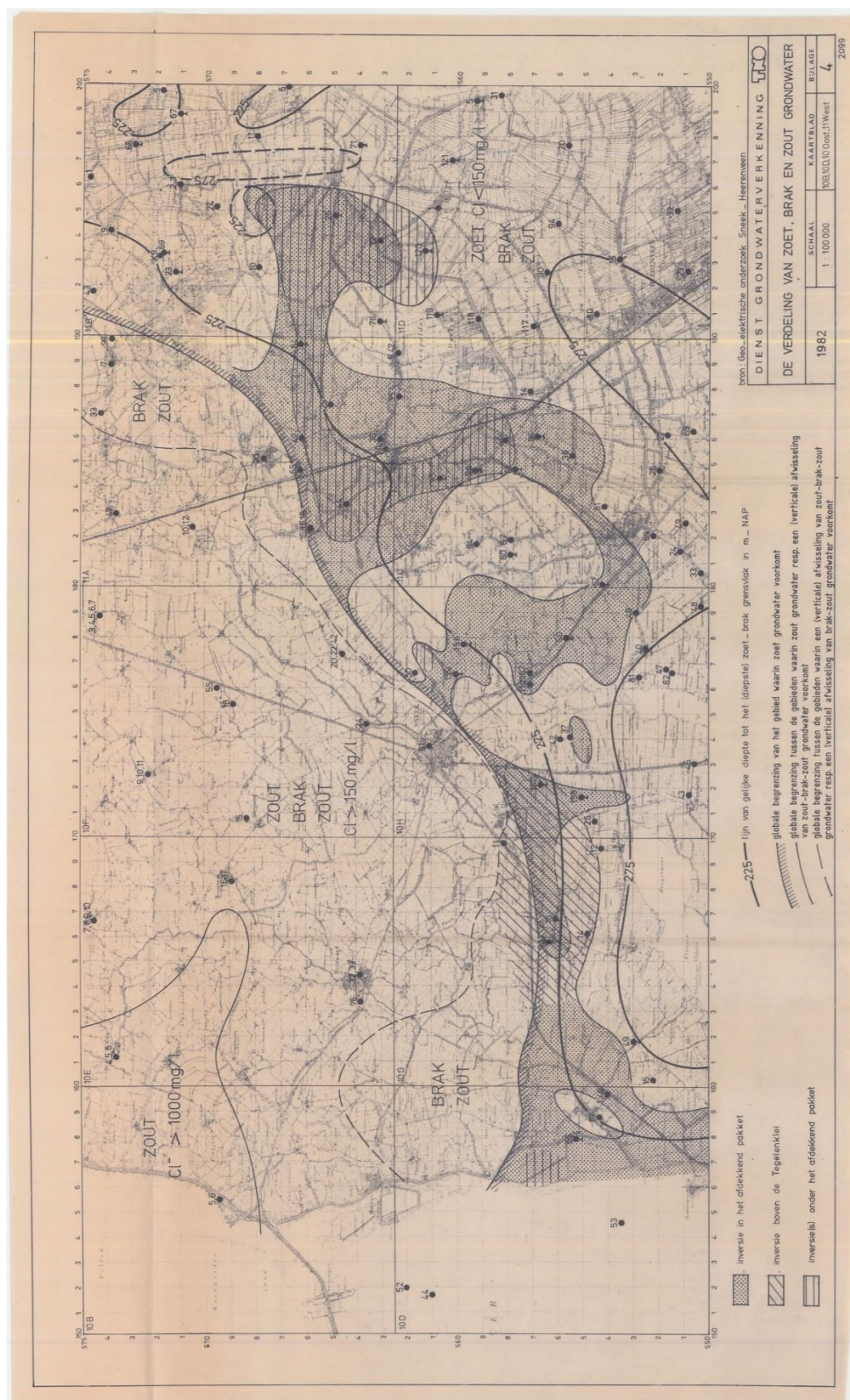
Figuur 3.6 Geologische profiel NO-ZW over Fryslân, van Noardburgum, over Nijega, naar Spannenburg met oude benaming van geologische formaties (uit: RGD-rapport Ter Wee, 1979)



Figuur 3.7 Boorprofiel NW-ZO t.p.v. Oudega-Heeg, onder Sneek met gemeten waterkwaliteit in peilfilters . Specifiek is aangegeven het chloridegehalte in mg/l in de peilfilters van waarnemingsput 10GP0016 gemeten in 1959 en 1981 (uit: DGV-TNO Hydrochemie Sneek-Heerenveen, 1985)



Figuur 3.8 Brakwatervoorkomens en inversies van zoet-zoutverdeling ten westen van Nij Beets (uit: DGV-TNO Hydrochemie Sneek-Heerenveen, 1985)



Door zeespiegelrijzing overstroomde het Holocene klei- en klei-op-veenpakket. Hierdoor is het ondiepe grondwater in het laag gelegen gebied van Noord- en West-Fryslân grotendeels verzilt geraakt (verziltingsproces 4). In het gebied van Noordwest-Fryslân, ten westen van de Middellzee (Westergo) is de hele ondergrond zout geworden. De verzilting door overstroming sloot daarbij aan bij de laterale grondwaterverzilting op grotere diepte. In dit gebied worden doorgaans over het gehele bodemprofiel hoge zoutgehaltes aangetroffen. Het huidige brak-zoutgrensvlak (chloride 1000 mg/l) ligt hier ondiep, ondieper dan 20 m – m.v. langs de rand tot minder dan 2 meter – m.v. langs de kust (figuur 3.9). Het gebied met zout grondwater van Noordwest-Fryslân komt globaal overeen met het gebied waar in het Holoceen een dik pakket aan mariene kleien en zanden is afgezet (vergelijk ligging zoet-brakgrensvlak bovenste afbeelding en diepteligging Pleistoceen onderste afbeelding van figuur 3.9).

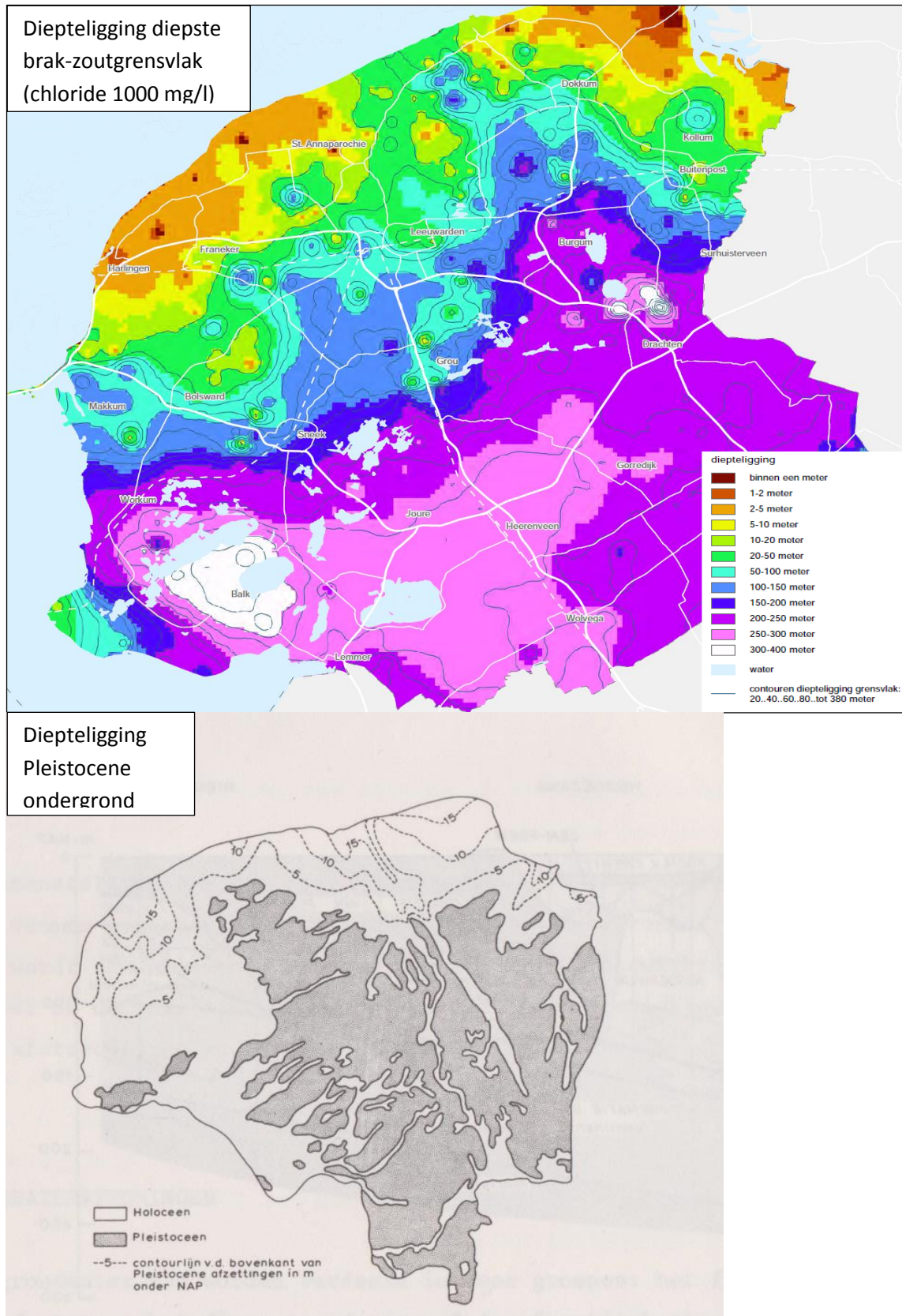
Het noordwestelijke ‘verziltingsbekken’ wordt in het noorden begrensd door een uitstulping van zoet grondwater in het gebied van Damwoude-Dokkum en in het zuiden door de zoete grondwaterbel van Zuidoost-Fryslân. Het zoete grondwater rond Damwoude- Dokkum kan deels verklaard worden door de aanwezigheid van hogere Pleistocene zandgronden, die hier hun meest noordelijke verbreiding hebben (figuur 3.9, onderste afbeelding). Ook de (vroegere) aanwezigheid van het veenpakket op de Pleistocene ondergrond heeft mogelijk een rol gespeeld in de relatief diepe ligging van het zoet-brakgrensvlak/ brak-zoutgrensvlak. Het effect van dit zoete grondwatergebied strekt zich waarschijnlijk verder naar het noorden uit. Figuur 3.9, ontleend aan het provinciaal waterhuishoudingsplan/waterbeheerplan laat zien dat het brak-zoutgrensvlak (chloride 1000 mg/l) nabij de kust ter plaatse van Ferwert dieper dan 20 meter – maaiveld ligt. Het lijkt er op dat de zoet- of brakwateruitstulping van Damwoude-Dokkum, naar het noordwesten ombuigt om bij kust in de omgeving van Ferwert uit te komen. Het betreft een zone langs de kust met relatief diep zoet of brak grondwater te midden van zout grondwater.

Overigens dient opgemerkt te worden dat niet alle grondwaterkaarten met zoet-zoutverdelingen eenzelfde beeld geven. Zo geeft het voormalige ICW uit Wageningen (ICW, 1978) in haar regionale studie van destijds kaartjes van het chloridegehalte op verschillende dieptes. Uit de chloridegehalteverdeling van deze kaartjes blijkt inderdaad de aanwezigheid van een ondiepe brakwatertong richting Ferwert. De ICW-kaartjes geven echter aan dat langs de kust, ook bij Ferwert, het chloridegehalte van het grondwater op een diepte van meer dan 10 m – m.v. overal meer dan 2000 mg/l bedraagt (figuur 3.10).

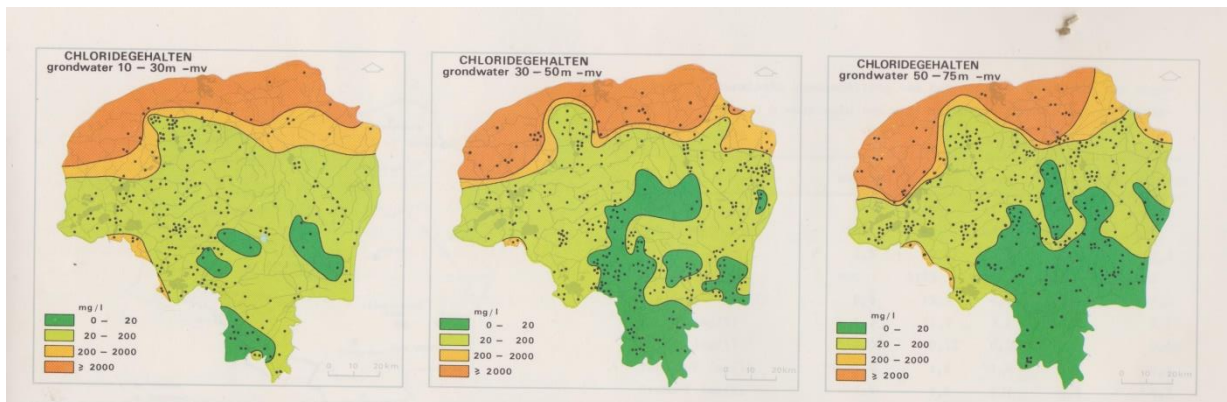
Ook de door Artesia in haar vooronderzoek gebruikte zoet-zoutverdeling wijkt enigszins af van het beeld van de zoet-zoutverdeling volgens figuur 3.9.

Zoals te zien op meerdere kaarten van de zoet-zoutverdeling (figuur 3.5, 3.9 en 3.11) wordt de diepe zoetwaterbel van Zuidwest-Fryslân direct begrensd door het IJsselmeer ofwel de vroegere Zuiderzee. Door stijging van de zeespiegel en het wegslaan van grote delen van het veengebied kon in het Holoceen het zoute water op meerdere plaatsen het gebied indringen. Deze ondiepe verzilting ging waarschijnlijk zo snel dat de laterale verzilting via het diepe grondwater sterk achterbleef (achterblijft). Dit verklaart waarschijnlijk waarom in dit gebied veel ondiepe inversies, met veelal ondiep brakwater boven zoet diep grondwater, voorkomen (figuur 3.11).

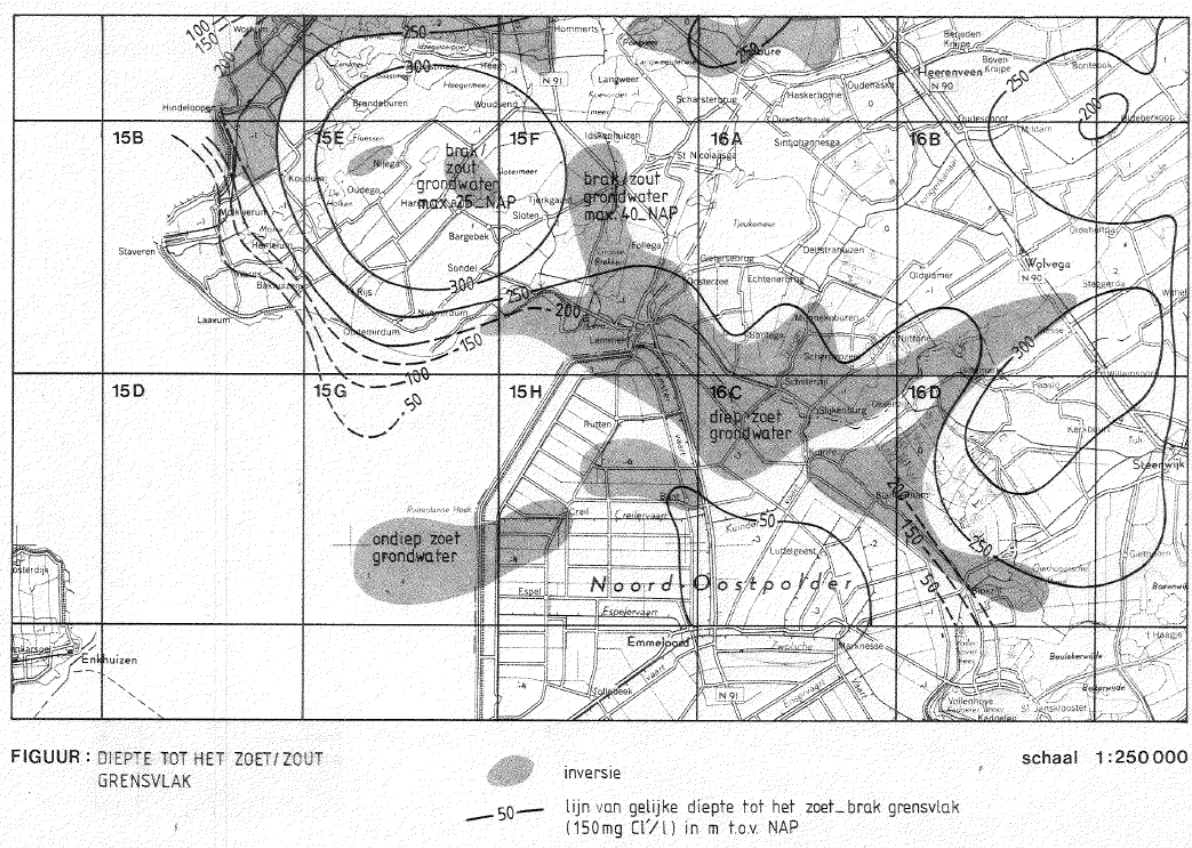
Figuur 3.9 Ligging van het diepste brak-zoutgrensvlak (chloride 1000 mg/l) in meters t.o.v. m.v. (bovenste afbeelding) samen met diepteligging Pleistocene ondergrond (onderste afbeelding) (uit: Waterhuishoudingsplan/Waterbeheerplan Fryslân, 2009 en Regionale studie 13 van ICW, 1978)



Figuur 3.10 Chloridegehalteverdeling van Noord-Nederland op verschillende dieptes (uit: Regionale studie nr. 13, ICW, 1978)



Figuur 3.11 Diepte zoet-brakgrensvlak en gebieden met zout/brak boven zoet grondwater (inversiegebieden) in Zuidwest-Fryslân (uit: Grondwaterkaart van Nederland, Stavoren-Steenwijk, Inventarisatierapport DGV-TNO, GWK 34)



3.2 Invloed van de mens op zoet-zout grondwatersysteem

In de middeleeuwen, rond 1100-1300 zijn de grootste zeegaten, waaronder de Middelzee en de Marneslenk ingedijkt. Dit leidde een nieuwe periode in, waarbij de invloed van de mens op het (grond-)watersysteem van Fryslân geleidelijk aan groeide. Voor en in die tijd was alleen het noordelijke (Oostergo) en noordwestelijke (Westergo) kleigebied van de provincie (dun) bevolkt, waar bij men grotendeels op terpen woonde. Het gebied was een relatief vlak kweldergebied, met hogere delen (kwelder- en oeverwallen) nabij de grotere kreken en de noordelijke kust. Het grootste deel van de provincie (Midden-, Zuid- en Oost-Fryslân) was bedekt met hoog- en laagveen en enkele grotere zandcomplexen, welke nauwelijks bewoond waren in die tijd (figuur 3.12).

Figuur 3.12 Fryslân in de beginfase van de bedijkingen rond 1200 (uit: 'De wereld van het Friese landschap' door Meindert Schoor, 1993)



In het kweldergebied zal de gemiddelde (freatische) grondwaterstand iets hoger hebben gelegen dan het gemiddelde zeeniveau in die tijd, vergelijkbaar met de grondwaterstanden in de huidige kwelders langs de kust. Door het neerslagoverschot konden zich in de bovengrond (potentieel) ondiepe zoetwaterlenzen ontwikkelen. Echter door regelmatige overstromingen met zeewater, zal de bodem in die tijd nog grotendeels zout zijn geweest.

Schets regionaal grondwatersysteem rond 1200

Vanaf de grens met de veengebieden, naar het binnenland toe steeg de grondwaterstand. Gelet op de dikte van het veenpakket en de geringe hydrologische ontsluiting van het veen mag worden aangenomen dat de (freatische) grondwaterstand in Oost-Fryslân aanzienlijk hoger lag dan het huidige (ontgonnen) maaiveld. Op de grens met Drenthe in het Fochteloërveen zal de freatische grondwaterstand eveneens hoger gelegen hebben dan het huidige maaiveld in het veen: mogelijk op ca. 13-15 m + NAP. Het freatische vlak in het veengebied helde dan in die tijd van ca. 13-15 m + NAP in het uiterste zuidoosten naar ca. 1 m + NAP op de rand van het veengebied en de kwelders. Mogelijk dat in de overgangszone van het veen- naar het kweldergebied het grondwaterverhang relatief sterk was, afhankelijk van de veendikte langs de kwelders.

De (diepe) stijghoogte van het grondwater zal naar verwachting globaal het freatische verhang van het grondwater gevolgd hebben. Fryslân bestond waarschijnlijk in die tijd uit één groot regionaal grondwatersysteem met infiltratie op de hogere zand- en veengronden en kwel in het kweldergebied. Hierbij nam de kwel geleidelijk af vanaf de overgang van het veengebied naar de kust. Nabij de kust was de grondwatergradiënt en daarmee de grondwaterstroming waarschijnlijk zeer gering.

In de beekdalen (Boorne, Tjonger, Linde) zal een sterke kwelsituatie aanwezig zijn geweest, eveneens langs de rand van het veengebied op de grens van de kwelder. In de huidige situatie ligt de stijghoogte van het diepe grondwater in de omgeving van de Veenpolders dieper dan 2 m – NAP. In de vroege middeleeuwen voor de verveningen zal dat waarschijnlijk meerdere meters boven NAP zijn geweest. De zeespiegelrijzing tot die tijd heeft geleid tot verzilting van het kwelder- en kustgebied, zoals beschreven in paragraaf 3.1. Ook in de ondergrond werd het zoete grondwater geleidelijk verdrongen door de optrekkende zee. Daar staat tegenover dat op het vaste land een groot veengebied was ontstaan met hoge grondwaterstanden, zodat daar potentieel een diepe zoetwaterbel in stand gehouden kon worden. In een evenwichtssituatie mag verwacht worden dat het zoet-brakgrensvlak/brak-zoutgrensvlak langs de rand van het kweldergebied nabij het maaiveld heeft gelegen en naar het zuidoosten toe – afhankelijk van de grondwaterstanden – geleidelijk in diepte zou toenemen.

In de huidige situatie komt echter langs de rand van het voormalige kweldergebied, zeg Midden-, Noord- en Zuidwest-Fryslân, nog op grote diepte zoet grondwater voor. Mede gelet op het feit dat de hydrologische ontwikkelingen na 1200 eerder verziltend dan verzoetend hebben gewerkt op het diepe grondwater mag geconcludeerd worden dat rond 1200 het zoet-zout grondwatersysteem niet in evenwicht was. De verzilting van het diepe grondwater liep (loopt) als het ware achter op de zeespiegelstijging en de hieraan gekoppelde verzilting van het oppervlaktewater en ondiepe grondwater. Met name de diepe zoete grondwaterbel van Zuidwest-Fryslân, liggend tegen en deels onder de Zuiderzee is een voorbeeld van ‘geconserveerd’ zoet grondwater.

Bedijkingen

Door de indijkingen in de middeleeuwen, rond 1200, kreeg de mens steeds meer vat op het beheersen van het oppervlaktewater. Daarbij ging het in eerste instantie om het voorkomen van (zoute) overstromingen. Hoge buitenwaterstanden (zeestanden) konden door de

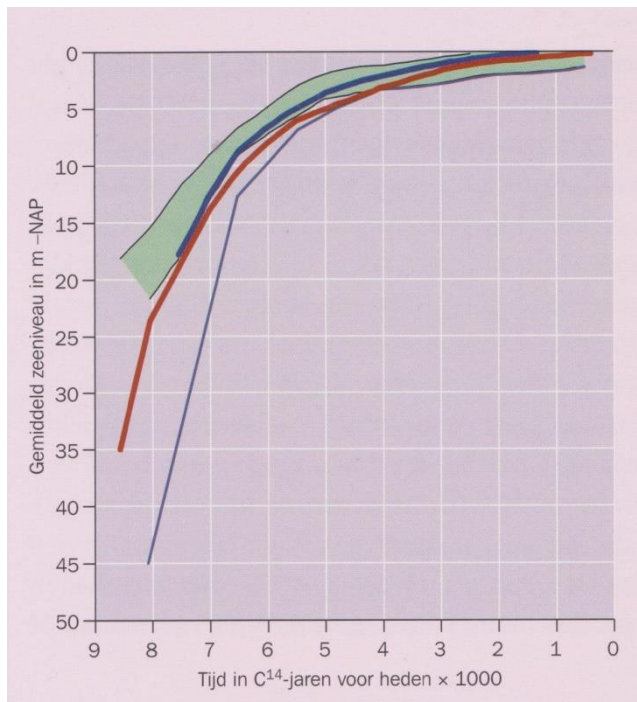
aangelegde dijken geweerd worden. Uiteraard waren in die tijd de dijken nog dermate laag en zwak dat zij regelmatig bij hoge vloed of stormvloed braken of overstroomden. Al vroeg ging men gebruik maken van uitwateringssluizen (zijlen), welke bij hoog water gesloten werden en bij laag water open gingen om het binnendijkse gebiedseigen water te lozen. Ondanks incidentele overstromingen werd het watersysteem in het binnendijkse gebied geleidelijk aan zoeter en daalde de gemiddelde waterstand. Hiermee werd de verzilting van het grondwatersysteem in het voormalige kweldergebied geleidelijk aan tot stilstand gebracht, afgezien van bepaalde plaatsen waar de invloed van zeewater sterk bleef (b.v. bij de uitwateringssluizen). In droge tijden, bij dalende waterstand, was echter instroming van zeewater onvermijdelijk. Ook zal de verlaging van de gemiddelde freatische grondwaterstand een eerste daling van de stijghoogte van het diepe grondwater in dit gebied hebben veroorzaakt.

De grotere natuurlijke kweldergeulen en meren hebben de basis gelegd voor de Friese boezem. In de late middeleeuwen (1200-1500) werden op meerdere plaatsen sloten en vaarten gegraven, alsmede kleinschalige verveningen uitgevoerd. De aanleg van sloten en vaarten in het lage deel van Fryslân betekende in feite een uitbreiding van het netwerk van wateren van de Friese boezem. Wel was de boezem in die tijd gecompartmenteerd. Zo waren de boezems van Westergo en Oostergo gescheiden door een dijk langs de Zwette. De Leppedyk vormde in de late middeleeuwen de scheiding tussen de boezems van Oostergo en Zevenwouden (M. Schoor, 1993).

Afgezien van kleinschalige verveningen en verbeteringen van de afwatering zijn waarschijnlijk de waterstanden en daarmee de grondwaterstanden weinig veranderd sinds de bedijkingen in 1200. Pas na ca.1600 veranderde dit geleidelijk. In de zomerperiode zullen de waterstanden en daarmee de grondwaterstanden rond de toen heersende zeespiegelstand hebben gelegen. In de winter zullen vanwege het neerslagoverschot en slechte afwateringssituatie de waterstanden en daarmee de grondwaterstanden gemiddeld aanzienlijk hoger hebben gelegen dan de gemiddelde zeewaterstand. Daarmee zal de gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater in het lage deel van Fryslân ook hoger hebben gelegen dan de gemiddelde zeespiegelstand. Met name de hoge winterwaterstanden met overstromingen van de boezemlanden zorgden voor een verzoeting van het ondiepe grondwatersysteem.

Beperkte zeespiegelrijzing

Inmiddels ging de zeespiegelrijzing in beperkte mate door. In figuur 3.13 is deze stijging in het Holocene voor meerdere plaatsen langs de Noordzeekust gegeven. De zeespiegelrijzing t.p.v. de Friese kust ligt ergens tussen die van West-Nederland en de Duitse Bocht in. Duidelijk is echter dat de zeespiegelrijzing in de laatste 10 eeuwen van het Holocene gering is geweest en slechts beperkt tot een toename van de autonome verzilting van het diepe grondwater heeft geleid.



*Figuur 3.13 Relatieve zeespiegelstijging in het Holoceen (uit: 'De ondergrond van Nederland', TNO, 2003).
Rode lijn: West-Nederland; donker blauwe lijn: Zeeland; groene zone: Belgische wateren; smalle paarse lijn: Waddengebied Duitse Bocht*

Polderbemalingen

In de late middeleeuwen waren er nog nauwelijks bemalingen in Fryslân. Al het oppervlaktewater werd lange tijd via vrije lozing op de boezem en vanuit de boezem op zee afgevoerd. Pas rond 1560 werd melding gemaakt van het bestaan van een watermolen. De eerste echte polder met een tweetal molens was de in 1680 opgerichte Tjaard van Ayalvapolder tussen Wommels en Burgwerd (M.Schoor, 1993). Het bemalen van boezemland kwam pas rond 1800 goed op gang. Ook werden in die tijd steeds meer plassen drooggemalen. Het areaal aan droogmakerijen in Fryslân is echter altijd beperkt geweest en veel minder dan in Noord- en Zuidholland. Meerdere Friese meren zijn niet drooggelegd vanwege de zandondergrond en – waarschijnlijk later – de boezemfunctie van deze meren. De polderbemalingen veroorzaakten enerzijds een daling van de waterstanden buiten de boezem en anderzijds een afname van het areaal aan boezemland. De afname van het areaal aan boezemland leidde weer tot extra hoge boezemwaterstanden. Een probleem dat tot op heden actueel is. Toen de bemaling zich in de 19^e eeuw uitbreidde tot grotere aaneengesloten gebieden ten koste van het boezemland veranderde ook het regionale grondwatersysteem. In de bemalen polders lag de waterstand lager dan in de boezem, hetgeen tot kwel vanuit de boezem leidde. Bemalen polders nabij het oostelijk veengebied ontvingen in sterkere mate kwelwater vanuit dit veengebied, terwijl bemalen polders nabij de kust (potentieel) zout kwelwater vanuit zee of het buitendijkse gebied ontvingen. Gezamenlijk veroorzaakten de poldergebieden een daling van de diepe regionale stijghoogte. Deze daling heeft zich waarschijnlijk rond 1800 ingezet en is – gelet op actuele peilverlagingen – nog steeds gaande. De daling van de diepe stijghoogte veroorzaakte (veroorzaakt) op haar beurt weer een toename van de autonome verzilting van het diepe grondwater. Niet goed aan te geven is wanneer de grootste – zowel in oppervlakte als in verlaging – peilverlagingen hebben plaatsgevonden. Nader historisch onderzoek zou hier duidelijkheid over kunnen verschaffen.

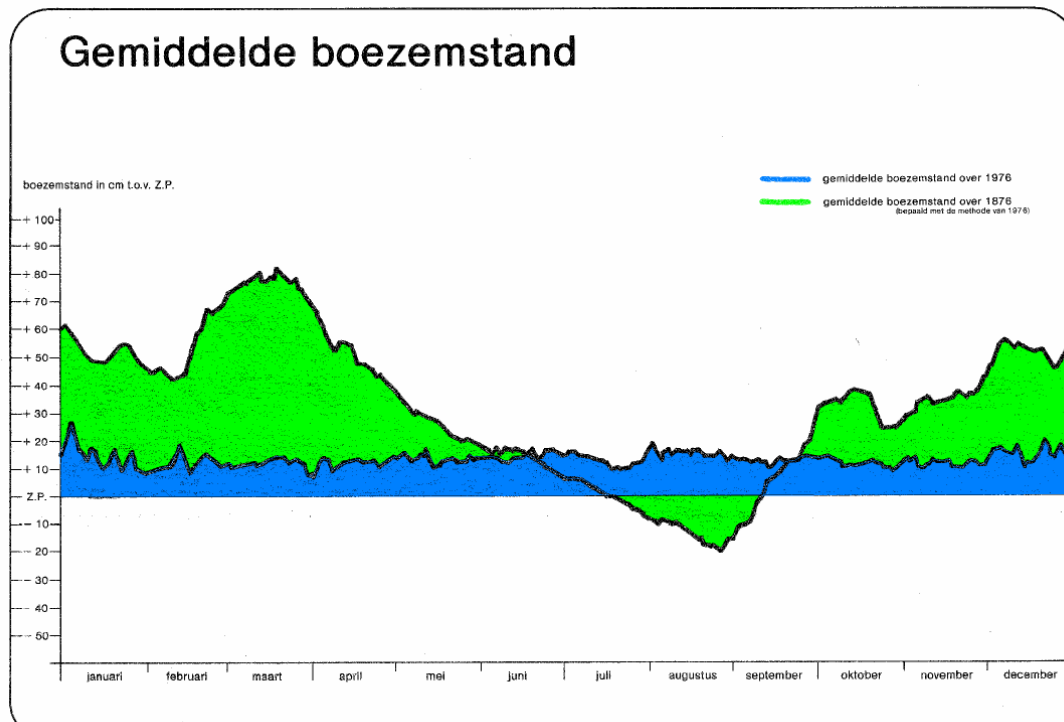
Grootschalige verveningen

Naast de bemalingen kwam er in de 19^e eeuw nog een andere ontwikkeling op gang, die een nog groter effect op het regionale (grond-)watersysteem heeft gehad: de grootschalige vervening van het laagveen in de provincie. Met name in het zuidelijke lage deel van Fryslân, tegen de hogere gronden aan, bevond zich een dik veenpakket. In dit gebied, de Veenpolders (figuur 2.15) is een groot deel van het veen in deze tijd ontgonnen, waardoor het maaiveld aanzienlijk gedaald is en daarmee de (grond)waterstanden. Ook elders in de provincie vonden verveningen plaats, maar deze waren veelal of kleinschaliger of hadden betrekking op een minder dik veenpakket. De ontginning van het laagveen in de Veenpolders heeft geleid tot uitgestrekte en diep bemalen polders, zoals we deze nog aantreffen in de polders van het 4^e en 5^e veendistrict ten noorden van Heerenveen. De grootschalige waterstandsverlaging in dit gebied heeft geleid tot een sterke regionale kwel en daarmee een aanzienlijke stijghoogteverlaging van het diepe grondwater. In de Veenpolders, samen met het gebied tegen de NO-polder aan, worden de laagste diepe stijghoogtes aangetroffen (gemiddelde berekende stijghoogte diep grondwater, kaart 9), welke het huidige regionale grondwatersysteem van Midden-, Zuid- en Zuidoost-Fryslân in grote mate bepalen.

Friese Boezem

Door inpolderingen en bemalingen is de oppervlakte van de Friese Boezem aanzienlijk geslonken. In natte perioden kreeg de boezem steeds meer water te verwerken uit de bemalen polders, binnen een steeds maar kleiner wordende bergingsoppervlakte. Het poldergebied werd droger, maar de waterstanden in de boezem werden eerder hoger.

Figuur 3.14 Gemiddelde boezemstand over het jaar in 1876 en 1976. Betreft boezemstand in cm t.o.v. Fries Zomerpeil (FZP). Een stand van FZP + 0,14 m komt overeen met het huidige streefpeil van NAP – 0,52 m. (uit: jaarverslag Provinciale Waterstaat 1976 opgenomen in T.H.L. Claassen, 2008, zie ook kader).



Fries Zomer Peil

Voor de afsluiting van de Zuiderzee (1932) werd de afstroming van boezemwater in het voorjaar afgestemd op de boezemlanden. In de winter werd niet of nauwelijks afgestroomd. De lager gelegen gebieden (ca. 100.000 ha.) stonden 's winters onder water. Het meegevoerde slib zette zich hierop af. Dit werd als een vorm van bemesting gezien. In het voorjaar werd afgestroomd tot een niveau waarbij de boezemlanden droog vielen. Dit was begin twintigste eeuw ongeveer 0.25 m boven Fries Zomer Peil. Men hoopte, dat de hoeveelheid water boven het zomerpeil voldoende was om het verdampingsoverschot in het zomerhalfjaar te compenseren. Het laag zomerwater, later FZP genoemd, werd in 1775 door de Staten van Friesland vastgesteld. Het advies hiertoe was van de Franeker professor Ypey die vermoedde, dat dit peil "noch de hoge, noch de laage Landen, noch de scheepvaart benadeelt".

Na de afsluiting van de Zuiderzee kon zoet water worden aangevoerd vanuit het IJsselmeer. Water vasthouden voor de droge periode was daarna niet meer nodig en winterbevoeiing kwam sedert 1913 al niet meer voor. Vanaf die tijd werd een peil aangehouden dat tussen het droogvallen van de lage gronden (+0.25 m FZP, -0.41 m NAP) en FZP (laag zomerwater, -0.66 m NAP) in lag. In 1987 stelden de Provinciale Staten van Friesland het na te streven peil van de boezem vast op +0.14 m FZP, overeenkomend met -0.52 m NAP. De aanduiding FZP werd tot begin 2000 door Wetterskip Fryslân gebruikt bij het boezempeilbeheer, waarna is overgestapt op NAP.

Bij vergelijking van de waterstanden uit 1876 met 1976 (figuur 3.14) blijkt dat in 1876 de waterstanden in een groot deel van het jaar (oktober- mei) 20 tot 50 cm hoger lagen dan in 1976, toen gemiddeld het huidige peil van de Friese Boezem (NAP -0,52 m) gehandhaafd kon worden. Alleen gedurende een korte zomerperiode lagen de waterstanden in 1876 lager dan het huidige peil, veroorzaakt door verdamping en het ontbreken van de aanvoer van zoet oppervlaktewater.

Hieruit kan de conclusie getrokken worden, dat in de 19^e eeuw, ondanks bemalingen en verveningen, in een groot deel van Fryslân gemiddeld over het jaar nog hoge (grond-)waterstanden aanwezig waren. Deze moeten ook effect hebben gehad op de regionale stijghoogte van het diepe grondwater. Wel was sprake van een relatief grote waterstandsdynamiek op de Friese Boezem, met hoge waterstanden in de herfst, winter en voorjaar en lage standen in de zomer.

Pas in de 20^e eeuw kon de afwatering van de Friese Boezem sterk verbeterd worden door de aanleg van grote boezemgemaal (1920 Wouda stoomgemaal te Lemmer) en verbetering van de vrije lozing. Hierdoor werd de Friese Boezem, als 'motor' van het regionale grondwatersysteem in een groot deel van de provincie, ook steeds 'droger'. Na de afsluiting van de Zuiderzee en de bouw van een inlaatsluis bij het Woudagemaal langs het IJsselmeer kon sindsdien zoet water ingelaten worden, zodat sterke dalingen van het boezempeil in perioden met droogte ook grotendeels verholpen konden worden.

Afsluiting Zuiderzee en aanleg Noordoostpolder

Met de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 ontstond voor de kust van West- en Zuidwest Fryslân een zoetwaterplas, het IJsselmeer, met een beheerst peil. Het zomerpeil van het IJsselmeer werd ingesteld op NAP – 0,20 m en het winterpeil op NAP – 0,40 m. Deze standen liggen aanzienlijk lager dan die op de Waddenzee, terwijl het zoute zeewater van de Zuiderzee vervangen werd door zoet IJsselmeerwater. E.e.a. heeft betekend dat de 'externe' waterdruk op het regionale grondwatersysteem van West- en Zuidwest- Fryslân sterk is verminderd. Genoemde peilen van het IJsselmeer liggen echter nog hoger dan die van de Friese Boezem (NAP – 0,52 m) en inliggende polders, zodat bij de afsluiting van de Zuiderzee en nog steeds sprake kon zijn van een positieve externe druk op het regionale grondwatersysteem.

Voor het zuidelijke deel van Fryslân, in de omgeving ten oosten van Lemmer, veranderde de hydrologische situatie door de aanleg van de Noordoostpolder. De waterstand in het ingepolderde gebied daalde hierdoor met meerdere meters (van het peil van NAP -0,20/-0,40 m naar het gemiddelde streefpeil van de NO-polder van NAP - 5,70 m. Ten oosten van Lemmer ligt de Noordoostpolder tegen het vaste land van Fryslân en Overijssel aan. Hierdoor kwam door de inpoldering een grote diepe polder direct langs de oude kust te liggen. Door het grote peilverschil en de afwezigheid van duidelijke slecht doorlatende lagen trekt de Noordoostpolder veel grondwater weg uit de aangrenzende veengebieden van het vaste land. De inpoldering heeft tot gevolg gehad dat in het zuidelijk deel van Fryslân, ten oosten van Lemmer, een groot regionaal infiltratiegebied is ontstaan met in de ondergrond lage diepe stijghoogtes (kaart 9).

Verdere peilverlagingen, invloed van ruilverkavelingen

Vanaf de 19^e eeuw zijn, zoals hiervoor genoemd, meerdere boezemlanden ingepolderd en onder bemaling gezet. Met name in de zettingsgevoelige veengebieden (veendiktekaart, kaart 5), maar ook in de kleigebieden (bodemkaart, kaart 4) zijn de peilen in de loop van de tijd vaak verder verlaagd. Ook is waarschijnlijk in het begin van de 20^e eeuw nog nieuw boezemland ingepolderd.

In de eerste helft van de 20^e eeuw was de landbouwwaterhuishouding in Nederland en daarmee ook in Fryslân nog verre van optimaal. Veel landbouwgronden hadden een slechte

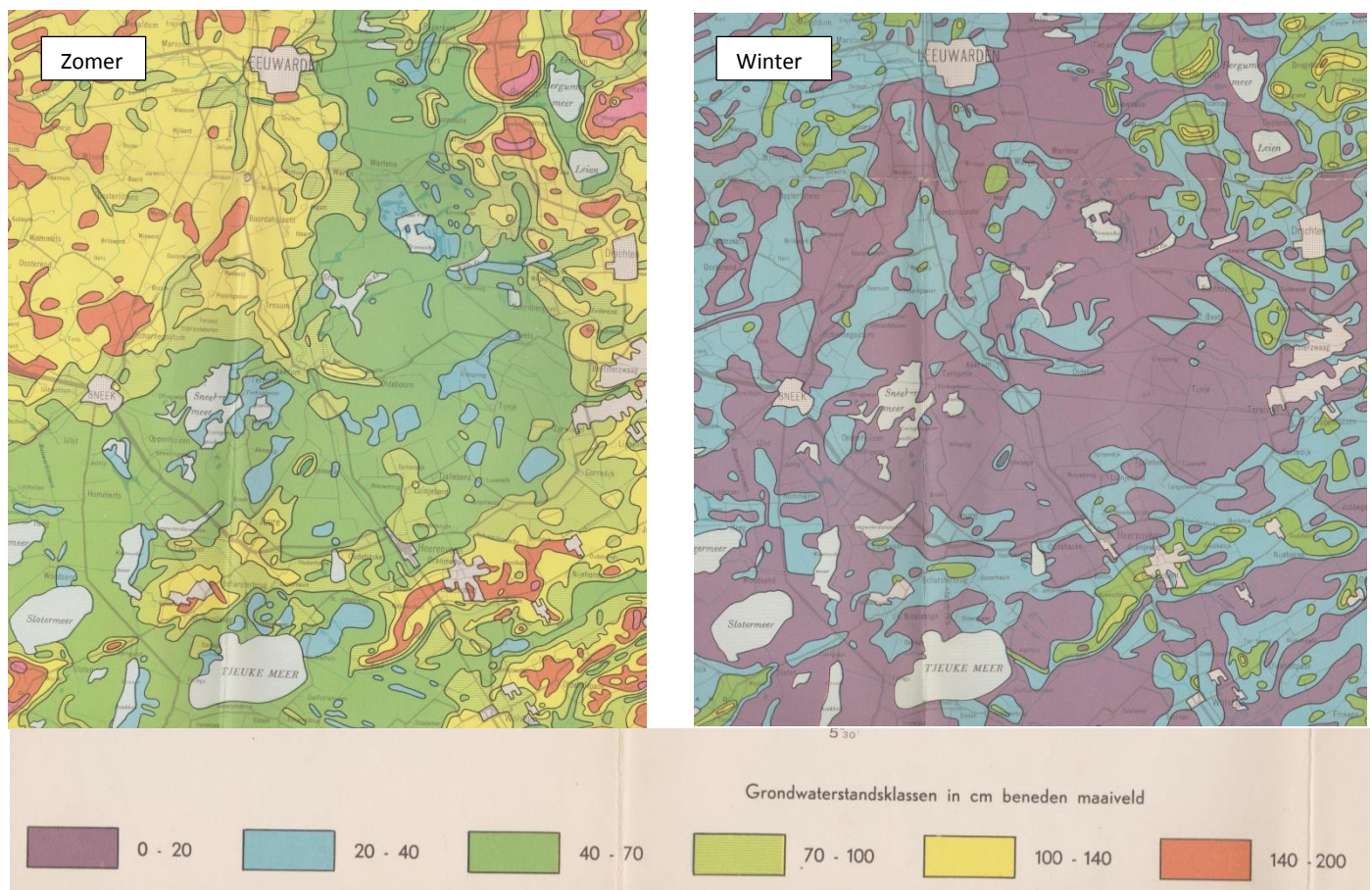
ontwatering en/of afwatering of verdroogden in de zomer. Daarnaast hadden landbouwgronden plaatselijk last van een slechte waterkwaliteit (verzilting).

Om inzicht te verkrijgen in de landbouwwaterhuishouding en aanbevelingen te kunnen doen voor verbeteringen is rond 1950 de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (C.O.L.N.) opgericht. In het kader van haar onderzoek zijn in die tijd de eerste peilbuizen geplaatst en zijn – per provincie - kaarten vervaardigd van gemiddelde grondwaterstanden in de zomer en in de winter. Ook is de verziltingssituatie in relevante provincies in kaart gebracht. Het C.O.L.N.-onderzoek vormde één van de bouwstenen voor verbetering van de landbouwwaterhuishouding in het kader van de latere ruilverkavelingswerken.

In figuur 3.15 zijn de gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstanden voor het midden van Fryslân gedurende de periode 1952-1954 in beeld gebracht. Deze grondwaterstandskarten zijn ontleend aan het C.O.L.N.-onderzoek in Fryslân uit de jaren '50 (Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland- TNO, deel Friesland, 1958).

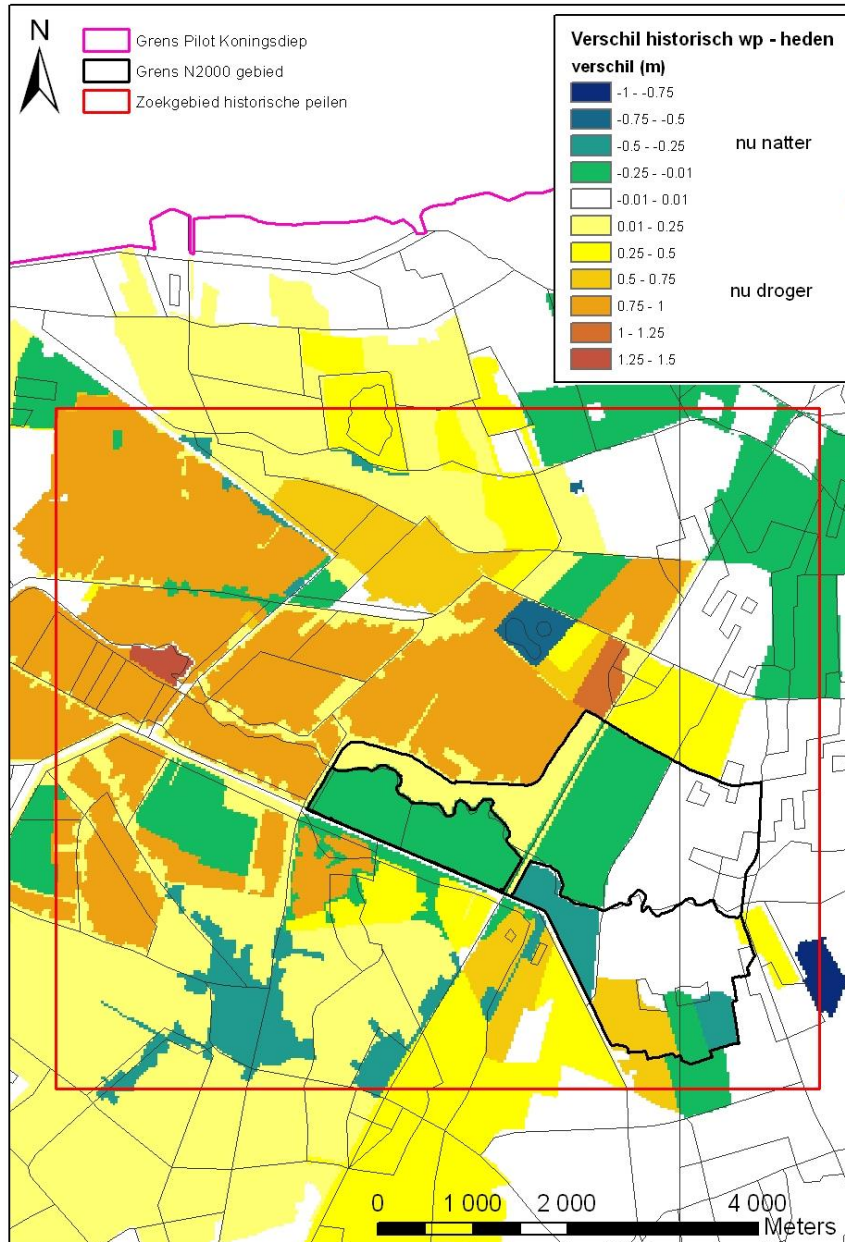
Worden de grondwaterstanden uit het C.O.L.N.-onderzoek vergeleken met de huidige grondwatertrappenkaart van Fryslân (kaart 7) dan valt op dat met name de grondwaterstanden in de zuidoosthoek van het Lage Midden en in de Veenpolders lager zijn dan destijds. De grondwaterstanden in de noordwesthoek, rond Leeuwarden-Grouw-Sneek lijken minder veranderd. Dit geldt overigens ook voor de grondwaterstanden in Noord-Fryslân op de hogere kleigronden (Het Bildt e.o.), waar volgens de C.O.L.N.-kaarten in de jaren '50 ook al diepe zomergrondwaterstanden voor kwamen van dieper dan 140 cm –m.v.

Figuur 3.15 Gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstanden in cm beneden maaiveld voor Midden-Fryslân in de periode 1952-1955 (uit: De Landbouwwaterhuishouding in de provincie Friesland, C.O.L.N-TNO, 1958)



In de jaren '60- '90 zijn in Nederland grote eenheden landbouwgrond in het kader van ruilverkavelingswerkzaamheden op nieuw ingericht. Naast herinrichting van landbouwbedrijven en - percelen, zijn veelal ingrijpende verbeteringen aangebracht in de landbouwwaterhuishouding. Hierbij ging het om verbeteringen in de afwatering, ontwatering en peilbeheersing. In veel gebieden, zo ook in de provincie Fryslân, zijn de streefpeilen verlaagd. Een voorbeeld van sterke peilverlaging welke doorgevoerd is in de ruilverkaveling (ruilverkaveling Opsterland) is die van de Groote Veenpolder in Opsterland, nabij Nij Beets. In figuur 3.16 is het verschil in peil aangegeven tussen die uit de jaren '60 van voor de ruilverkaveling en de huidige peilen, zoals ze ongeveer na de ruilverkaveling zijn ingesteld. Uit de figuur blijkt dat in een groot deel van het gebied de peilen 50 tot 75 cm verlaagd zijn. Daarnaast zijn er ook gebieden waar de waterstanden in de loop van de tijd zijn verhoogd. Dit betreft veelal natuurgebieden, zoals polder De Dulf langs het Koningsdiep in figuur 3.16.

Figuur 3.16 Verskil tussen historische peilen (Waterstaatskaart, jaren '60) en huidige peilen in het gebied rond Nij Beets (uit: winplaatsonderzoek Nij Beets, fase 2, grondwatermodelberekeningen varianten, C. van Immerzeel, 2009)



Rekening houdend met het feit dat het boezemstreefpeil in de 20^e eeuw (afgezien van hoge winterwaterstanden) weinig veranderd is, betekenen de polderpeilverlagingen dat de peilverschillen in Fryslân groter zijn geworden, hetgeen weer zijn invloed heeft op het grondwatersysteem.

De peilverlagingen en daarmee de toename van de peilverschillen met de Friese Boezem zijn het grootst in het Lage Midden en de Veenpolders van Fryslân. Het betreft de belangrijkste veen- en klei-op-veen gebieden van Fryslân (zie bodemkaart en veendiktekaart, respectievelijk kaart 4 en 5). Dat in dit gebied de laagste peilen voorkomen is enerzijds te

verklaren uit de vroegere verveningen. Daarnaast waren in de veengebieden peilaanpassingen meer noodzakelijk dan in andere gebieden (op zand- en kleigronden). Dit vanwege de daling van het maaiveld door zetting en oxidatie van het veen. Om voldoende drooglegging (= verschil maaiveld-waterpeil) te behouden diende het peil regelmatig aangepast te worden. De peilverlagingen in de polders hebben geleid tot een verdere daling van de grondwaterstand en de stijghoogte van het diepe grondwater. In figuur 3.17 en 3.18 zijn de dalingen van enkele peilbuizen met lange reeksen in beeld gebracht.

Figuur 3.17 Verloop van de stijghoogte van het diepe grondwater (ca. 11 m - NAP) van peilbuis B16B0042-001 in Poldergebied De Ontginning tussen Heerenveen, Wolvega en Tjeukemeer vanaf 1960

Put

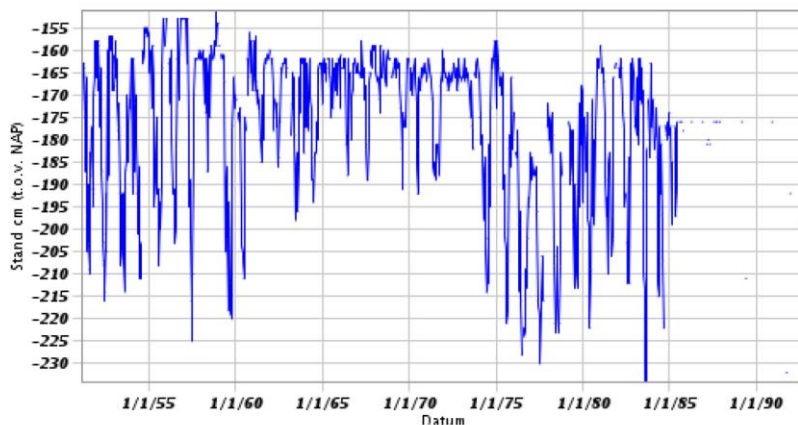
Identificatie: B16B0042
Coördinaten: 191925, 545575



Figuur 3.18 Verloop van de grondwaterstand van peilbuis B11B0215-001 in Groote Veenpolder Opsterland ten westen van Boornbergummerpetten vanaf 1951

Put

Identificatie: B11B0215
Coördinaten: 194620, 567700

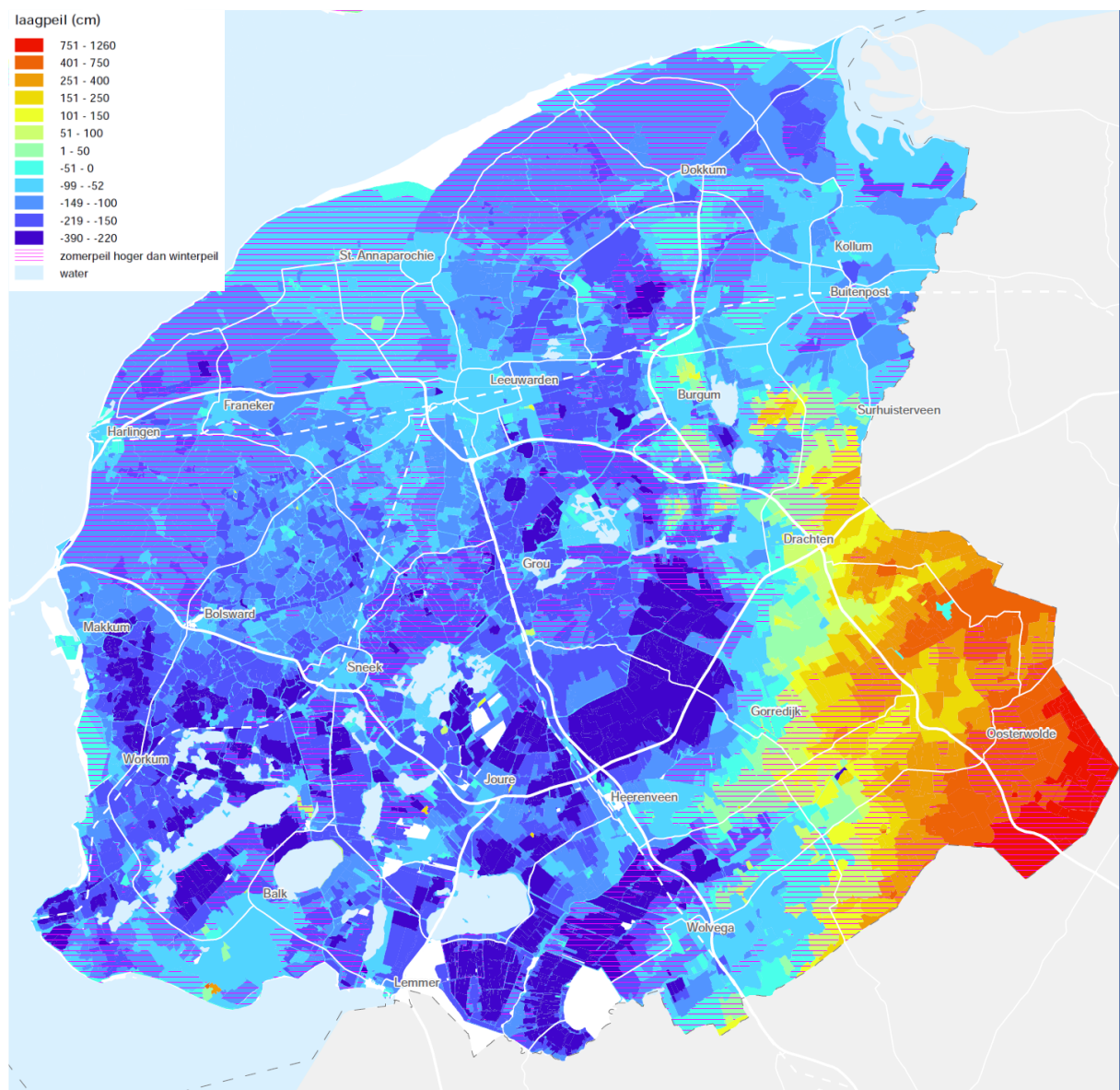


In de loop van de tijd hebben bedijkingen, inrichting van polders, drooglegging van meren, bemalingen, verveningen en peilverlagingen geleid tot een palet van peilgebieden in Fryslân, zoals afgebeeld in figuur 3.19. De kaart laat duidelijk de lage polderpeilen zien van het Lage Midden en de Veenpolders van Fryslân. Ter toelichting: ook het zuidwestelijke merengebied van Fryslân wordt gerekend tot het Lage Midden, zie figuur 2.15. De poldergebieden met lage peilen en met name de Veenpolders hebben geleid tot een depressie in de diepe stijghoogte en daarmee een inversie van het regionale grondwatersysteem. Stroomde het grondwater in Fryslân rond 1200 nog vanaf de oostelijke hogere gronden naar de westelijke kweldergebieden en vervolgens naar zee, in de huidige situatie wordt het diepe grondwater vanuit het oosten opgevangen (kwelwater) in de diepe Veenpolders. In het Lage Midden worden de diepe polders gevoed door kwelwater vanuit de meren en kanalen die op boezempeil staan. Belangrijk is dat langs de gehele Friese kust, m.u.v. de hogere gronden van Gaasterland, polders liggen met een lager peil dan buitendijks. Dit betekent dat er vanuit de Waddenzee en het IJsselmeer in de huidige situatie een landinwaarts gerichte (potentiële) grondwaterstroming aanwezig is, een stroming die uiteindelijk tot verdere verzilting van het grondwatersysteem zal leiden. Op delen van de hogere kleigronden in Noord-Fryslân, zoals in Het Bildt en in de Noordelijke Wouden zijn de polderpeilen nog relatief hoog en liggen in de nabijheid van het peil van de Friese Boezem en/of het gemiddelde buitenwaterstand. In deze gebieden is het grondwaterverhang geringer en daarmee de grondwaterstroming.

Op hoofdlijnen kan in de huidige situatie het regionale grondwatersysteem van Fryslân beschreven worden als een systeem van lage polder- en boezempeilen (figuur 3.19) omringd door het hogere buitenwater (Waddenzee en IJsselmeer) en gevoed door grondwater uit het oosten (Drents Plateau). Het systeem heeft als het ware een 'soepbord' vorm gekregen met hoge waterstanden langs de randen (Waddenzee, IJsselmeer en hogere gronden in het oosten) en lage waterstanden in het midden.

Eén belangrijke ontwikkeling binnen het regionale systeem is echter nog niet aan de orde geweest: die van de groei van de grondwateronttrekking t.b.v. de drinkwatervoorziening.

Figuur 3.19 Overzicht huidige winter- en vaste peilen van peilgebieden in Fryslân volgens Leggergegevens (uit: Waterhuishoudingsplan en Waterbeheerplan Fryslân, 2009). Zie ook kaart 6.



Grondwaterwinning t.b.v. de drinkwatervoorziening en overige functies

De grondwaterstroming, zoals gestuurd door de ontwikkeling van de polder- en boezempeilen (figuur 3.19) en de hydrologische omstandigheden langs de kust en de hogere gronden vormt de basis voor het regionale grondwatersysteem van Fryslân. Binnen de provincie wordt echter ook (diep) grondwater gewonnen, zowel grondwater voor de drinkwatervoorziening als voor andere doelstellingen (veedrenking, beregening, industrie, bouwputten, etc.). Hoewel alle onttrekkingen invloed hebben op het grondwatersysteem, hetzij lokaal of regionaal, vormt de onttrekking t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening de grootste impact op het regionale grondwatersysteem.

Op het vaste land van Fryslân bevinden zich momenteel een 7-tal grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met een winbare capaciteit van ca. 50 miljoen m³/jaar (Vitens, Zicht op water, langetermijnvisie, 2011). Het betreft de waterwingebieden van Noardburgum, Garyp, Nij Beets, Oudega, Spannenburg, Oldeholtpade en Terwisscha (figuur 3.20).

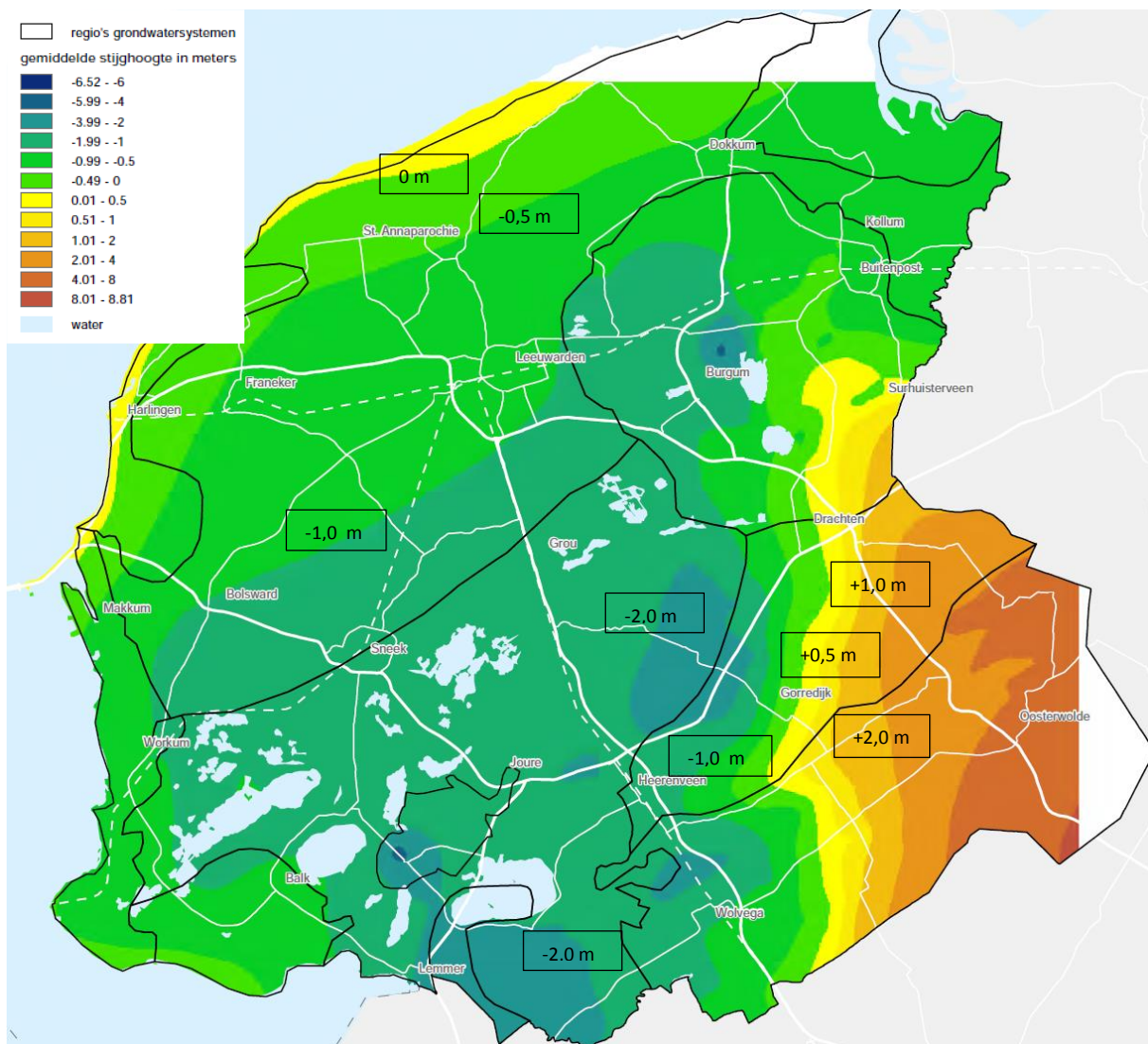


Figuur 3.20 Overzicht waterwingebieden in Fryslân (uit: Vitens, Zicht op water, langetermijnvisie, 2011)

De eerste grondwaterwinning werd gesticht rond 1925 te Noardburgum. Deze winning groeide uit tot zeer grote grondwateronttrekking, waarbij in de jaren '70 meer dan 20 miljoen m³/jaar werd onttrokken. In die tijd (jaren '70) beschikte het provinciale waterbedrijf (Waterleiding Friesland) over 4 waterwingebieden (pompstations met zuivering) verdeeld over het oostelijke en zuidelijke deel van de provincie (Noardburgum, Spannenburg, Terwisscha en Oldeholtpade) met een totale gemiddelde grondwateronttrekking van ca. 40 miljoen m³/jaar. Vanwege de verzilting van de winning van Noardburgum is begin jaren '80 een provinciebreed onderzoek (Vlekkenplanonderzoek) opgezet voor het vinden van nieuwe winplaatsen. Uit dit onderzoek zijn twee nieuwe winningen voortgekomen: Oudega (De Fryske Marren) aan de Fluessen en Nij Beets bij het Koningsdiep, aan de rand van de Veenpolders. De nieuwe winning van Garyp is voortgekomen uit de vroegere industriële winning van de NTF te Suameer (met verplaatsing naar het westen). Vanaf de jaren '80 is de grondwateronttrekking van Noardburgum geleidelijk aan verminderd en die van Spannenburg vergroot (huidige onttrekking ca. 15 miljoen m³/jaar). Door de realisatie van de relatief grote winning van Oudega (ca. 10 miljoen m³/jaar) wordt momenteel ca. 25 miljoen m³/jaar onttrokken uit de diepe 'zoetwaterbel' van Zuidoost-Fryslân, onderdeel uitmakend van het Lage Midden. Alleen de grondwaterwinning van Nij Beets (ca. 3,5 miljoen m³/jaar) ligt (in het noordelijke deel) van de Veenpolders. De winningen van Terwisscha (ca. 7,5 miljoen m³/jaar) en Oldeholtpade (ca.

6,5 miljoen m³/jaar) onttrekken diep grondwater op de hogere zandgronden in het oosten van de provincie. Dit onttrekkingsregiem van diep grondwater in de provincie heeft geleid tot een verdere verlaging van de diepe stijghoogte in de provincie, ofwel een verdieping van het 'soepbord'. Deze verdieping veroorzaakt een versterking van het grondwaterverhang (stijghoogteverhang) vanuit de kust, de Friese Boezem en de hogere zandgronden. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat de winningen op de hogere oostelijke zandgronden het 'soepbord' verbreed hebben in oostelijke richting en daarmee het verhang naar de Veenpolders verkleind. In hoofdstuk 5 wordt verder ingegaan op de problematiek van drinkwaterwinning t.a.v. het regionale grondwatersysteem en de verzilting. In figuur 3.21 wordt een berekend beeld van de huidige gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater in de provincie gegeven. De berekening is uitgevoerd met het regionale grondwatermodel MIPWA (MIPWA versie 2.0). Opgemerkt dient te worden dat in de berekeningen gerekend is met zoet grondwater, zodat in Noordwest-Fryslân, de stijghoogtes niet geheel kloppen.

Figuur 3.21 Huidige gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater in Fryslân op basis van grondwatermodelberekeningen. In kleine kaders de lijnen (isohypsen) van gelijke stijghoogte in m t.o.v. NAP. (uit: studie Wetterskip 2014: "effecten van klimaatverandering op maaiveldvaling en grondwaterstanden in Fryslân"). Zie ook kaart 9.



Uit het berekende beeld van de gemiddelde diepe stijghoogte in figuur 3.21 spreekt duidelijke het 'soepbordprincipe' met een stijghoogte van beneden NAP – 1,0 m in het Lage Midden en de Veenpolders van Fryslân. In het gebied van de Veenpolders, tussen het Lage Midden en de hogere zandgronden van Zuidoost-Fryslân, alsmede in de veenpolders ten oosten van Lemmer op de grens met de NO-polder worden de laagste stijghoogtes berekend. Ten noorden van het Lage Midden loopt de stijghoogte zeer geleidelijk op richting Waddenzee, terwijl naar het westen de grondwaterstromingsgradiënt, richting IJsselmeer sterker is. In het zuiden komt duidelijk de randstroming van diep grondwater richting de NO-polder naar voren.

In het volgende hoofdstuk (hoofdstuk 4) wordt nader ingegaan op het huidige regionale grondwatersysteem.

4. Huidig grondwatersysteem

4.1 Definitie en uitwerking grondwatersystemen

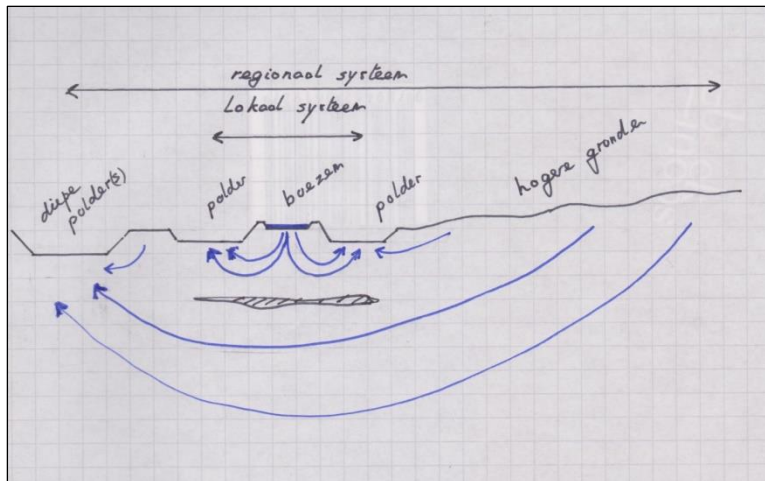
Bij nadere beschouwing van het grondwatersysteem van Fryslân wordt duidelijk dat het systeem bestaat uit meerdere verschillende regionale grondwatersystemen met daarbinnen weer kleinere systemen (lokale en sub-regionale grondwatersystemen). Alvorens hier nader op in te gaan is het goed om eerst stil te staan bij de definitie en mogelijke uitwerking van grondwatersystemen.

Onder een grondwatersysteem wordt een samenhangend, driedimensionaal grondwaterstromingsstelsel verstaan met een instromingsgebied (infiltratiegebied), een doorstromingsgebied en een uittredegebied (kwelgebied of grondwaterwinning). Een dergelijk grondwaterstromingsstelsel is in principe dynamisch en kan - onder invloed van veranderingen aan de input- en outputzijde of door veranderingen van de doorstroomde bodem - in tijd en ruimte wijzigen. Grondwatersystemen kunnen naast en boven/onder elkaar voorkomen. Al naar gelang de uitgestrektheid en diepte van het grondwatersysteem wordt wel onderscheid gemaakt tussen regionale, sub-regionale en lokale systemen.

Infiltrerend regenwater of oppervlaktewater hoeft niet het diepe grondwater te bereiken. Dit hangt af van de lokale hydrologische omstandigheden. Regenwater dat infiltreert op de hogere zandgronden zal voor een deel naar de diepe ondergrond stromen, maar voor een ander deel tot uitstroming komen in een nabij gelegen beekdal. Oppervlaktewater dat infiltreert vanuit boezemwateren zal voor een deel tot uitstroming komen in de polders langs de boezem. Water dat infiltreert in een hoger gelegen polder in het noorden van Fryslân, kan tot uitstroming komen in een aangrenzende polder met lager peil. Deze ondiepe stromingen kunnen plaats vinden boven het systeem van - grotendeels lateraal stromend - diep grondwater. Er kunnen dus grondwaterstromingen onder en boven elkaar bestaan.

In figuur 4.1 is een schematisch voorbeeld gegeven van een regionaal grondwatersysteem met daarbinnen een lokaal systeem. Het is een voorbeeld van de (regionale) grondwaterstroming vanaf de hogere zandgronden in het oosten van de provincie (Drents Plateau) naar de diepe polders in het Lage Midden van Fryslân en/of de Veenpolders. Het grondwater dat op de hogere zandgronden is geïnfiltreerd stroomt via lange en diepe stroombanen naar de uitgestrekte lage poldergebieden en komt daar als diep kwelwater weer tot uitstroming. Dit diepe grondwater is veelal lange tijd onderweg, waarbij - door langdurige interactie met de bodem - de waterkwaliteit van het geïnfiltreerde water sterk is veranderd. Zo worden onderweg mineralen opgenomen, waardoor het water veelal een hoog kalkgehalte heeft.

Boven dit regionale grondwatersysteem kunnen kleinere systemen voorkomen, zoals die van beekdalen en boezemwateren. In figuur 4.1 is een voorbeeld gegeven van een lokaal boezemsysteem dat bovenop het regionale systeem ligt. Het water uit de boezem infiltreert en stroomt naar de aanliggende polders, waar het als lokaal kwelwater weer tot afstroming komt. Dit lokale grondwater is vaak minder lang onderweg, waardoor chemische veranderingen ten gevolge van de stroming door de bodem t.o.v. een regionaal systeem veelal geringer zijn.



Figuur 4.1 Schematisch voorbeeld van een lokaal grondwatersysteem boven een regionaal grondwatersysteem met bijbehorende stroombanen

In welke mate een grondwatersysteem van kleine omvang (lokale of sub-regionale systemen) doorwerkt naar de diepte hangt met name af van de aanwezigheid, de doorlatendheid en de verbreiding van slecht doorlatende lagen in de ondergrond, onder het systeem. In figuur 4.1 is onder het lokale grondwatersysteem een slecht doorlatende laag geschetst (b.v. een keileem- of potkleilaag). Deze slecht doorlatende laag beperkt het dieptebereik van het lokale grondwatersysteem. Bij afwezigheid van dergelijke lagen kan het lokale grondwatersysteem dieper doorwerken en als het ware de regionale grondwaterstroming naar beneden wegdrukken.

4.2 Watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen: diep, middeldiep, ondiep en freatisch grondwater

Grondwatersystemen in sedimentaire afzettingen, zoals deze in Nederland voorkomen, worden in rekenmodellen veelal geschematiseerd tot watervoerende pakketten (wvp's) en slecht doorlatende lagen (sdl's). Hierbij wordt aangenomen dat in de watervoerende pakketten (zand- en grindlagen) het water horizontaal stroomt en in de slecht doorlatende lagen (leem-, klei- en veenlagen) verticaal. In het algemeen is de horizontale doorlatendheid in de watervoerende pakketten vele malen groter dan de verticale doorlatendheid in de slecht doorlatende lagen.

Een grondwatersysteem bestaat veelal uit meerdere watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen. Het grondwaterrekenmodel MIPWA, dat momenteel algemeen gebruikt wordt in Noord-Nederland bestaat uit relatief veel watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen. De schematisatie van dit rekenmodel is gebaseerd op de hydrogeologische schematisatie volgens REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem, opgezet door TNO), zoals afgebeeld in het dwarsprofiel van figuur 2.6. Uitgaande van de Friese situatie blijkt dat de belangrijkste slecht doorlatende lagen worden gevormd door keileem- en potkleilagen. In het noordwesten van Fryslân komen daar Holocene kleilagen nog bij. Het watervoerend pakket (of de watervoerende pakketten), waar (potentieel) het meeste grondwater doorheen stroomt en/of waar grote hoeveelheden grondwater in zijn opgeslagen ligt (liggen) binnen de geologische Formatie van Peize-Waalre (figuur 2.4), eerder Formatie van Harderwijk geheten. Ook de grootste hoeveelheid zoet grondwater bevindt zich binnen deze geologische formatie, terwijl de Friese

drinkwaterwinningen hun grondwater ook voor een belangrijk deel uit deze formatie onttrekken. Op grotere diepte binnen deze formatie liggen kleilagen, behorend tot het Peizercomplex, voorheen Tegelen-kleilagen genoemd (zie ook figuren 3.2 en 3.6). Deze kleilagen vormen veelal de onderbegrenzing van het winbare grondwater, hoewel de hydrologische basis dieper ligt.

In vroegere geohydrologische onderzoeken, met name in die van de drinkwaterwinning, werd de Friese ondergrond veelal geschematiseerd tot 2 of hooguit 3 watervoerende pakketten, gescheiden door slecht doorlatende lagen. Het betrof dan vaak de volgende schematisatie:

- Deklaag (klei- en veenlagen)
- 1^e watervoerend pakket (veelal fijnzandige afzettingen, dekzand en/of fijne zanden van de Formaties van Peelo en Urk)
- 1^e slecht doorlatende laag (keileem- en of potkleilagen)
- 2^e watervoerend pakket (grotendeels grofzandige afzettingen van de Formatie van Peize-Waalre, voorheen afzettingen van de Formatie van Harderwijk genoemd)
- 2^e slecht doorlatende laag (kleilagen van het Peizercomplex (voorheen Tegelenkleilaag of Tegelenkleilagen genoemd))
- 3^e watervoerend pakket (zandige afzettingen binnen de Formatie van Peize-Waalre, tussen het Peizercomplex en de hydrologische basis)
- Hydrologische basis bestaande uit Tertiaire kleilagen (figuur 2.2)

De (Holocene) deklaag is nauwelijks aanwezig in het oostelijke dekzandgebied, maar neemt in noordwestelijke richting toe tot ca. 25 m – NAP langs de Waddenzee (figuur 2.13). Het 1^e watervoerend pakket varieert in dikte, afhankelijk van de aanwezigheid en dikte van onderliggende slecht doorlatende lagen. De 1^e slecht doorlatende laag buiten potkleigebieden (keileem) is relatief dun en ligt vrij ondiep, maar zakt weg in noordwestelijke richting (tot 30 m – NAP, zie figuur 2.6). Daar waar potkleizones voorkomen kan de 1^e slecht doorlatende laag tot relatief grote diepte reiken (tot meer dan 100 m – NAP). De bovenzijde van het 2^e watervoerend pakket ligt veelal op een diepte van ca. 60 m, maar kan, afhankelijk van de bodemopbouw (potkleiverbreiding) ook ondieper of dieper liggen. Het 2^e watervoerend pakket wordt aan de onderzijde begrensd door de kleilagen van het Peizercomplex, die in het noordoosten bij Noardburgum op een diepte van ca. 150 m – NAP liggen en naar het zuidwesten toe wegzakken tot een diepte van ca. 200 m – NAP (figuur 3.6).

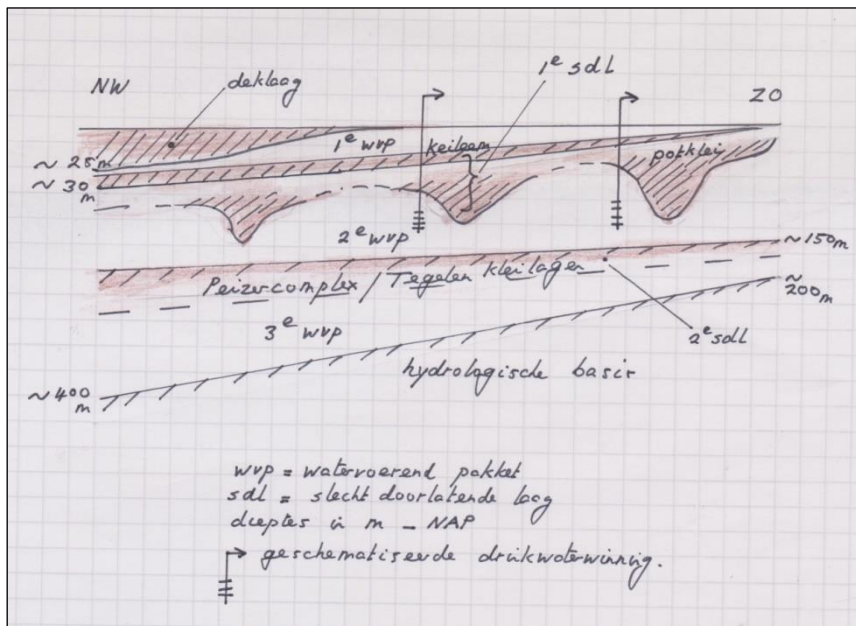
Het 2^e watervoerend pakket wordt in veel drinkwaterwinonderzoeken aangemerkt als het ‘bepompte’ watervoerend pakket, ofwel het watervoerend pakket waaruit grondwater wordt gewonnen. Als basis voor het 3^e watervoerende pakket is in de meeste studies de kleiige Formatie van Maassluis aangehouden. Ook is wel, zoals bij vroegere pompproeven en in locatieonderzoeken voor grondwaterwinning (IWACO, 1992) de bovenzijde van het Peizercomplex (Tegelenkleilaag) als hydrologische basis aangehouden.

In het verziltingsonderzoek van de grondwaterwinning van Noardburgum (IWACO, 1979) is, afwijkend van latere onderzoeken, het 1^e watervoerend pakket tot aan de Tegelenkleilaag op ca. 150 m diepte, aangemerkt als bepompt watervoerend pakket. Het 2^e watervoerend pakket ligt in deze studie onder de Tegelenkleilaag.

In figuur 4.2 is een vereenvoudigde schematisatie van de opbouw van slecht doorlatende lagen en watervoerende pakketten voor de provincie Fryslân gegeven over een dwarsprofiel van noordwest naar zuidoost.

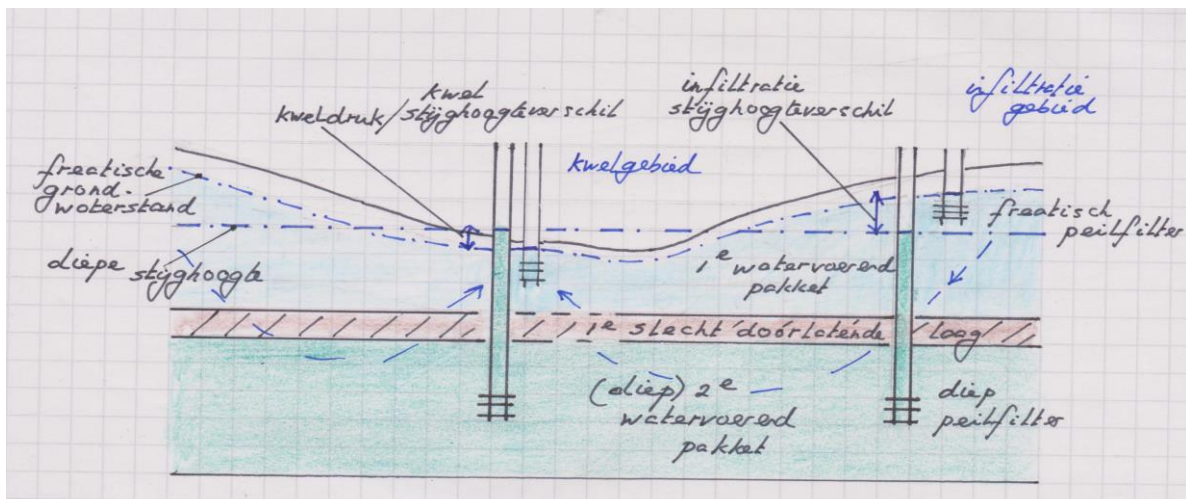
In het algemeen wordt onder diep grondwater verstaan het grondwater in het 2^e watervoerend pakket ofwel het grondwater onder de keileem- en/of potkleilagen. Het ondiepe grondwater van het 1^e watervoerend pakket bevindt zich in het hoger gelegen dekzandgebied boven de keileemlagen. Daar waar Holocene deklagen voorkomen, zoals in het noordwestelijke deel van de provincie bevindt het ondiepe grondwater zich boven of in deze deklaag. Grondwater tussen keileem- en potkleilagen of tussen de deklaag en keileem/potkleilagen wordt wel betiteld als middeldiep grondwater. Duidelijke grenzen of indelingen zijn echter niet aan te geven.

Figuur 4.2 Vereenvoudigde schematisatie van watervoerende pakketten en slecht doorlatende lagen in Fryslân in een noordwest-zuidoost profiel



Het bovenste grondwater in de deklaag of bovenin het 1^e watervoerend pakket is in evenwicht met de atmosferische druk. De bovenzijde van dit water wordt aangegeven als de grondwaterspiegel ofwel het freatische grondwatervlak en wordt gemeten m.b.v. grondwaterstandsbuizen. Het betreft het grondwater waar de vegetatie en de landbouwgewassen direct van afhankelijk zijn. Op grotere diepte, afhankelijk van het heersende grondwatersysteem, behoeft het grondwater niet in evenwicht te zijn met de atmosferische druk aan de bovenzijde van het systeem. Bij grondwaterstanden van middeldiepe of diepe peilbuizen spreekt men daarom van grondwaterstijghoogte i.p.v. grondwaterstand. De diepe stijghoogte van het grondwater op dezelfde locatie kan verschillen van de freatische grondwaterstand. Als de diepe stijghoogte hoger is dan de freatische grondwaterstand spreekt men van (potentiële) kwel, als zij lager is van (potentiële) infiltratie. Het woord 'potentieel' is toegevoegd, aangezien bij geheel afsluitende slecht doorlatende lagen er geen verticale stroming (kwel of infiltratie) behoeft op te treden. Het verschil in waterstand tussen de stijghoogte van het diepe (middeldiepe) grondwater en het freatische grondwater bepaalt - samen met de doorlatendheid van de tussenliggende slecht doorlatende lagen - de mate van kwel of infiltratie naar of vanuit het freatische grondwater.

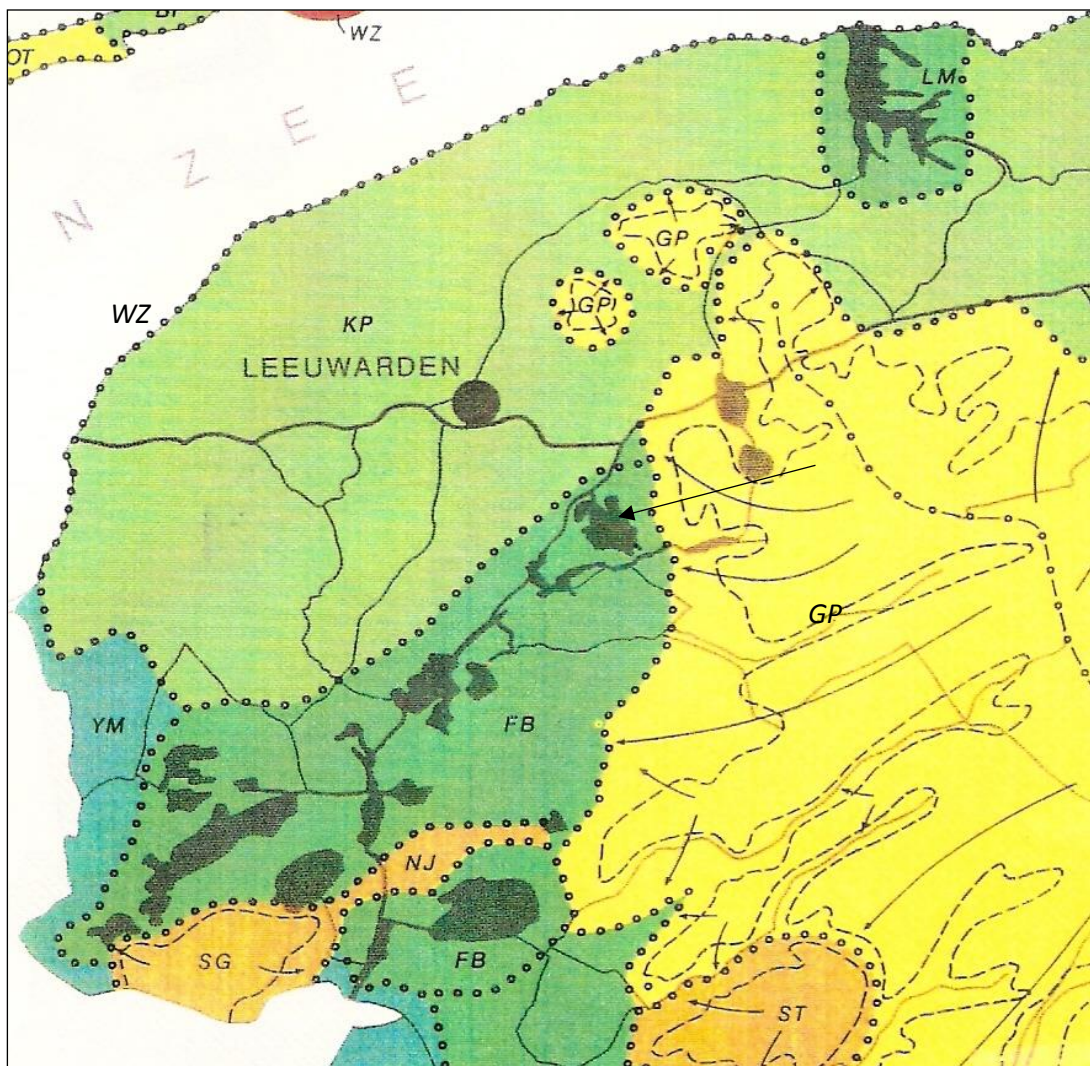
In onderstaande figuur zijn, ter illustratie voor een beekdalgebied, de verschillen tussen freatische grondwaterstanden en diepe stijghoogtes voor zowel een infiltratiesituatie (hogere gronden) als een kwelsituatie (beekdal) schematisch aangegeven.



4.3 Ontwikkeling onderzoek grondwatersystemen in Fryslân

Om meer inzicht te kunnen krijgen in de samenhang tussen de herkomst- en de uittredegebieden van het grondwater, alsmede de weg waarlangs het grondwater stroomt en de stromingsduur is in de jaren '80 gewerkt aan een nadere verkenning van grondwatersystemen binnen Nederland. In figuur 4.3 is een uitsnede gegeven van Fryslân en omgeving van de grondwatersysteemkaart van Nederland, welke door Engelen e.a. in 1989 is opgesteld (Engelen e.a., 1989). Op basis van de methodiek van 'Engelen' zijn sinds die tijd vele grondwatersysteemanalyses uitgevoerd, zowel op regionaal, sub-regionaal als op lokaal niveau. Voor de provincie Fryslân is in de jaren '88-'89 in het kader van het OGO-onderzoek (Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek) een nadere regionale grondwatersysteemanalyse uitgevoerd (IWACO, 1989), waarbij gebruik is gemaakt van meerdere systeemkenmerken (grondwaterstanden en stijghoogtes, grondwaterkwaliteit, grondwatertemperatuur, etc.) en eerder verricht onderzoek. Gebruik is gemaakt van zowel de genoemde landelijke grondwatersysteemanalyse als de in 1987 opgestelde grondwatersysteemanalyse van Zuid-Fryslân van Broers (Broers, 1987). Nadien zijn voor bepaalde regio's of gebieden in de provincie nog specifieke grondwatersysteemanalyses uitgevoerd, zoals die voor Zuidoost-Fryslân (Foppen, J.W.A. /TNO, 1993).

Figuur 4.3 Overzicht regionale grondwatersystemen in Fryslân, als onderdeel van de kaart van regionale systemen in Nederland (uit: Grondwaterstromingsstelsels in Nederland, Engelen e.a., 1989)



Toelichting codes van figuur 4.3:

GP: Glaciaal Plateausysteem (Drents Plateau)

FB: Grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex

KP: Grondwatersysteem van het complex van kwelderwallen- en poldersystemen

LM: Lauwersmeersysteem

NJ: Stuwwalsysteem van St.Nicolaasga-Joure

SG: Stuwwalsysteem van Gaasterland

ST: Stuwwalsysteem van Steenwijk

YM: IJsselmeersysteem

WZ: Waddenzeesysteem

In de regionale grondwatersysteemanalyse van IWACO uit 1989 zijn de landelijke systemen voor Fryslân nader uitgewerkt (figuur 4.4). Zo is het Glaciaal Plateausysteem (Drents Plateau) onderverdeeld in een drietal systemen: Tjonger-Linde-, Boorne-Drait- en Noordelijk Woudensysteem. Langs de Waddenzeekust is aan de westzijde een kwelzone van het Waddenzeesysteem onderscheiden, terwijl aan de zuidzijde het Lemmersysteem is aangegeven. Dit laatstgenoemde grondwatersysteem geeft de wegzijging weer van grond- en oppervlaktewater vanuit het Tjeukemeer e.o. naar de Noordoostpolder. Verder zijn de grenzen van de systemen nader bepaald op basis van (grond-)waterstanden, stijghoogtes, kwel/infiltratie, bodemkenmerken, hydrochemische karakteristieken en temperatuurmetingen in de ondergrond (metingen in diepe peilbuizen).

Figuur 4.4 Regionale grondwatersystemen volgens IWACO, 1989 (uit: Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek (OGO), IWACO, 1989)

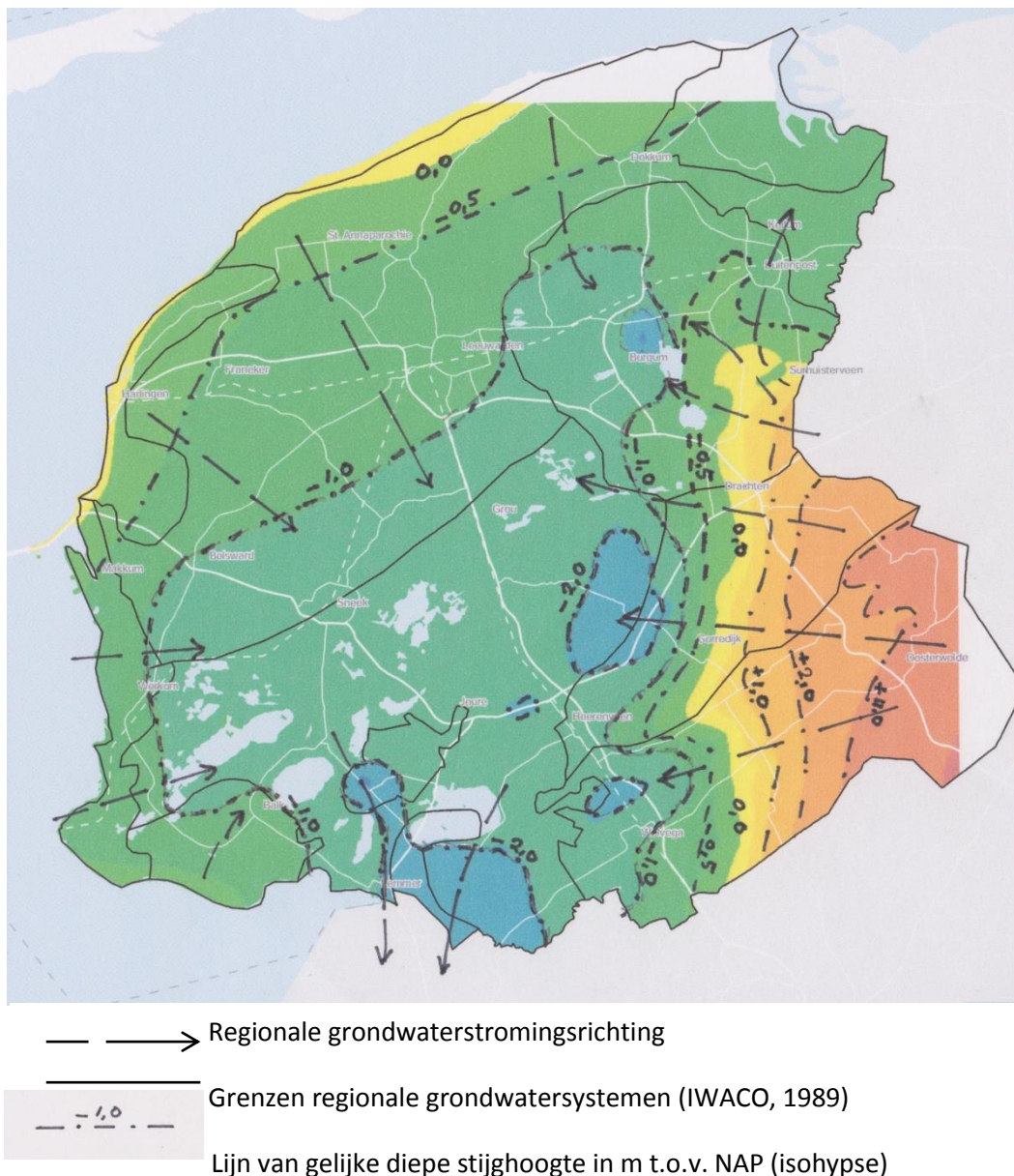


4.4 Sturende factoren regionale grondwatersystemen

Zoals in hoofdstuk 3 is aangegeven vormt het huidige diepe grondwatersysteem van Fryslân op hoofdlijnen een centraal/zuidelijk gelegen depressie (Veenpolders/Lage Midden) met een lage stijghoogte (figuur 4.5), omringd door gebieden met hogere stijghoogtes m.u.v. het zuidelijke gebied, grenzend aan de Noordoostpolder. Het diepe grondwater in het gebied met lage stijghoogte wordt gevoed door lateraal aanstromend grondwater vanuit de omringende gebieden: hogere zandgronden behorend tot het Drents Plateau, de Waddenzee en het IJsselmeer, alsmede vanuit de Friese Boezem. De drijvende krachten achter dit Friese systeem zijn (figuur 4.6):

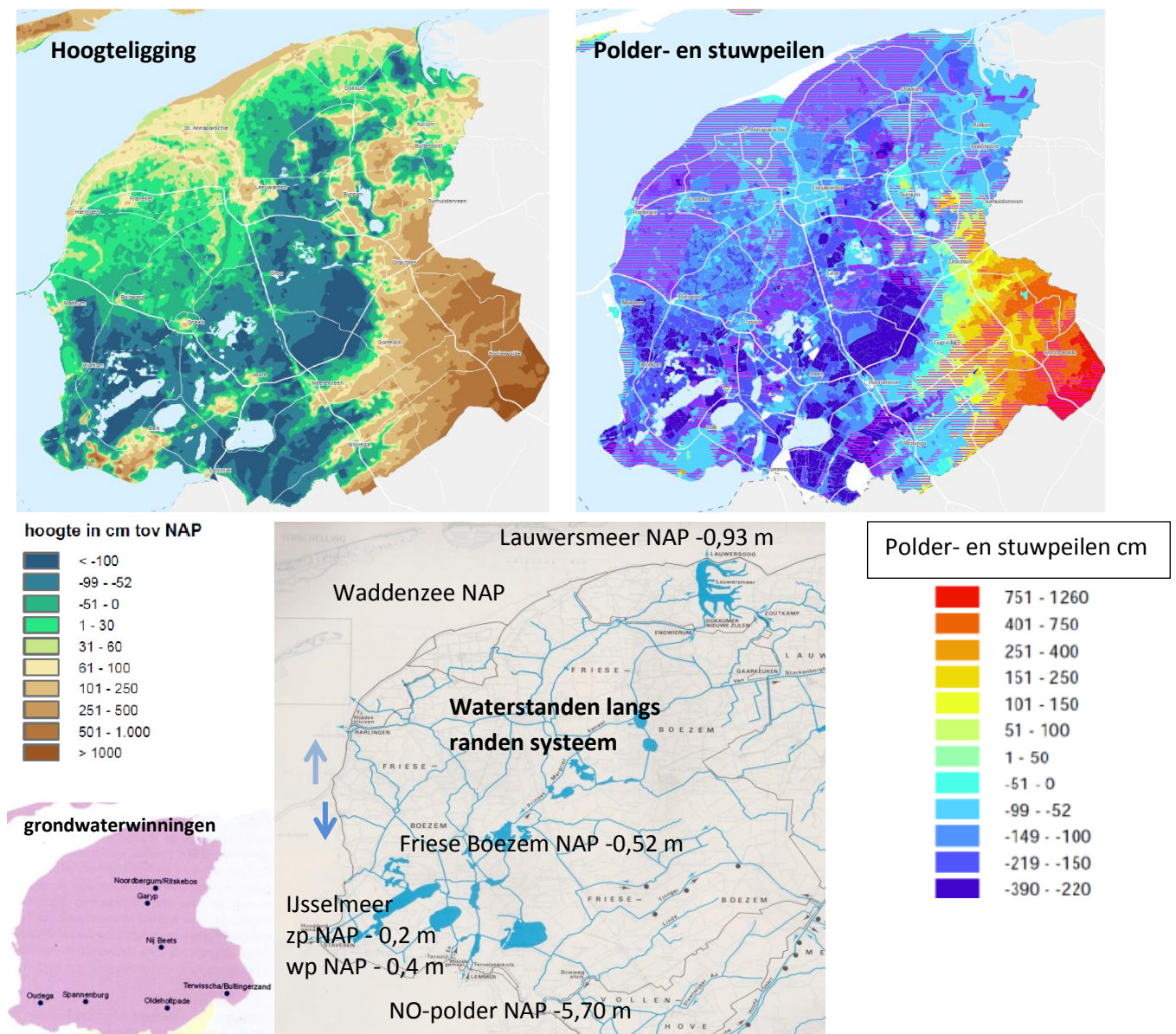
- Hoogteligging
- Polderpeilen en peil Friese Boezem
- Buitenwaterstanden van IJsselmeer en Waddenzee
- Noordoostpolder, grenzend aan Fryslân
- Grote grondwaterwinningen (drinkwaterwinningen)

Figuur 4.5 Stijghoogtebeeld diep grondwater (2^e watervoerend pakket, berekend met MIPWA) provincie Fryslân met globale regionale stromingsrichtingen



Aan de oostzijde van Fryslân wordt het diepe grondwatersysteem gevoed door infiltratiewater van de hogere zandgronden. Daarnaast stroomt diep grondwater vanuit Drenthe de provincie in. Het betreft de drie oostelijke regionale systemen (Tjonger-Linde-, Boorne-Drait- en Noordelijk Woudensysteem, zie figuur 4.4) die deels gevoed worden door diep grondwater uit Drenthe. Het isohypsenbeeld (lijnen van gelijke stijghoogte) van het diepe grondwater (2^e watervoerend pakket) toont in de oosthoek van de provincie een sterk verhang. In dit gebied wordt in het algemeen een redelijk groot doorlaatvermogen (kD-waarde, zie kader) van het diepe (2^e) watervoerende pakket aangetroffen (kD: 3000 tot 6000 m²/dag). Dit betekent dat vanuit het oostelijk zandgebied relatief veel grondwater komt aanstromen, diep zoet grondwater dat in de lage Veenpolders en mogelijk in het oostelijke deel van het Lage Midden van Fryslân tot uitstroming komt. Grotendeels stroomt dit water als kwelwater naar de poldersloten, maar anderzijds wordt ook een deel opgepompt door drinkwaterwinningen die in dit gebied liggen (Nij Beets, Noardburgum, Garyp en meer bovenstrooms Oldeholtpade en Terwisscha).

Figuur 4.6 Overzicht van de belangrijkste sturende factoren van regionale grondwatersystemen in Fryslân (links boven: hoogteligging, rechts boven: polder- en stuwpeilen, midden onder: randvoorwaarden grondwatersystemen, links onder: grondwaterwinningen drinkwatervoorziening)



De mate waarin een watervoerend pakket grondwater kan doorlaten wordt uitgedrukt in doorlaatvermogen (kD -waarde) en wordt bepaald door de doorlatendheid van het bodemmateriaal (k -waarde) en de dikte van het watervoerend pakket (D). De kD -waarde is dus de doorlatendheid (k -waarde) vermenigvuldigd met de dikte D .

De horizontale grondwaterstroming wordt veelal in beeld gebracht aan de hand van lijnen van gelijke stijghoogte, ook wel isohypsen genoemd (zie figuur 4.5). De grondwaterstroming vindt in principe plaats loodrecht op de isohypsen. Daar waar de isohypsen dicht bij elkaar liggen is de (potentiële) grondwaterstromingsintensiteit, mede afhankelijk van het doorlaatvermogen, relatief groot.

Vanuit het noordwesten wordt het diepe grondwater (potentieel) gevoed door diep zout grondwater vanuit de Waddenzee. Voor een deel komt dit zoute grondwater als zout/brak kwelwater tot uitstroming in de polders langs de Waddenzee. Voor een ander deel stroomt het – afhankelijk van de geohydrologische situatie – door naar het binnenland van de provincie. Het stromings- of verziltingsproces is waarschijnlijk erg traag. Het isohypsenbeeld van figuur 4.5 toont ook een zeer gering verhang vanuit het noordwesten. Bij deze analyse dient overigens wel opgemerkt te worden dat het om stroming van zout grondwater gaat, zodat de stijghoogtes in dit gebied gecorrigeerd dienen te worden.

De kaart met polder- en stuwpeilen (figuur 4.6 en kaart 6) geeft aan dat het areaal aan diepe polders in het noordwestelijke deel van Fryslân relatief gering is, veel geringer dan in het zuiden en midden van de provincie. Er wordt in dit gebied dus minder sterk aan het diepe (zoute) grondwater getrokken. Daarnaast ligt in dit gebied een dik pakket aan Holocene afzettingen (figuur 2.13) grotendeels bestaande uit klei of kleiige zandlagen. Zowel de geringe of matige kweldruk, als de slechte doorlatendheid van de bovengrond (Holocene deklaag) maken dat de grondwaterbewegingen in dit gebied relatief klein zijn. Dit geldt zowel voor de ondiepe laterale grondwaterstroming als de verticale stroming.

Ten zuiden van de Afsluitdijk stroomt (potentieel) diep grondwater vanuit het IJsselmeer naar de depressie van het diepe grondwater in het Lage Midden van Fryslân (figuur 4.5). De drijvende kracht hier is de relatief hoge waterstand van het IJsselmeer (zomerpeil NAP – 0,20 m en winterpeil NAP – 0,40 m). Dit diepe grondwater zal, vanwege de vroegere veenbedekking, grotendeels bestaan uit oud zoet grondwater. Door de invloed van de Zuiderzee zal een deel van het grondwater verzilt zijn (zie hoofdstuk 3). Het diepe grondwater vanuit het IJsselmeer zal grotendeels tot uitstroming komen in de diepe polders in het zuidwesten van Fryslân. Daarnaast trekt de grondwaterwinning van Oudega aan dit diepe systeem.

Het diepe grondwater in het gebied van het Lage Midden wordt eveneens gevoed door infiltrerend oppervlaktewater vanuit de Friese Boezem, waar een peil ingesteld is van NAP – 0,52 m.

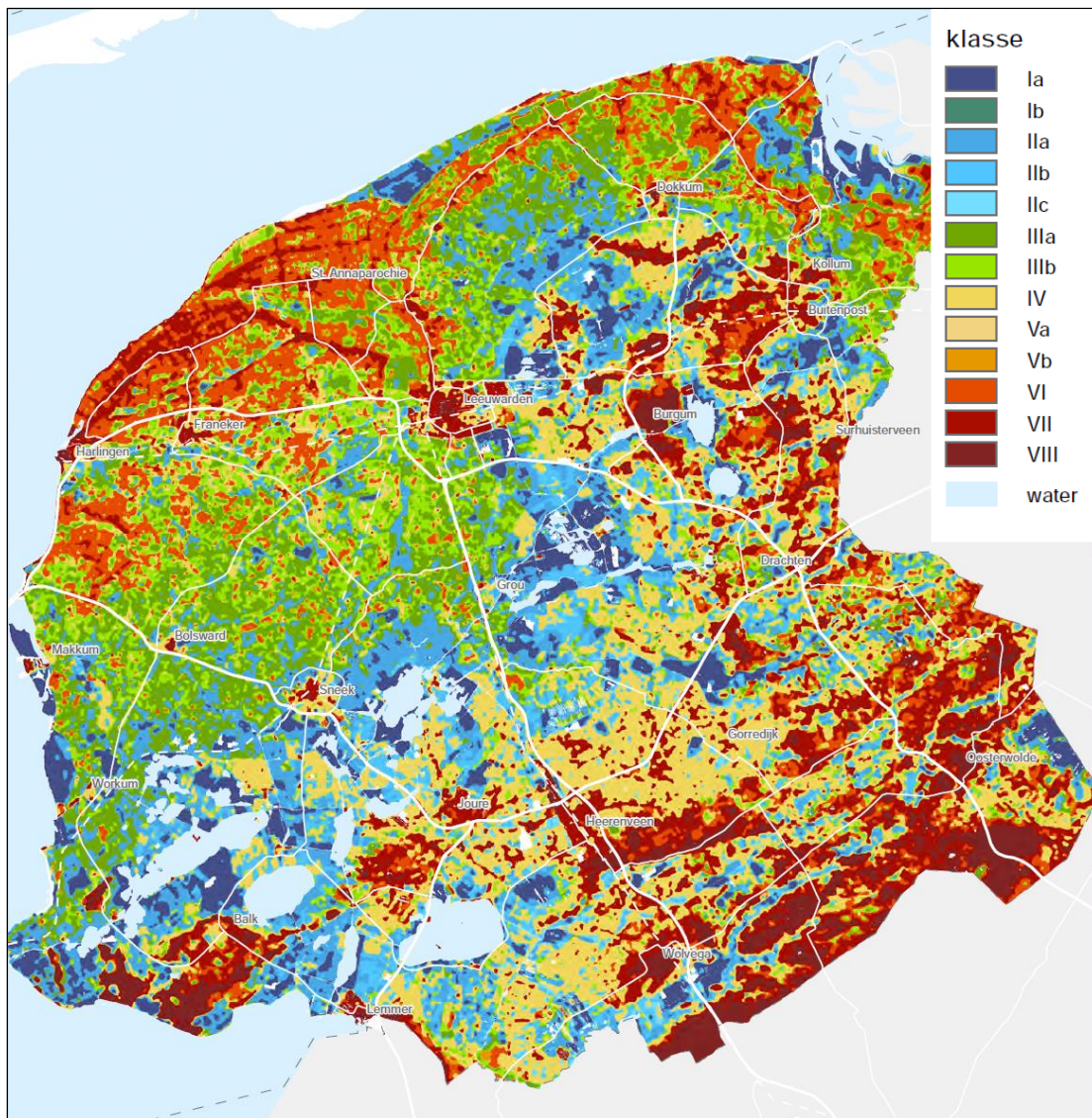
Het Lage Midden van Fryslân met een relatief grote oppervlakte aan zowel infiltrerend boezemwater als aan (kwellende) diepe polders is, qua grondwaterstroming, een veel dynamischer gebied dan het noordwestelijke kleigebied. Daar komt bij dat in het Lage Midden de Holocene deklaag ontbreekt of een geringe dikte heeft, zodat de weerstand voor grondwaterstroming in de bovenste grondlagen gering is. Verder zijn er in Fryslân hoger gelegen gebieden, zoals Gaasterland en de rug van St-Nicolaasga, waar (potentieel) water infiltreert, dat ten goede komt aan het diepe grondwater.

Langs de zuidrand van de provincie, grenzend aan de Noordoostpolder stroomt diep grondwater de provincie uit, richting de Noordoostpolder, waar lage polderpeilen gehandhaafd worden (grotendeels NAP -5,70 m). De Noordoostpolder trekt als het ware diep grondwater weg uit het Lage Midden van de provincie. Dit is ook duidelijk te zien in het isohypsenbeeld van figuur 4.5, waar de diepe stijghoogte in zuidelijke richting afneemt. De diepe polders, de grondwaterwinningen en de Noordoostpolder zijn als het ware de uitstroomgebieden van het Friese grondwatersysteem (grondwatersystemen), terwijl de hogere zandgronden, het buitenwater (Waddenzee en IJsselmeer) en de Friese Boezem de instroomgebieden vormen.

4.5 Grondwater nabij maaiveld

Het bovenste freatische grondwater, ofwel het grondwater nabij het maaiveld is van direct belang voor vele gebruiksfuncties, zoals landbouw, natuur, recreatie. Het gaat daarbij om het vochtgehalte van de bovengrond in combinatie met de bodemgesteldheid. Gronden met lage grondwaterstanden zijn vaak ('s zomers) te droog, terwijl hoge grondwaterstanden aanleiding kunnen zijn voor te natte situaties. De grondwaterstand en het grondwaterstandsverloop over het seizoen zijn belangrijke gegevens voor het karakteriseren van het ondiepe grondwaterregiem en de geschiktheid voor verschillende gebruiksfuncties. Een ander hydrologisch gegeven, dat zich aan de bovenzijde (uitstroomzijde) van grondwatersystemen manifesteert is de uitstroming van grondwater in de vorm van kwel.

Figuur 4.7. Berekende grondwatertrappen van Fryslân m.b.v. MIPWA grondwatermodel (zie ook kaart 7)



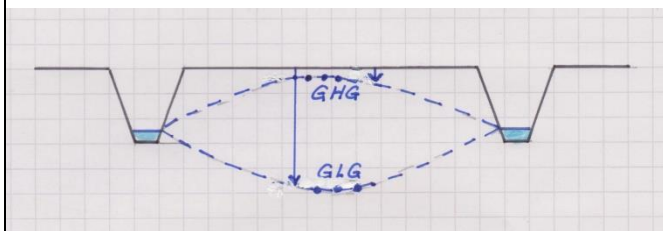
Grondwatertrappen

In figuur 4.7 (kaart 7) is een beeld gegeven van de huidige grondwatertrappen (Gt's, zie kader) in de provincie. Deze kaart betreft een kaart van berekende grondwatertrappen m.b.v. het regionale grondwatermodel MIPWA.

Grondwatertrappen met een laag nummer betreffen gebieden met ondiepe grondwaterstanden en die met een hoog nummer gebieden met de diepe grondwaterstanden.

De huidige grondwatertrappenkaart weerspiegelt in grote lijnen de onderscheiden landschappen in Fryslân (figuur 2.15), de bodemkaart (kaart 4) en grondwatersystemen (kaart 11). De natste gronden met lage grondwatertrapnummers (Gt I,II en deels III) komen voor op de veengronden en de klei-op-veengronden in het Lage Midden van Fryslân, alsmede in bepaalde beekdalen en randen van de hogere gronden van het Glaciaal Plateausysteem (Linde-Tjonger-, Boorne-Drait- en Noordelijk Woudensysteem). Enkele grootschalige natuurgebieden, zoals de Alde Faenen, de Dulf-Mersken, delen van de Groote Veenpolder, het Fochteloërveen, de Rottige Meente-Lindevallei en natuurgebieden rond Veenwouden en Buitenpost, alsmede enkele buitendijkse gebieden vallen op door hun zeer ondiepe grondwaterstanden (Gt I en II), welke in de winter nabij het maaiveld liggen. Opmerkelijk is dat volgens de berekende grondwatertrappenkaart de diepe en kwelrijke Veenpolders relatief droog uitvallen, met grondwatertrappen IV en V. Mogelijk dat deze gronden vanwege de lage peilen en de huidige goede ontwatering (drainage) relatief diepe wintergrondwaterstanden hebben. In de situatie van voor de ruilverkavelingen (jaren '50) waren hier de wintergrondwaterstanden aanzienlijk hoger (zie COLN-kaarten, figuur 3.17).

Een grondwatertrap is een karakterisering van het ondiepe, freatische grondwaterregiem aan de hand van combinaties van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) gerekend in cm beneden het maaiveld. Bij nadere indelingen wordt ook de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) in beschouwing genomen. Voor de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden wordt uitgegaan van de gemiddeld hoogste of laagste drie grondwaterstanden per jaar, bij 14-daagse metingen. De hoofdingeling in grondwatertrappen bestaat uit een 8-tal grondwatertrappen, waarbij de natte grondwatertrappen met grondwaterstanden aan het maaiveld weer onderverdeeld zijn in een nat (a-type) en een droog type (b- of c-type).



Grondwatertrap	I		II		III		IV	V		VI	VII	VIII
	Ia	Ic	IIa	IIb	IIIa	IIIb		Va	Vb			
GHG (cm – mv)	<25	>25	<25	25-40	<25	25-40	>40	<25	25-40	40-80	80-140	>140
GLG (cm – mv)	<50	<50	50-80	50-80	80-120	80-120	80-120	>120	>120	>120	>120	>120

Grote aaneengesloten gebieden met diepe grondwaterstanden, zowel in de winter als in de zomer komen voor op de hogere zandgronden van Zuidoost-Fryslân (Tjonger-Linde en Boorne-Drait), de stuwwallen van Gaasterland en St-Nicolaasga, alsmede in het gebied van de Noordelijke Wouden (rond Burgum, Dokkum, Surhuisterveen en Kollum). Het betreft hier de infiltratiegebieden van de regionale grondwatersystemen.

De grondwatertrappenkaart laat in grote lijnen een tweedeling zien binnen het grondwatersysteem van het noordelijk complex van poldersystemen. In het oude kweldergebied van Midden- en West-Fryslân globaal gelegen binnen het gebied van de lijn Leeuwarden-Harlingen-Makkum-Workum-Sneek-Grouw-Leeuwarden komt grotendeels grondwatertrap III voor, terwijl boven de lijn Leeuwarden-Harlingen de drogere grondwatertrappen IV,V,VI en VII overheersen. Dit verschil in grondwaterstand of grondwaterstandsregiem is enerzijds te verklaren vanuit de hoogteligging (kaart 1) en anderzijds vanuit de bodemgesteldheid (kaart 4). Ten zuiden van de lijn Leeuwarden-Harlingen liggen met name relatief lage, zware kleigronden, terwijl in het gebied ten noorden van genoemde lijn hoger gelegen jonge zeeklei- en zavelgronden voorkomen (Stiboka, 1971). Met name de relatief jonge kweldergronden van het Bildt en tussen St-Annaparochie en Harlingen, grotendeels in gebruik voor akkerbouw, hebben diepe grondwaterstanden. De lager gelegen zware kleigronden ten zuiden van de lijn Leeuwarden-Harlingen worden gekenmerkt door de aanwezigheid van 'knipklei', ontstaan in een rustig sedimentatiemilieu, ver van de directe invloed van het getij. Deze knipklei vertoont een sterke scheur- en zwelwerking. In droge toestand ontstaan blokvormige structuren met open scheuren, terwijl onder natte omstandigheden deze scheuren door opzwellingsgeheel dicht gaan. Dit betekent dat de doorlatendheid in de zomer goed is, maar in de winter zeer slecht. De grondwaterstanden van deze gronden – zonder grondverbeteringsmaatregelen - liggen daarom in de winterperiode nabij het maaiveld.

Ook in het kustgebied van het noordoosten van Fryslân komt genoemde tweedeling van hoger gelegen goed doorlatende klei- en zavelgronden met diepe grondwaterstanden en lager gelegen zware kleigronden met ondiepe grondwaterstanden voor.

Ten aanzien van figuur 4.7 (kaart 7) dient nog het volgende opgemerkt te worden. Gelet op de sterke verschillen in grondwaterstanden, met enerzijds grote eenheden met zeer ondiepe grondwaterstanden (Gt I en II) en anderzijds grote eenheden met zeer diepe grondwaterstanden (Gt VII en VIII) dient de gepresenteerde berekende grondwatertrappenkaart met het nodige voorbehoud geïnterpreteerd te worden.

Kwel- en infiltratiebeeld

Het kwel- en infiltratiebeeld (figuur 4.8, kaarten 8 en 8a) is globaal een afspiegeling van de hoogtekkaart (kaart 1), de peilenkaart (kaart 6), de waterstanden langs de randen van de provincie en de intensiteit van grondwaterwinning. Het betreft de sturende factoren voor de grondwatersystemen, zoals aangegeven in figuur 4.6. De factor van de doorlatendheid of het doorlaatvermogen (tussen infiltratiegebied en kwelgebied) dient hier als bepalende factor (t.a.v. de intensiteit van kwel of infiltratie) nog aan toegevoegd te worden. Het kwel- en infiltratiebeeld, zoals aangegeven in figuur 4.8 (kaart 8a) betreft een berekend beeld m.b.v. het grondwatermodel MIPWA, waarin de verticale stromingsintensiteit (ofwel grondwaterflux in mm/dag) door de bovenste slecht doorlatende laag is aangegeven. In een kwelsituatie stroomt een deel van dit kwelwater naar het oppervlaktewater; een ander deel verdwijnt door verdamping (m.n. in de zomer). In een infiltratiesituatie wordt de mate van infiltratie bepaald door de nuttige neerslag (neerslag minus verdamping) en de infiltratie vanuit het oppervlaktewater.

Gebieden met matige tot sterke kwel (> 1 mm/dag) worden berekend voor de beekdalen en langs de randen van regionale grondwatersystemen van het Glaciale Plateau systeem (Linde-Tjonger-, Boorne-Drait- en het Noordelijk Woudensysteem. Maar ook in meerdere poldergebieden in het Lage Midden van Fryslân (Friese Boezemcomplex) en langs de kust (Waddenzee-, IJsselmeer- en Lauwersmeersysteem) komen matige tot sterke kwelgebieden voor volgens de MIPWA berekeningen.

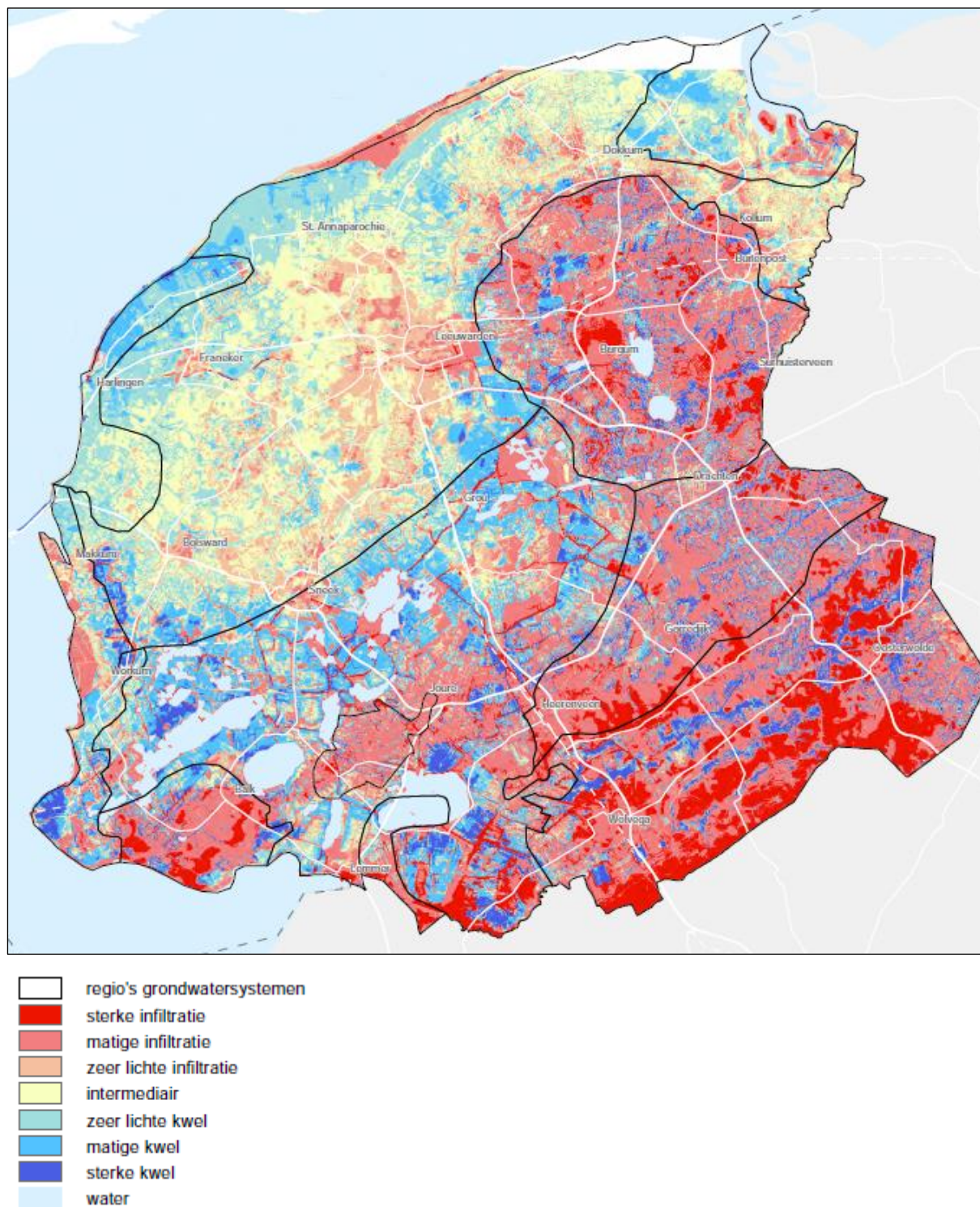
Een groot deel van het Pleistocene zandgebied is matig tot sterk infiltratiegebied, met infiltratiefluxen van > 1 mm/dag. Het noordelijk complex van poldersystemen komt naar voren als een grotendeels intermediair gebied met geringe verticale grondwaterstroming, waarbij gebieden met lichte kwel en lichte infiltratie elkaar afwisselen.

In het Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek van destijds (IWACO, 1989) is op basis van stijghoogteverschillen (diepe stijghoogte minus polderpeil) en de bodemkaart een potentiële kwel- en infiltratiekaart gemaakt (figuur 4.9a). Daar waar het stijghoogteverschil tussen het oppervlaktewaterpeil en het diepe grondwater groot is, is de potentiële kwel (stijghoogte hoger dan oppervlaktewaterpeil) of de potentiële infiltratie (oppervlaktewaterpeil hoger dan stijghoogte) sterk.

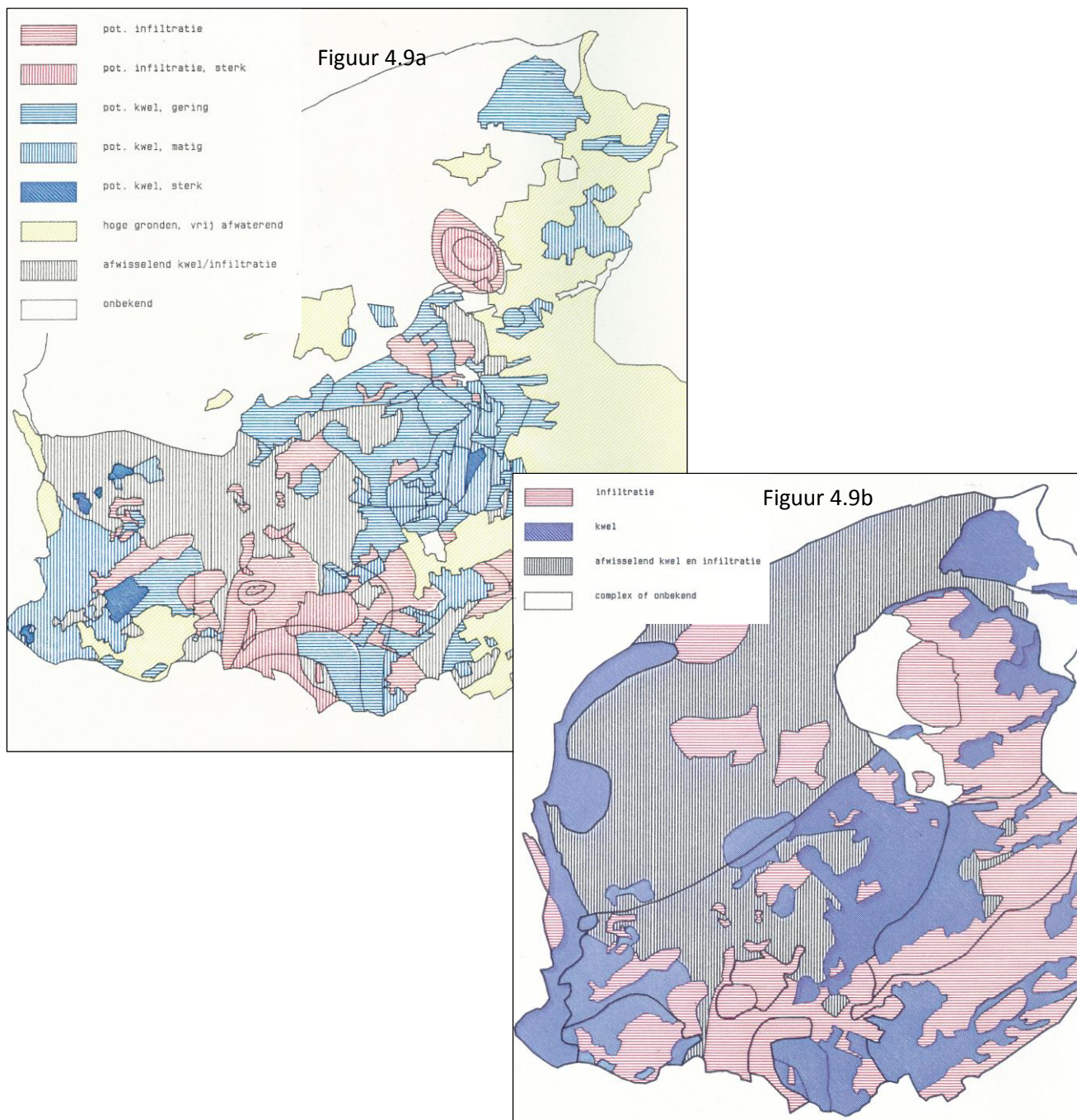
Met behulp van aanvullende systeemgegevens (o.a. grondwatertemperatuur en – waterkwaliteit) is de kaart van potentiële kwel en infiltratie omgezet naar een kwalitatieve kaart van kwel- en infiltratiegebieden (figuur 4.9 b). De kwel- en infiltratiekaarten zoals opgesteld in de grondwatersysteemanalyse komen in grote lijnen overeen met de berekende kwel- en infiltratiekaart van het MIPWA-grondwatermodel. Enkele gebieden, zoals de Veenspolders en Zuidwest Fryslân, komen in de kaarten van de regionale systeemanalyse sterker naar voren als kwelgebieden dan in de MIPWA-kaart. Het centrale deel van het Friese Boezem complex is volgens de regionale grondwatersysteemanalyse een intermediair gebied met afwisselend kwel en infiltratie, terwijl de MIPWA-kaart hier juist gebieden met sterke kwel aangeeft. Ook komt het sterke infiltratiegebied van Zuid-Fryslân met grondwaterstroming naar de Noordoostpolder (Lemmersysteem) wat duidelijker naar voren op de kaarten van de regionale grondwatersysteemanalyse. Tot slot ziet men op de potentiële kwel- en infiltratiekaart (figuur 4.9 a) duidelijk de sterke infiltratiegebieden rond de grote grondwaterwinningen van Noardburgum en Spannenburg. De grondwaterwinningen van Oldeholtpade en Terwisscha liggen beiden in de (deels sterke) infiltratiegebieden van het Tjonger-Linde systeem en zijn als zodanig niet als gebieden met versterkte infiltratie te herkennen op de kaarten. De grondwaterwinningen van Nij Beets en

Oudega (G), liggend in sterke kwelgebieden leiden ogenschijnlijk niet tot een ommekeer van kwel naar infiltratie in de directe omgeving van deze winningen.

Figuur 4.8 Berekend kwel- en infiltratiebeeld van Fryslân m.b.v. MIPWA grondwatermodel (zie ook kaart 8a)



Figuur 4.9 Kwel- en infiltratiegebieden volgens regionale systeemanalyse IWACO, 1989. Figuur linksboven (4.9 a) kaart van potentiële kwel en infiltratie; figuur rechtsonder (4.9 b) kwalitatieve kaart van gebieden met kwel en infiltratie mede gebaseerd op kenmerken systeemanalyse



4.6 Toelichting landelijke grondwatersysteemkartering 1989

In de landelijke grondwatersysteemkartering uit 1989 (Engelen, e.a.) worden voor Fryslân een negental regionale grondwatersystemen onderscheiden: (figuur 4.3)

GP: Glaciaal Plateausysteem (Drents Plateau)

FB: Grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex

KP: Grondwatersysteem van het complex van kwelderwallen- en poldersystemen

LM: Lauwersmeersysteem

NJ: Stuwwalsysteem van St.Nicolaasga-Joure

SG: Stuwwalsysteem van Gaasterland

St: Stuwwalsysteem van Steenwijk (buiten Fryslân)

YM: IJsselmeersysteem

WZ: Waddenzeesysteem

Het betreft een drietal grote systemen: het Glaciaal Plateausysteem (GP) in het oosten, het grondwatersysteem van het complex van kwelderwallen en poldergebieden (KP) in het noordwesten en het grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex in het midden en zuidwesten van de provincie. Ieder systeem omvat zowel het infiltratiegebied als het uitstroomgebied (kwelgebied), zoals afgebeeld in figuur 4.3. Het grondwater van het Glaciaal Plateausysteem komt in het westen tot uitstroming langs de rand van de hogere zandgronden. In het zuidwesten van deze rand ligt het uitstroomgebied grotendeels in de (diepe) Veenpolders en in het noordwesten in de daar aanwezige polders grenzend aan de hogere gronden. In het uiterste noordwesten worden nog enkele 'systeemeilanden' van het Plateausysteem onderscheiden: van het gebied Dokkum-Damwoude en van Oentsjerk/Gytsjerk. Het noordwestelijke complex van kwelderwallen en poldergebieden is grotendeels een gebied waarbij grondwater stroomt vanuit polders met hogere peilen naar polders met lagere peilen. De verwachting is dat met name op de hogere lichte klei- en zavelgronden in het Bildt e.o. infiltratie naar de ondergrond optreedt met kwel in de aangrenzende diepere polders.

In het midden en zuidwestelijke deel van Fryslân is een complex van stromingssystemen onderscheiden, waarbij boezemwateren (meren en kanalen met streefpeil van NAP - 0,52 m) de infiltratiegebieden vormen voor de grondwaterstroming naar de omringende diepere polders.

Langs de kust wordt in de landelijke systeemkartering een tweetal systemen onderscheiden, waarbij buitenwater infiltreert en als kwelwater uittreedt langs de kust (IJsselmeersysteem (YM) en Waddenzeesysteem (WZ)). Het Waddenzeesysteem dagzoomt slechts op enkele plaatsen, daar waar de kweldruk groot is en de hydrologische weerstand van de afdekkende kleilagen gering. In figuur 4.3 zijn vanwege de schaal van de kaart deze veelal zoute of brakke 'kwelvensters' niet aangegeven.

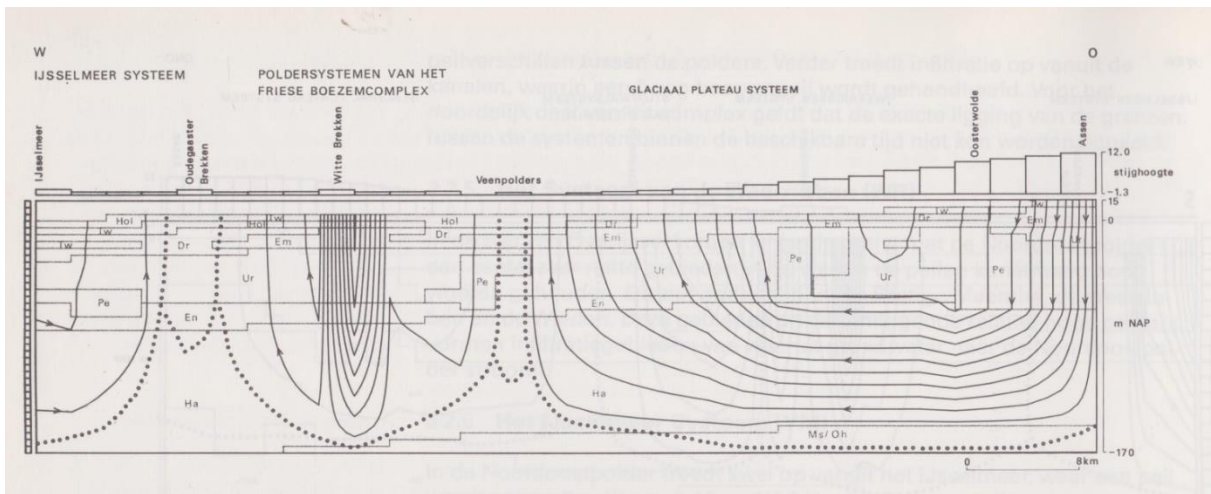
In Zuidwest-Fryslân liggen enkele stuwwalgebieden, zoals die van Gaasterland en St.Nicolaasga-Joure, die als systeemeilanden hun eigen regionale grondwatersystemen vormen (SG en NJ). Tot slot wordt binnen de landelijke systeemkartering in het noorden het Lauwersmeersysteem onderscheiden. De landelijke systeemkartering onderscheidt geen afzonderlijke grondwatersystemen rondom (grote) grondwaterwinningen. Hiervoor was de schaal van kartering waarschijnlijk te globaal. In de regionale systeemkartering van Broers (Broers, 1987) voor Zuid-Fryslân worden deze wel onderscheiden. Hier zal verder op in

worden gegaan bij de bespreking van de grondwatersysteemanalyse uitgevoerd door IWACO.

In figuur 4.10 is een dwarsprofiel gegeven van de regionale systemen en stroombanen (in combinatie met geologische opbouw en stijghoogte) over de lijn Assen-Sneek-IJsselmeer (figuur 17 uit rapportage Engelen e.a., 1989). De berekeningen zijn destijds gemaakt met het rekenprogramma Flownet. Het dwarsprofiel geeft aan dat de regionale systemen grotendeels doorwerken tot op de hydrologische basis. Dit betekent dat nauwelijks grondwater van het ene systeem doorstroomt onder het andere systeem en daar plaatselijk in de vorm van kwelvensters naar boven komt. De berekening geeft aan dat het diepe grondwater uit het hogere oostelijke zandgebied opkwelt in de oostelijke randzone van de Veenspolders en niet verder doordringt onder het grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex. Het grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex (FB) in figuur 4.10 reikt op haar beurt tot op de hydrologische basis (Formatie van Maassluis). Het is echter zeer de vraag of dit ook in werkelijkheid zo is. Waarschijnlijk reiken de grondwatersystemen van het Friese Boezemcomplex veel minder diep (zie paragraaf 4.7). Daarbij komt dat in de schematisatie van de geologische opbouw in figuur 4.10 de Tegelenkleilagen (Peizercomplex) niet opgenomen zijn binnen de Formatie van Harderwijk (in huidige terminologie Formatie van Peize-Waalre). Deze kleilagen (zie ook figuur 3.6) zouden wel eens een dusdanige hydrologische weerstand kunnen hebben, dat regionaal diep grondwater vanuit het oosten onder het grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex doorstroomt. Anderzijds zou vanuit het westen (IJsselmeer) ook diep grondwater onder het grondwatersysteem van het Friese Boezemcomplex door naar het oosten kunnen stromen, afhankelijk van de opbouw van de diepe ondergrond. In de diepe ondergrond onder het IJsselmeer komt waarschijnlijk zoet grondwater voor als gevolg van de vroegere veenbedekking, maar doordat de Zuiderzee lange tijd vrij spel heeft gehad in dit gebied zijn delen van het grondwatersysteem verzilt (zie hoofdstuk 3).

Volgens de landelijke systeemkartering reiken de stroombanen van het complex van kwelderwallen en poldersystemen (KP) minder diep en ligt onder dit systeem het Waddenzeesysteem (WZ) met een landinwaarts gerichte stroming (figuur 4.5). Dat het KP-systeem minder diep reikt en minder dynamisch is, is te verklaren uit de geringere diepte van de polders (t.o.v. de diepe polders van het Friese Boezemcomplex en met name de Veenspolders) in combinatie met de slechte doorlatendheid van de deklaag. In hoeverre het diep gelegen Waddenzeesysteem, bestaande uit zout grondwater, stroomt of zich verplaatst is niet goed bekend.

Figuur 4.10 Schematische weergave van regionale grondwatersystemen met stroomlijnen, geologische opbouw en stijghoogte over dwarsprofiel Assen-Sneek-IJsselmeer (uit: Grondwaterstromingsstelsels in Nederland, Engelen e.a., 1989)



4.7 Toelichting grondwatersysteemanalyse IWACO, 1989

Als onderdeel van het oriënterend geohydrologisch onderzoek (OGO) is in 1988-1989 in opdracht van de provincie Friesland een globale grondwatersysteemanalyse uitgevoerd (figuur 4.4). Het doel van het OGO-onderzoek was het verkrijgen van inzicht in noodzakelijk onderzoek ten behoeve van het toekomstige grondwaterbeheer in Fryslân. Uitgangspunt vormde de landelijke grondwatersysteemkartering, terwijl voor Zuid-Fryslân gebruik is gemaakt van de systeemanalyse van Broers.

De afbakening van de regionale grondwatersystemen is o.a. verricht aan de hand van hoogteligging, stijghoogtebeelden, globale polderpeilen, bodem, grondwaterkwaliteit en grondwatertemperatuur. Met name het grondwatertemperatuuronderzoek, uitgevoerd door studenten van Wageningen (van der Gaag en Sauer, 1989) heeft bijgedragen aan de uiteindelijke begrenzing van de regionale grondwatersystemen.

De regionale systeemanalyse heeft geresulteerd in 11 systemen of complexen van systemen. De systeemgrenzen zijn tevens aangegeven op de berekende kwel- en infiltratiekaart (kaart 8) en de kaart van de berekende gemiddelde diepe stijghoogte (kaart 9).

In onderstaande tabel 4.1 worden de met elkaar corresponderende systemen van zowel de landelijke als de door IWACO uitgewerkte systemen gegeven.

Tabel 4.1 Overzicht corresponderende grondwatersystemen in Fryslân van landelijke grondwatersysteemkartering en grondwatersysteemanalyse van IWACO in kader van Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek (OGO)

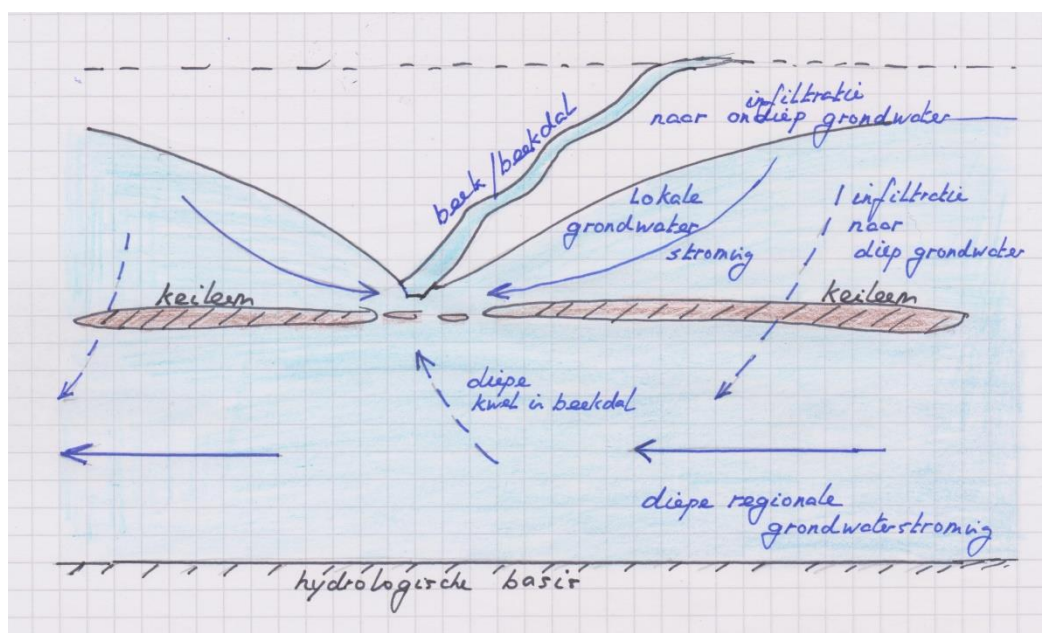
Landelijke grondwatersysteemkartering 1989 (figuur 4.3)	Grondwatersysteemanalyse IWACO-OGO 1989 (figuur 4.4)
Glaciaal Plateausysteem	Tjonger-Lindesysteem Boorne-Draitsysteem Noordelijke Woudensysteem
Friese Boezemcomplex	Friese Boezemcomplex
Noordelijk complex van kwelderwallen en poldersystemen	Noordelijk complex van poldersystemen
Gaasterlandsysteem	Gaasterlandsysteem
St-Nicolaasgasysteem	Spannenburg-St-Nicolaasgasysteem (-Jouresysteem)
IJsselmeer systeem	IJsselmeersysteem Lemmersysteem (Noordoostpoldersysteem)
Waddenzeesysteem (onderliggend)	Waddenzeesysteem
Lauwersmeersysteem	Lauwersmeersysteem

Tjonger-Linde- en Boorne-Draitsysteem

De grondwatersystemen van Tjonger-Linde en Boorne-Drait omvatten het hoger gelegen Pleistocene zandgebied van Zuidoost-Fryslân ofwel de stroomgebieden van de Linde, Tjonger en het Koningsdiep. De grens tussen het Tjonger-Linde- en het Boorne-Draitsysteem wordt gevormd door de waterscheiding tussen de Tjonger en het Koningsdiep (Boorne). De noordgrens van het Boorne-Draitsysteem ligt op de oude loop van de Drait (Drachten), welke uitstroomt in de inham van boezemwater (Wijde Ee-Smalle Eesterzanding) bij Drachten. De diepe grondwaterstroming van beide regionale systemen is naar het westen gericht. Echter rond de zuidwest-noordoost lopende beekdalen treden ondiepe, lokale grondwatersystemen op met een stromingsrichting naar de beekdalen toe, waar het op de hogere delen geïnfiltreerde regenwater als lokale of sub-regionale kwel uittreedt. Met name de aanwezige, slecht doorlatende keileem in dit gebied (figuur 2.7) veroorzaakt een tweedeling in grondwatersystemen: lokale of sub-regionale systemen van ondiep grondwater boven een regionaal systeem van diep grondwater (figuur 4.11). Een deel van het geïnfiltreerde regenwater/slootjeswater op de hogere gronden, met name in de gebieden op grotere afstand van de beekdalen, zal door de slecht doorlatende keileemlaag stromen naar het diepere grondwater. Een ander deel, met name langs de flanken van het beekdal zal binnen het ondiepe, lokale systeem over de keileemlaag stromen naar het beekdal. Ten slotte kan in het beekdal, waar veelal de keileemlaag ontbreekt diep grondwater uit het regionale systeem opkwellen in het beekdal.

De stromingsrichtingen van het regionale en lokale grondwatersysteem kunnen daarbij haaks op elkaar staan. In het oosten van beide systemen komen dikke potkleilagen voor (figuur 4.12). Het moge duidelijk zijn dat deze potkleilagen nog in sterkere mate de ondiepe, lokale systemen scheiden van het diepe regionale systeem.

Figuur 4.11 Schets van ondiepe, lokale grondwaterstroming naar beekdal boven op systeem met regionale diepe grondwaterstroming (lokaal beekdalsysteem boven regionaal systeem)

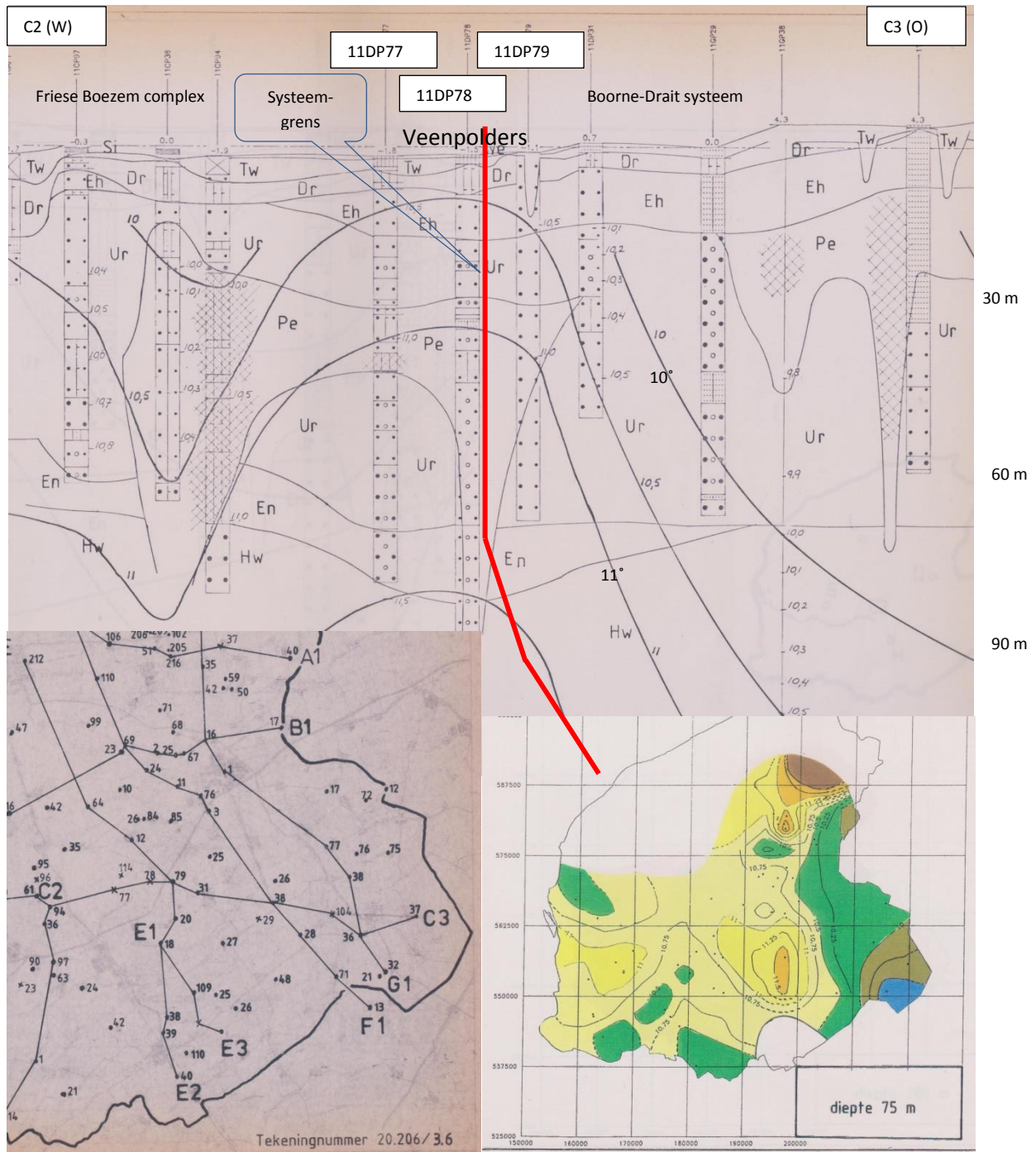


Lokale of sub-regionale systemen worden niet altijd begrensd door genoemde keileemlagen. Zo bleek uit een studie in het Lindedal (IWACO, 1989) dat dergelijke systemen diep kunnen doordringen (tot ca. 60 m - NAP) in het regionale systeem. Binnen het Tjonger-Lindesysteem liggen twee grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening: Terwisscha en Oldeholtgade (figuur 4.6), waarbij de winning van Terwisscha bovenstrooms ligt en die van Oldeholtgade meer in de middenloop van het bekenstelsel Tjonger-Linde.

Het regionale grondwatersysteem van Tjonger-Linde verliest water door deze drinkwaterwinningen als mede door de uitstroming van diep grondwater (kwelwater) in de beekdalen. Het overige, grootste deel komt tot afstroming in de diepe polders (Veenpolders) aan de westzijde van het systeem. De systeemgrens (tussen Linde-Tjonger en het Friese Boezem complex) ligt in de diepe polders van de Ontginning en Oldelamer ten zuiden van Heerenveen. De systeemgrens (tussen Boorne-Drait en het Friese Boezem complex) ligt in de diepe Veenpolders rond Tijnje. Deze kon in de studie van IWACO vrij nauwkeurig bepaald worden, met name op basis van temperatuurmetingen in diepe peilbuizen. De westelijke begrenzing die destijds bepaald is komt redelijk goed overeen met de kwel- en infiltratiekaart (kaart 8), de kaart van polderpeilen (kaart 6) en het berekende diepe isohypsenbeeld (kaart 9). De hogere grondwatertemperaturen tot op ca. 100 m – NAP in het oostelijke deel van de Veenpolders komt duidelijk naar voren in het oost-west temperatuurprofiel van het Boorne-Draitsysteem, alsmede in de isothermenkaart op een diepte van 75 m – NAP (figuur 4.12).

De huidige grondwaterwinning van Nij Beets met een grondwateronttrekking van 3,5 miljoen m³/jaar ligt in de kwelzone van het Boorne-Draitsysteem (noordoostelijke deel van de Veenpolders (zie ook figuur 2.15). In de tijd van de uitvoering van de systeemanalyse door IWACO was deze winning nog niet in bedrijf. De grondwaterwinning heeft daarmee het diepe 'kwelsysteem' in dit deel van het kwelgebied van het Boorne-Draitsysteem versterkt.

Figuur 4.12 Temperatuurprofiel C2-C3, van west naar oost over de Veenpolders naar hogere zandgronden met ligging systeemgrens van Friese Boezem complex en Boorne-Draitsysteem + isothermenkaart van Fryslân op een diepte van 75 m – NAP (uit: Oriënterend Geohydrologisch Onderzoek Fryslân, IWACO, 1989)



Noordelijk Woudensysteem

Het Noordelijk Woudensysteem wordt gevormd door de noordwestelijke uitloper van de hogere Pleistocene zandgronden van het Drents Plateau. Zij maakt deel uit van het Glaciaal Plateausysteem van de landelijke grondwatersysteemverkenning en bestaat uit een aantal grote en kleine zandopduikingen, afgewisseld door lage, veelal met veen opgevulde gebieden. De meest noordelijke zandkop betreft die van Dokkum en de meest westelijke die van Oentsjerk/Gytsjerk (zie hoogtekaart figuur 2.16 of kaart 1). De zuidgrens van het systeem wordt gevormd door de inham van de Drait ten zuiden van Drachten. Verder ligt binnen het systeem een brede lage slenk, met daarin de meren van het Bergumermeer en de Leijen. Het Noordelijk Woudensysteem onderscheidt zich van de andere beekdalsystemen van het Drents Plateau (Tjonger-Linde en Boorne-Drait) door de afstromingsrichting, welke meer radiaal gericht is, waarbij het grondwater vanaf de hogere Pleistocene zandgebieden naar de lagere veengronden stroomt. Het systeem kenmerkt zich ook door de diepe potkleigeulen die binnen het systeem voorkomen. Met name bij de Leijen en het Bergumermeer is de invloed van de potklei op de hydrologische systemen merkbaar. Daar waar potklei in de ondergrond aanwezig is, zoals rond het Bergumermeer, vindt diepe grondwaterstroming nauwelijks plaats. Infiltratie en kwel spelen zich hier af op geringe diepte binnen lokale of hooguit sub-regionale systemen.

Binnen het Noordelijk Woudensysteem ligt de relatief grote drinkwaterwinning van Noardburgum (huidige grondwateronttrekking ca. 9,0 miljoen m³/jaar). Mede door deze grondwaterwinning is het systeem overwegend een infiltratiegebied, zoals het berekende kwel- en infiltratiebeeld (figuur 4.8 of kaart 8) aangeeft. Ook de kwel- en infiltratiekaarten van de grondwatersysteemanalyse (figuren 4.9a en 4.9b) geven voornamelijk kwelgebieden aan de randen (m.n. de noordelijke en oostelijke rand) aan. Wordt de bodemkaart (kaart 4) vergeleken met de berekende kwel- en infiltratiekaart (kaart 8) dan valt op dat in het westelijke deel van het systeem op veel veengronden infiltratie voorkomt.

Door peilverlaging en grondwaterwinning zijn meerdere veengronden veranderd van kwelgebied naar infiltratiegebied. Overigens komt dit verschijnsel van (huidig) infiltrerende veengronden ook in andere gebieden in Fryslân voor. Het Noordelijke Woudensysteem vormt een noordelijke uitstulping van diep zoet grondwater (kaart 4 of figuur 3.5), ontstaan door eeuwen lange infiltratie vanuit de hogere Pleistocene zandgronden. De grondwaterwinning van Noardburgum ligt aan de periferie van dit diepe zoete grondwater en wordt bedreigd door zowel laterale verzilting uit het noordwesten over de Tegelenklei/Peizercomplex als door verzilting vanuit de diepte door 'gaten' in de Tegelenklei langs de rand van de hier aanwezige Peelogeul. Opgemerkt dient te worden dat de grondwaterwinning van Noardburgum sterk is gereduceerd, waardoor de effecten op de omgeving ook verminderd zijn. Hierdoor kunnen systeemgrenzen ook verschoven zijn. In hoofdstuk 5 wordt hier verder op ingegaan.

Friese Boezemcomplex

Het Friese Boezemcomplex omvat grotendeels het Friese merengebied en het westelijke deel van de Veenpolders. Volgens de hydrologische systeemanalyse van IWACO bestaat dit complex uit ondiepe hydrologische systemen met infiltratie vanuit de boezemwateren en kwel in de polders. De systemen van het Friese boezemcomplex hebben volgens genoemde systeemanalyse een dieptebereik tot ca. 40 m - NAP. Dit betekent dat onder het systeem een dieper systeem (of diepere systemen) werkzaam is (zijn). De diepe stijghoogte binnen het gebied ligt laag en bevindt zich op een niveau tussen NAP -1,0 m en NAP -2,0 m (figuur

4.5), waarbij het diepe grondwater waarschijnlijk een stromingscomponent richting de Veenpolders en Zuid-Fryslân heeft. Dit levert een ander, ondieper stromingsbeeld op dan het stromingsbeeld van de landelijke systeemkartering (figuur 4.10).

In het noordelijke deel van het Friese Boezemcomplex liggen meerdere potkleigeulen (kaart 3, figuur 2.5), waardoor de dieptewerking van de systemen nog meer beperkt is. Het watervoerend pakket onder het Friese Boezemcomplex wordt aan de noord- en noordwestzijde gevoed door zout/brak grondwater vanuit de Waddenzee, onder het noordelijk complex van poldersystemen door. Dit brakke/zoute grondwater stroomt waarschijnlijk over de Tegelenkleilagen (Peizercomplex, zie ook figuur 3.7) naar het oosten/zuiden. Zowel de diepe Veenpolders, als de Noordoostpolder 'trekken' aan dit grondwater, zo laat het isohypsenbeeld van het diepe grondwater zien.

Zoals te zien is op de kaart van de ligging van het brak-zoutgrensvlak (kaart 10) reikt het zoete/brakke grondwater binnen Friese Boezemcomplex zeer diep, tot meer dan 300 meter in de omgeving van Balk in Zuidwest-Fryslân. Het betreft grondwater uit vroegere tijden, dat geleidelijk aan vervangen wordt door zout en brak grondwater uit de omgeving (zie hoofdstuk 3). Binnen het Friese Boezemcomplex liggen twee grote grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening: Spannenburg (15 miljoen m³/jaar) en Oudega (10 miljoen m³/jaar). Deze winningen vormen als het ware hun eigen grondwatersystemen binnen het gebied, met infiltratie deels vanuit de Friese Boezem en deels vanuit de hoger gelegen stuwwalgebieden (St-Nicolaasga voor Spannenburg en Gaasterland voor Oudega). Daarbij komt dat de winning van Oudega waarschijnlijk ook nog diep grondwater van onder het IJsselmeer onttrekt. Beide winningen hebben de verlaging van de diepe stijghoogte (figuur 4.9) binnen het Friese Boezemcomplex versterkt en daarmee de snelheid –overigens nog zeer traag – van de verzilting van de zoete grondwatervoorraad. Met name in de randzones van het Friese Boezemcomplex (noord- en zuidrand, figuur 3.5) komen brakwaterlenzen voor binnen het zoete grondwatersysteem. Maar ook binnen het systeem kunnen deze aanwezig zijn. Het betreft waarschijnlijk restanten van overstromingen met zeewater gedurende de Eemtijd alsmede overstromingen in het Holocene (zie hoofdstuk 3). In een groot deel van het gebied bestaat de bodem uit klei-op-veengronden (figuur 2.12, kaart 4). Deze bodemopbouw in combinatie met kwel in de polders maken dat de grondwaterstanden in een groot deel van het gebied hoog liggen (Grondwatertrappen II en III, zie kaart 7). Alleen in het gebied rond Joure-Heerenveen-Tijnje geeft de (berekende!) grondwatertrappenkaart diepere grondwaterstanden aan (Grondwatertrappen IV en V). Enerzijds ligt de zandondergrond hier hoger, anderzijds zijn mogelijk door verbeterde ontwatering drogere omstandigheden gecreëerd.

Noordelijk complex van poldersystemen

Het noordelijk complex van poldersystemen is een groot gebied met geringe regionale grondwaterstroming. Dit komt enerzijds door de slecht doorlatende bovengrond (Holocene deklaag) en anderzijds door de geringe peilverschillen in het gebied. De infiltratiegebieden worden grotendeels gevormd door hoger gelegen polders en kwelderwallen, terwijl het geïnfilterde water als kwelwater in de lager gelegen polders wordt opgevangen. De stromingsintensiteit en het dieptebereik van de systemen is echter gering. Infiltratie vanuit de Friese Boezem is hier ook veel geringer dan in het merengebied (Friese Boezemcomplex) in het zuiden van de provincie. In het noordelijke deel van het gebied is het grondwater al op geringe diepte zout (kaart 10), terwijl in het zuidelijke deel het zoete en brakke grondwater nog redelijk diep ligt (50 tot 100 m - NAP). In het overgangsgebied naar het Friese

Boezemcomplex wisselen zoete, brakke en zoute gebieden elkaar af, terwijl binnen de zoete grondwatergebieden ook brakwater lenzen kunnen voorkomen.

Op de hogere lichte klei- en zavelgronden in het Bildt e.o. (hoogtekaart, kaart 1 en bodemkaart, kaart 4) treedt infiltratie op van zoet grondwater, waardoor sub-regionale grondwatersystemen met zoet water zijn ontstaan, te vergelijken met de vorming van zoet grondwater op de Waddeneilanden. Vanwege de aanwezigheid van zout grondwater op geringe diepte binnen het (te pomp) watervoerend pakket vindt geen grondwaterwinning t.b.v. de drinkwatervoorziening plaats in het noordelijk complex van poldersystemen.

Zoals beschreven in paragraaf 4.5 laat het noordelijk complex van poldersystemen een tweedeling zien in het ondiepe grondwater. In het noordelijke, hoger gelegen deel met relatief jonge zeeklei – en zavelgronden en voornamelijk akkerbouw liggen de grondwaterstanden relatief diep en in het lager gelegen zuidelijke deel (globaal ten zuiden van de lijn Leeuwarden-Harlingen) met meer zware kleigronden (knipklei) komen hogere grondwaterstanden voor.

Systemen van Gaasterland, Spannenburg- St-Nicolaasga-Joure en Lemmersysteem (Noordoostpoldersysteem)

De regionale grondwatersystemen van Gaasterland en St-Nicolaasga zijn van origine stuwwalsystemen, met infiltratie van regenwater op de hogere zandruggen en kwel in de omringende veengebieden. Door inpoldering van de Noordoostpolder, de realisatie en uitbreiding van de grondwaterwinning van Spannenburg en meerdere peilveranderingen in de omgeving zijn deze stuwwallensystemen aanzienlijk veranderd en zijn nieuwe systemen, zoals het Lemmer- of Noordoostpoldersysteem er bij gekomen.

In de huidige situatie vindt nog steeds infiltratie plaats op genoemde stuwwallen, maar de kwel rondom deze stuwwallen is veelal vervaagd doordat het geïnfiltreerde water grotendeels opgenomen wordt in het grotere, diepe grondwatersysteem onder het Friese Boezemcomplex (figuur 4.9) met stroming naar de Noordoostpolder en – meer lokaal – naar de grondwaterwinningen van Spannenburg en Oudega.

Door Broers is destijds het grondwatersysteem van dit gebied (m.u.v. west Gaasterland) gedetailleerd in kaart gebracht, zowel op basis van kwalitatieve kenmerken (hoogte, bodem, hydrochemie, stijghoogtes, etc., Broers, 1987) als op basis van een grondwatermodelstudie (Broers, 1988). In figuur 4.13 zijn de resultaten van de systeemanalyse van Broers in aangepaste vorm door de provincie Friesland aangegeven (Schotsman/Provincie Friesland, 1988).

In figuur 4.9 ontbreken de grondwatersystemen van de grondwaterwinningen. De huidige situatie t.a.v. de grondwateronttrekking in Zuid-Fryslân is echter gewijzigd. Destijds (jaren '80) onttrok het pompstation Spannenburg ca. 13 miljoen m³/jaar en was er te Ouwsterhaule een grote bemaling actief (7 miljoen m³/jaar). Daarnaast waren er meerdere industriële onttrekkingen in het gebied met een gezamenlijke grondwateronttrekking van ca. 6 miljoen m³/jaar. De drinkwaterwinning van Oudega (10 miljoen m³/jaar) was echter nog niet in bedrijf.

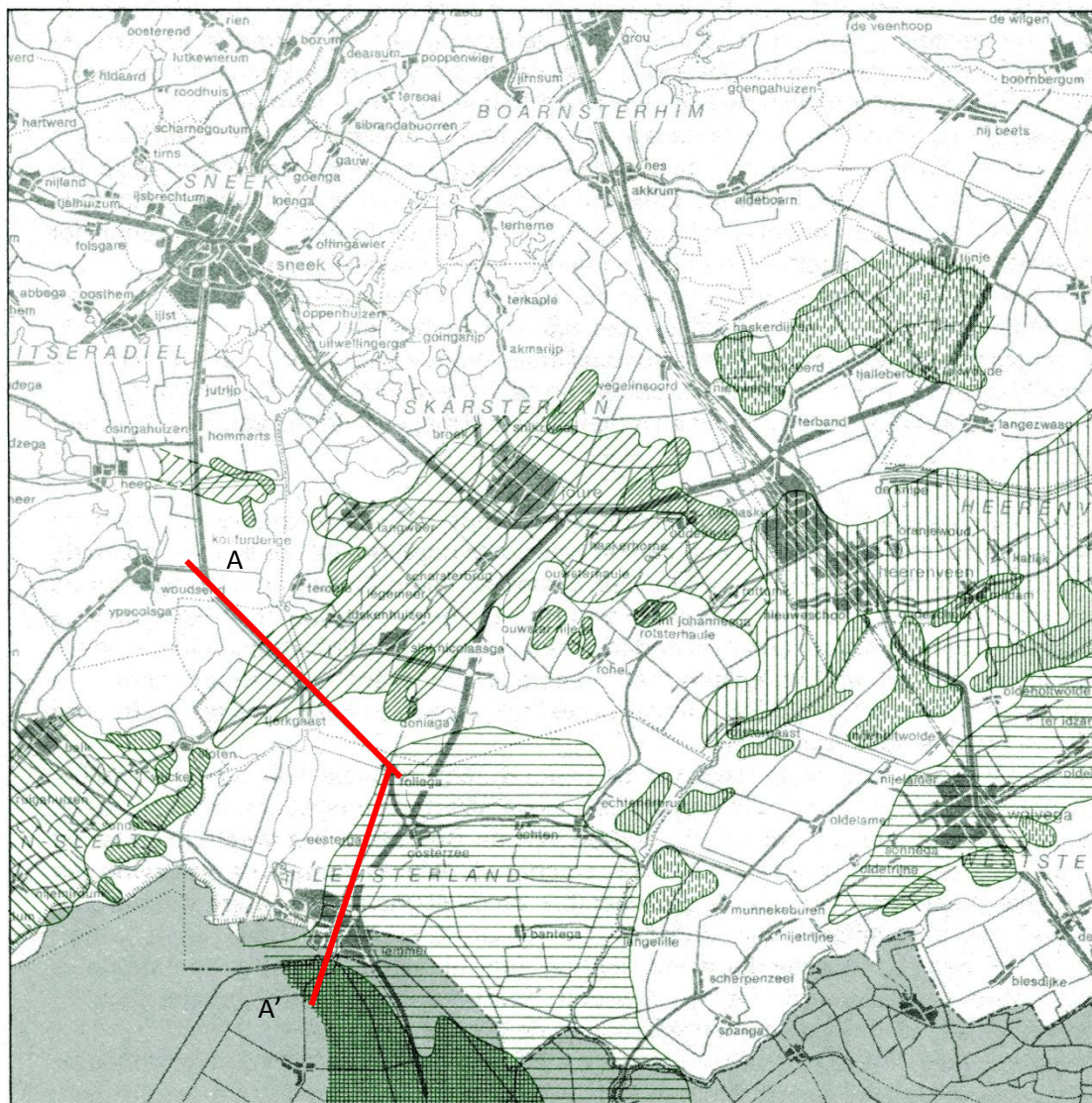
Volgens de systeemanalyse van Broers komt het geïnfiltreerde water van genoemde stuwwallen deels tot afstroming langs de flanken van de stuwwallen (bepaalde petgaten) en

verdwijnt het elders in het diepe systeem. De systeemanalyse van IWACO geeft aan dat er mogelijk, op basis van grondwaterkwaliteit, kwelvensters zijn binnen het Friese Boezemcomplex waar het stuwwalwater tot afstroming komt (mogelijk omgeving van Workum).

Het Lemmer- of Noordoostpoldersysteem is ontstaan na de inpoldering van de Noordoostpolder. Zoals in figuur 4.9 is aangegeven infiltreert een aanzienlijk deel van het gebied van Lemsterland (zuidelijk deel Tjeukemeer en ten zuiden van Tjeukemeer) naar de ondergrond en komt dit water weer tot afstroming in de Noordoostpolder. Het systeem is waarschijnlijk ondiep, zoals in figuur 4.10, waar in een NZ dwarsdoorsnede de hydrochemie en de onderste begrenzing van het systeem is gegeven. Onder het systeem ligt dan het diepe regionale grondwater (2^e watervoerend pakket, figuur 4.9), waaruit de winning van Spannenburg haar grondwater onttrekt en dat in het zuiden richting de Noordoostpolder stroomt.

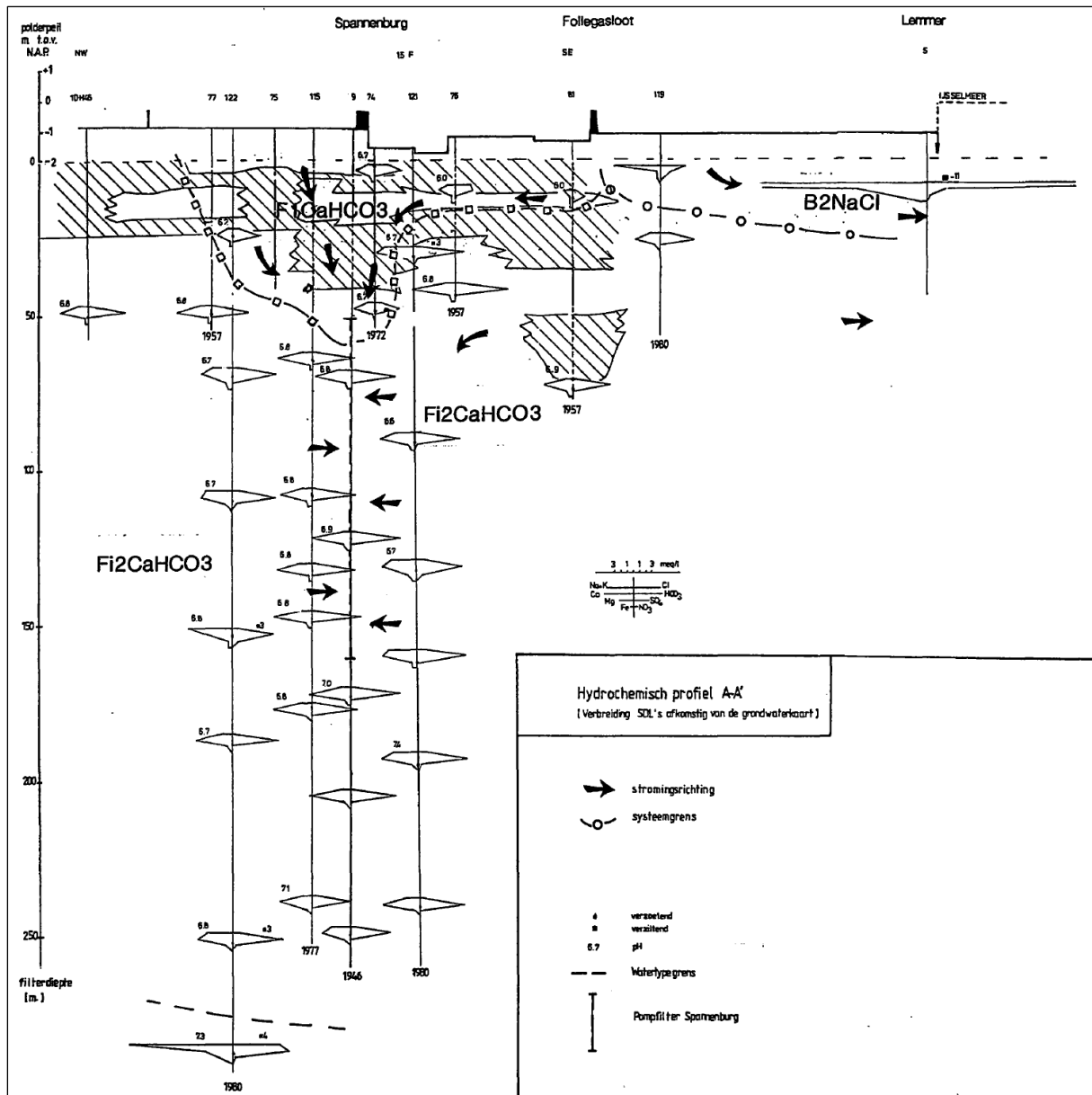
Volgens de systeemanalyse van IWACO is het infiltratiegebied van het Lemmer/Noordoostpolder systeem aanzienlijk geringer dan dat aangegeven in de systeemanalyse van Broers. Een verklaring hiervoor kan zijn dat de systeemanalyse van IWACO mede gebaseerd is op de uitkomsten van de grondwatermodelberekeningen van Broers, welke later zijn uitgevoerd. Dat een groot deel van het gebied ten zuiden van het Tjeukemeer slechts gedeeltelijk infiltratiegebied is, blijkt ook uit de berekende kwel- en infiltratiekaart (kaart 8), waar in de Veenpolder van Echten de oppervlaktewaterpeilen dermate laag zijn, dat hier toch nog kwel op treedt ondanks de verlaging van de diepe stijghoogte als gevolg van de inpoldering van de Noordoostpolder. De kaart van polderpeilen (kaart 6) toont dan ook heel fraai de begrenzing van het Lemmersysteem volgens de IWACO-analyse. Het geïnfiltreerde oppervlaktewater uit het Tjeukemeer stroomt als het ware onder het kwelgebied van de Veenpolder van Echten door naar de Noordoostpolder.

Figuur 4.9 Grondwatersystemen in Zuid-Fryslân (uit: Grondwaterstromingsstelsels in Zuid-Friesland, H.P. Broers, 1987 en verder bewerkt door provincie Friesland en opgenomen in 'Onbemest grasland in Friesland: hydrologie, typologie en toekomst' van N. Schotsman, 1988)



	infiltratie	kwel	
het Heerenveensysteem. *			* deze systemen maken onderdeel uit van het Tjonger-Lindesysteem volgens systeemanalyse van IWACO
het Wolvegasysteem. *			
het systeem St. Nicolaasga - Joure			
het systeem van de oostflank van Gaasterland			
het Drente systeem			
het Noordoostpolder systeem			

Figuur 4.10 Hydrochemisch profiel A-A' (zie figuur 4.9) over regionaal grondwatersysteem Spannenburg-St-Nicolaasga-Joure, van Woudsend via Spannenburg naar Lemmer met verticale systeemgrens (uit: Grondwaterstromingsstelsels in Zuid-Friesland, H.P. Broers, 1987)

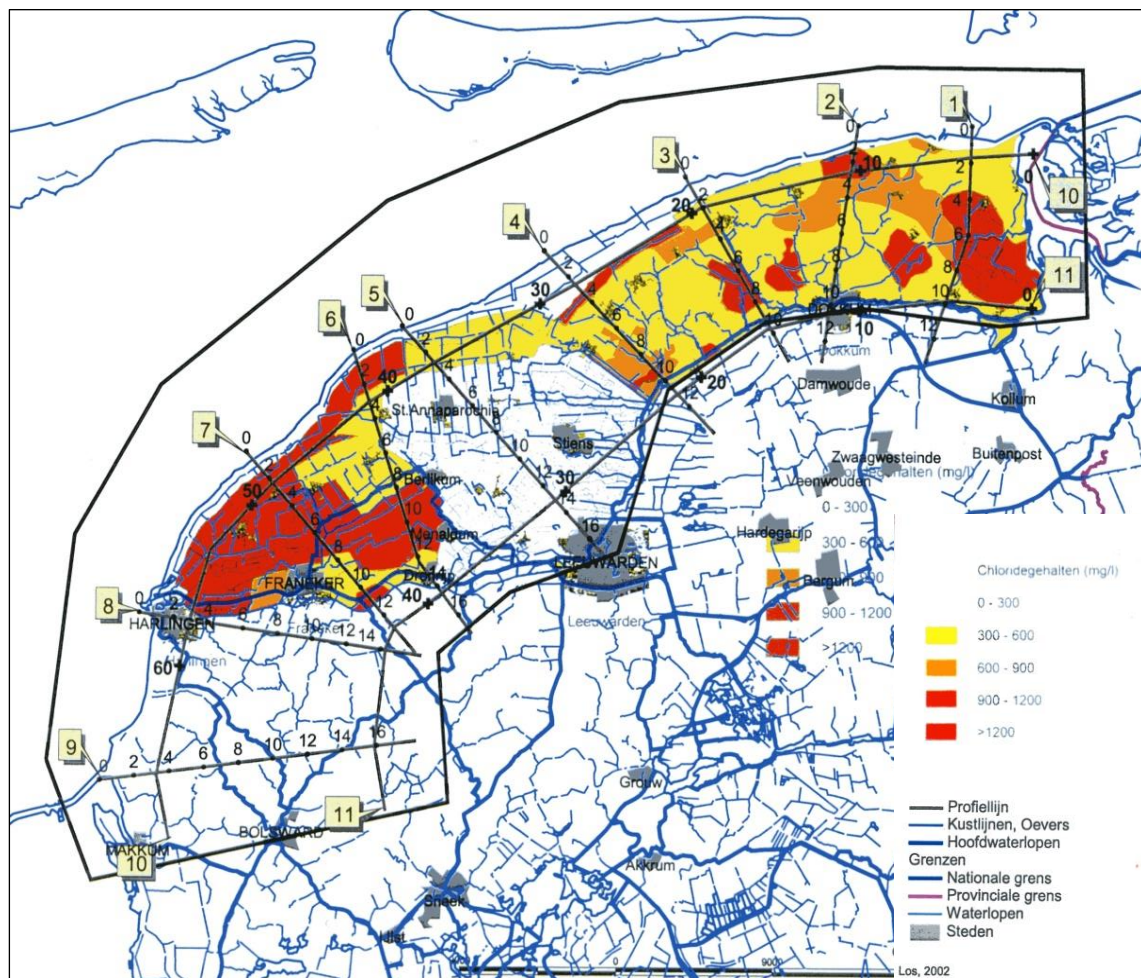


Waddenzee -, IJsselmeer- en Lauwersmeersysteem

Langs de randen van de Waddenzee, het IJsselmeer en het Lauwersmeer komen grondwatersystemen voor die gevoed worden door deze waterplassen. Het geïnfiltreerde water komt als kwelwater naar boven in kuststrook, waar plaatselijk diepe polders liggen. Ook zijn er buitendijkse gronden, zoals ten westen van Makkum, waar infiltratie plaats vindt met als gevolg kwel in het aangrenzende binnendijkse poldergebied.

Het Waddenzeesysteem ligt als een smalle strook langs de kust ten noorden van Harlingen en in een gebied ten zuiden van deze stad. Het polderwater heeft hier een hoog chloridegehalte veroorzaakt door zoute kwel. Deze zoute kwel is niet alleen een gevolg van de lage polderpeilen, maar wordt waarschijnlijk ook veroorzaakt door de betere doorlatendheid van de ondergrond. De sterke kwel in de kustzone ten noorden van Harlingen is ook herkenbaar in het kwel- en infiltratiebeeld (kaart 8). In het zuidelijke deel van het Waddenzeesysteem komt dit minder naar voren in het kwel- en infiltratiebeeld, alsmede in de actuele chloridegehalten van het oppervlaktewater (figuur 4.11). Gelet op de aanwezigheid van meerdere slecht doorlatende lagen in de ondergrond, waaronder een keileempakket op ca. 20 m diepte (zie figuur 2.6) is het dieptebereik van het Waddenzeesysteem waarschijnlijk gering.

Figuur 4.11 Overzicht chloridegehaltes oppervlaktewater Noord-Fryslân (uit: Aanpassing primair meetnet, zoet-zout monitoring, Royal Haskoning, 2004)



Het IJsselmeersysteem wordt gevormd door een strook langs de IJsselmeerkust tussen de Afsluitdijk en Gaasterland, waar in lage polders kwel uittreedt afkomstig uit het IJsselmeer. De breedte van het systeem wordt mede bepaald door het peil, de ligging en de grootte van de (kwel-)polders achter de dijk. Tussen Makkum en Workum liggen de diepe polders, met kwel uit het IJsselmeergebied verder landinwaarts (kaarten 6 en 8). Het grondwater stroomt als het ware onder de hogere gronden langs de IJsselmeerkust door. Bij Stavoren liggen enkele diepe polders met sterke kwel dicht langs de kust.

Het kwelwater is – volgens de systeemanalyse – nog gedeeltelijk zout of brak. Dit is niet verwonderlijk omdat, gelet op de lange verblijftijd van het grondwater, nog oud water afkomstig van de zoute Zuiderzee naar boven komt.

Het Lauwersmeersysteem omvat het systeem met infiltratie vanuit het Lauwersmeer en kwel in de lage polders van Oost- en West Dongeradeel. In deze polders komt in de huidige situatie nog brakke tot zoute kwel naar boven, het geen ook tot hoge chloridegehaltes van het oppervlaktewater leidt (figuur 4.11).

5. Verziltingsproblematiek drinkwaterwinning

5.1 Overzicht huidige grondwaterwinning en toekomstige ontwikkeling

Binnen de provincie Fryslân wordt grondwater gewonnen voor de openbare drinkwatervoorziening, maar ook voor de industrie, de landbouw (veedrenking, beregening) en civiele werken (bouwputten). De grootste hoeveelheden grondwater betreffen echter die voor de drinkwatervoorziening. De onttrokken hoeveelheden voor de landbouw (beregening) kunnen, afhankelijk van de mate van droogte, sterk fluctueren. Grondwateronttrekkingen voor bouwputbemalingen zijn incidenteel van aard. In het verleden was het aandeel van grondwateronttrekking voor industriële doeleinden in de provincie Fryslân relatief groot. In 1983 werd nog ongeveer 18 miljoen m³/jaar aan grondwater opgepompt voor industriële doeleinden, waarvan ca. 2 miljoen m³/jaar aan zout grondwater (Grondwaterplan Friesland, 1986). De huidige onttrekking voor de industrie betreft een hoeveelheid van minder dan 5 miljoen m³/jaar.

Op het vaste land van Fryslân bevinden zich momenteel een 7-tal grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met een winbare capaciteit van ruim 51 miljoen m³/jaar (tabel 5.1). Het betreft de waterwingebieden van Noardburgum, Garyp, Nij Beets, Oudega (GS), Spannenburg, Oldeholtgade en Terwisscha (figuur 5.1). Op de Waddeneilanden bevinden zich kleine grondwaterwinningen met een gezamenlijke capaciteit van 0,9 miljoen m³/jaar, terwijl op de Waddeneilanden Terschelling en Ameland tevens drinkwater van het vaste land van Fryslân wordt aangevoerd. De openbare drinkwatervoorziening, zowel op het vaste land van Fryslân als op genoemde vier Waddeneilanden wordt verzorgd door Vitens.

Tabel 5.1 Overzicht grondwaterwingebieden t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening op het vaste land van Fryslân (uit: Langetermijnvisie win-infrastructuur 2010-2040, Vitens 2011, aangevuld met recente informatie Vitens)

Wingebied	Vergunde capaciteit in miljoen m ³ /jaar	Winbare capaciteit in miljoen m ³ /jaar	Opmerkingen
Noardburgum	20	7	winbare cap. beperkt door verzilting
Garyp	3	1,7	winbare cap. beperkt door verzilting
Nij Beets	3,5	3,5	
Oldeholtgade	6,5	6,5	
Terwisscha	7,5	7,5	vergunningscap. op termijn terug naar 3,75 miljoen m ³ /jaar
Spannenburg	15	15	
Oudega (GS)	10	10	
Totaal	65,5	51,2	Volgens de laatste beschouwingen, begin 2017, lijkt de benodigde operationele vergunningscapaciteit op te lopen tot mogelijk 57,4 miljoen m ³ /jaar

Figuur 5.1 Overzicht locaties grondwaterwingebieden t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening in Fryslân



De vergunde capaciteit aan grondwaterwinning op het vaste land van Fryslân (65,5 miljoen m³/jaar, tabel 5.1) is groter dan de huidige winbare capaciteit. Dit heeft te maken met de verzilting van de winningen van Noardburgum en Garyp. Door de optredende verzilting wordt op deze locaties minder grondwater onttrokken dan volgens de vergunning mogelijk is.

Het beleid van Vitens vormt het inzetten van grondwater als primaire bron voor de drinkwatervoorziening van Fryslân. Volgens recente behoefteprognoses van het bedrijf zal in 2035 ruim 53 miljoen m³/jaar nodig zijn voor de drinkwatervoorziening, inclusief de Waddeneilanden (volgens de laatste beschouwingen, begin 2017, lijkt de benodigde operationele vergunningscapaciteit op te lopen tot mogelijk 57,4 miljoen m³/jaar!). Dit betreft de netto behoefte, inclusief productieverliezen en operationele reserve (OR). Daar komt nog 10% benodigde capaciteit bij als niet-operationele reserve (NOR). De werkelijke grondwateronttrekking (ruwwater) zal veelal geringer zijn, met name door genoemde operationele reserve. Zo is in 2015 ca. 48,5 miljoen m³ aan ruwwater opgepompt op het vaste land van Fryslân en genoemde Waddeneilanden.

Mede gelet op het feit dat de winning van Terwisscha i.v.m. verdroging van natuurgebieden op termijn gehalveerd zal worden is in de toekomst aanvullende wincapaciteit noodzakelijk. (volgens langetermijnvisie win-infrastructuur 2010-2040, Vitens 2011, ca. 7 miljoen m³/jaar en volgens de meest recente inzichten van Vitens van mei 2017 ca. 9,5 miljoen m³/jaar) Om het tekort aan capaciteit op te vullen wordt momenteel onderzoek uitgevoerd naar de volgende opties voor uitbreiding van de grondwateronttrekking:

- Uitbreiding van de capaciteit van Noardburgum met ca. 2 miljoen m³/jaar volgens het 'zoethoudersconcept' (Oosterhof e.a., 2012).
- Uitbreiding van de winning nabij Nij Beets met een capaciteit van 3 miljoen m³/jaar. Hiervoor wordt momenteel een MER opgesteld.
- Onderzoek naar een nieuwe grondwaterwinning met een capaciteit van ca. 4,5 miljoen m³/jaar in het zoekgebied Heerenveen-Gorredijk-Drachten.

5.2 Verziltingsproblematiek huidige grondwaterwinningen

Alle zeven grondwaterwinningen op het vaste land van Fryslân onttrekken diep grondwater, veelal op een diepte variërend van 40 tot 140 m – mv. De meeste winningen onttrekken het grondwater onder slecht doorlatende lagen van keileem (Formatie van Drente), potklei (Formatie van Peelo) of onder kleilagen van andere formaties (o.a. Formatie van Urk). De diepteligging van de putfilters is veelal bepaald door de diepte van de slecht doorlatende lagen en de aanwezigheid van een voldoende grofzandig watervoerende pakket. Bij de meeste winningen zijn de putfilters dan ook geplaatst in de grofzandige Formaties van Appelscha en Peize-Waalre (eerder bekend als de Formaties van Enschede en Harderwijk).

Gelet op de geologische opbouw en de daarmee samenhangende verziltingsproblematiek zijn de huidige grondwaterwinningen onder te verdelen in een drietal groepen:

1. Grondwaterwinning in Zuidoost-Fryslân, in het beekdalgebied van Tjonger en Linde
2. Grondwaterwinning in Midden- en Noordoost-Fryslân, in het gebied van Peelogeulen
3. Grondwaterwinning in de ‘zoetwaterbel’ van Zuidwest- Fryslân, buiten de Peelogeulen

Grondwaterwinningen in Zuidoost-Fryslân (Terwisscha en Oldeholtspade)

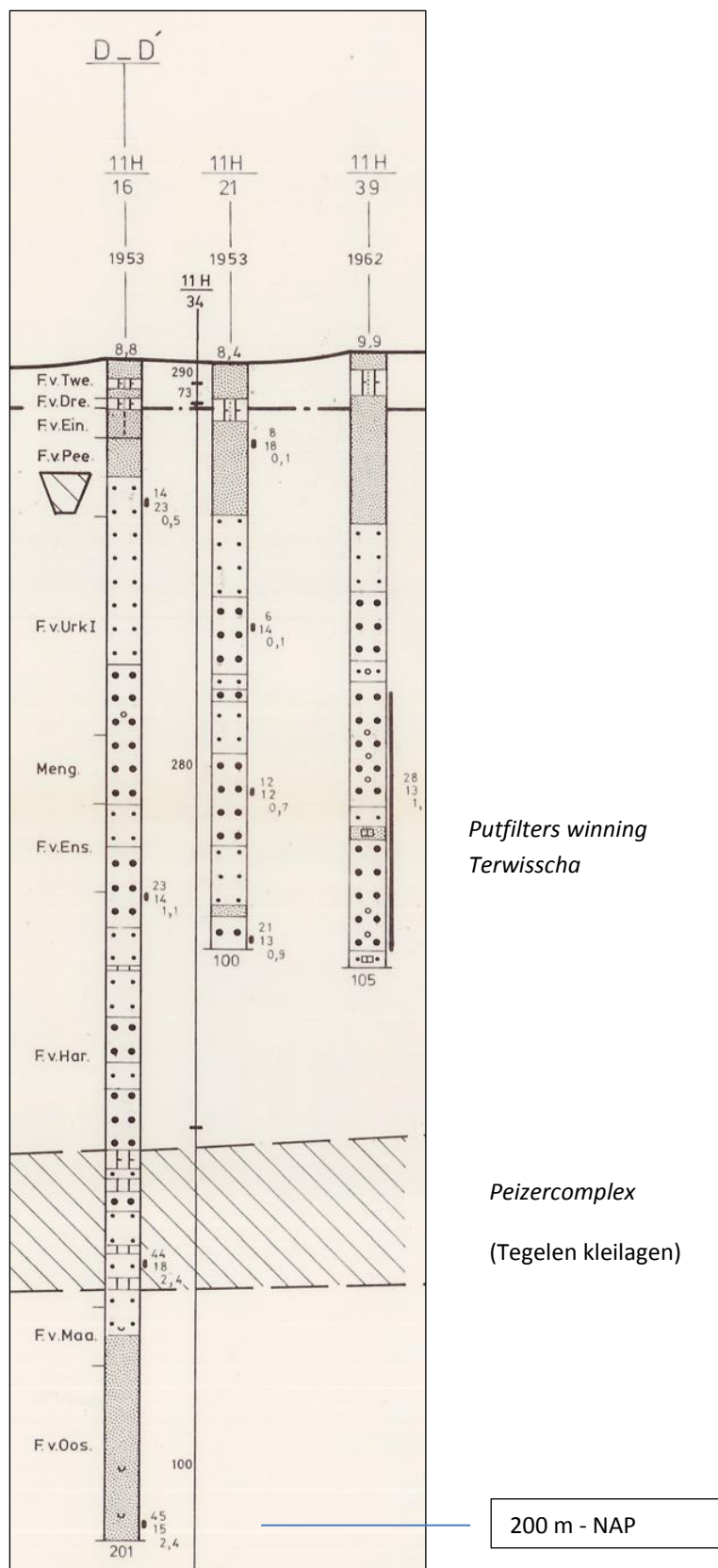
De grondwaterwinningen van Terwisscha en Oldeholtspade liggen beiden binnen het grondwatersysteem van de Tjonger-Linde in Zuidoost-Fryslân (figuur 4.4), behorend tot het Glaciaal Plateausysteem (Drents Plateau).

De grondwaterwinning van Terwisscha (7,5 miljoen m³/jaar) ligt in het oosten nabij de grens met Drenthe. Het zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) ligt hier diep, op meer dan 200 m – NAP in de Formatie van Oosterhout, ofwel in de hydrologische basis van Tertiaire afzettingen (boring/waarnemingsput 11HP0016, figuur 5.2). Grondwater wordt onttrokken op een diepte van 50-100 m –mv. Tussen de grondwaterwinning en de geohydrologische basis bevinden zich kleilagen van het Peizercomplex (Tegelenkleilagen).

De winning ligt in een gebied met ondiepe Peeloafzettingen, maar buiten geulsystemen van de Formatie van Peelo. Volgens de verziltingsfactsheets van Vitens van december 2016 is het chloridegehalte laag (ca. 20 mg/l) en constant sinds de start van de winning in 1960. De verziltingsrisico's van de winning zijn zeer gering op grond van:

- Diepte zoet-brak grensvlak, liggend in fijnzandige/kleiige Tertiaire afzettingen
- Geringe toestroming van grondwater uit deze afzettingen (hydrologische basis)
- Aanwezigheid van weerstandsbiedende Tegelen-kleilagen tussen de winning en de hydrologische basis

Figuur 5.2 Hydrogeologische opbouw omgeving grondwaterwinning Terwisscha (uit Grondwaterkaart DGV-TNO nr. 43 Heerenveen-Assen, 1987)

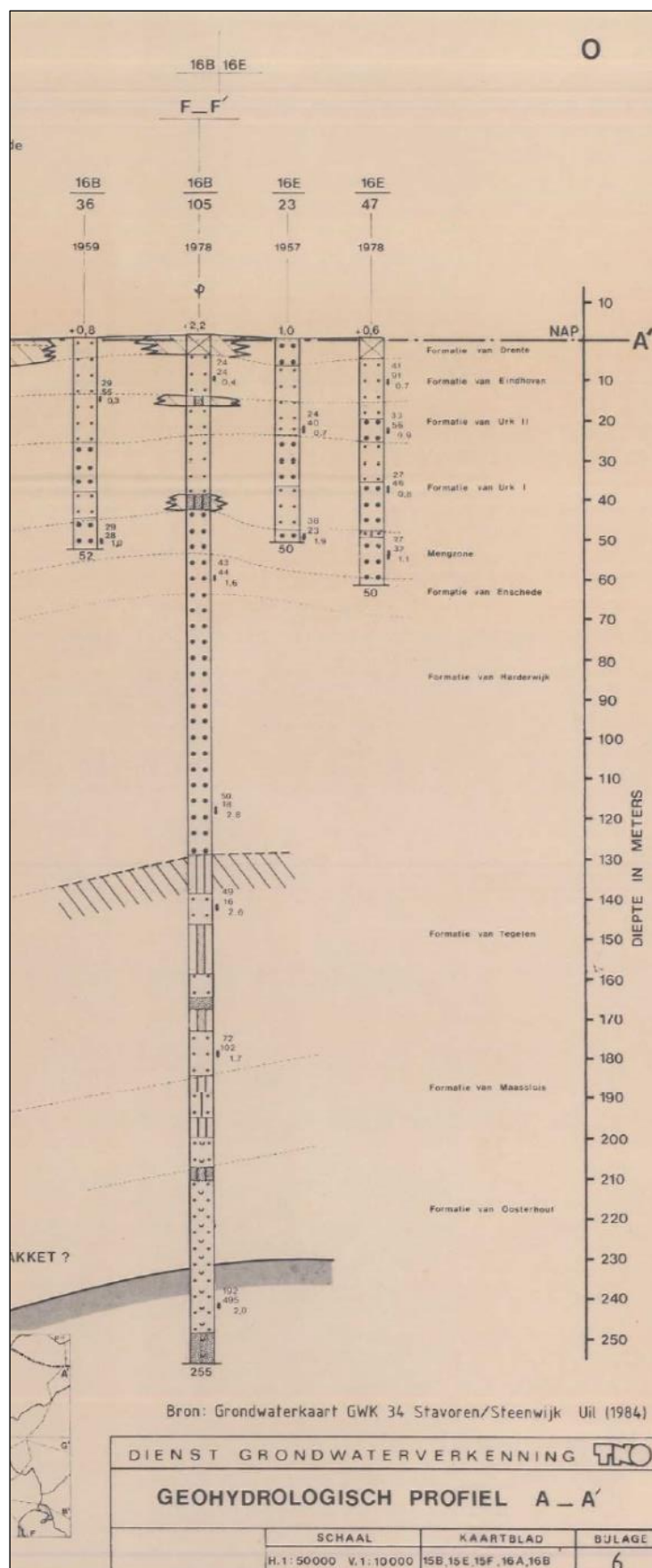


De grondwaterwinning van Oldeholtpade (6,5 miljoen m³/jaar) ligt ten oosten van Wolvega, in het middendeel van het Tjonger-Linde grondwatersysteem. Het zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) ligt hier eveneens diep, op ca. 230 m – NAP in de Formatie van Oosterhout, ofwel in de hydrologische basis van Tertiaire afzettingen (boring/waarnemingsput 16BP0105, figuur 5.3). Grondwater wordt onttrokken op een diepte van 50-100 m – mv. Tussen de grondwaterwinning en de geohydrologische basis bevinden zich kleilagen (Tegelenkleilagen) van het Peizercomplex. Volgens de verziltingsfactsheets van Vitens van december 2016 is het chloridegehalte laag (ca. 30 mg/l) en constant sinds de start van de winning in 1944. De verziltingsrisico's van de winning zijn gering op grond van dezelfde argumenten als genoemd bij de grondwaterwinning van Terwisscha.

Toch is er t.a.v. de chlorideverdeling in de ondergrond een verschil met de winplaats van Terwisscha, hoger op het Drents Plateau. Terwijl in de Formatie van Oosterhout bij Terwisscha op 200 m – NAP nog zeer zoet grondwater (Cl - 15 mg/l) wordt (werd?) aangetroffen, bedraagt het chloridegehalte in het filter op 190 - NAP van de diepe waarnemingsput 16B-105 van Oldeholtpade ca. 100 mg/l. Dit filter ligt volgens de geologische interpretatie van de boring op ongeveer de bovenkant van de Formatie van Maassluis. In het diepste filter van de waarnemingsput op ca. 240 m – NAP, liggend in de Formatie van Oosterhout, is destijds een chloridegehalte gemeten van 495 mg/l. Mogelijk zijn de Tertiaire formaties (Maassluis, Oosterhout) hier minder verzoet dan die hoger op het Drents Plateau. Verzilting als gevolg van de winning is minder waarschijnlijk omdat in de filters tussen de Tertiaire formaties en winning zeer lage chloridegehalten zijn gemeten van minder dan 20 mg/l.

Hoewel de gemeten chloridegehalten in de diepe waarnemingsputten van jaren geleden zijn mag op grond van de overige gegevens worden geconcludeerd dat beide winningen in Zuidoost- Fryslân (Terwisscha en Oldeholtpade) niet kritisch zijn t.a.v. verzilting.

Figuur 5.3 Hydrogeologische opbouw omgeving grondwaterwinning Oldeholtgade (uit Grondwaterkaart DGV-TNO nr. 34 Stavoren-Steenwijk, 1987)



Grondwaterwinning in Midden- en Noordoost-Fryslân, in het gebied van Peelogeulen

De grondwaterwinningen van Noardburgum (oude puttenveld en Ritskebos) en Garyp liggen in Noordoost-Fryslân op de hogere gronden van de noordwestelijke uitloper van het Drents Plateau (grondwatersysteem van de Noordelijke Wouden, figuur 4.4). De winning van Nij Beets ligt wat zuidelijker aan de rand van het Boorne-Drait systeem. Alle drie winningen liggen in een gebied met diepe Peelogeulen (figuur 2.5).

De grondwaterwinning van Noardburgum vormt de meest noordelijke drinkwaterwinning van het vaste land van Fryslân. Zij vormt ook de eerste grondwaterwinning in de provincie (1925) en is lange tijd de grootste van de provincie geweest met een jaarlijkse onttrekking van meer dan 20 miljoen m³. De winning bestond destijds uit twee puttenvelden: het oude puttenveld bij het zuiveringsgebouw en het meer zuidelijk gelegen puttenveld van Ritskebos. Vanwege verzilting is het oude puttenveld niet meer in gebruik en wordt alleen op het puttenveld van Ritskebos (onttrekking sinds 1955) grondwater gewonnen (9 miljoen m³/jaar).

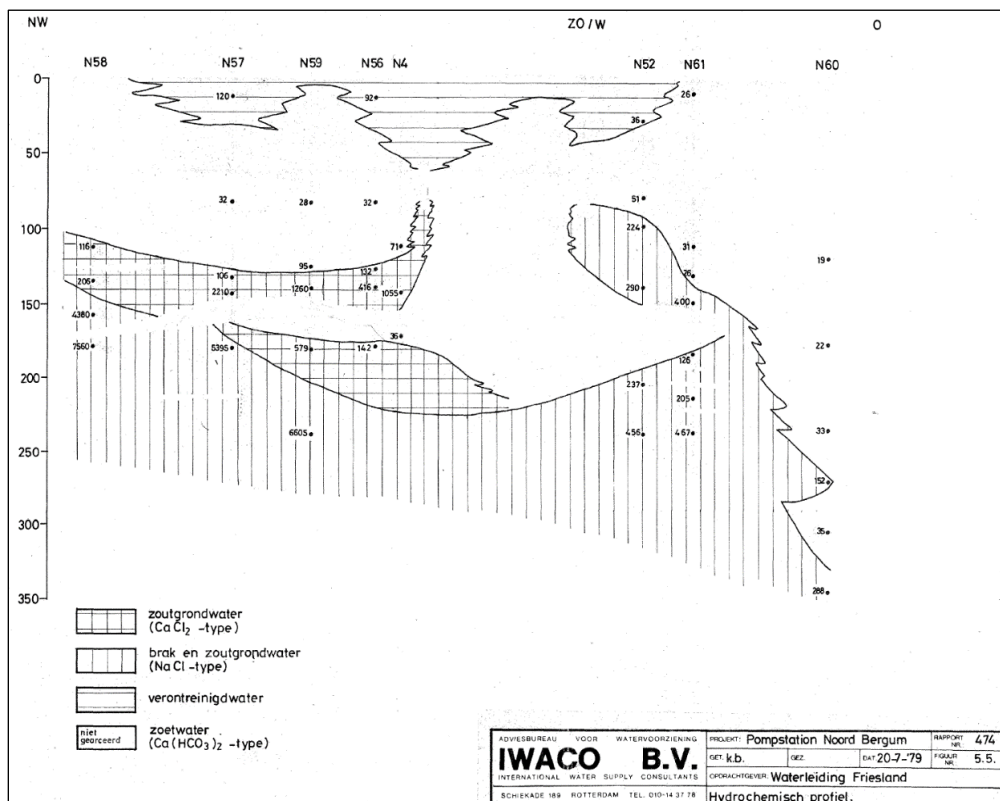
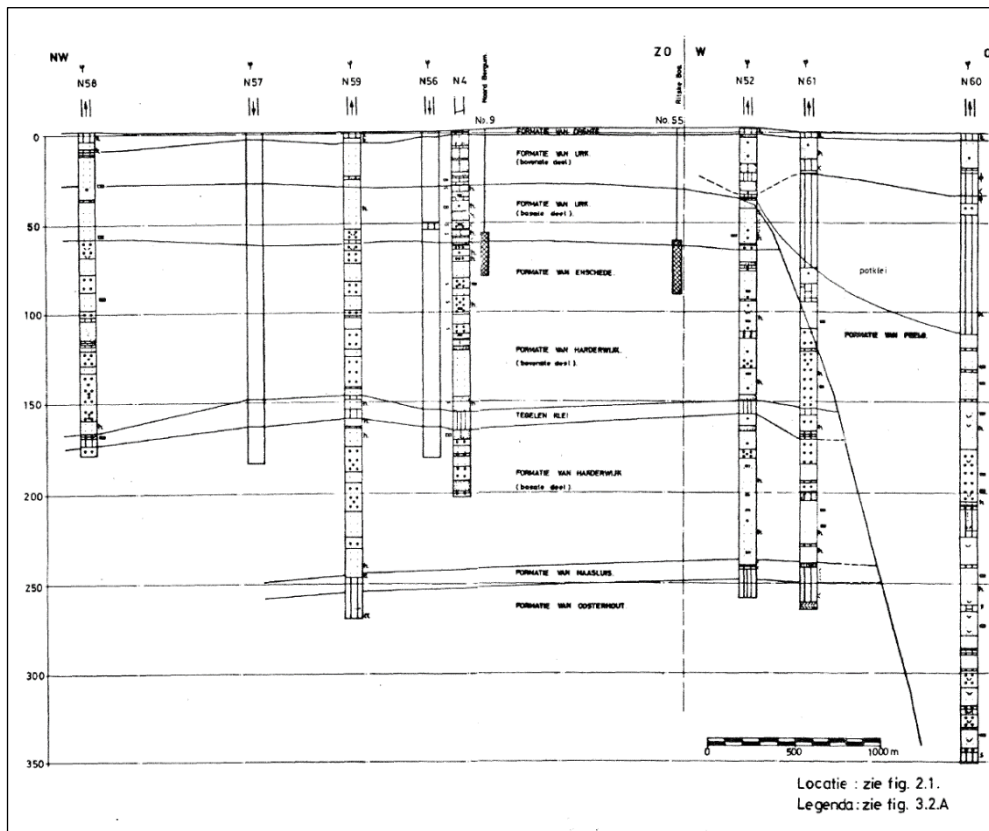
De grondwaterwinning vindt plaats ten westen van een diepe Peelogeul op een diepte van 60 tot 90 meter – NAP boven de Tegelenkleilaag (Peizercomplex), welke op ca. 155 m – NAP ligt (figuur 5.4). Het zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) ligt in de Peelogeul op meer dan 300 m – NAP (zie ook figuren 3.1 en 3.2). Ter plaatse van de winvelden ligt het grensvlak ondieper, oorspronkelijk waarschijnlijk enige meters onder de Tegelenkleilaag.

Het oude puttenveld is verzilt geraakt door laterale aantrekking van een verziltingstong boven de Tegelenkleilaag van uit het noordwesten. Het huidige, in bedrijf zijnde puttenveld van Ritskebos trekt brak/zout water aan door een kortsluiting in de Tegelenkleilaag langs de rand van de Peelogeul (onderste afbeelding, figuur 5.4). Dat beide verziltingsprocessen (oude puttenveld en Ritskebos) verschillend zijn is o.a. aangetoond op basis van grondwaterkwaliteit. Het verzilte grondwater van het oude puttenveld is van het CaCl₂-type, dat van Ritskebos van het NaCl-type.

Door het beperken van de grondwaterwinning tot 7 miljoen m³/jaar en het stopzetten van de meest verzilte putten is het huidige chloridegehalte relatief hoog, maar redelijk stabiel (100-120 mg/l, zie verziltingsfactsheets van Vitens van december 2016).

Door de toepassing van het 'zoethoudersconcept' (Oosterhof, e.a., 2012) zou de grondwaterwinning mogelijk met 2 miljoen m³/jaar uitgebreid kunnen worden (van 7 naar 9 miljoen m³/jaar). Het 'zoethoudersconcept' houdt in dat ter plaatse van de verziltingstong boven de Tegelenklei zoet grondwater (boven de tong) en brak/zout grondwater (in de tong op grotere diepte) gescheiden worden gewonnen, zodanig dat de zoet-zoutverdeling stabiel blijft. Het brakke/zoute grondwater wordt direct geïnjecteerd in het zoute grondwater onder de Tegelenklei. Het zoete grondwater wordt gebruikt voor de drinkwatervoorziening. Een proef met het 'zoethoudersconcept' op het oude puttenveld loopt al enige tijd en de resultaten hiervan zijn veel belovend.

Figuur 5.4 Hydrogeologische opbouw en verziltingsproces grondwaterwinning Noordburgum. Bovenste figuur: NW-ZO/W-O-profiel. Onderste figuur: verziltingsproces met chloridegehaltes in genoemd profiel (uit verziltingsonderzoek IWACO, 1979)



De grondwaterwinning van Garyp (1,7 miljoen m³/jaar) ligt ten zuiden van de Wijde Ee/Prinses Margrietkanaal op betrekkelijk korte afstand van de winning van Noardburgum. Het gewonnen ruwe grondwater wordt getransporteerd naar de zuivering te Noardburgum. Grondwater wordt sinds 2002 d.m.v. een zestal pompputten onttrokken in een Peelogeul op een diepte van 80 tot 130 m - NAP. De Peelogeul is volgens de REGIS-boorbeschrijvingen dieper dan 200 m.

Bij aanvang van de winning in 2002 varieerde het chloridegehalte van het opgepompte water tussen 18 mg/l en 22 mg/l, terwijl onder de winning het zoet-brakgrensvlak dieper lag dan 170 m – NAP; waarschijnlijk dieper dan 200 m - NAP. De winning is echter snel verzilt geraakt. In februari 2005, 3 jaar na de ingebruikname van de winning waren vijf van de zes winputten verzilt met een chloridegehalte dat varieerde van 175 tot 410 mg/l. In het diepe filter op 170 m – NAP van de waarnemingsput op het puttenveld (06DP0246) was het chloridegehalte opgelopen van 19 mg/l voor de start van de winning naar 1800 mg/l in februari 2005 (figuur 5.5). Het chloridegehalte van dit filter is verder gestegen naar 2200 mg/l en ligt de laatste jaren ongeveer op dit niveau. In een ander, minder diep filter op het puttenveld (waarnemingsput 06DP0247 op 132 m – NAP) steeg het chloridegehalte van 34 mg/l naar 550 mg/l in 2005 tot ca. 1050 mg/l in de huidige situatie.

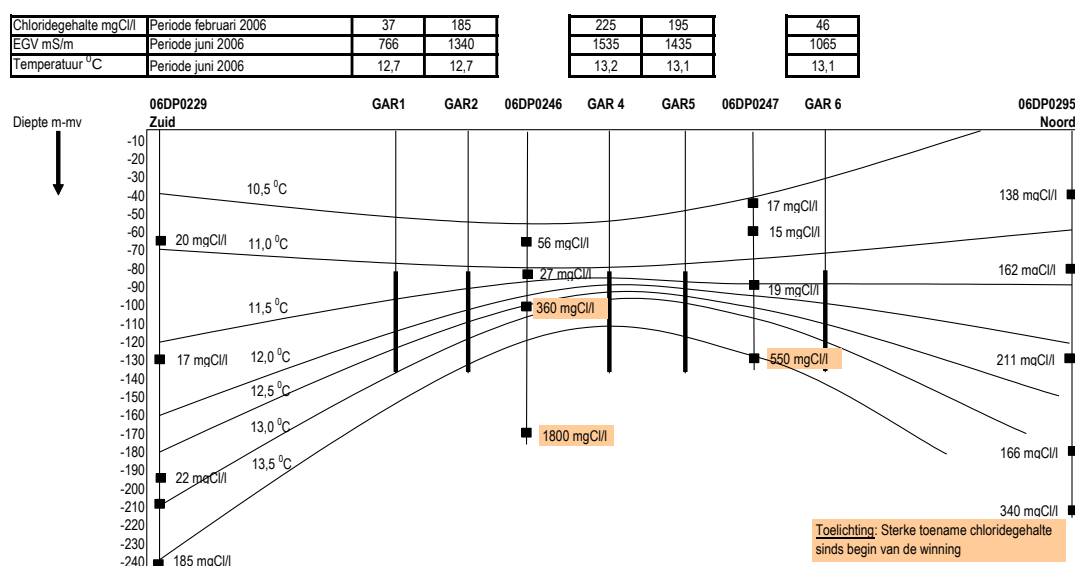
In de huidige situatie wordt de winning beperkt ingezet, terwijl het verzilte grondwater wordt gemengd met het zoete water van Noardburgum en Nij Beets (verziltingsfactsheets van Vitens van december 2016).

Met name uit het temperatuuronderzoek is duidelijk geworden dat hier sprake is van een verticale verzilting binnen de Peelogeul. Vanuit grote diepte (meer dan 220 m – NAP) wordt relatief warm brak/zout grondwater aangetrokken. Gelet op de herkomst van dit brakke/zoute grondwater en de snelheid van het verziltingsproces kan ervan uit worden gegaan, dat niet alleen de Tegelenkleilaag op ca. 150 m – NAP (aangetroffen te Suameer), maar ook diepere kleilagen van het Peizercomplex zijn weggespoeld door de Peelogeul.

Figuur 5.5 Zuid-Noordprofiel over de winning van Garyp met temperatuurlijnen en chloridegehaltes van filters van waarnemingsputten en pompputten (2005).

Temperatuurmetingen in 2006 (uit temperatuuronderzoek Garyp, Royal Haskoning, 2006)

Afbeelding 4: Temperatuurprofiel grondwaterwinning Garyp

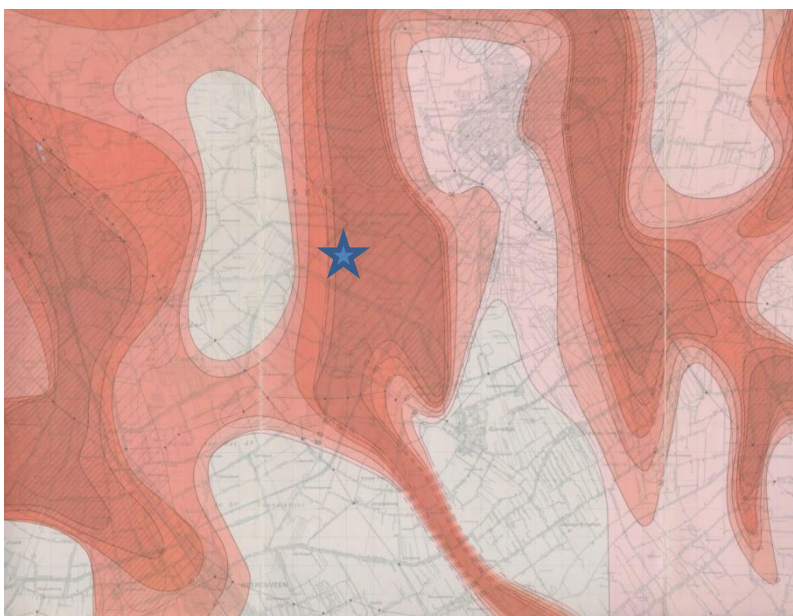


De grondwaterwinning van Nij Beets (3,5 miljoen m³/jaar) ligt in Midden-Fryslân aan de zuidrand/zuidelijk gebied van het Peelogeulen-complex (figuur 2.5 en 5.6). Het gewonnen ruwe grondwater wordt getransporteerd naar Noardburgum, waar het gezuiverd wordt. De grondwaterwinning is gesitueerd in een diepe kwelpolder, in het grondwateruittredegebied van het grondwatersysteem Boorne-Drait.

De diepe bodemopbouw op het puttenveld is zeer heterogeen. Het betreft dan de bodemopbouw onder een keileemlaag, die in dikte varieert maar wel overal aanwezig is. In de Peeloafzettingen onder de keileem wisselen grof- en fijnzandige lagen af met kleilagen zonder dat er sprake is van enige horizontale samenhang tussen de lagen. Bij de aanleg van de diepe waarnemingsput 11BP0071 is verondersteld dat onder de winning een 2^e diepe potkleilaag aanwezig is (van NAP – 120 m tot NAP – 170 m). De continuïteit van deze (pot-)kleilagen kan echter betwijfeld worden indien de bodemopbouw van de boring wordt vergeleken met boringen in de directe omgeving, welke later zijn gemaakt. In 1990, na de plaatsing van aanvullende diepe boringen heeft de RGD de geologische opbouw in en rond het waterwingebied opnieuw in kaart gebracht. In dit onderzoek is de diepe Peeloegel eerder als een diep Peelogat rondom boring 11BP0071 aangegeven, zonder dat de diepe Peeloafzettingen ook in de omringende diepe boringen voorkomen. Volgens dit onderzoek ligt de onderkant van de Peeloafzettingen in boring 11BP0071 op een diepte van 190 m – NAP. Momenteel loopt een nader onderzoek van TNO naar de diepe geologische opbouw van het gebied, waarbij ook nieuwe diepe boringen ten noorden van de zandwinplas meegenomen worden. Deze nieuwe diepe boringen zijn geplaatst in het kader van de mogelijke realisatie van een uitbreiding van de winning.

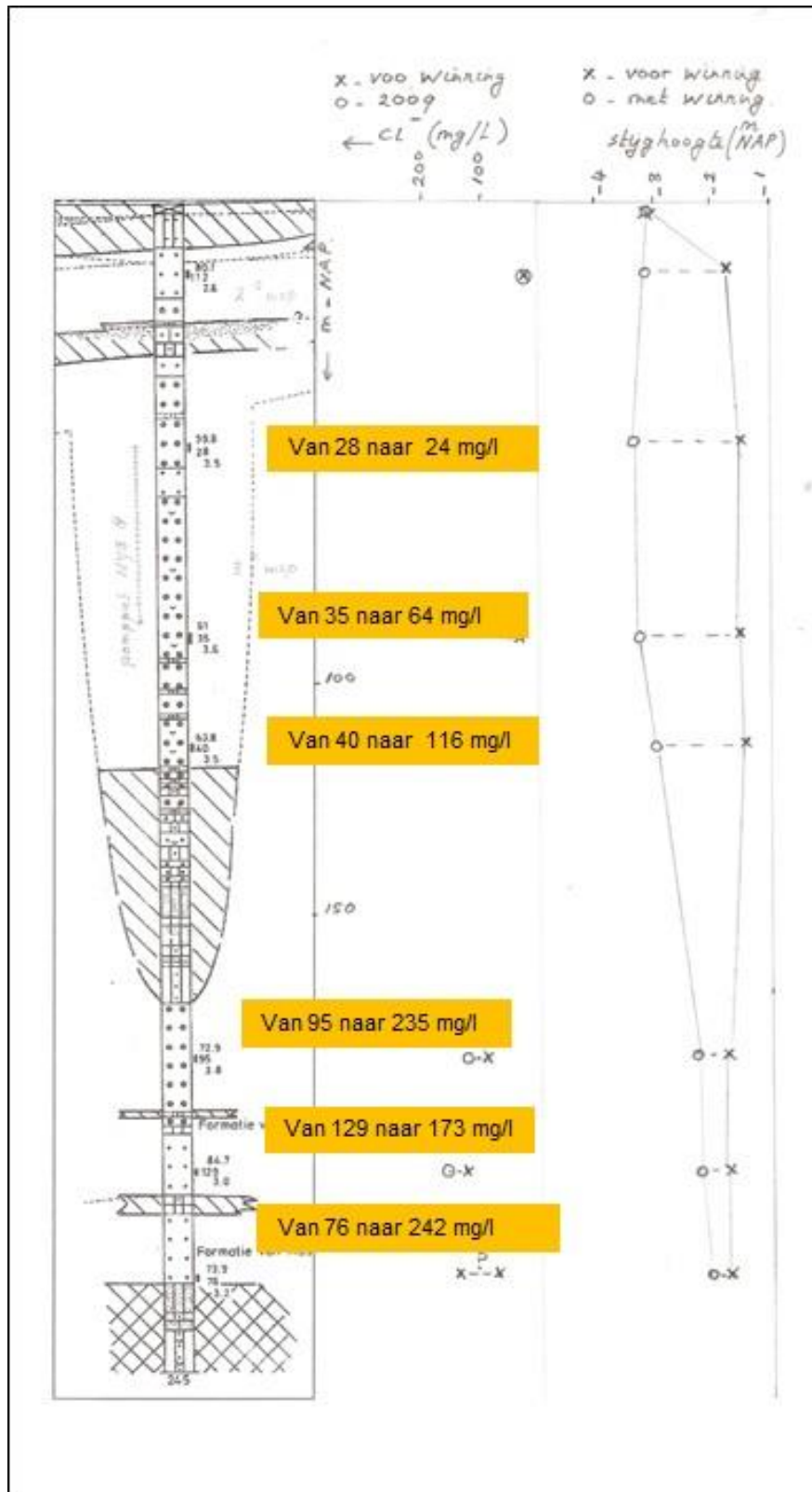
Het zoet-brakgrensvlak (Cl- 150 mg/l) lag voor de start van de winning op meer dan 230 m – NAP (figuur 5.6). Geleidelijk aan zijn de chloridegehalten in de diepe ondergrond onder de winning toegenomen, waardoor het zoet-brakgrensvlak is opgeschoven naar een diepte rond 150 m – NAP (in de diepe kleilaag). Aangezien de chloridegehalten boven de diepe kleilaag ook gestegen zijn, mag aangenomen worden dat de continuïteit en daarmee de afsluitende werking van de kleilaag gering is.

De laatste jaren neemt het chloridegehalte van winning ook toe: van 28 mg/l bij de start van de winning in 2004 tot 35 mg/l in 2009 (evaluatieonderzoek) en 45 mg/l in 2016.



*Figuur 5.6 Ligging
grondwaterwinning Nij Beets
binnen het systeem van
Peelogeulen (uit Geologische
Kaart van Nederland 1:
50.000, Heerenveen West
(11W) en Oost (11O))*

Figuur 5.7 Hydrogeologische opbouw wingebied Nij Beets aan de hand van diepe boring/waarnemingsput 11BP0071 met chloridegehalten en stijghoogtes van waarnemingsfilters, alsmede toename van het chloridegehalte van aanleg waarnemingsput tot huidige situatie (uit Evaluatierapport Hunzebreed, september 2010 en aanvullende metingen Vitens; geologisch profiel uit DGV-TNO Hydrochemie Sneek-Heerenveen, 1985)



Resumerend kan gesteld worden dat grondwaterwinning in/nabij diepe Peelogeulen in Fryslân (grote) risico's inhoudt t.a.v. de toekomstige verzilting. Alle drie winningen in het Peelogeulengebied (Noardburgum, Garyp en Nij Beets) worden waarschijnlijk hiermee geconfronteerd, hoewel de aard en mate van verzilting wel verschilt. De verzilting van Noardburgum (puttenveld Ritskebos) betreft het aantrekken van zout/brakwater langs de rand van een Peelogeul. Dit zoute/brakke water is afkomstig uit het (verzilte?) watervoerend pakket onder de Tegelenkleilaag en stroomt via een kortsluiting in deze kleilaag, gevormd door de Peelogeul, naar de winning.

De verzilting van Garyp is een snel proces (geweest?), veel sneller dan bij Noardburgum of Nij Beets. De winning ligt waarschijnlijk centraal in een Peelogeul en onttrekt grondwater van grote diepte. Omdat diepe boringen tot in de basis (Tertiair) ter plaatse van de winning ontbreken is het proces niet goed te doorgronden. Indien de Peelogeul niet dieper reikt dan de Tertiaire basis met slecht doorlatende kleilagen, dan zou de verzilting uiteindelijk lateraal plaatsvinden over de Tertiaire basis.

De verzilting van Nij Beets is op dit moment nog moeilijk te verklaren. De verzilting is nog beperkt en verloopt relatief langzaam. Belangrijk is om te weten hoe diep de Peelogeul insnijdt in zout/brakwatervoerende lagen en/of er onder de Peelogeul nog afsluitende kleilagen voorkomen. Gelet op het lopende onderzoek naar uitbreiding van de winning is de verbreiding van de Peelogeul eveneens van belang.

Grondwaterwinning uit Peelogeulen behoeft niet altijd en overal tot verzilting te leiden. Zo heeft de voormalige AKZO-winning te Kibbelgaarn (5 miljoen m³/jaar) in Groningen jarenlang grondwater onttrokken uit een diepe Peelogeul, zonder dat het lage chloridegehalte (30 mg/l) is toegenomen. In Oost-Groningen ligt het zoet-brak grensvlak in de Peelogeulen duidelijk dieper dan buiten de geulen (zie paragraaf 3.1). Dit diepe zoete grondwater is waarschijnlijk als zoetwatervoerend sediment afgezet in het Elsterien. Daar waar de Peelogeulen tot in de Tertiaire afzettingen (in zout, marien milieu afgezet) reiken zijn waarschijnlijk diepe zoetwaterzones ontstaan, binnen een kleiige, zoutwater bevattende omgeving. Dat een eventuele verziltingscomponent vanuit de diepe ondergrond gering is kan mogelijk verklaard worden uit het feit dat het zoute water in kleiige Tertiaire afzettingen moeilijk los komt, zodat het aandeel aan zout water in de winning gering blijft.

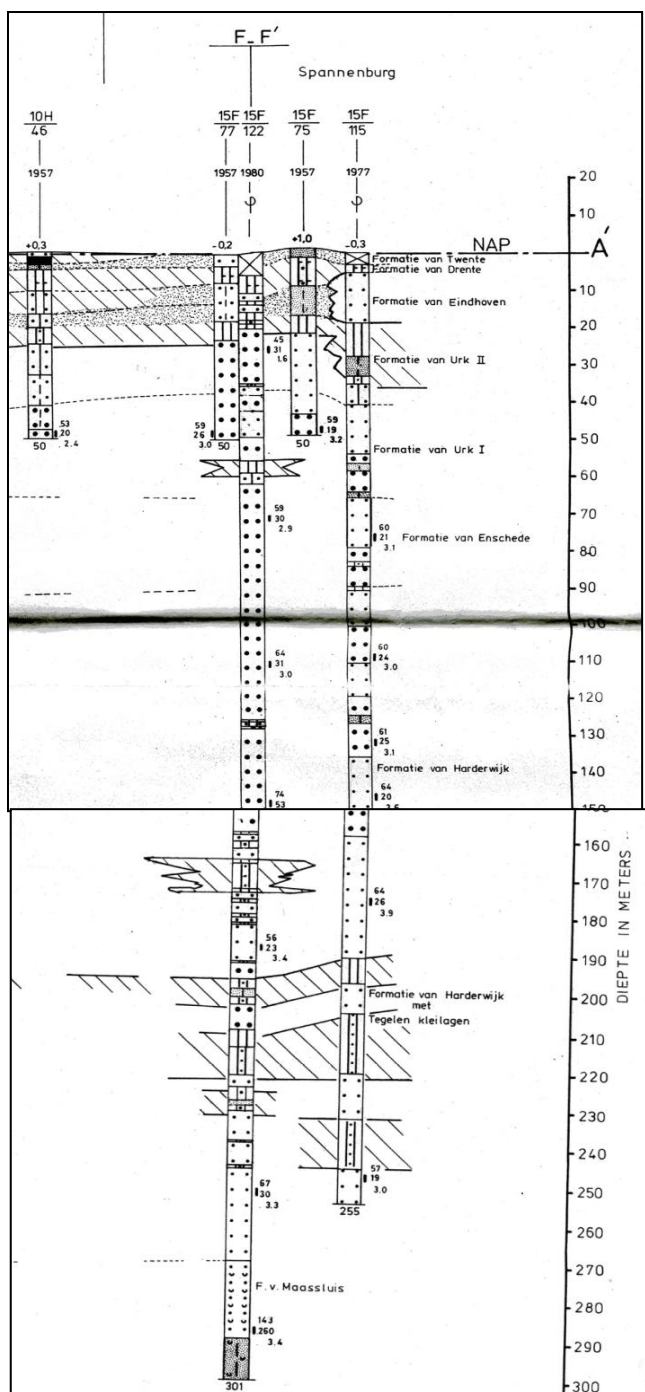
Ook bij Noardburgum ligt het zoet-brakgrensvlak in de Peelogeul aanzienlijk dieper dan in de omgeving. Dat in dit gebied en in het algemeen in het Friese Peelogeulengebied wel verzilting optreedt is mogelijk te verklaren vanuit het proces van laterale verzilting als gevolg van zeespiegelrijzing in de diepere watervoerende pakketten boven de Tertiaire basis. De laterale verzilting vanuit zee (vanuit het noordwesten) heeft mogelijk meer invloed gehad op de Peelogeulengebied in Fryslân dan in Groningen.

Grondwaterwinning in de 'zoetwaterbel' van Zuidwest- Fryslân, buiten de Peelogeulen

De grondwaterwinningen van Spannenburg en Oudega (G) liggen in Zuidwest-Fryslân in het laaggelegen Friese merengebied buiten de verbreiding van de glaciale geulen van de Formatie van Peelo (figuur 2.5).

Beide winningen bevinden zich in een gebied waar het zoet-brakgrensvlak zeer diep ligt, op meer dan 300 m – NAP (figuur 3.1). De ligging van het diepe zoet-brakgrensvlak doet zich voor als een 'zoetwaterbel' en is mogelijk (mede) ontstaan als gevolg van verzoeting door de aanwezigheid van een dik veenpakket in het Holoceen (zie paragraaf 3.1).

De grondwaterwinning van Spannenburg (15 miljoen m³/jaar) dateert uit 1939 en is momenteel de grootste drinkwaterwinning van Fryslân.



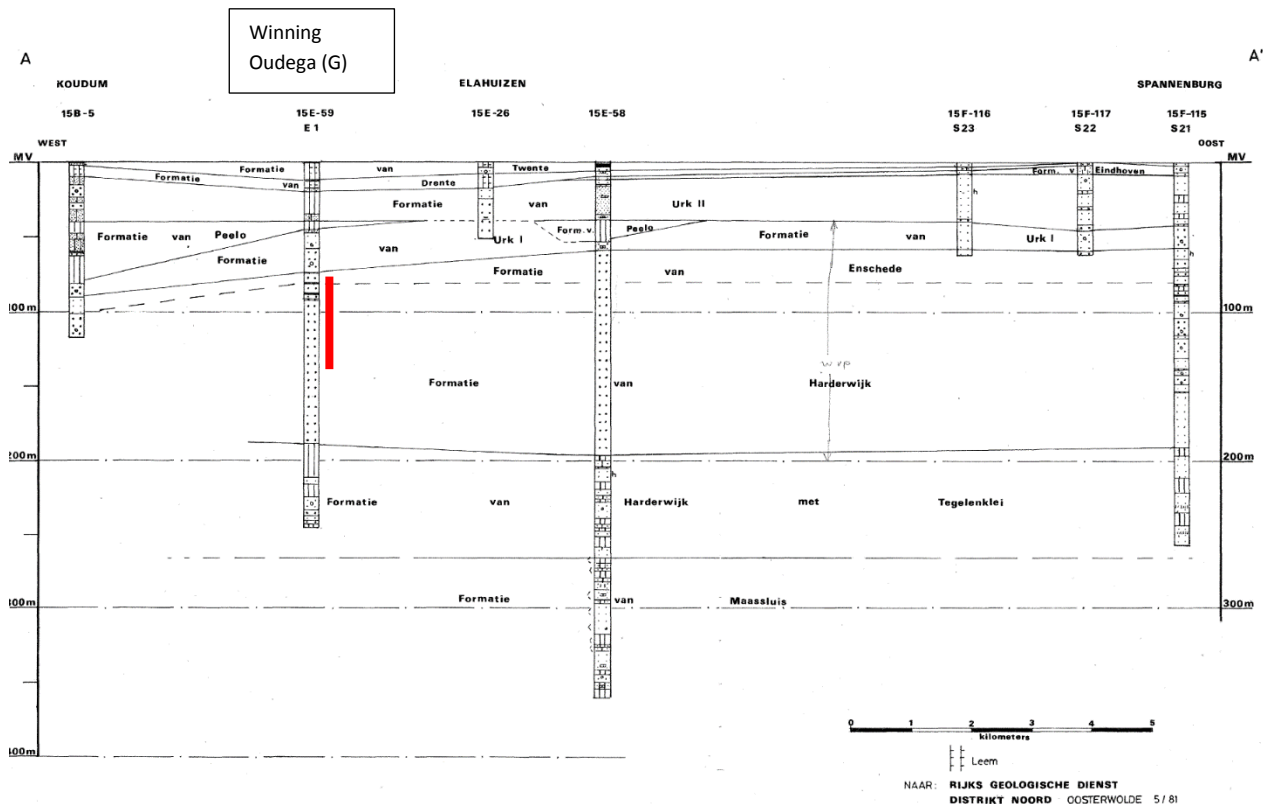
Figuur 5.8 Hydrogeologische opbouw rond grondwaterwinning Spannenburg (uit: DGV-TNO Hydrochemie Sneek-Heerenveen, 1985)

Grondwater wordt onttrokken op een diepte van 60-90 m – NAP uit grofzandige lagen van de Formatie van Peize-Waalre (Harderwijk) boven een complex van Tegelenkleilagen (Peizercomplex, figuur 5.8). Het chloridegehalte in de diepe watervoerende pakketten is laag (minder dan 50 mg/l). Ook onder de Tegelenkleilagen komt (zeer) zoet water voor. Pas op grotere diepte (290 m – NAP) in de kleilige Formatie van Maassluis komt brak water voor. Hierbij dient wel bedacht te worden dat de chloridegehaltes volgens figuur 5.8 uit de jaren '70 en '80 zijn. In een meer recente meting van filter 5 van waarnemingsput 15F- P0122 op 146 m – NAP geeft een chloridegehalte van 46 mg/l. Dit houdt een lichte toename in van 30 naar 46 mg/l.

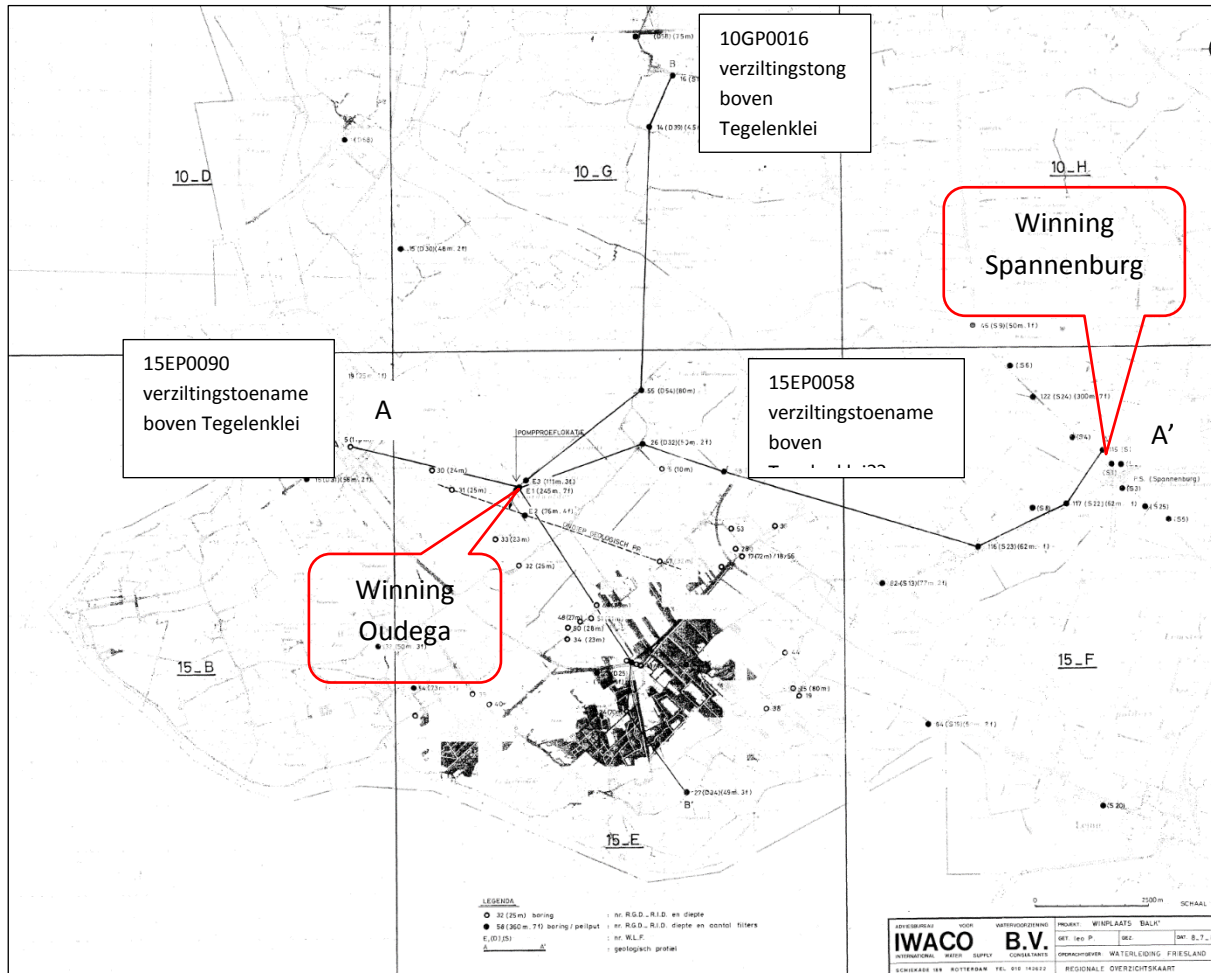
Het chloridegehalte van het gewonnen grondwater is laag: ca. 40 mg/l, maar vertoont een licht stijgende trend. Volgens de verziltingsfactsheets van Vitens is deze stijgende trend toe te schrijven aan de aantrekking van relatief ondiep, licht brakwater (onderzoek Artesia, 2012).

De grondwaterwinning van Oudega (10 miljoen m³/jaar) is een relatief nieuwe winning, gerealiseerd in 1991. De winning ligt aan het meer van de Fluessen in een grote laag gelegen polder (Groote Noordwolder Polder). Het ruwe grondwater wordt getransporteerd naar het pompstation van Spannenburg alwaar het gezuiverd wordt. Grondwater wordt gewonnen op een diepte van 70 tot 140 m – mv in een grofzandig watervoerend pakket behorend tot de Formatie van Peize-Waalre (voorheen Formatie van Harderwijk, figuur 5.9). Aan de bovenzijde wordt dit watervoerend pakket afgedekt door kleilagen van de Formaties van Peelo en Urk en aan de onderzijde liggen kleilagen van het Peizercomplex (Tegelenkleilagen). Het zoet-brakgrensvlak onder de winning ligt zeer diep. In het diepste waarnemingsfilter van de diepste waarnemingsput op het puttenveld (E1 of 15EP0059) wordt op 234 m –mv een chloridegehalte aangetroffen van slechts 14 mg/l. Destijds, begin jaren '80 bij de aanleg van de waarnemingsput was dit 17 mg/l (figuur 5.11). Ook in andere filters onder de winning zijn de chloridegehalten zeer laag gebleven. Op basis van een nog diepere waarnemingsput in de omgeving (15EP0058) alsmede aan de hand van geo-electrisch onderzoek is destijds de diepte van het zoet-brakgrensvlak ter plaatse van de winning geschat op een diepte van meer dan 300 m – NAP, waarschijnlijk op ca. 320 m - NAP (figuur 5.11). Het chloridegehalte van het gewonnen water van de winning is zeer laag (ca. 20 mg/l) en constant (zie verziltingsfactsheets van Vitens, 2016).

Figuur 5.9 Hydrogeologische opbouw grondwaterwinning Oudega gepresenteerd in Oost-West profiel (A-A') van Koudum naar Spannenburg (voor ligging profiel zie figuur 5.10) (uit: geohydrologisch onderzoek IWACO, omgeving Balk, 1983)

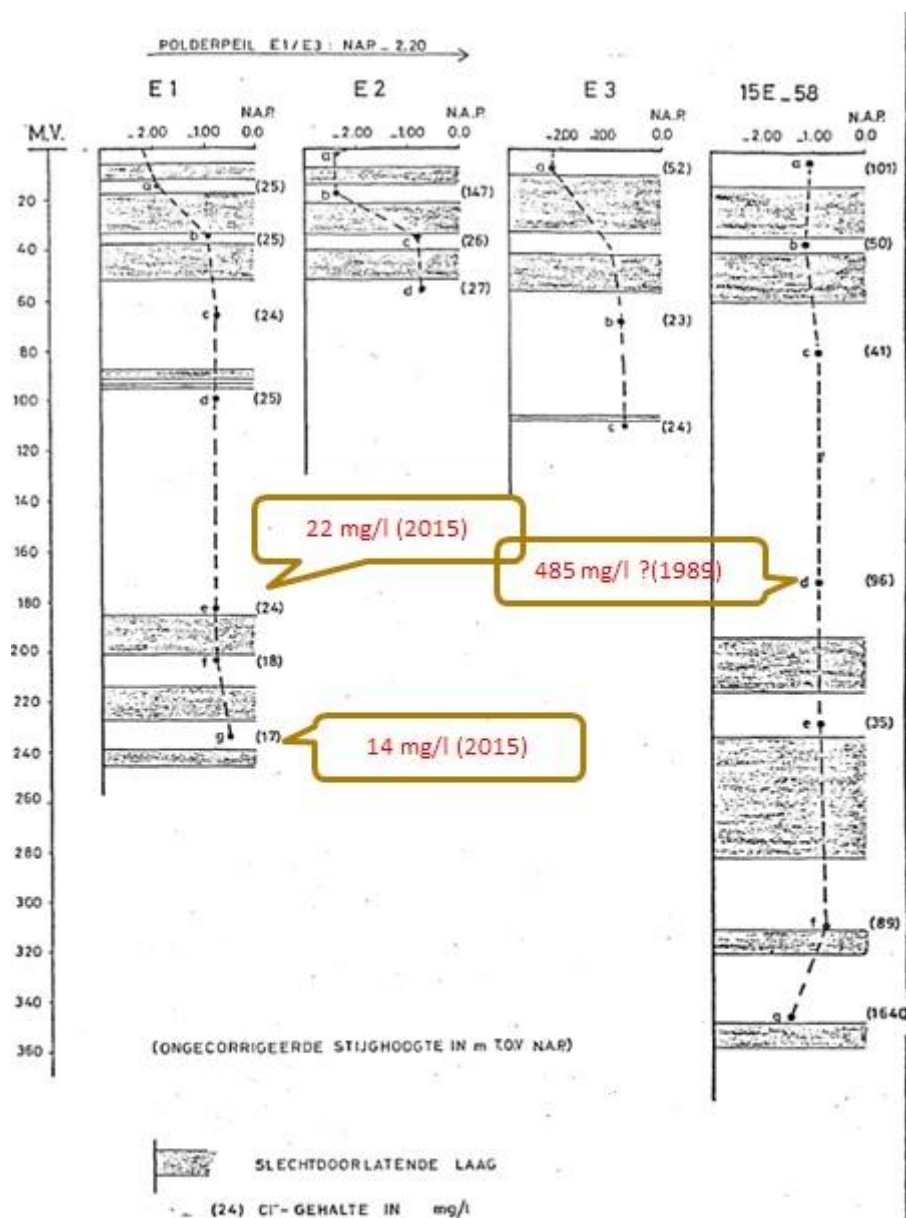


Figuur 5.10 Ligging grondwaterwinningen Oudega en Spannenburg, hydrogeologische profielen en diepe waarnemingsputten met verziltingsverschijnselen (uit: geohydrologisch onderzoek IWACO, omgeving Balk, 1983 en recentere chloridemetingen Vitens)



Hoewel ter plaatse van de winningen van Oudega en Spannenburg nauwelijks verzilting in de diepe watervoerende pakketten optreedt, is in de enkele diepe waarnemingsputten in de omgeving mogelijk wel sprake van toename van het chloridegehalte op grotere diepte. Het aantal metingen is echter beperkt en vaak van vroegere datum. Ten westen van de winning van Oudega te Koudum wordt op grotere diepte een toename van het chloridegehalte gemeten (15EP0090, filter 5 op 160 m: van 485 mg/l in 1989 naar 1700 mg/l in 2015). Het betreft een toename van het chloridegehalte in het watervoerende pakket boven het Peizercomplex (Tegelenklei). Ten noorden van de winning nabij Heeg is destijds een duidelijke verziltingstong boven het Peizercomplex (Tegelenklei) vastgesteld (waarnemingsput 10GP0016, zie figuur 3.7). Volgens de database van chloridegehalten van Vitens is destijds in waarnemingsfilter 4 (170 m –mv) van waarnemingsput 15EP0058 te Balk ook een verhoging van het chloridegehalte vastgesteld. Het betreft echter een enkele meting uit 1989.

Figuur 5.11 Stijghoogteprofielen, kleilagen en chloridegehalten van waarnemingsputten tijdens uitvoering van de pompproef te Oudega in 1981, alsmede enkele meer recente chloridegehalten (uit: geohydrologisch onderzoek IWACO, omgeving Balk, 1983 en recentere chloridemetingen Vitens)



ADVIESBUREAU VOOR WATERVOORZIENING	PROJECT: WINPLAATS 'BALK'	RAPPORT NR.: 598
IWACO B.V.	GET. IEO P	GEZ.
INTERNATIONAL WATER SUPPLY CONSULTANTS	DAT. 22-6-81	FIGUUR NR.: 2.6.2
SCHIEKADE 159 ROTTERDAM TEL. 010-143622	OPDRACHTGEVER: WATERLEIDING FRIESLAND	E1, E2, E3, 15E-58
	STIJGHOOGTE PROFIELEN EN Cl-GEHALTEN	dd. 26-6-'81

Figuur 5.12 Stationaire stijghoogteverlaging tijdens pompproef in 1981 (voor ligging in geohydrologisch profiel, zie figuur 5.11, E1= waarnemingsput 15EP0059)

Peil- buis	Diepte filter -M.V. (m)	Afstand tot pomp- put (m)	Stationaire eindverlaging (m)		
			pompproef	stopproef	gemiddeld
E1-a	14	20	~0	~0	~0
E1-b	35	20	0,34	0,30	0,32
E1-c	66	20	0,84	0,84	0,84
E1-d	99	20	0,68	0,68	0,68
E1-e	183	20	0,40	0,40	0,40
E1-f	204	20	0,28	0,26	0,27
E1-g	235	20	0,04	0,04	0,04
E2-b	18	468	~0	~0	~0
E2-c	35	468	0,24	0,24	0,24
E2-d	65	468	0,24	0,24	0,24
E3-a	7	146	~0	~0	~0
E3-b	68	146	0,40	0,40	0,40
E3-c	110	146	0,40	0,40	0,40
pomppput EE			14		14

Zoals aangegeven in figuur 5.11 bevinden zich onder de winning meerdere kleilagen van het Peizercomplex (Tegelenkleilagen). Tijdens de pompproef (250 m³/uur of 2,19 miljoen m³/jaar), gehouden in 1981 zijn de stationaire stijghoogteverlagingen in diepe filters tussen de Tegelenkleilagen gemeten. Uit deze metingen blijkt dat de stijghoogteverlagingen geleidelijk naar diepte afnemen: van 40 cm verlaging in filter E1-e op 183 m -mv naar slechts 4 cm verlaging in filter E1-g op 235 m -mv (figuur 5.12). In totaal hebben de kleilagen waarschijnlijk een relatief grote weerstand.

Resumerend kan geconcludeerd worden dat de grondwaterwinningen van Spannenburg en Oudega vooralsnog kunnen putten uit de grote diepe zoetwatervoorraad in Zuidwest-Fryslân, zonder noemenswaardige verzilting. Er zijn echter duidelijke aanwijzingen dat op grotere afstand van de winningen het diepe grondwater aan verzilting onderhevig is. Het betreft met name de verziltingstong boven het Peizercomplex/complex van Tegelenkleilagen, welke optrekt vanuit het noordwesten/westen. Deze verzilting is mogelijk/waarschijnlijk gerelateerd aan de verzilting als gevolg van historische veranderingen in het watersysteem (vervening, peilverlaging, aanleg NO-polder, etc.) en niet zo zeer aan de winningen zelf. Maar de winningen zouden er op termijn wel mee geconfronteerd kunnen worden.

5.3 Vroeger winplaatsonderzoek (vlekkenplan) en keuzes uit het verleden

Eind jaren '70 waren er op het vaste land van Fryslân 4 waterwingebieden (Noardburgum, Spannenburg, Terwisscha en Oldeholtspade) met eigen zuiveringsstations en een gezamenlijke capaciteit van ca. 40 miljoen m³/jaar. Vanwege de verzilting van de waterwinning van Noardburgum diende nieuwe drinkwaterbronnen gevonden te worden. Rekening houdend met de toekomstige drinkwatervraag en de uitbreidingsmogelijkheden van bestaande waterwinningen diende een aanvullende capaciteit van 10 à 15 miljoen m³/jaar gevonden te worden. Op initiatief van Waterleiding Friesland (WLF) is destijds een provinciebreed onderzoek gestart naar nieuwe drinkwaterbronnen: het vlekkenplanonderzoek. Het onderzoek werd begeleid door de 'Gespreksgroep Hydrologisch Onderzoek Friesland', waarin naast WLF meerdere Friese overheidsinstanties en nationale onderzoeksinstituten uit die tijd (RID, ICW, RGD) vertegenwoordigd waren. Uitgangspunt van het vlekkenplanonderzoek was het vinden van gunstige en duurzame grondwaterbronnen voor de drinkwatervoorziening. De meest belangrijke selectiecriteria voor het vinden van nieuwe grondwaterbronnen waren:

- aanwezigheid van een afsluitende of slecht doorlatende laag boven het te pompended watervoerend pakket
- dikte en aard van het watervoerend pakket
- zoet-zoutverdeling in/onder het watervoerend pakket, kans op verzilting
- mogelijkheid van aanvoer van oppervlaktewater ter compensatie van verdroging
- aanwezigheid van kwel heeft een pré

Eind 1979 is de verkenning afgerond, resulterend in 5 'vlekken', die in aanmerking zouden kunnen komen voor de realisatie van één of meerdere nieuwe wingebieden. Het betrof de volgende gebieden:

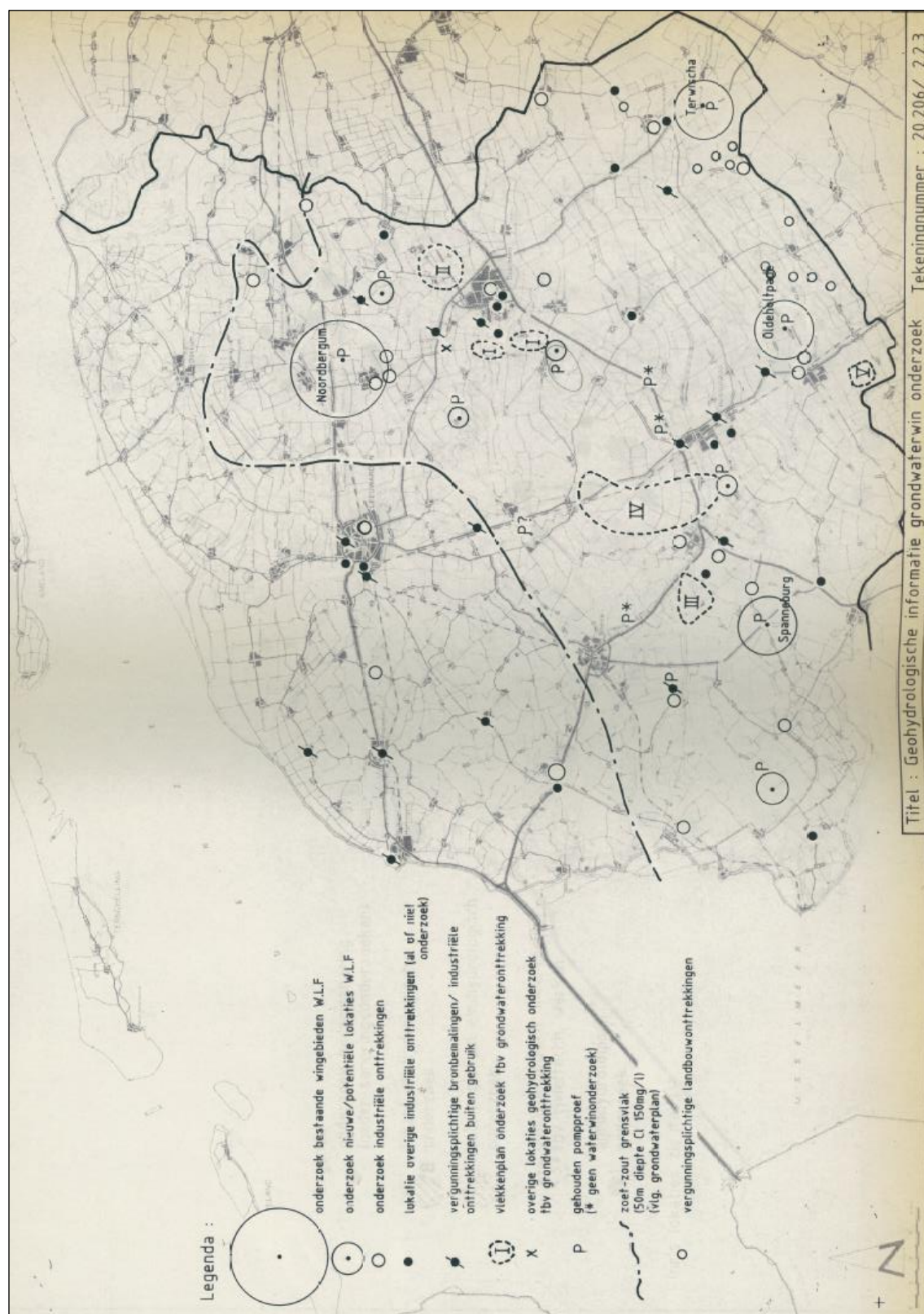
- I. Nijega-Boornbergum
- II. Houtigehage
- III. Langweer-Hommerts
- IV. Oudehaske-Vegelinsoord-Akkrum (Veenpolders)
- V. Nijkspolder

De vlekken I en II liggen nabij Drachten: vlek I (Nijega-Boornbergum) ten westen en vlek II (Houtigehage) ten noordoosten van Drachten. Vlekken III en IV liggen rondom Joure: vlek III (Langweer-Hommerts) ten westen van Joure en vlek IV ten oosten en noordoosten van Joure. Vlek IV omvatte in eerste instantie de Veenpolders ten noorden van Joure/Heerenveen.

De vlekken I, II en IV zijn destijds (grotendeels) gekozen op grond van het voorkomen van afsluitende potkleilagen. Deze potkleilagen zouden grondwaterstandsverlagingen als gevolg van de winning voorkomen of beperken. Hierdoor zouden de effecten op landbouw en natuur beperkt kunnen blijven.

Vlek III (Langweer-Hommerts) ligt in een gebied met veel oppervlaktewater buiten het potkleigebied, aan de rand van een gebied met brak water in het watervoerend pakket. Vlek V, de Nijkspolder betreft een betrekkelijk klein gebiedje in het zuiden van Fryslân onder Wolvega. Het gebiedje is destijds gekozen vanwege de sterke kwelstroming. Afsluitende of slecht doorlatende lagen ontbreken hier echter grotendeels.

Figuur 5.13 Overzicht van grondwaterwinonderzoeken uit 1989, inclusief gebieden van 'vlekkenplan' (uit: Oriënterend Hydrologisch Onderzoek (OGO), IWACO, 1989)



Van de 5 vlekken zijn er 2 d.m.v. (uitgebreid) veldonderzoek nader onderzocht. Het betreft de vlekken II (Nijega-Boornbergum) en IV (Oude Haske-Vegelinsoord-Akkrum). In eerste instantie is in deze gebieden uitgebreid geo-electrisch onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek bracht naar voren dat in het potkleigebied van Nijega-Boornbergum een diepe fijnzandige Peelogeul aanwezig is, welke mogelijk insnijdt tot in de Tertiaire basis. Vanwege het fijnzandige karakter van het pakket onder de potklei werd dit gebied minder geschikt gevonden voor grondwaterwinning. Uit het geo-electrisch onderzoek in het gebied van de Veenpolders (vlek IV) bleek dat op meerdere plaatsen brak grondwater in het bepompte watervoerend pakket voorkomt.

Om redenen van aard van het watervoerend pakket (vlek I) en het voorkomen van brakwater in het watervoerend pakket (vlek II) is verder gezocht langs de randen van genoemde vlekken. Dit heeft voor vlek I geresulteerd in twee testlocaties: Eernewoude en Nij Beets (Janssenstichting). Langs de zuidrand van vlek IV is een derde testlocatie geselecteerd (Oude Haske, langs het Nanneveld). Op deze testlocaties is lokaal winplaatsonderzoek uitgevoerd, inclusief een pompproef.

Op alle drie winlocaties was de grondwaterkwaliteit goed en de kans op verzilting gering (geacht). Door de aanwezigheid van sterke kwel (locatie Nij Beets) of veel oppervlaktewater (locatie Eernewoude) zouden de effecten op het freatische grondwater gering zijn. Dit bleek ook uit de pompproeven die op deze locaties zijn gehouden. Voor beide locaties zijn destijds vergunningsaanvragen ingediend (IWACO 1980, rapporten Eernewoude (531/7) en Nij Beets/Janssenstichting (531/8)). Uit het lokale winplaatsonderzoek van de locatie Oude Haske kwam naar voren dat de beïnvloeding van het freatische grondwater en daarmee de belangen van landbouw en natuur relatief sterk was. Voor deze locatie is dan ook geen vergunningsaanvraag ingediend.

Vanwege de ligging in/nabij het waardevolle natuurgebied van de Alde Feanen en de mogelijke beïnvloeding van dit natuurgebied is de vergunningsaanvraag van de locatie Eernewoude niet gehonoreerd en is de verdere uitwerking gestopt. Dit betekende dat uit het vlekkenplanonderzoek slechts één locatie voor nadere uitwerking overbleef: Nij Beets. Hoewel voor de locatie Nij Beets in eerste instantie een grotere winningshoeveelheid was aangevraagd is in 1987 door het ministerie van VROM vergunning verleend voor de onttrekking van 3,5 miljoen m³/jaar, welke in 1990 is bekrachtigd door de Raad van State. Hoewel het puttenveld al in 1991 is gerealiseerd is de feitelijke grondwaterwinning pas in 2004 van start gegaan.

Tijdens het vlekkenplanonderzoek kwam een diepe boring/waarnemingsput (15EP0058) in de omgeving van Balk gereed. Deze boring was gemaakt in het kader van de, in opdracht van Rijkswaterstaat, door TNO-DGV uit te voeren regionale geohydrologische verkenning. Zowel de aard van het watervoerend pakket (dikke grofzandige laag), de diepte van het zoet-zoutgrensvlak (chloridegehalte 90 mg/l op 310 m diepte) en de ligging in een gebied met veel oppervlaktewater en lage polders waren aanleiding om in dit gebied een nadere verkenning uit te voeren naar de mogelijkheden van een nieuwe winlocatie. Mede op basis van een nader geo-electrisch onderzoek uitgevoerd door DGV-TNO en verder in overleg met de RGD en DGV-TNO werd besloten om een testlocatie in te richten langs de Fluessen in de Groote Noordwolder Polder. Op deze locatie (Oudega) is een pompproef uitgevoerd en zijn de effecten van een eventuele winning in kaart gebracht (IWACO, 1983). De resultaten van het lokale winplaatsonderzoek waren positief, hetgeen uiteindelijk heeft geresulteerd in een

vergunning voor de onttrekking van 10 miljoen m³/jaar. In 1991 is de winning van start gegaan.

Nog twee locaties in de omgeving van Noardburgum mogen in dit historisch overzicht niet onvermeld blijven: die van Oostermeer en Garyp.

De locatie Oostermeer dateert uit de jaren '70 van vòòr het vlekkenplanonderzoek, toen de verzilting van de waterwinning van Noardburgum al gaande was. Het betrof een locatie op de hogere zandgronden van Oostermeer aan de oostzijde van de diepe Peelogeul. Op de locatie is destijds – in afwachting van de vergunning – al een puttenveld gerealiseerd. Vanwege de verwachte landbouwdroogteschade en de weerstand van de landbouw tegen de winning is de locatie niet in gebruik genomen.

De winlocatie van Garyp is voortgekomen uit het onderzoek van de vroegere industriële winning van de NTF te Suameer. De winning van de NTF scoorde op meerdere punten gunstig. Nader onderzoek leidde tot een nieuwe winlocatie op enige afstand van de NTF in westelijke richting, in het laag gelegen gebied nabij de Wijde Ee (Prinses Margrietkanaal). (MER-rapportage Suameer (Garyp), IWACO, 1993). Zoals al aangegeven in de bespreking van de huidige operationele winningen, lag het zoet-brakgrensvlak in dit gebied zeer diep (dieper dan 170 m – NAP) en was er in die tijd geen aanleiding om te vrezen voor verzilting van de winning.

Naast de realisatie van nieuwe winningen is de capaciteit van enkele bestaande winningen in de loop van de tijd ook gewijzigd.

Resumerend kan gesteld worden dat sinds het vlekkenplanonderzoek, eind jaren '70 de volgende ontwikkelingen t.a.v. de winlocaties en -capaciteiten zich hebben voorgedaan.

- Realisatie van nieuwe winningen: Nij Beets (3,5 miljoen m³/jaar), Oudega (10 miljoen m³/jaar) en Garyp (oorspronkelijk 3 miljoen m³/jaar, teruggebracht naar 1,5 miljoen m³/jaar)
- Terugbrengen van de capaciteit van Noardburgum van 23 naar 7 miljoen m³/jaar
- Uitbreiding van de winning van Spannenburg van 10 naar 15 miljoen m³/jaar

Genoemde ontwikkelingen hebben een verschuiving te weeg gebracht van het zwaartepunt van grondwaterwinning in het noordoosten (rond Noardburgum) naar het zuidwesten (rond Spannenburg/Oudega).

Door ontwikkelingen van verzilting (Noardburgum e.o.) en capaciteitsvermindering vanwege verdroging (Terwisscha), alsmede op basis van de toekomstige drinkwaterbehoefte wordt nog steeds gezocht naar aanvullende wincapaciteit. Deze aanvullende wincapaciteit bedraagt volgens de langetermijnvisie van Vitens (Zicht op water, Vitens, 2011) ca. 7 miljoen m³/jaar.

In het verleden zijn na de realisatie van de winningen van Nij Beets en Oudega door Vitens meerdere onderzoeken naar gunstige winlocaties uitgevoerd. De belangrijkste zijn:

- Locatiestudie grondwaterwinning Friesland, IWACO, april 1992
- Bronnenonderzoek Royal Haskoning, 2008 (wandeland pompstation)

In de volgende paragraaf wordt in het kort ingegaan op deze locatieonderzoeken.

5.4 Locatiestudie grondwaterwinning IWACO, 1992 en Bronnenonderzoek Royal Haskoning, 2008

Locatieonderzoek grondwaterwinning Friesland, 1992

In verband met de stijgende drinkwaterbehoefte en de verminderde productiecapaciteit van het pompstation Noardburgum is in 1992 door IWACO een provinciebreed locatieonderzoek uitgevoerd, met als doel gunstige gebieden voor de toekomstige drinkwaterwinning te selecteren.

Het onderzoek is op twee manieren uitgevoerd: enerzijds zijn gebieden uitgesloten die onwenselijk zijn voor drinkwaterwinning (negatieve selectie) en anderzijds zijn gebieden aangewezen waar grondwaterwinning geringe negatieve of zelfs positieve effecten oplevert (positieve selectie).

De negatieve selectie is gebaseerd op het uitsluiten van (kwetsbare) gebieden t.a.v. slechte waterkwaliteit (verzilting!), beïnvloeding van natuurwaarden, zettingsgevoeligheid en landbouwdroogteschade. Bij de positieve selectie zijn gebieden geselecteerd met een grote weerstand van het afdekkend pakket boven het watervoerend pakket (grote spreidingslengte, o.a. gericht op potkleigebieden), gebieden met veel voedend oppervlaktewater, gebieden met sterke kwel en natte landbouwgebieden.

De grotere gunstige gebieden uit de negatieve selectie betroffen:

- Het potkleigebied Drachten-Surhuisterveen-Burgum
- De poldergebieden van het 4^e en 5^e Veendistrict bij Tjalleberd-Tijnje
- Het wijkengebied Jubbega Derde Sluis
- De regio Heerenveen-Wolvega
- Het gebied Lemmer-Spannenburg

Genoemd worden in het rapport dat in bepaalde gebieden rekening gehouden dient te worden met verzilting door brakwatervoorkomens (Drachten-Surhuisterveen-Burgum en Lemmer-Spannenburg) en zettingen/landbouwschade (Heerenveen-Wolvega en Jubbega Derde Sluis). De verziltingsproblematiek vanuit Peelogeulen was destijds (m.u.v. Noardburgum) minder bekend.

Vanuit de positieve selectie zijn er gunstige gebieden aangegeven in het centrale deel van Fryslân op de overgang van het Lage Midden naar de hogere zandgronden, zoals de kwelgebieden in de omgeving van Tijnje-Gorredijk, het veenontginningsgebied met een intensief wijkensysteem in de omgeving van Jubbega Derde Sluis en de kwelpolders van Makkinga. Voor oevergrondwaterwinningen en/of winningen met veel voedend oppervlaktewater zijn gunstige locaties aangewezen in Zuidwest-Fryslân (Slotermeer, Fluessen), het Nannenwijd bij Oude Haske en in Midden-Noord-Fryslân.

In het onderzoek zijn tevens de winningsmogelijkheden van het Vlekkenplan uit 1979, bepaalde locaties uit het provinciaal waterhuishoudingsplan (pwhp-locaties), alsmede de bestaande winningen uit die tijd geëvalueerd. Dit heeft geresulteerd in een overzichtstabel met mogelijkheden voor grondwaterwinning (tabel 5.2).

Tabel 5.2 Mogelijkheden voor grondwaterwinning (uit locatiestudie grondwaterwinning Friesland, IWACO, 1992)

Mogelijkheden grondwaterwinning m.b.t.					
	natuur	waterkwali- teit	zettingen landbouw	oever- infiltratie	integraal (grondwater) waterbeheer
<u>Huidige winplaatsen</u>					
Noardburgum (+ Suameer)	+	-		+	+/-
Spannenburg	+	(+)		-	
Terwisscha	-	(+)	(-)	-	
Oldeholtspade	-	+	(-)	-	
NijBeets	(-)	+	+	-	+
Oudega (GS)	+	+	+	(-)	+
<u>"Vlekken" 1979"</u>					
I Nijega-Boornbergum	+/-	(+)	+	(-)	
II Houtigehage	+	(+)	+	-	
III Langweer Homerts	-	-	(+)	-	
IV "De Veenpolders"	+	-	+	-	
V Nijkspolder	-	+	(+)		(+)
<u>Lokaties</u>					
Eernewoude	-	+	(+)	(+)	(-)
Oude Haske	-	+		(+)	(-)
Oostermeer	+	+	-	-	(-)
<u>Pwhp-lokaties</u>					
De Leijen		(+)		(-)	?
Princehof		+		+	?
Ter Kaplester Poelen		-		(-)	?
Lindevallei		(+)		-	?

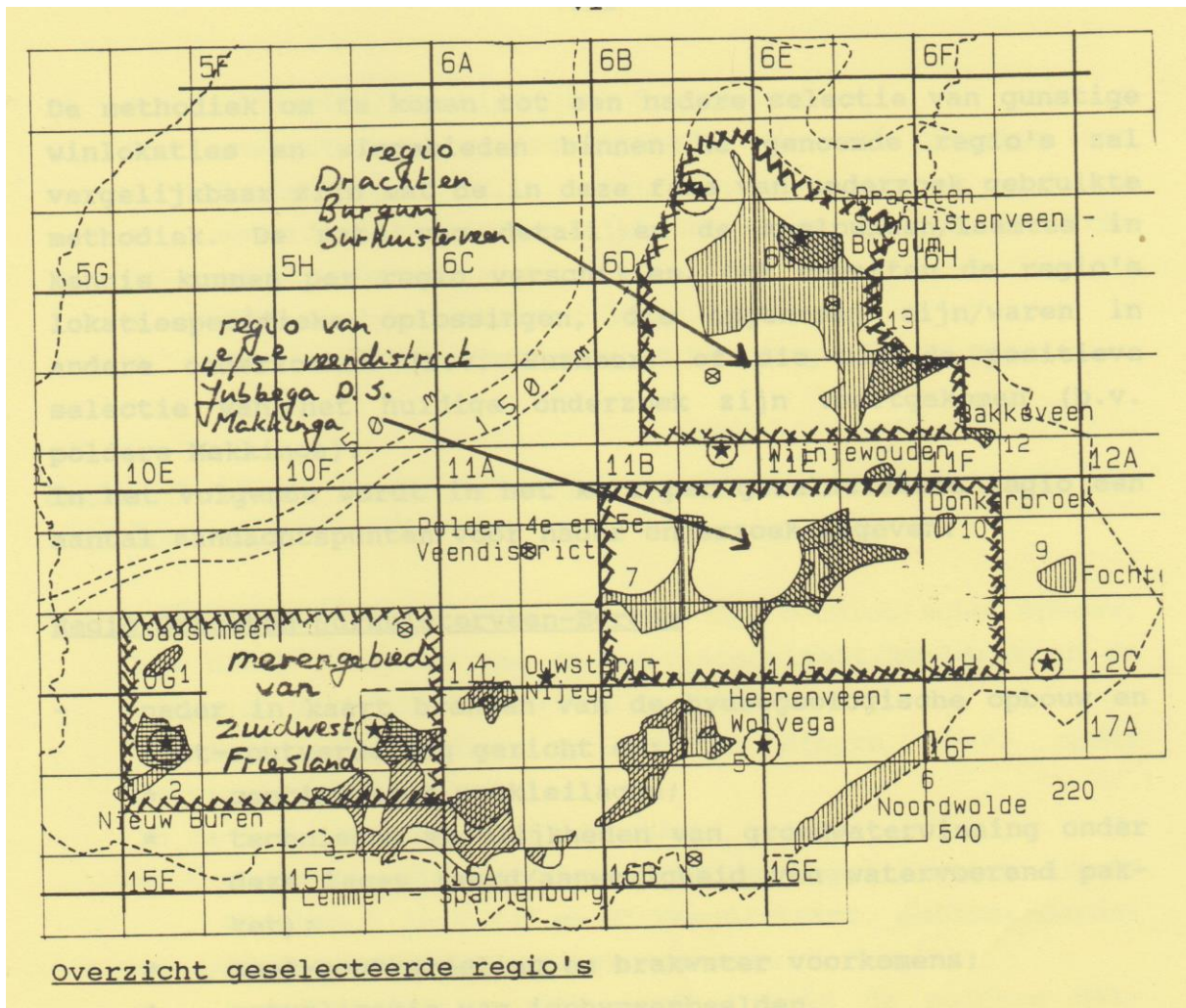
+ = gunstige mogelijkheden
 - = ongunstige mogelijkheden
 (+) = gunstig met mogelijke beperkingen
 (-) = beperkte mogelijkheden
 blanco = onbekend/n.v.t.

In het onderzoek wordt aanbevolen om het vervolgonderzoek te richten op een drietal regio's:

- Regio Drachten-Surhuisterveen-Burgum e.o.
- Regio van het 4^e en 5^e Veendistrict en Jubbega Derde Sluis
- Het merengebied van Zuidwest-Friesland

Opgemerkt kan worden dat de Noordelijke regio van Drachten-Surhuisterveen-Burgum vanwege verzilting, gerelateerd aan diepe Peelgeulen op meerdere pompstations (Noardburgum, Garyp) in de huidige situatie minder goed scoort en dat voorzichtigheid geboden is bij verdere ontwikkeling van deze regio voor de drinkwaterwinning.

Figuur 5.14 Overzicht geselecteerde regio's grondwaterwinmogelijkheden (uit locatiestudie grondwaterwinning Friesland, IWACO, 1992). N.b. de gearceerde gebieden zijn de gunstige gebieden uit de negatieve selectie.



Per regio worden in het onderzoek aanbevelingen gegeven om de leemtes in kennis op te vullen en te komen tot een 'ranking' van meest gunstige gebieden. Om meerdere redenen is fase 2 van de locatiestudie niet direct uitgevoerd. Pas in 2008 is met het uitbrengen van het bronnenonderzoek (Royal Haskoning, 2008) een vervolg gegeven aan het Fryslânbrede onderzoek naar gunstige gebieden voor grondwaterwinning.

Bronnenonderzoek Royal Haskoning, 2008

Door de verziltingsproblematiek van bestaande winningen en de toenemende drinkwatervraag is Vitens sinds jaren op zoek naar nieuwe bronnen voor de drinkwatervoorziening in de provincie Fryslân. Meerdere ontwikkelingssporen zijn/worden ingezet om de drinkwatervoorziening voor de toekomst veilig te stellen. Eén van deze sporen vormt/vormde het 'Bronnenonderzoek Friesland' uitgevoerd in 2008 door Royal Haskoning. Het doel van dit onderzoek was om op gestructureerde en evenwichtige wijze, Fryslânbreed de meest geschikte locaties voor grondwaterwinning in beeld te brengen. Voortbordurend op de lijn van het IWACO-onderzoek uit 1992 is hierbij gebruik gemaakt van een negatieve selectie van gebieden waar geen grondwaterwinning gewenst is, gevolgd door een positieve selectie van geschikte locaties binnen het resterende (potentieel) positieve gebied. Het verschil met het IWACO-onderzoek uit 1992 is dat in het Bronnenonderzoek gebruik is gemaakt van het regionale MIPWA-grondwatermodel (versie 1.8), zodat de effecten van winningen beter kwantitatief in beeld gebracht konden worden. Tevens zijn in het Bronnenonderzoek specifieke locaties doorgerekend.

In de fase van de negatieve selectie zijn gebieden aangewezen waar geen grondwaterwinning kan plaatsvinden of waar grondwaterwinning t.b.v. de drinkwatervoorziening niet of minder wenselijk is. Bij de negatieve selectie worden locaties uitgesloten indien:

- De locatie minder dan 1 km verwijderd is van grondwater met een chloridegehalte van meer dan 150 mg/l
- De locatie minder dan 1 km verwijderd is van industrieterrein of stedelijk gebied
- De locatie minder dan 1 km verwijderd is van VHR-gebieden (in huidige termen: Natura 2000-gebieden)
- De locatie zich meer dan 10 km over de provinciegrens bevindt
- De locatie minder dan 1 km verwijderd is van bestaande grondwaterbeschermingsgebieden
- Het bepompte watervoerend pakket ter plekke van de locatie een doorlaatvermogen heeft van minder dan 1000 m²/dag

Het gebied dat door genoemde criteria niet uitgesloten wordt door deze negatieve selectie is in potentie geschikt voor aanvullende grondwaterwinning. In figuur 5.15 betreft dit het 'wit' gekleurde gebied van Zuid-, Midden- en Oost-Fryslân.

De fase van de positieve selectie (binnen het 'witte gebied' van de negatieve selectie) is onderverdeeld in een fase (3A) van bepaling van potentieel geschikte locaties en een fase van het doorrekenen (3B) en prioriteren van potentieel geschikte locaties.

In fase 3A zijn geen nieuwe modelberekeningen uitgevoerd, maar is gebruik gemaakt van de I/R (Impuls/Respons) database van de 'Wandelende Winning' in Fryslân (TNO, 2007). Het vinden van potentieel geschikte locaties is nader geconcretiseerd in het selecteren van:

- 6 meest geschikte locaties voor een winning van 2 miljoen m³/jaar nabij bestaande pompstations
- 4 meest geschikte locaties voor een winning van 3 miljoen m³/jaar
- 2 meest geschikte locaties voor een winning van 6 miljoen m³/jaar

Tevens is de zoekruimte in fase 3A verder ingeperkt door de randvoorwaarde dat de grondwaterstand in de EHS en Natura 2000-gebieden niet meer dan 5 cm verlaagd mag

worden door de winning. Voor een winning van 2 miljoen m³/jaar is als randvoorwaarde toegevoegd, dat deze niet meer dan 5 km verwijderd mag zijn van een bestaand zuiveringsgebouw.

Om de effecten van winningen op verschillende locaties vergelijkbaar te maken is voor elke winning de grootte van het invloedsgebied en het aantal verlagingskuubs bepaald. Het invloedsgebied is hierbij gedefinieerd als de oppervlakte van het gebied met een grondwaterstandsverlaging van meer dan 5 cm. Het aantal verlagingskuubs binnen het invloedsgebied betreft de som van de grondwaterstandsverlagingen vermenigvuldigd met de oppervlakte (te vergelijken met een 'afpompingskegel' van een winning).

Op basis van genoemde hydrologische karakteristieken zijn de potentieel meest geschikte winlocaties bepaald. De redenering hierachter is dat daar waar het invloedsgebied klein is en/of het aantal verlagingskuubs gering, de afgeleide effecten (op landbouw, natuur, zettingen) ook gering zullen zijn. Gebieden onder slecht doorlatende lagen met een hoge weerstand en gebieden met veel voedend oppervlaktewater en weinig weerstand boven het watervoerend pakket scoren in deze gunstig. Het onderzoek van fase 3A heeft geresulteerd in 6 locaties met een winning van 2 miljoen m³/jaar (gelegen nabij Spannenburg, Oldeholtgade en Terwisscha, figuur 5.15), 5 locaties met een winning van 3 miljoen m³/jaar (Osingahuizen, Sloten, Heerenveen-Oost, Hoornsterzwaag en 4^e/5^e Veendistrict, figuur 5.16) en 4 locaties met een winning van 6 miljoen m³/jaar (Sloten, Heerenveen-Oost, het 4^e/5^e Veendistrict en Waskemeer, figuur 5.17).

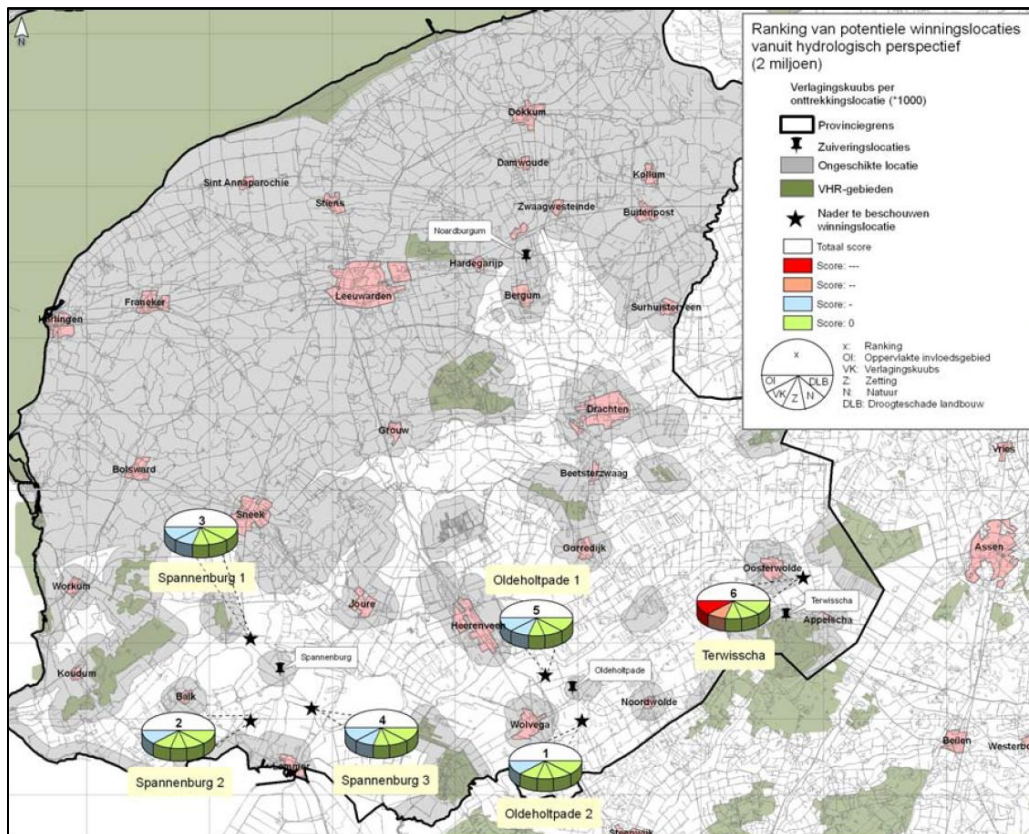
In de laatste fase van onderzoek (fase 3B) zijn genoemde locaties doorgerekend met het MIPWA grondwatermodel. Zowel de primaire hydrologische effecten (invloedsgebied, verlagingskuubs) als de afgeleide effecten (natuur, landbouw, zettingen) zijn berekend en in beeld gebracht. Aanvullend is de kwetsbaarheid van de winlocaties bepaald; ook is nagegaan of er sprake is van bodemverontreiniging in de nabijheid van de potentiële winlocaties. Tot slot is per onttrekkingscategorie een ranking uitgevoerd door de primaire en afgeleide effecten te beoordelen. Deze ranking staat in genoemd rapport in de vorm van tabellen. In dit rapport zijn alleen de figuren (figuren 5.15, 5.16 en 5.17) van de ranking opgenomen, met kwalitatieve scores voor de hydrologische en afgeleide effecten (van - - (rood, ongunstig) tot 0 (groen, geen effect)).

Voor de winningscategorie van 2 miljoen m³/jaar scoort de locatie ten zuiden van Oldeholtgade (Oldeholtgade 2) het gunstigst vanwege het geringe invloedsgebied en aantal verlagingskuubs (figuur 5.15). De locatie bij Terwisscha scoort vanwege de grote hydrologische effecten en landbouwschade het minst goed.

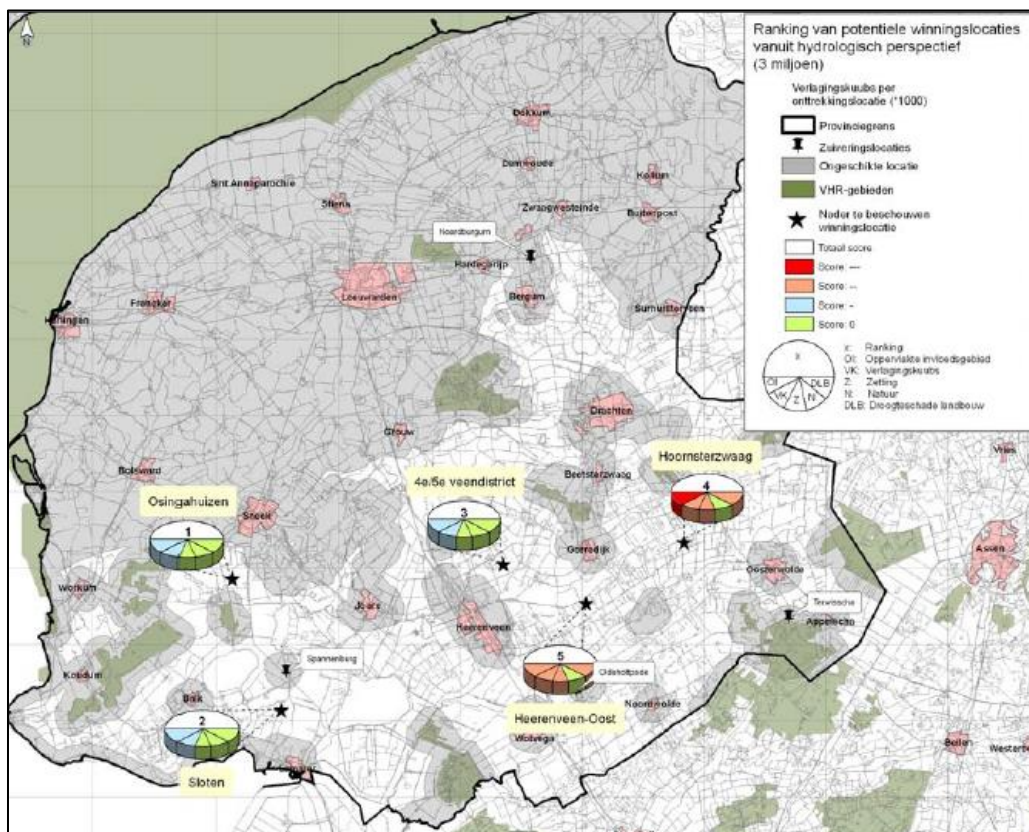
Voor de winningscategorie van 3 miljoen m³/jaar scoren de locaties in het midden (4^e/5^e Veendistrict) en zuidwesten (Osingahuizen en Sloten) van Fryslân het meest gunstig. De invloedsgebieden en verlagingskuubs van deze locaties zijn gering (veel voedend oppervlaktewater en weinig weerstand). Daarmee zijn ook de effecten op natuur, landbouw en zettingen afwezig.

Voor de winningscategorie van 6 miljoen m³/jaar scoren de locaties van Sloten en het 4^e/5^e Veendistrict het meest gunstig (gering invloedsgebied en verlagingskuubs, beperkte secundaire effecten). De locaties van Heerenveen-Oost en Waskemeer scoren aanzienlijk minder goed door groter invloedsgebied, meer verlagingskuubs en secundaire effecten. Opgemerkt kan worden dat de locatie van het 4^e/5^e Veendistrict in het huidige zoekgebied van Vitens ligt (zoekgebied Heerenveen-Gorredijk-Drachten).

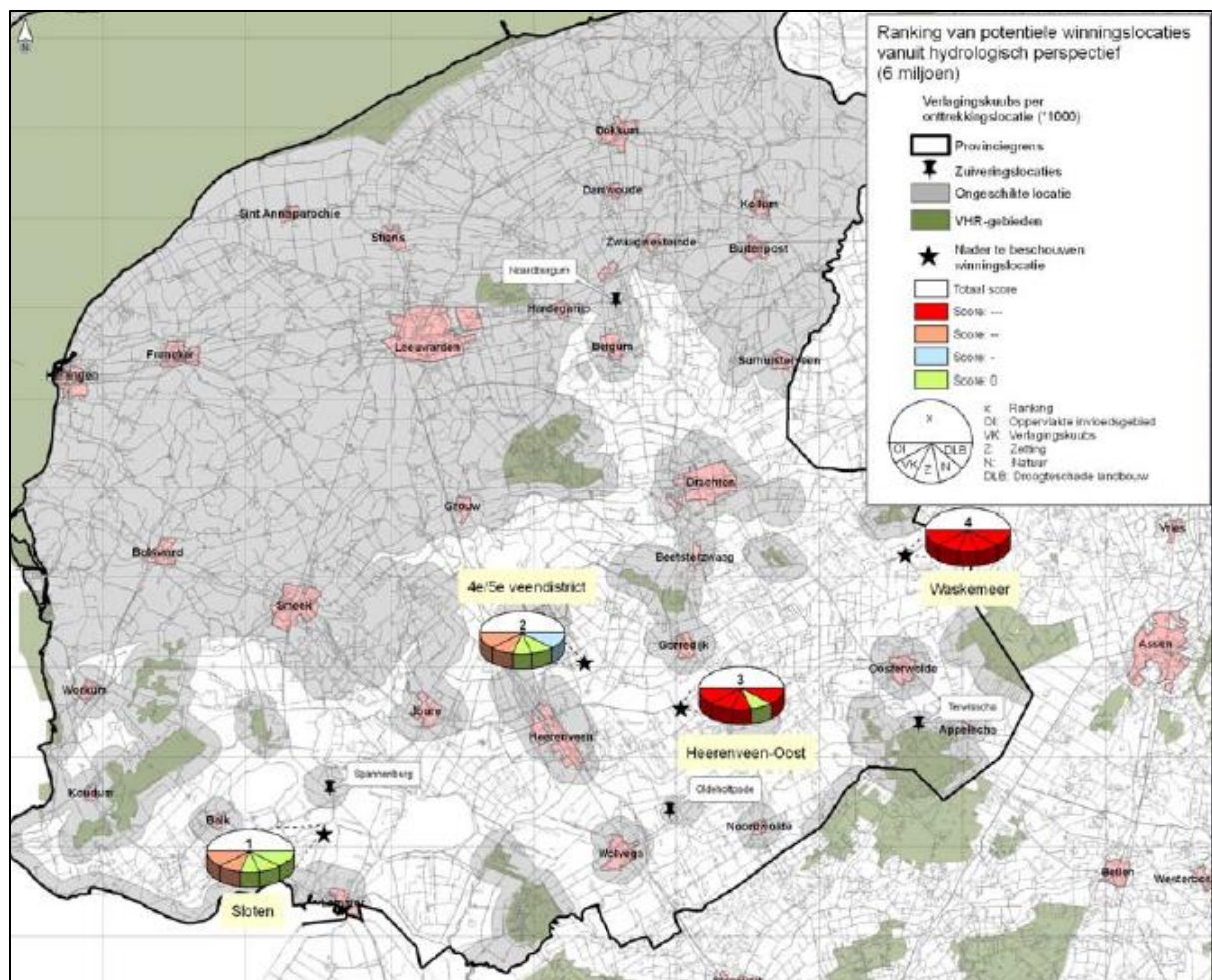
Figuur 5.15 Prioritering potentiële winlocaties vanuit hydrologisch perspectief, windebiet 2 miljoen m³/jaar (Bronnenonderzoek Friesland, Royal Haskoning 2008)



Figuur 5.16 Prioritering potentiële winlocaties vanuit hydrologisch perspectief, windebiet 3 miljoen m³/jaar (Bronnenonderzoek Friesland, Royal Haskoning 2008)



Figuur 5.17 Prioritering potentiële winlocaties vanuit hydrologisch perspectief, windebiet 6 miljoen m³/jaar (Bronnenonderzoek Friesland, Royal Haskoning 2008)



6. Referenties

Artesia, 2016. Oriënterende modelberekening verzilting Fryslân, concept 6, 18 november 2016.

Artesia, 2012. Spannenburg, mogelijkheden tot uitbreiding van de grondwaterwinning.

Bots, W.C.P.M. , P.C. Jansen en G.J. Noordewier, 1978. Fysisch-chemische samenstelling van oppervlakte- en grondwater in het Noorden des Lands. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.

Broers, H.P., 1987. Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland. Toepassing van regionale hydrologische systeemanalyses ten behoeve van het eutrofiëringsonderzoek van de Friese Boezem. Provincie Friesland, Limnologisch instituut, Vrije Universiteit Amsterdam.

Broers, H.P., 1988. Modelstudie grondwaterstromingsstelsels in Zuid-Friesland. Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Claassen, T.H.L., 2008. Peilbeheer van de Friese Boezem in relatie tot ecosysteem en waterkwaliteit in historisch perspectief. Wetterskip Fryslân.

Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland – TNO (COLN), 1958. De landbouwwaterhuishouding in de provincie Friesland.

Dienst Grondwaterverkenning (DGV) TNO, 1985. Geohydrologische Verkenning van Nederland. Hydrochemie Sneek/Heerenveen (kaartbladen 10B,D, 10 Oost en 11 West). H. Uil, rapport nr. OS 85 – 11, mei 1985.

Dienst Grondwaterverkenning (DGV) TNO, 1984. Grondwaterkaart van Nederland, Stavoren/Steenwijk, kaartbladen 15B, 15D, 15 Oost en 16 West. Inventarisatierapport GWK 34. H. Uil en E. de Heer.

Dienst Grondwaterverkenning (DGV) TNO, 1987. Grondwaterkaart van Nederland, Heerenveen-Assen, rapport DGV-TNO nr. 43.

Dufour, F.C., 1998. Grondwater in Nederland. Onzichtbaar water waarop wij lopen. Geologie van Nederland, deel 3. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO – Delft.

Efdée, R., 1988. Putten uit het verleden. Geschiedenis van de drinkwatervoorziening in Friesland.

Engelen, G.B. , J.M.J. Gieske en S.O. Los, 1989. Grondwaterstromingsstelsels in Nederland. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Staatsbosbeheer, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage, 1989

Foppen, J.W.A., 1993. Systeemanalyse Zuid-Oost Friesland. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO (IGG), TNO-rapport OS 93-08A, maart 1993.

Gaag, van der en Sauer, 1989. Temperatuuronderzoek Friesland. Afstudeeropdracht Landbouw Hogeschool Wageningen. Onderzoek behorend bij OGO-onderzoek, IWACO, 1989.

Gans, W. de, 2006. Geologieboek van Nederland. Uitgave ANWB.

Immerzeel, C. van, 2009. Winplaatsonderzoek Nij Beets, fase 2, grondwatermodelberekeningen varianten.

IWACO, 1979. Geohydrologisch onderzoek inzake de verzilting van het pompstation Jhr. E.C. Storm van 's-Gravesande en mogelijke maatregelen ter bijsturing van het verziltingsproces. IWACO-rapport 474. Betreft basisrapport van winning Noordbergum.

IWACO, 1980. Interimrapport inzake het onderzoek op ' Vlek I ' ten westen van Drachten. IWACO-rapport 531/2, januari 1980. Betreft basisnotitie voor keuze winlocaties (pompproeven) Nij Beets en Eernewoude.

IWACO, 1980. Winplaatsonderzoek op 3 locaties in het Lage Midden van Friesland. Interimrapport inzake het onderzoek op vlek I ten westen van Drachten. IWACO-rapport 531-2, januari 1980.

IWACO, 1980. Winplaatsonderzoek Friesland. Rapport inzake het geohydrologisch onderzoek bij Eernewoude. IWACO-rapport 531/7, oktober 1980.

IWACO, 1980. Winplaatsonderzoek Friesland. Rapport inzake het geohydrologisch onderzoek bij Janssenstichting. IWACO-rapport 531/8, Rotterdam, november 1980. Betreft basisrapport van winning Nij Beets.

IWACO, 1980. Tussentijds rapport inzake het geohydrologisch onderzoek bij Oudehaske. IWACO-(concept-)rapport 596, september, 1980.

IWACO, 1983. Winplaatsonderzoek Friesland. Rapport inzake het geohydrologisch onderzoek in de omgeving van Balk. IWACO-rapport 598, januari 1983. Betreft basisrapport van winning Oudega.

IWACO, 1989. Bodembeschermingsgebieden in de Lindevallei. IWACO-rapport 20.296 (concept). Opdrachtgever Provincie Friesland.

IWACO, 1989. Oriënterend geohydrologisch onderzoek (OGO). IWACO-rapport 20.206, eindrapportage, Groningen, december, 1989. Onderzoek met provinciale grondwatersysteemanalyse en uitgebreide literatuurlijst.

IWACO, 1991. Onderzoek polderpeilverlaging Friesland.

IWACO, 1992. Locatiestudie Grondwaterwinning Friesland. Fase 1: Selectie gunstige gebieden en oriëntatie huidige winningen. IWACO-rapport 220.7430, april 1992.

IWACO, 1993. MER grondwaterwinning Suameer (Garyp).

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, 2003. De ondergrond van Nederland

Oosterhof, A. , M. van der Valk, J.A. de Ruijter en K. Raat, 2012. 'Zoethouder' levert gescheiden brak en zoet grondwater uit één put. H2O nr.12, 2012.

Osinga, T. , W. Terwisscha van Scheltinga, J. Medenblik, P. Jansen en C. Kwakernaak, 2014. Effecten van klimaatverandering op maaiveldddaling en grondwaterstanden in Friesland. H2O nr.2, 2014.

Provincie Fryslân en Wetterskip Fryslân, 2009. Waterhuishoudingsplan en Waterbeheerplan, 2009.

Provincie Groningen, 1987. Grondwaterplan Groningen.

Rijks Geologische Dienst, 1975. Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland (met profielen en kaarten).

Rijks Geologische Dienst, 1979. Geologisch profiel Noardburgum- Spannenburg. Naar Ter Wee (rapport niet bekend)

Rijks Geologische Dienst, 1987. Toelichting bij de geologische kaarten van Nederland 1: 50.000. Blad Heerenveen West (11W) en blad Heerenveen Oost (11O).

Rijks Geologische Dienst, 1979. Geologisch profiel Noardburgum- Spannenburg. Naar Ter Wee (rapport niet bekend)

Rijks Geologische Dienst, 1987. Toelichting bij de geologische kaarten van Nederland 1: 50.000. Blad Heerenveen West (11W) en blad Heerenveen Oost (11O).

Royal Haskoning, 2004. Primair grondwatermeetnet Provincie Fryslân. Aanpassing meetnet en zoet-zout monitoring. Eindrapport 9M1658, 16 februari 2004.

Royal Haskoning, 2006. Temperatuuronderzoek grondwaterwinning Garyp. Royal Haskoning-rapport 9R8214.

Royal Haskoning, 2008. 3^e Fase bronnenonderzoek Friesland. Eindrapport fase 3A/B. Rapport 9S4540, 30 september 2008.

Schotsman, N., 1988. Onbemest grasland in Friesland. Hydrologie, Typologie en Toekomst. Provincie Friesland, Hoofdgroep Ruimtelijke Ordening

Schroor, M., 1993. De Wereld van het Friese Landschap. Wolters-Noordhoff Atlasproducties, Groningen.

Stichting voor Bodemkartering Wageningen (Stiboka), 1971. De bodem van Friesland. Toelichting bij blad 2 van de bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000, J. Cnossen

TNO,e.a., 2011. Atlas van Nederland in het Holoceen.

TNO, 2007. IR-database 'Wandelende Winning Friesland'. TNO, augustus 2007

TNO Geologische Dienst Nederland (GDN). DINO-loket, data en informatie van de Nederlandse ondergrond, actueel.

Vitens, 2011. Zicht op water. Langetermijnvisie win-infrastructuur 2010-2040. Uitgave 19-5-2011.

Vitens, 2016. Verziltingsfactsheets grondwaterwinningen Vitens, december 2016.

Wetterskip Fryslân, 2015. Ontwerp Watergebiedsplan Alde Feanen.

Zevenhoek, N. en R. Baas, 1982. Vlekkenplan Friesland, vergelijkend onderzoek. Stageverslag in kader van doctoraalstudie Geografische Hydrologie VU Amsterdam in opdracht van Waterleiding Friesland. Rapport geeft breed overzicht van onderzoekslocaties Vlekkenplan.