

Provincie Noord-Holland
Waterschap Hollands Kroon
Gemeente Texel
Hoogheemraadschap
Uitwaterende Sluizen

Groot Geohydrologisch
Onderzoek Texel



Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel



Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

| | | |
|--------------------|-------------------|--------------|
| registratie | projectcode | status |
| BURQA-1.027 | Burqa.1 | concept 0 |
| projectleider | projectdirecteur | datum |
| ir. Th.G.J. Wijten | drs. M.F. Grooten | 17 juli 2000 |

| | | |
|-------------|-------------------|------|
| afkeuring | naam | merk |
| gereguleerd | ir. T.H. van Veen | W |



| INHOUDSOPGAVE | blz. |
|--|-----------|
| SAMENVATTING | |
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. GEBIEDSBESCHRIJVING | 3 |
| 2.1. Inleiding | 3 |
| 2.2. Ontstaansgeschiedenis | 3 |
| 2.3. Maatveld | 4 |
| 2.4. Geologie | 4 |
| 2.5. Bodemtype en grondwaterstrappen | 8 |
| 2.6. Neerslag en verdamping | 9 |
| 2.7. Diepte van het zoet-zout grensvlak | 10 |
| 2.8. Waterhuishouding | 11 |
| 2.9. Grondwateronttrekking en infiltratie | 12 |
| 2.10. Geohydrologische schematisatie | 13 |
| 2.11. Regionale grondwaterstroming | 15 |
| 2.12. Landgebruik | 15 |
| 3. SYSTEEMANALYSE | 22 |
| 3.1. Hydrologische systeemanalyse | 22 |
| 3.1.1. Regionaal grondwaterstromingspatroon | 22 |
| 3.1.2. Maatgevende profielen | 23 |
| 3.1.3. Herkomstgebieden | 24 |
| 3.1.4. Water en chloridebalansen | 24 |
| 3.1.5. Stromingsrichting oppervlaktewater | 27 |
| 3.2. Ecohydrologische systeemanalyse | 27 |
| 4. KANSEN EN KNELPUNTEN | 32 |
| 4.1. Werkwijze op hoofdlijnen | 32 |
| 4.2. Standplaatsen | 33 |
| 4.3. Actuele grond- en oppervlaktewaterregime | 33 |
| 4.4. Optimale grond- en oppervlaktewaterregime | 34 |
| 4.4.1. Landbouw | 34 |
| 4.4.2. Natuur | 34 |
| 4.4.3. Stedelijk gebied | 34 |
| 4.4.4. Oppervlaktewaterkwaliteit | 34 |
| 4.5. Toetsingscriteria | 35 |
| 4.5.1. Landbouw | 35 |
| 4.5.2. Natuur | 36 |
| 4.5.3. Bebouwd gebied | 37 |
| 4.5.4. Oppervlaktewaterkwaliteit | 37 |
| 4.6. Knelpuntenkaarten | 38 |
| 5. GRONDWATERSTROMINGSMODEL | 39 |
| 5.1. Inleiding | 39 |
| 5.2. Keuze rekenmodel | 39 |
| 5.3. Modelgebied en netwerk | 40 |
| 5.4. Modelperiode | 41 |
| 5.5. Geohydrologische parameters | 42 |
| 5.6. Bovenrandvoorwaarden (topstysteem) | 43 |
| 5.7. Overige randvoorwaarden | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 5.8. Dichtheden en chloridegehalten | 46 |
| 5.9. Grondwateronttrekkingen | 46 |
| 5.10. Bergingscoëfficiënten | 47 |
| 6. OPPERVLAKTEWATERSTROMINGSMODEL | 48 |
| 6.1. Inleiding | 48 |
| 6.2. Keuze model | 48 |
| 6.3. Modelschematisatie | 48 |
| 6.4. Invoergegevens | 49 |
| 6.4.1. Pellen | 49 |
| 6.4.2. Wateraanvoer | 49 |
| 6.4.3. Kwel en wegzijging | 49 |
| 6.4.4. Uitgeslagen gemaal hoeveelheden | 49 |
| 6.4.5. Initiële zoutconcentraties | 50 |
| 7. CALIBRATIE | 51 |
| 7.1. Inleiding | 51 |
| 7.2. Gevoeligheidsanalyse | 51 |
| 7.2.1. Verandering drainageweerstand | 51 |
| 7.2.2. Verandering bodemweerstand hoofdwaterlopen | 51 |
| 7.2.3. Verandering hydraulische weerstand deklaag | 52 |
| 7.2.4. Verandering kh-waarde in de duinen | 52 |
| 7.2.5. Verandering keileemweerstand (Formatie van Drente) | 52 |
| 7.2.6. Verandering potkleiweerstand (Formatie van Peelg) | 52 |
| 7.3. Te calibreren periode en tijdstappen | 52 |
| 7.4. Calibratie van het stationaire model | 53 |
| 7.4.1. Calibratie op stijghoogten en grondwaterstanden | 53 |
| 7.4.2. Calibratie op gemaaldebieten | 56 |
| 7.4.3. Verificatie op chloridenconcentraties | 56 |
| 7.4.4. Verificatie op kwel- en zoute gebieden | 56 |
| 7.5. Calibratie van het niet-stationaire model | 57 |
| 7.5.1. Calibratie op gemeten tijd-stijghoogtelijnen | 57 |
| 7.5.2. Calibratie op uitgeslagen debieten | 58 |
| 7.5.3. Verificatie op chloridenconcentraties | 58 |
| 8. SCENARIO'S | 59 |
| 8.1. Inleiding | 59 |
| 8.2. Omschrijving scenario's | 59 |
| 8.3. Ontwikkeling scenario's in modeltermen | 60 |
| 9. HYDROLOGISCHE EFFECTEN SCENARIO'S | 63 |
| 9.1. Inleiding | 63 |
| 9.2. Hydrologische effecten scenario 1 | 64 |
| 9.2.1. Verandering grondwaterstand | 64 |
| 9.2.2. Verandering kwel en infiltratie | 64 |
| 9.2.3. Verandering gemaaldebieten | 64 |
| 9.2.4. Verandering zoutbelasting | 65 |
| 9.2.5. Verandering zoet-zout grensvlak | 65 |
| 9.3. Hydrologische effecten scenario 2 | 65 |
| 9.3.1. Verandering grondwaterstand | 65 |
| 9.3.2. Verandering kwel en infiltratie | 66 |
| 9.3.3. Gemaaldebieten en chloridebalansen | 66 |
| 9.4. Hydrologische effecten scenario 3 | 67 |
| 9.4.1. Verandering grondwaterstand | 67 |

| | |
|--|-----------|
| 9.4.2. Verandering kwel en infiltratie | 67 |
| 9.4.3. Gemaaldebieten en chloride balansen | 67 |
| 9.4.4. Verandering diurlijnen | 68 |
| 9.5. Hydrologische effecten scenario 4 | 68 |
| 9.5.1. Verandering grondwaterstand | 68 |
| 9.5.2. Verandering kwel en infiltratie | 68 |
| 9.5.3. Gemaaldebieten en chloridebalansen | 68 |
| 9.6. Hydrologische effecten scenario 5 | 69 |
| 9.6.1. Verandering grondwaterstand | 69 |
| 9.6.2. Verandering kwel en infiltratie | 70 |
| 9.6.3. Gemaaldebieten en chloridebalansen | 70 |
| 9.6.4. Diepte zoet-zout grensvlak | 71 |
| 9.7. Hydrologische effecten scenario 6 | 71 |
| 9.7.1. Verandering grondwaterstand | 71 |
| 9.7.2. Verandering kwel en infiltratie | 71 |
| 9.7.3. Gemaaldebieten en chloridebalansen. | 71 |
| 10. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 72 |
| REFERENTIES | 75 |
| | |
| laatste bladzijde | 76 |

| Bijlagen | aantal bladzijden |
|---|--------------------------|
| I Maasveldhoogtekaart | 1 |
| II Boorpuntenkaart en boordieptekaart met ligging profielen | 1 |
| III Geologische diktekaarten (Een aanwezig, andere PM) | 2 |
| IV Vereenvoudigde bodemkaart | 1 |
| V Bodemkaart en Grondwatertrappenkaart | 2 |
| VI Landgebruikskaart | 1 |
| VII Neerslag en verdamping | 4 |
| VIII Infiltratiegebieden met stroomlijnenpatroon | 3 |
| IX Peltenkaart met hoofdwaterlopen | 1 |
| X Onttrekkingen en infiltraties | 3 |
| XI Effluentengebieden RWZI's | 4 |
| XII Verspreidingskaarten indicerende soortgroepen | 3 |
| XIII Pelbuislocaties | 1 |
| XIV Afgeleide gegevens van de pelbuizen (PM) | 9 |
| XV Maatgevende doorsneden hydrologische systeemanalyse | 6 |
| XVI Stromingsrichting oppervlaktewater | 1 |
| XVII Subdoeltypen met gewenste grondwatertrappen | 1 |
| XVIII Kneelpuntenkaarten | 3 |
| XIX Bemalingseenheden | 1 |
| XX Modelschematisatie DUFLOW | 1 |
| XXI Oppervlaktewatermonsterpuntenkaart | 1 |
| XXII Gemeten chlorideconcentraties in het oppervlaktewater | 1 |
| XXIII Resultaten scenario 1 | 10 |
| XXIV Resultaten scenario 2 | 3 |
| XXV Resultaten scenario 3 | 3 |
| XXVI Resultaten scenario 4 | 3 |
| XXVII Resultaten scenario 5 | 3 |
| XXVIII Resultaten scenario 63 | 1 |
| XXIX Berekende en gemeten stijghoogten stationair model | 1 |
| XXX Pelbuizen gebruikt ten behoeve van de calibratie | 1 |
| XXXI Berekende en gemeten tijdstijghoogtelijnen instationair model | 17 |
| XXXII Berekende en gemeten gemaalgebieden en chloridenconcentraties | 3 |

SAMENVATTING

aanleiding

Het Eiland Texel kampt met structurele droogteschade in de landbouw en verdroging van de natuurgebieden. Tevens is er in de zomer een piek in het gebruik van drinkwater en daarmee ook in de lozing van rioolwater. De zoetwatervoorraad op Texel is te beperkt om deze problemen structureel op te lossen.

De Provincie Noord-Holland, het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen, het Waterschap Hollands Kroon en de gemeente Texel willen de problematiek gezamenlijk oppakken. Daarom hebben zij een intentieverklaring getekend voor het opstellen van het Masterplan Water voor Texel. Hiermee willen zij tevens inruiting geven aan integraal waterbeheer op Texel. In het Masterplan vindt een afstemming plaats van de wensen, de belangen en de projecten die momenteel spelen of gaan spelen op het gebied van water op Texel. Het Masterplan richt zich op de opstellen van een strategie voor het waterbeheer op Texel.

Om tot een optimaal gebruik en/of beheer te komen van het watersysteem is geohydrologisch onderzoek verricht. Middels een "Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel" is de benodigde kennis over het watersysteem en inzicht in het functioneren ervan verkregen. Er is onderzoek verricht naar de effecten van verschillende ingrepen in het watersysteem. In deze samenvatting worden de werkzaamheden en de resultaten van de studie in het kort weergegeven.

gebiedsbeschrijving

Kenmerkend voor de ontstaan-geschiedenis van Texel is de door de in de ijstijd gevormde kelleembult (nu de Hooge Berg). Deze kelleembult werd niet door de zee geërodeerd. In 1800 was Texel nog een tamelijk rond eiland met daarboven een kleiner eiland. Daartussenin lagen zandplaten met aan weerszijden geulen: De Slufter en de Roggesloot. Later zijn uit de zandplaten en kwelders polders ontstaan door menselijke invloeden. Texel kan daarom worden verdeeld in het oude (pleistocene) land en het nieuwe land (zeeland en zeekleipolders). Het pleistocene gebied bestaat uit een gestuwd gedeelte (De Hooge Berg) met daaraan grenzend een niet gestuwd glooiend dekzandgebied. Het nieuwe land wordt gevormd door marien beïnvloede gebieden. Langs de kust beschermen in de duinen aan de westzijde Texel tegen overstromingen.

Op Texel zijn zoetwaterbellen aanwezig onder de duinen en onder de kelleembult ten zuidoosten van Den Burg. De diepte van de zoetwaterbellen bedraagt circa 20 tot 60 meter. De rest van het grondwater op Texel is brak tot zout. Hierdoor is er sprake van grondwaterstroming die dichtheidsafhankelijk is.

Grofweg kan de diepe bodemopbouw onder Texel geschematiseerd worden tot één groot zandpakket waarin twee slecht doorlatende lagen voorkomen: De Formatie van Drente en de Formatie van Peelo. De Formatie van Drente bestaat uit kelleem c.q. grondmorene. In de omgeving van Den Burg dagzoomt deze formatie. Door deze ondiepe ligging is deze formatie met een maximale dikte van circa 30 meter van groot belang voor het grond- en oppervlaktewatersysteem op Texel. De Formatie van Peelo is een periglaciaire afzetting, waarvan de potklei het belangrijkste is. De potklei is vaak in diepe geulen afgezet, vooral onder Den Burg en onder het Marsdiep ten zuiden van Texel. Door de diepere ligging (minimaal NAP-40 m) is deze formatie minder van belang voor het ondiepe grond- en oppervlaktewatersysteem.

Het oppervlaktewater van Texel wordt via een fijnmazig stelsel van stuwen en wateren vertraagd afgevoerd naar het oostelijk lager gelegen deel. Het water verzamelt zich uiteindelijk in vier verschillende bemalingseenheden. Het water in de verschillende bemalingseenheden wordt door de gemalen op de waddenzee uitgeslagen. De vier bemalingseenheden zijn:

- Eijerland: polder Eijerland;
- Krassekeet: polder Waal en Burg en polder Het Noorden;
- Dijkemanshuizen en De Schans: Gemeenschappelijke Polders;
- Prins Hendrik: Prins Hendrik Polder.

Netto wordt er thans op de Hooge Berg geen water meer onttrokken. Vanaf 1989 is door het PWN een verbinding met de vaste wal tot stand gebracht. Daardoor was de winning vanuit de Hooge Berg niet langer noodzakelijk voor drinkwaterlevering op Texel. Momenteel vindt nog zowel infiltratie als onttrekking plaats van grondwater door de PWN ter plaatse van de Hooge Berg, echter de netto onttrekking is nul. Van 1956 tot 1991 is door PWN drinkwater gewonnen in de Mokslootvallei (in de duisen). In september 1991 is de drinkwaterwinning geheel gestopt vanwege bedrijfseconomische redenen.

Een groot deel van het areaal aan natuurgebied op Texel wordt ingenomen door het duingebied. Daarnaast komen enkele kleinere oppervlakken natuur voor. Een groot areaal natuurgebied is in beheer bij Staatsbosbeheer. Een aantal reservaten aan de oostkant van Texel zijn in beheer bij Natuurmonumenten. De belangrijkste natuurgebieden zijn:

- Duinen zuid (Mokslootvallei, Mokbaai, Horstmeertjes, De Dennen, etc.);
- Duinen noord (De Slufter, De Muy, Eijerlandse Duinen, Konverskol etc.);
- Oude kreek (Waal en Burg, Roggesloot, De Bol, De Hemmer, etc.).

Ecohydrologische systeemanalyse

Texel is op te delen in 4 hydrologische systemen:

1. het duinsysteem;
2. het kelleemsysteem (de Hooge Berg);
3. het marien beïnvloede zandgebied;
4. de zeezandgebieden (polders) en mariene kielgebieden.

Ad. 1: het duinsysteem

Het grondwatersysteem in de duinen van Texel wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van zoetwater. Het natuurlijke grondwaterstromingspatroon in de duisen kent een waterscheiding die centraal in de duinen ligt. Hierdoor vindt er een oostelijke en westelijke afstroming van zoet water plaats. Aan de randen van deze infiltratiegebieden treedt het geïnfiltreerde zoete regenwater uit. Dit grondwater wordt middels sloten of duinrellen afgevoerd. In het duinsysteem worden grofweg twee zoetwaterbellens aangetroffen, namelijk in het noorden (Eijerlandse duinen) en in het zuiden (Westerduinen).

Voor de vegetatie in het duingebied zijn met name de lokale hydrologische systemen van belang. Regenwater infiltraat in de duinen en kwelt in de duinvalleien op. Met name in de zone met jonge duinen wordt het regenwater tijdens de bodempassage aangerijk met basen, waardoor in de valleien bijzondere vegetaties worden aangetroffen. In de binnenduinstrand worden met name bossen aangetroffen die gevoed worden door zoet kwelwater uit de duinen. Uitzondering op het duingebied is de Slufter. Dit is een kweldergebied dat in open verbinding met de zee staat en waarin vegetaties van zilte milieu's domineren.

Ad. 2: het kelleemsysteem

Het grondwatersysteem in de kelleembult (De Hooge Berg) wordt eveneens gekenmerkt door het voorkomen van een zoetwaterbel. Het regenwater infiltraat ter plaatse van de Hooge Berg waarna een deel vervolgens radiaal afstroomt over de kelleem. Aan de randen van de kelleembult kwelt het zoete water op. Dit wordt ook duidelijk uit de vegetatiekaart "soorten van zoete tot zeer zoete sloten". Het landschap is herkenbaar aan het nagereeg ontbreken van ontwateringsloten. In plaats van sloten zijn in het verleden de typisch Texelse 'tuinwallen' als erfafscheiding en veeke-

ring aangelegd. Op deze tuinwallen worden kenmerkende soorten als Grasklokje, Geel walstro en Zandblauwtje gevonden. Naast deze tuinwallen worden in dit gebied 'canen' (greppels) gevonden.

Ad. 3: het marien beïnvloede zandgebied

Het marien beïnvloede zandgebied kenmerkt zich door een relatief dunne zoetwaterbel. Het gebied heeft een zuidwest-noordoostelijke ligging en volgt de lijn Oosterend- Den Burg en Den Burg-Westerduinen. Het natuurlijke afwateringspatroon kent ook hier een waterscheiding die in zuidwest-noordoostelijke richting ligt. Het zoete grondwater stroomt in noordelijke en zuidelijke richting af. Aan de randen van het gebied komen zowel polders, duingebied als zee voor. Dit houdt in dat juist in het mariene zandgebied gradienten tussen bodemtypen en tussen zoet en zout water zijn gelegen. Hierdoor kunnen kenmerkende "gradient" vegetaties ontstaan.

Ad. 4: de zeezandgebieden en het mariene kleigebied (polders)

De polders op Texel hebben bijna allemaal een polderpeil dat beneden NAP ligt. Hierdoor kwelt er in de polder zout grondwater op. De overgang van zoet naar zout grondwater is in de polders al op een diepte van enkele meters gelegen. Polder Waal en Burg en polder Het Noorden hebben het laagste oppervlaktewaterpeil. De zoute kwelintensiteiten zijn in deze polders het grootst. Door het lage peil in deze polders, stroomt een deel van het grondwater uit de aangrenzende gebieden naar deze polders af of infiltreert. In alle polders worden in sloten en sloottaluds regelmatig soorten van brakke en zilte omstandigheden aangetroffen. De hoogste aantallen worden gevonden in de polders die aan de Waddenzee grenzen.

Grond- en oppervlaktewatermodel

Voor de modellering van het grond- en oppervlaktewater bij Texel is een geïntegreerd niet-stationair model opgesteld, dat naast de waterbeweging ook de chloridengehalten kan berekenen. Het grondwatermodel (20x30 km²) is gemaakt met het programma MODFLOW-MT3D. Verschillen in stijghoogten als gevolg van concentratieverschillen zijn ingebracht met behulp van de density-package ontwikkeld door het KWA. Het oppervlaktewatersysteem is op hoofdlijnen gemodelleerd met DUFLOW. Tussen de verschillende onderdelen zijn koppelingen aangebracht.

Het MODFLOW-MT3D model is met behulp van de Universiteit van Utrecht omgezet naar een MODDENS3D model. Dit model houdt rekening met de verandering van de dichtheid en daaruit volgend de invloed op het stromingspatroon.

Het model is stationair en niet-stationair gecalibreerd op grondwaterstanden, stijghoogten, gemaaldebieten en chlorideconcentraties. Voorafgaand aan de calibratie heeft een gevoeligheidsanalyse plaatsgevonden waarbij de invloed van de drainageweerstand, de bodemweerstand, de weerstand van de deklaag, de keileem- en potkleiweerstand en de doorlatendheid in de duinen zijn onderzocht. Door de positieve en de negatieve verschillen tussen gemeten en berekende waarden ruimtelijk te bekijken, kan geconcludeerd worden dat er geen sprake is systematische fouten. De belangrijkste aanpassing tijdens de calibratie was aanpassing van het initiële dichtheidsveld (en de daarbij horende chlorideconcentraties). Hierbij zijn o.a. de gemeten chlorideconcentraties gebruikt die door Bujs Hydro-ecologisch Onderzoek & Advies in een aanvullend onderzoek in maart 2000 zijn bepaald. Dit onderzoek bestond uit het plaatsen en analyseren van 20 peilbuizen met verschillende filters tot een maximale diepte van 10 m-mv.

De hoogste grondwaterstanden worden berekend op de Hooge Berg (ca. NAP+5) en in de zuidelijke duinen (ca. NAP+4). De laagste grondwaterstanden worden berekend in de laag gelegen polders Het Noorden en Prins Hendrik (ca. NAP-1,5 & NAP-2 m).

Uit de berekende kwel- en infiltratiekaart is duidelijk af te leiden dat de duinen en de Hooge Berg tot de infiltratiegebieden behoren. Ook in de polders zijn op de hoger gelegen delen (bewoningskernen) enkele infiltratiegebiedjes te onderscheiden (De Waal, Oosterend, Den Hoorn).

De meeste kwel doet zich voor in de Prins Hendrik polder (2 mm/dag). De Slufter en de Mokstoot zijn ook als kwelgebied te onderscheiden. Het moerasgebied rond de Molenkil en de Westerkolk in polder Waal en Burg is duidelijk als kwelgebied te herkennen. In het gebied ten zuiden en oosten van de Hooge Berg treedt duidelijk meer kwel op dan in de rest van de gemeenschappelijke polders.

Met het model zijn ook de zoetwaterballen berekend ter plaatse van de Westerdunnen (tot ca. NAP-50 m), de Hooge Berg (tot ca. NAP-60 m), de Eijerlandse Duinen (tot ca. NAP-20 m à -30 m). In de driehoek De Waal, Oosterend en Oudeschild worden dunnen zoetwaterlensen berekend met een dikte van enkele meters.

Water- en chloridebalans

Binnen de waterbalans worden in- en uitlaattermen onderscheiden en een bergingverandering. De inlaatterm bestaat uit neerslag (N), kwel (K), en toevoer van RWZI-effluent (T). De uitlaatterm bestaat uit verdamping (V), infiltratie (I) en afvoer door het gemaal (A). In tabel 1 is de waterbalans weergegeven van een gemiddelde situatie.

Tabel 1. Waterbalans van de gemiddelde situatie (in 1000 m³/maand)

| Ajr. 92 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+S |
|------------------|---------|-----|-----|------|--------|-----|------|-----|-----|
| | N+T | K | T | Tot | A | I | Tot | | |
| Prins Hendrik | 206 | 223 | 1,8 | 431 | 264 | 14 | 268 | 62 | |
| Gemeensch. P. | 1094 | 528 | 19 | 1641 | 1269 | 369 | 1528 | 112 | |
| Kraaikeel | 582 | 289 | 89 | 1080 | 888 | 89 | 977 | 62 | |
| Polder Eijerland | 962 | 237 | 9 | 1208 | 1113 | 45 | 1158 | 49 | |

De balans wordt voornamelijk bepaald door neerslag, verdamping en afvoer door het gemaal. Voor de Prins Hendrik Polder vormt de kwel ook een belangrijke relatieve bijdrage. In droge zomers seemt de gemaalafvoer af tot nul. Dan wordt de balans bepaald door verdamping en kwel. In natte perioden speelt de kwelpost geen belangrijke rol. In tabel 2 is de chloridebalans weergegeven van een gemiddelde situatie. Hieruit blijkt dat de kwel de belangrijkste post is voor wat betreft de aanvoer van chloride.

Tabel 2. Chloridebalans van de gemiddeld situatie (in ton Cl/maand)

| Ajr. 92 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R |
|------------------|---------|------|-----|------|--------|--|------|---|---|
| | N | K | T | Tot | A | | Tot | | |
| Prins Hendrik | 18 | 2393 | 0,5 | 2412 | 2412 | | 2412 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 118 | 2888 | 6 | 3112 | 3112 | | 3112 | 0 | |
| Kraaikeel | 74 | 2052 | 18 | 2146 | 2146 | | 2146 | 0 | |
| Polder Eijerland | 97 | 2143 | 2 | 2242 | 2242 | | 2242 | 0 | |

Ontwikkelen scenario's

Voorafgaand aan het ontwikkelen van de scenario's zijn de huidige knelpunten in de waterhuishouding op Texel met betrekking tot de landbouw en natuur in beeld gebracht. Daarom is in het kader van deze studie op basis van de Watershieldmethodiek een knelpuntenkaart gemaakt voor de grondwaterkwantiteit en de oppervlaktewaterkwaliteit (chloride). Knelpunten op deze kaarten hebben bijgedragen om in overleg met de projectgroep de scenario's vast te stellen. Uiteindelijk zijn de volgende scenario's gedefinieerd:

1. Zeespiegelrijzing-scenario;

Er is uitgegaan van een relatieve zeespiegelstijging van 75 cm in de komende 100 jaar. Dit is een absolute zeespiegelstijging van 50 cm in combinatie met een bodemdaling van 25 cm;

2. Waterconservering-scenario:

In alle polders wordt het zomer- en winterpeil met 20 cm wordt verhoogd, behalve in de polder Waal en Burg.

3. Natuurontwikkeling-scenario:

In enkele kleine natuurgebiedjes die in de polders zijn gelegen worden de oppervlaktewaterpeilen lokaal fors verhoogd. Tevens wordt het naaldbos in het natuurgebied De Dennen omgezet in loofbos (verloofing).

4. Waterketen-scenario:

Ten behoeve van de conservering van regenwater wordt in enkele bebouwde gebieden het hemelwater dat afkomstig is van de verhardingen voor 50% afgekoppeld en ter plekke geïnfilteerd. Tevens wordt 50% van het effluentdebiet van de RWZ's geïnfilteerd. Tenslotte wordt verondersteld dat door PWN opslag van water plaatsvindt onder de Hooge Berg met een volume van 0,4 miljoen m³ per jaar.

5. Klimatologische-scenario:

Er wordt uitgegaan van een forse toename van de hoeveelheid neerslag in de winter (factor 2) en een lichte afname van de neerslag in de zomer (factor 0,8).

Effecten scenario's

Met behulp van het model zijn de verschillende scenario's doorgerekend en de geohydrologische effecten bepaald. De geohydrologische effecten betreffen:

- de verandering van de grondwaterstand;
- de verandering van kwel/infiltratie;
- de verandering van het zoutzoet grensvlak;
- de verandering van de berekende uitvaldebieten (voor alle gemalen);

scenario 1

Met scenario 1 is het effect van een zeespiegelrijzing van 0,75 m over 100 jaar berekend. Om het effect van dit scenario te kunnen vaststellen is ook de autonome (gemiddelde) situatie over 100 jaar berekend.

- in de autonome situatie over 100 jaar (het jaar 2100 AD) nemen de chloride gehalten (en dus de verzilting) met name in de Prins Hendrik Polder en Polder Eijerland fors toe. De belangrijkste oorzaak hiervan is de kunstmatige (diepe) ontwatering van de polders onder zeeniveau en de daardoor blijvende aanvoer van zoute kwel. Ook de dikte van de zoetwaterbel onder de Hooge Berg neemt met ca. 10 m af tot ca. NAP-50 m. In de duinen neemt de dikte van zoetwaterbel af met ca. 10 m tot ca. NAP-40 m;
- in de situatie over 100 jaar met zeespiegelrijzing (het jaar 2100 AD) nemen de stijghoogtes toe, waarbij de toename aan de randen van het eiland (dichter bij de zee) het grootst is. Op een diepte tussen NAP-1,5 m tot NAP-3 m is de verhoging van de stijghoogtes het grootst in de duinen. In de polders is de verandering gering, omdat in deze gebieden het peil wordt gereguleerd door het ontwateringssysteem. Door toename van de stijghoogten neemt de kwel met ca. 25% tot 43% toe. Hiermee neemt ook uiteraard de zoutbelasting in de polders fors toe (42% tot 103%). Door toename van de kwel neemt ook het gemaaldebiet toe met 25% tot 43%. In polder Eijerland is de toename van de kwel en het gemaaldebiet het grootst. Als gevolg van de zeespiegelrijzing wordt de kegel aan de onderzijde van de zoetwaterbel ter plaatse van de Hooge Berg smaller. De maximale diepten van de zoetwaterballen veranderen (nog) niet, vanwege de trage reactie van het systeem.
- een situatie over 500 jaar met zeespiegelrijzing (het jaar 2500 AD) is doorgerekend om het effect op de zoetwaterballen duidelijk inzichtelijk te maken. Hieruit blijkt dat de diepte van de zoetwaterbel onder de Hooge Berg afneemt tot ca. NAP-10 m. De diepte van de zoetwaterbel onder de Westarduinen verandert niet, wel wordt deze smaller. De diepte van de zoetwaterbel onder de Eijerlandse Duinen neemt af tot ca. NAP-10 m.

scenario 2

Met dit waterconserverings-scenario is het effect berekend van het opzetten van de polderpeilen met 20 cm, behalve polder Waal en Burg. Deze maatregel blijkt de kwel (fors) te reduceren en in polder Eijerland en de Prins Hendrikpolder vindt omslag van kwel naar infiltratie plaats. De verandering van het gemaaldebiet is gering vanwege de neerslag-afhankelijkheid van systeem. In de polders stijgt de grondwaterstand met ca. 20 cm. Door afname van de kwel neemt de zoutbelasting van de polders fors af.

scenario 3

Met dit natuurontwikkelingsscenario is het effect berekend van een aantal lokale ingrepen in de polderpeilen ten behoeve van natuurontwikkeling. Als gevolg hiervan nemen in die gebieden waar de peilen verhoogd zijn de grondwaterstanden toe. In de Bol is de verhoging het grootst (meer dan 2 m). Door de verloofing van De Dennen stijgt de grondwaterstand met maximaal 0,1 m. Hierdoor neemt de infiltratie ter plaatse van De Dennen toe. In de polders Waal en Burg en het noorden neemt door dit scenario de kwel met ca. 14% af. Als gevolg hiervan neemt de zoutbelasting ook af.

Scenario 4

Met dit waterketen-scenario is het effect berekend van het afkoppelen en weer infiltreren van het effluentdebiet en de neerslag op verhardingen. De effecten op de grondwaterstanden zijn echter zeer lokaal van aard en vrijwel niet merkbaar in het gemaaldebiet. Dit scenario heeft het meeste effect in polder Eijerland. De kwel neemt in een natte periode met ca. 7% af.

scenario 5

Met dit klimatologische-scenario veranderde de neerslag in de winter ($\times 2$) en in de zomer ($\times 0,8$). De verdubbeling van de neerslag in de winter heeft in de duinen extra berging tot gevolg, waardoor ook in de zomer hogere grondwaterstanden worden berekend (na-tij-effect). De gemaaldebieten nemen in alle polders vanwege de extra aanvoer in de winter fors toe (50% tot 86%). Door de hogere grondwaterstand in de winter slaat in polder Eijerland en de Prins Hendrikpolder de kwel om in infiltratie. Daarentegen blijkt in de drogere zomers de kwel in de polders behoorlijk toe te nemen en daardoor ook de zoutvacht (20% tot 40%). In drogere zomers is vanwege de verdamping in de watergangen het effect op het gemaaldebieten echter nihil.

Aanbeveling

Stijghoogtewaarnemingen zonder bijbehorende chloridengehalte van het grondwater zijn in een gebied als Texel niet bruikbaar. Alle gemeten stijghoogten dienen namelijk gecorrigeerd te worden voor het gemeten chloridengehalte teneinde zoetwaterstijghoogtes te verkrijgen. Alleen zoetwaterstijghoogten kunnen met elkaar worden vergeleken. Daarom wordt ten eerste aanbevolen om in alle peilbuizen waarin de stijghoogte waargenomen wordt ook de chloridegehalten in eerste instantie 2x per jaar waar te nemen (in de zomer en de winter).

1. INLEIDING

kader

De Provincie Noord-Holland, het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen, het Waterschap Hollands Kroon en de gemeente Texel willen invulling geven aan integraal waterbeheer op Texel. In het kader hiervan is een intentieverklaring getekend voor het opstellen van het Masterplan Water voor Texel.

In het Masterplan vindt een afstemming plaats van de wensen, de belangen en de projecten die momenteel spelen of gaan spelen op het gebied van water op Texel. Het Masterplan richt zich op de opstellen van een strategie voor het waterbeheer op Texel.

Middels een "Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel" dient hiervoor de benodigde kennis over het watersysteem en inzicht in het functioneren ervan worden verkregen. Een systeem-analyse en een grondwaterstromingsmodel zijn daarbij belangrijke hulpmiddelen voor het zoeken naar win-win situaties en om wenselijkheden te vertalen naar haalbaarheden met de daarbij behorende beheermaatregelen. De systeem-analyse en het grondwaterstromingsmodel zijn producten om toekomstige projecten van een basisinstrument te voorzien.

opdracht

Het "Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel" hebben de provincie Noord-Holland, het Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen, het Waterschap Hollands Kroon en de gemeente Texel uitbesteed aan Witteveen+Bos. Met de brief op 25 oktober 1999 hebben de provincie Noord-Holland e.a. (uw opdrachtnummer 999043) opdracht gegeven voor het onderzoek conform de offerte van 8 juli 1999 met als kenmerk Burg4.0P/45/481.

doelstelling

De hoofddoelstelling van het "Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel" is als volgt geformuleerd:

Het verkrijgen van inzicht in het watersysteem van Texel door het verrichten van een studie aangaande de (geohydrologische opbouw van de ondergrond, het grondwatersysteem en de relaties tussen kwantiteit en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater.

Werkwijze

De situatie in Texel wordt gekenmerkt door een grote heterogeniteit en diversiteit in bodemtypen, watertypen en landschapsvormen gecombineerd met een grote samenhang tussen de verschillende gebieden. Verder is de aanwezigheid van zoet, brak en zout water belang. Om goed onderbouwde uitspraken te kunnen doen over de effecten van bijvoorbeeld zeespiegelrijzing op de strategische zoetwatervoorraad heeft Witteveen+Bos gebruikt gemaakt van de meest geavanceerde grondwatermodel op het terrein van zoet-zoutmodellering: MOC-DENS3D.

Dit model houdt ook rekening met de veranderingen in de chloride concentraties en de verandering van de dichtheid en daardoor de invloed op het stromingspatroon. In de persoon van de heer Oude Essink (Universiteit van Utrecht) is extra expertise in het onderdeel modellering zoet-zout en dichtheidstroming ingebracht.

Het grondwatermodel is gekoppeld aan het oppervlaktewatermodel DUFLOW, waarmee de interactie tussen grond- en oppervlaktewater tot stand is gebracht. Voordat een grond- en oppervlaktewatermodel kon worden vervaardigd heeft een inventarisatie en kartering van de bestaande informatie plaatsgevonden. Bij deze inventarisatie is de aandacht uitgegaan naar

o.a. geologie / geomorfologie, geohydrologie, het functioneren van het oppervlaktewaterstelsel, vegetatie en waterkwaliteit.

In aansluiting hierop is door Bujs Hydro-ecologisch Onderzoek & Advies een aanvullend onderzoek verricht (zie bijlage ##) om de leemten in kennis zo veel mogelijk op te heffen. Dit onderzoek bestond uit het plaatsen van 20 peilbuizen met verschillende filters tot ca. 10 m. Het grondwater in deze filters is bemonstreed en geanalyseerd op o.a. chloride.

Voor het maken van een grondwatermodel/oppervlaktewatermodel is een goede systeemkennis onontbeerlijk. Daarom zijn zowel een hydrologische als een ecohydrologische systeemanalyse uitgevoerd. De opgedane kennis is gebruikt bij het vervaardigen van het model-instrumentarium. Het functioneren van het stationaire en het niet-stationaire model is getoetst en verbeterd tijdens de calibratie waarbij modelberekende en gemeten stijghoogten, chloridenconcentraties en gemaaldebieten zijn vergeleken.

Voorafgaand het doorrekenen van de scenario's is een knelpuntenkaart vervaardigd volgens de WATERNOOD-systematiek waarin de actuele en gewenste (optimale) situatie in beeld is gebracht. De zes scenario's zijn tot stand gekomen in overleg met de projectgroep. De scenario's betreffen een broeikasscenario (zeespiegelrijzing), een waterconserveringsscenario, een natuurontwikkelingsscenario, een waterketenscenario een klimatologisch scenario (dropere zomers, nattere winters) en een gecombineerde scenario. De resultaten van de scenario-berekeningen geven een indruk van de gevolgen van de ingrepen in het waterhuishoudkundig systeem of veranderingen van de natuurlijke situatie. Van elk scenario zijn de effecten op de grondwaterstand, de kwel, het gemaaldebiet en de ligging op het zoutzoutgrensvlak (300 mg Cl/l) in beeld gebracht.

leeswijzer

Het voorliggende concept-eindrapport start in hoofdstuk 2 met een gebiedsbeschrijving. Daarna wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de (eco)hydrologisch systeemanalyse van Texel. Aansluitend wordt in hoofdstuk 4 de knelpuntenkaart toegelicht. In hoofdstuk 5 en 6 wordt respectievelijk de bouw van het grondwaterstromings- en oppervlaktestromingsmodel besproken. Het resultaat van de calibratie en gevoeligheidsanalyse is in hoofdstuk 7 weergegeven. De scenario's zijn beschreven in hoofdstuk 8. De hydrologische effecten van de scenario's zijn gepresenteerd in hoofdstuk 9. Tenslotte wordt het rapport afgesloten met hoofdstuk 10 waar de conclusies en aanbevelingen zijn verwoord.

Totstandkoming onderzoek

Het onderzoek is in fasen tot stand gekomen. Iedere fase is afgerond met een notitie, deeltakten en/of kaarten. Deze notities, deeltakten en kaarten zijn besproken in vergaderingen met de projectgroep. In de projectgroep waren de Provincie Noord-Holland, het Hoogheemraadschap van Uithoerendrecht Sluizen, het Waterschap Hollands Kroon en de gemeente Texel vertegenwoordigd. Met het verschijnen van dit rapport vervallen alle eerder verschenen notities, deeltakten en kaarten. Deze zijn verwerkt in het voorliggende rapport. De tijdens de projectgroepvergaderingen gemaakte opmerkingen zijn zoveel mogelijk in het rapport verwerkt.

2. GEBIEDSBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk wordt de gebiedsbeschrijving gepresenteerd. Het hoofdstuk is geschreven vanuit het karakter van de studie: het verkrijgen van inzicht in het regionale systeem van Texel waarmee een basis wordt verkregen voor het maken van een regionaal grondwatersstromingsmodel.

2.1. Inleiding

Texel maakt onderdeel uit van de waddeneilanden. Aan de oostzijde van Texel ligt de Waddenzee en aan de westzijde de Noordzee. Texel wordt van Den Helder gescheiden door het Marsdiep. Texel wordt o.a. gekenmerkt door duinen, relatief laag gelegen polders en de kellembult de 'Hooge Berg'.

In de navolgende tekst wordt kort ingegaan op de ontstaansgeschiedenis van Texel. Daarna worden de geologie, bodemtypen, geohydrologie, grond- en oppervlaktewatersystemen en de natuur beschreven.

2.2. Ontstaansgeschiedenis

De waddeneilanden zijn ontstaan uit een langgerekte strandwal van België tot Denemarken die door een krachtige overheersende westenwind was ontstaan. Dezelfde elementen die deze langgerekte strandwal hadden gevormd, tatten deze ook aan. Met name in de dertiende eeuw (een periode waarin een forse zeespiegelrijzing optrad) sloegen bij storm flinke gaten in de beschermde duinenrij. Toen vervolgens ook nog het achterliggende veengebied wegspoelde, ontstond het landschap zoals we nu kennen: een reeks afzonderlijke eilanden met daarachter een ondiepe zee die bij eb grotendeels droogvalt.

In 1600 was Texel een tamelijk rond eiland met daarboven een kleiner eiland met één boerderij: het Nederlandse huis. Daartussenin lagen zandplaten met aan weerszijden geulen: De Slufter en de Roggesloot. Het ronde eiland kon mede ontstaan door de in de ijstijd gevormde kellembult, de Hooge Berg genoemd. De omliggende kwelders heette vroeger "het oude land".

Een kaart van zo'n dertig jaar later laat een opmerkelijke verandering zien: de twee eilanden zijn door de aanleg van een stuifdijk (de huidige Zanddijk) met elkaar verbonden. Het zou nog enige tijd duren voordat het tussen de twee eilanden gelegen Eijerland z'n huidige vorm kreeg. Want terwijl op het oorspronkelijke Texel in de loop van de tijd het kweldergebied werd bedijkt, kon men pas in 1835 spreken van polder Eijerland.

Aan de zeezijde van de aangelegde Zanddijk had zich een zandvlakte gevormd. Om het achterland en de nieuwe Eijerlandse polder beter tegen de zee te beschermen is een tweede stuifdijk aangelegd. Na een zware storm in 1858 brak deze op drie plaatsen door en bleven er drie inhammen achter:

- De Mui;
- De Kleine Slufter;
- De Grote Slufter.

De Muivlakte werd na verloop van tijd van de zee afgesloten en kon zich ontwikkelen tot het huidige natuurgebied. Het afdammen van de beide Slufters lukte niet helemaal. De Grote Slufter kon worden afgesloten maar de Kleine Slufter hield zichzelf open. Na een laatste poging in 1925 hield men het voor gezien en bleef de Kleine Slufter open.

In de periode 1955/1960 vindt op Texel op grote schaal ruilverkaveling plaats. Het land werd opnieuw ingedeeld en de ontwatering werd verbeterd.

zoetwatervoorraad

De ontstaansgeschiedenis van het eiland heeft grote invloed op het huidige grondwatersysteem. Texel is, net als de overige waddeneilanden, onder invloed van wind en water gevormd. Dit dynamische karakter van met name het duin- en kustgebied heeft grote invloed op de ontwikkeling van de zoetwatervoorraad. De ontwikkeling van zoetwaterbellen ter plaatse van de duinen kan het steeds veranderende voedingsgebied niet bijhouden. De huidige zoetwaterverbreiding is dan ook (nog) niet in evenwicht. De dynamiek van Texel blijkt uit de historische kaart uit ongeveer 1600. (Afbeelding 2.1.) Het aparte eiland Eierland bevond zich ten noorden van de huidige kustlijn van Texel. Onder dit eiland ontwikkelde zich een zoetwaterbel. Het eiland (Eierland) wordt gescheiden van het toenmalige Texel door het Anegat (4), dat in de loop van de 16^e eeuw gaat verlanden. Later zijn grote delen van Texel door inpoldering van kweiders aangewonnen. In deze polders wordt hierdoor al op geringe diepte brak / zout water aangetroffen, een zoetwaterbel heeft zich hier niet kunnen ontwikkelen. In de 18^e eeuw groeit het zuidwesten van het eiland geleidelijk aan, terwijl aan de noordkust verlies van strand en land optreedt. Uiteindelijk resulteert dit in de huidige vorm, die door middel van kustverdedigingswerken in met name het zuidwesten en de noordelijke punt van het eiland zoveel als mogelijk in stand wordt gehouden en daarmee de dynamiek heeft verloren.

Naast deze wisselende natuurlijke omstandigheden, hebben ingrepen op het systeem door de mens invloed op het grondwatersysteem. In paragraaf 2.7 en in hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op de zoet-zoutverdeling.

Bewoning

Uit opgravingen op de kelleembult de Hooge Berg blijkt dat reeds tienduizenden jaren geleden primitieve nederzettingen zijn gebouwd. Texel was toen aangesloten op het vaste land. Tussen het begin van de jaartelling en ongeveer de 6^{de} eeuw was Texel onbewoond. In de 17^{de} eeuw was Texel een belangrijke in- en uitvalspoort voor marine- en koopvaartschepen. Texel leverde onder andere drinkwater voor deze schepen, dat werd getapt uit de voet van de Hooge Berg.

2.3. Maalveld

Het maalveld varieert tussen circa NAP-1 m in polder Waal en Burg tot circa NAP+25 m in de Westerduinen. De Hooge Berg valt duidelijk op het landschap door een hoogte van circa NAP+15 m. In bijlage I is de hoogtekaart van het maalveld opgenomen.

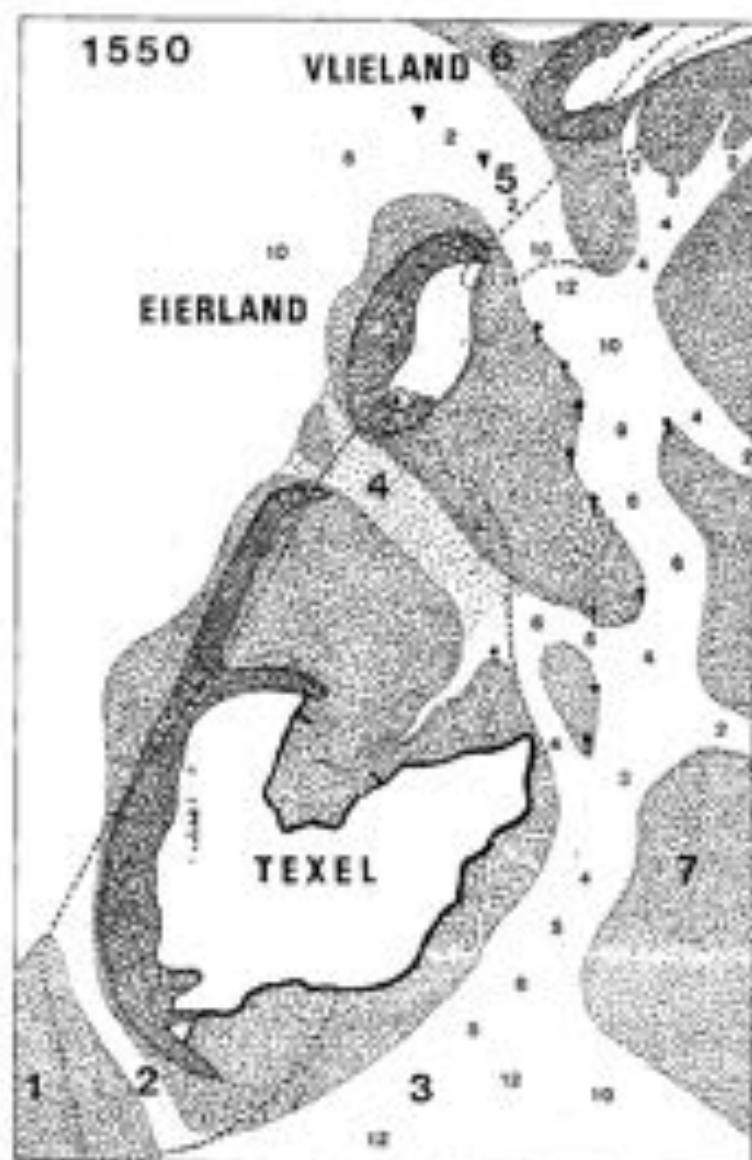
2.4. Geologie

De ondergrond op Texel wordt gekenmerkt door kwartaire en tertiaire afzettingen van grote dikte. In de onderstaande tekst wordt de ontstaansgeschiedenis van de geologische formaties nader toelicht (Bron: Berendsen, 1996; toelichting op de grondwaterkaart, 1987 en REGIS). Hierbij wordt de geologie in chronologische volgorde beschreven. In bijlage II is de boorpuntenkaart en de boordieptekaart opgenomen.

geologie

In het Laat-Pliocoon zijn in Noord-Nederland mariene sedimenten van de Formatie van Oosterhout afgezet. Daaroverheen zijn, door het terugtrekken van de zee, in het begin van het Pleistocoon mariene sedimenten afgezet die behoren tot de Formatie van Maassluis. Als gevolg van verdere zeespiegel- en bodemdaling werden tijdens het Pretiglien en Tiglien vervolgens dikke pakketten fluviatiele sedimenten behorend tot de Formatie van Harderwijk en Enschede afgezet. Deze sedimenten waren afkomstig van de delta's van de zogenaamde Baltische oerstrom. In het zuiden van Texel zijn zowel de Formatie van Harderwijk en Enschede bij boringen gevonden, in het noorden is in ondiepe boringen alleen de Formatie van Enschede aangetoond. Na de vorming van de Formatie van Enschede zijn geen sedimenten meer door deze Baltische oerstrom afgezet.

Afbeelding 2.1.



Reconstructie zeegeten
rondom Texel en Eierland
omstreeks 1550 op basis
van een anonieme Spaanse
zeekaart, ed. G. Schilder,
1991, fig.9.

1. Noorderhaaks,
2. verlopend Landsdiep
van Texel,
3. Marsdiep/ Texelstroom,
4. verzand Aregat,
5. Vlieland Diep,
6. Rif,
7. De Pan

Grijs gestippeld:
banker en aanslibbingen
Streepjes lijn :
huidige kustlijn
In het Vlieland Gat zijn
tonnen (driehoekjes) en
korfbakens (verlengde
puntjes) ingetekend.
De diepten zijn in vademen.

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen **Bos**

Vanaf die tijd worden fluviale sedimenten van de Rijn afgezet (Formatie van Urk/Sterksel). Deze sedimenten kunnen in Noord-Nederland zowel zandig als kleilig zijn.

De vorming van deze formaties eindigt in het vroege Saalien als gevolg van het landijs dat tot Midden-Nederland reikte. Tijdens de koude periode van het Elsterien heeft voornamelijk erosie plaatsgevonden.

Gedurende het Elsterien zijn onder het landijs diepe geulen (ca. 100 tot 300 meter) gevormd, waarschijnlijk door smeltwaterstromen onder het landijs. Deze geulen zijn langgerekt en smal van vorm. De lengte bedraagt tientallen tot honderden kilometers en de breedte enkele kilometers. Gedurende het Elsterien zijn deze geulen opgevuld met fijnskorrelige zanden en bruinzwarte klei (in een smeltwatermeer gevormd). De beddingen van de geulen zelf bestaan uit lemig-zandige afzettingen. De afzettingen die horen bij de koude Elsterien periode behoren tot de Formatie van Peelo en zijn in 4 van de 6 diepe boringen op Texel aangetroffen. Tijdens het Elsterien heeft ook verstuving van oudere formaties plaatsgevonden. Dit eolische materiaal wordt tot de Formatie van Eindhoven gerekend en is tevens aangetroffen op Texel.

De periode tussen het Elsterien en het Saalien is een interglaciaal geweest, het Holsteinien. In het noorden zijn in deze periode in de laagten uit het Elsterien mariene sedimenten afgezet. In het Holsteinien stroomt de Rijn ter hoogte van Friesland in de zee. Gedurende deze periode kunnen dan ook afzettingen van de Formatie van Urk (Rijn afzettingen) gevonden worden naast de mariene afzettingen.

Tijdens het Saalien is als gevolg van de uitbreiding van landijs kelleem gevormd. Kelleem ontstaat uit materiaal onder het ijs en het uitsmelten van puin, dat in het landijs aanwezig is. Kelleem is als gevolg van het gewicht van het landijs samengedrukt en daardoor over het algemeen slecht doorlatend. De stuwwallen op Texel bestaan uit kelleem dat door het landijs opgestuwd is. De dikte van kelleem varieert a.g.v. deze stuwing sterk, van nul meter in de polder Eijerland tot maximaal 32 meter ter hoogte van de kelleembult. De afzettingen die direct te maken hebben met de landijsbedekking worden gerekend tot de Formatie van Drente. Gedurende het Saalien vinden tevens eolische afzettingen plaats. Deze worden gerekend tot de Formatie van Eindhoven.

In het volgende interglaciaal zijn de afzettingen van de Rijn en Maas ten zuiden van Texel (ongeveer ter hoogte van het IJsselmeer) gevormd. Gedurende het Eemien zijn mariene sedimenten behorend tot de Eemformatie afgezet. De Eemformatie wordt aangetroffen in het oosten van Texel. In het Weichselien zijn eolische afzettingen van de Formatie van Twente gevormd die ontstaan zijn onder periglaciale omstandigheden. Gedurende het Holocoon vindt een toename van de invloed van de zee plaats. Aan de westkust vindt de vorming van strandwallen en duinen plaats. Tevens ontstaan in het zuiden van Texel kwelders. Veenvorming vindt in de lagere delen plaats met name achter de duinen. Deze Holocene afzettingen worden tot de Westland Formatie gerekend.

Ter hoogte van de polder Eijerland en de Prins Hendrik polder dagzomen plaatselijk de klei-afzettingen van Duinkerken en vormen daar een deklaag. Deze deklaag is in de polder Eijerland maximaal 6 meter dik. In de duinen is deze kleilaag als een scheidende laag ingeschaald door de duinzanden die ten noorden van De Koog liggen. Ten zuiden van de Koog wordt deze kleilaag niet of nauwelijks aangetroffen.

Stratigrafie en lithologie van de geologische Formaties

Er zijn op en nabij Texel slechts 17 diepe boringen (> NAP-50 m) bekend. Voor de hydrologische modelstudie is met name het voorkomen van weerstands biedende lagen zoals de kelleem van de Formatie van Drente en de potklei van de Formatie van Peelo van belang.

De potklei komt voor in diepe geulsystemen. De Peelo-geulen doorsnijden Urk (I)-afzettingen en de Formatie van Enschede. Aan de zuidrand van het eiland en het Marsdiep doorsnijdt de Peelo-geul de Formatie van Harderwijk, Urk I, II en deels de Formatie van Enschede.

De verbreiding en dikte van de verschillende formaties is voornamelijk ontleend uit REGIS. Deze REGIS-bestanden zijn recent herzien en aangepast. Van alle formaties zijn gidslagen gemaakt en deze zijn in een ruimtelijk kaartbeeld weergegeven. Voor de modellering is gebruik gemaakt van deze informatie. Op 6 januari 2000 heeft een overleg met Geo Kartering West plaatsgevonden over de geologie van Texel. Zij gaven aan dat op basis van de bestaande informatie de formaties zo goed mogelijk zijn gekarteerd en geïnterpoleerd in de REGIS-bestanden. Door de diepe ligging van de Formatie van Peelo, het voorkomen in geulen en het geringe aantal diepe boringen is deze formatie moeilijk te karteren. Geo Kartering West geeft desondanks aan dat de Formatie van Peelo:

- in principe overal op Texel aanwezig is, tenzij een boring het tegendeel toont;
- in het zuiden dikker is dan in REGIS is aangegeven (is in het model verwerkt).

In onderstaande is de stratigrafie en lithologie van de geologische formaties beschreven zoals deze in REGIS zijn gekarteerd en geïnterpoleerd. In bijlage III zijn de geologische diktekaarten van de formaties van Peelo en Drente weergegeven.

Formatie van Oosterhout

De formatie bestaat uit mariene klei. De top van de formatie is gelegen op ca. NAP-400 m tot NAP-540 m. Over de dikte is weinig bekend.

Formatie van Maassluis

Deze mariene afzetting bestaat overwegend uit slibhoudende fijne schelphoudende zanden, met ingeschaalde kleilagen en -lenzen. De totale dikte van de Formatie van Maassluis bedraagt ongeveer 125 tot 250 meter. De bovenkant van deze Formatie ligt op ca. NAP-250 m in het zuidwesten tot ca. NAP-300 meter in het noordoosten. Voor de hydrologische modelstudie kan deze formatie als ondoorlatende basis worden geschematiseerd.

Formatie van Harderwijk

Deze fluviatile afzettingen van de noordduitse rivieren bestaan voornamelijk uit grijswitte, grove, kalkrijke zanden met zeer fijn grind. Dit grind heeft een hoog gehalte aan (doorrechijnende) restkwarts. De top van de Formatie van Harderwijk ligt op een diepte van ca. NAP-125 m tot ca. NAP-130 m.

Formatie van Enschede

Net als de Formatie van Harderwijk bestaat deze formatie uit fluviatile grofkorrelige afzettingen van de oostelijke, noordduitse rivieren. De top van de Formatie van Enschede ligt op ca. NAP-65 m tot NAP-90 m. Volgens Zagwijn & Van Staalduinen (1978) heeft de Formatie van Enschede alleen een verbreiding in het zuiden tot aan Den Burg. Echter door Geo-Kartering West wordt de verbreiding verder noordwaarts getrokken, zelfs tot voorbij Ameland. In boring 06DR0153 wordt een 3 à 4 meter dikke kleilens aangetroffen. Volgens Geo-Kartering West gaat het hier om een discontinuë, lokale verbreiding van een leem- en/of kleilens.

Formatie van (Sterkeel) en Urk I

De Formaties van Sterkeel en Urk worden vaak vanwege dezelfde lithologische samenstelling als één formatie beschreven. Deze formaties zijn voornamelijk opgebouwd uit grofzandige en grindhoudende afzettingen met een zuidelijke herkomst (Rijn). De Formatie van Urk komt globaal voor tussen NAP-30 m en NAP-60 m. In de Formatie van Urk (I) komt soms een fijnkorrelige fluviatile afzetting voor, ook wel de Cromer-klei genoemd.

In REGIS wordt deze laag apart gekarteerd, zodat een weerstandbiedende laag in de Formatie van Urk onderscheiden kan worden. Het gemiddelde diepteniveau van Cromer-klei varieert van ongeveer NAP-31 m tot NAP-84 m. De dikte van deze kleilaag is maximaal 10 meter.

Formatie van Peelo

De fijnkorrelige periglaciële afzettingen behorende tot de Formatie van Peelo hebben een zeer gevarieerde lithologische samenstelling en zijn van groot belang bij de hydrologische modelstudie. De belangrijkste afzetting is de potklei: een zeer compacte klei die vaak in diepe geulen afgezet is. Vooral onder Den Burg en aan de zuidrand van Texel (en het Marsdiep) zijn deze geulsystemen zeer diep. Ook in het noordelijk deel van Texel wordt deze weerstandbiedende laag aangetroffen. Tevens worden er in deze formatie ook warvenkleien en minder fijnkorrelige sedimenten aangetroffen. De diepte van de top van deze gidslaag varieert van ca. NAP-40 m tot ca. NAP-82 m. De dikte kan oplopen tot meer dan 31 meter.

Formatie van Urk II

Deze fluviale formatie is opgebouwd uit grofkorrelige afzettingen, afgewisseld met enkele kleilagen. Aan de top van de Formatie van Urk II komen ook fijnkorrelige fluviale afzettingen voor, ook wel Holstein-klei genoemd. Op enkele locaties worden fijnkorrelige afzettingen van de Formatie van Eindhoven, direct aangrenzend op de Urk-afzettingen, bij de gidslaag Ur15k gerekend (zie verder bij Formatie van Eindhoven). De diepteligging van de top van deze formatie varieert van ongeveer NAP 0 m tot ca. NAP-49 m. In het algemeen ligt de top op ca. NAP-20 m à NAP-30 m. De dikte varieert lokaal en is maximaal 17 m.

Formatie van Eindhoven

Lokale fijnzandige en siltige afzettingen behorende tot de Formatie van Eindhoven zijn bij gidslaag Ur15k (Formatie van Urk II) ingedeeld. Door de lokale aard van de afzettingen zijn deze in REGIS niet als een aparte gidslaag opgenomen. Aangezien de fijnkorrelige afzettingen van deze formatie vrijwel op hetzelfde diepte-niveau liggen als de top van de fijnkorrelige afzettingen van de Formatie van Urk, worden beide samengenomen. De diepteligging van de top van deze fijne afzettingen is in het algemeen ca. NAP-20 m à NAP -25 m. De dikte varieert lokaal van 1 tot 5 m.

Formatie van Drente

De Formatie van Drente bestaat uit kelleem c.q. grondmorene. De textuur van deze kelleem is te omschrijven als slechtgesorteerd zandige klei met grindjes. Meestal is het aanwezige zand en grind scherp van vorm. In de omgeving van Den Burg ("De Hooge Berg") dagzoomt deze formatie of ligt deze formatie net onder het maaiveld (+NAP). Deze formatie is ook van bijzonder groot belang bij de hydrologische modelstudie. Door stuwing via het landijs zijn de onderliggende Formaties van Eindhoven en (Sterksel en Urk) verstoord. Nabij Den Burg, "De Hooge Berg", ligt de top van de Formatie van Drente op ca. NAP+10 m; elders varieert de top van NAP+10 m tot NAP-46 m. De dikte varieert lokaal en kan oplopen tot maximaal 32 m.

Volgens de afdeling Geo-Kartering West is het oorspronkelijke voorkomen van kelleem, in het zuidoosten van het karteringsgebied, niet aangetast door het latere bouwen van de Afsluitdijk. Er is voor het vervaardigen van de Afsluitdijk kelleem-materiaal van elders aangevoerd.

Naast kelleem is ook grof tot zeer grof fluvio-glaciaal sediment afgezet. Het merendeel is echter getrodeerd. Enkele resten zijn nabij Den Burg nog aangetroffen.

Eemformatie

De Eemformatie is opgebouwd uit mariene grofzandige, schelphoudende afzettingen en wordt met name in het zuidelijk deel van Texel aangetroffen.

In de door het landijs gevormde depressies kon fijn materiaal tot afzetting komen (voornamelijk mariene klei). Door latere erosie is veel van deze formatie weer oppervlucht (bijvoorbeeld bij de zeegaten ten noorden en zuiden van Texel). De diepteligging van de top van de Eemformatie varieert van NAP-2,5 tot NAP-42 m. De dikte varieert lokaal en is maximaal 13 m.

Formatie van Twente

De Formatie van Twente wordt gevormd door periglaciaire afzettingen bestaande uit fijn zand, (beek)leem, veen en klei. De diepteligging van de top van de Formatie van Twente ligt tussen NAP+12 en NAP-30 m. Nabij De Hooge Berg dalgroeft deze formatie lokaal op NAP-niveau (hoge topografische ligging op het keileem). De dikte varieert en is maximaal 8 meter.

Westland Formatie

In de Westland Formatie worden mariene klei- en veenlagen onderscheiden. In deze Holocene formatie worden 5 weerstandbiedende lagen onderscheiden. Deze weerstandbiedende lagen hebben allen een lokale verbreiding en hun dikte varieert van enkele centimeters tot enkele meters. Van onder naar boven (ofwel van oud naar jong) worden de volgende klei-veenlagen binnen de Westland Formatie aangetroffen:

- Basisveen → diepteligging top ligt tussen NAP-2 m en NAP-28 m; de dikte is maximaal 3,5 m;
- Calais I -klei, ook wel Hydrobia- of Velsen-klei genoemd → diepteligging top ligt tussen NAP+1 m en NAP-23 m; de dikte is maximaal 9 m;
- fijnkorrelige Calais-afzettingen → diepteligging top ligt tussen NAP+1 m en NAP-14 m; de dikte bedraagt maximaal 4 m;
- Hollandveen, inclusief duinveen → diepteligging top ligt globaal genomen ongeveer op NAP-niveau; kan lokaal variëren van NAP+3 m tot NAP-9 m; de dikte is maximaal 7 m;
- Duinkerke-kleien → diepteligging top ligt globaal genomen ongeveer op NAP-niveau; kan lokaal variëren van NAP+6 m tot NAP -9 m; de dikte is maximaal 7 m.

2.5. Bodemtype en grondwatertrappen

Op Texel zijn in hoofdlijnen zes bodemkundige eenheden te onderscheiden. De bodemopbouw is afgeleid uit de Bodemkaart van Nederland, blad Texel. In bijlage IV is de vereenvoudigde bodemkaart weergegeven en in bijlage V de gedetailleerde bodemkaart. De grondwatertrappenkaart is eveneens in bijlage V weergegeven.

1. het oude land (pleistocene gebied)

Het oude land wordt gevormd door een heuvelachtig pleistocene gebied en een lager zee-kleigebied. Het pleistocene gebied bestaat uit een gestuwd gedeelte (NAP+5 tot +15 m) met daaraan grenzend een niet gestuwd, glijdend dekzandgebied (NAP+2 tot +5 m). Het hoogste deel van de stuwwal wordt gevormd door de Hooge Berg. Een kleine pleistocene opduiking die tot NAP+5 m komt, ligt onder Den Hoorn. Het pleistocene deel bestaat uit sterk lemige dekzanden en uit keileem. De heersende grondwatertrap is over het algemeen V en VI.

2. het oude land (marien zandgebied)

Het marien beïnvloede zandgebied bestaat uit een brede strook vlakke tot golvende zandgronden. Ze liggen rondom het pleistocene gebied. Het marien zandgebied is wat versnipperd en is gevormd voor de periode met bedijking. Delen van het dekzandareaal zijn vele malen overstroomd en bedekt met dunne pakketten fijn zeezand. De heersende grondwatertrap is over het algemeen IV en V.

3. het oude land (marien zeekleigebied)

Door erosie in het dekzandgebied ontstonden geulen met zavel of klei. In enkele diep ingesneden geulen worden naast en door elkaar slappe klei, moerlig materiaal en grof zand aangetroffen. De zeekleigronden bestaan overwegend uit kalkloze, zware knipklei, die soms overgaat in veen, maar meestal in dekzand. Op sommige plaatsen zijn de knipkleigronden bedekt met een dunne laag zavel of lichte klei. De heersende grondwatertrap is over het algemeen III.

4. de bedijkte zeezandgebieden (oud zeezandgebied)

De oude zeezandgebieden met oude zeezandpolders met bedijkingen van voor 1400 vindt men direct achter de duinen. Het gebied bestaat overwegend uit kalkloze tot kalkhoudende zeezandgronden. In een deel komt meestal niet gerijpte zavel in de ondergrond voor. In de polders Burgemeuwland en Waal en Burg bestaan de gronden uit kalkloos zeezand op (meestal) niet gerijpte zavel. De heersende grondwatertrap is over het algemeen III, IV en V.

5. de bedijkte zeezandgebieden (jong zeezandgebied)

Tot de jonge zeezandpolders worden gerekend de polders Eijerland, De Eendracht, Prins Hendrik polder en Het Noorden. Afgezien van enkele stuifduinen en resten van vroegere geulen zijn dit vlakke gebieden. De heersende grondwatertrap is over het algemeen III.

Polder Eijerland en de polder De Eendragt bestaan vrijwel geheel uit kalkhoudend, kleiarm tot iets kleilig, matig fijn zeezand. Langs de duinen komt een diepe strook kalkloos duinzand voor. Er komen dichtgeslibde grote krekens en in het noordelijk deel resten van kleine geulen en priefen voor.

In polder Het Noorden bestaat de bodem uit zeezand en komen in het zuiden zavel- en kleigronden van gevarieerde samenstelling voor. Het zijn ten dele kalkloze zavelgronden op dekzand. Voor een ander deel zijn het kalkrijke zavel- en lichte kleigronden van de hoog opgeslibde voormalige kwelders. Het noordoostelijk deel bestaat uit kalkrijke, meestal niet geheel gerijpte zavel, waarop een dunne laag zeezand ligt.

Ook in de Prins Hendrik polder komen smalle stroken kalkrijke zavelgronden langs de dijk voor. Het grootste deel bestaat uit kalkrijke, zeer fijne en matig fijne zandgronden met een lutumhoudende bovengrond. In de ondergrond komt vrij veel en meestal niet geheel gerijpte zavel voor.

6. het duingebied

Op grond van geologie, bodemgebruik en reliëf kan een ouder en een jonger duingebied worden onderscheiden. Het oudere duingebied beslaat een ½ tot 1½ km brede overwegend beboste strook van De Koog tot ten westen van Den Burg. De duingebieden hellen af naar het oosten en gaan geleidelijk over in kalkloze zeezandgronden.

Langs de kust ligt een smalle strook kalkhoudende jonge duinen. Het jongere duingebied en strandvlakte (o.a. De Sluffer en De Schorren) zijn in verhouding met de oudere duinen zeer reliëfrijk en kalkrijk. De wat oudere duinen landinwaarts zijn opgebouwd uit kalkloos, matig fijn zand. De heersende grondwatertrap is over het algemeen VI en VII.

2.6. Neerslag en verdamping

Texel wordt gekenmerkt door een gematigd zeeklimaat. De neerslag wordt dagelijks gemeten op 4 meteorostations: Den Burg, Cocksdoorp, De Koog (alle op Texel) en de Kooy (Den Helder). In bijlage VII worden de neerslaggegevens van deze stations grafisch gepresenteerd voor de periode januari 1994 t/m oktober 1999 (decadegemiddelden). Hieruit kan geconcludeerd worden dat er nauwelijks verschil is tussen de verschillende meetstations.

Uit deze grafieken blijkt tevens dat het najaar van de jaren 1994, 1996 en 1998 nat zijn geweest. In tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de jaarlijkse gemiddelde neerslag per meetstation.

De potentiële verdamping is ruimtelijk en naar tijd minder variabel dan de neerslag. De verdamping is gemeten op het meetstation De Kooy. In bijlage VII is voor de periode 1994-1999 de referentiegrasverdamming van Makkink weergegeven. De gemiddelde jaarlijkse referentie grasverdamming volgens Makkink bedraagt 590 mm.

Tabel 2.1. Gemiddelde jaarlijkse neerslag per meetstation

| | Den Burg (mm/j) | Cockadorp (mm/j) | De Koog (mm/j) | De Kooy (mm/j) |
|-----------|-----------------|------------------|----------------|----------------|
| 1994 | 834 | 883 | 920 | 902 |
| 1995 | 712 | 768 | 757 | 726 |
| 1996 | 264 | 372 | 330 | 369 |
| 1997 | 626 | 658 | 661 | 611 |
| 1998 | 962 | 1041 | 986 | 1005 |
| 1999 | 647 | 704 | 676 | 594 |
| Gemiddeld | 743 | 796 | 776 | 753 |

2.7. Diepte van het zoet-zout grensvlak

De ligging van het zoet-zout grensvlak is gebaseerd op de grondwaterkaart uit 1987 die actueel is gemaakt met recente metingen van chloride gehalten in het grondwater. Het grensvlak is gedefinieerd als de isolijn van het chloride gehalte van 300 mg/l. Uit deze kaart blijkt dat zoetwaterbellen aanwezig zijn onder de duinen en onder de kalleembult ten zuidoosten van Den Burg. Het freatische vlak heeft een maximale gemiddelde niveau van circa NAP+3,5 m, de diepte van de zoetwaterbel bedraagt 20 tot 60 meter.

Met behulp van een theoretische formule (Badon Ghijben en Herzberg), waarbij de ondergrond is geïdealiseerd tot 1 wervoerende pakket kan de diepte van de zoetwaterbel worden berekend. De berekening gaat er vanuit dat een vaste verhouding bestaat tussen het niveau van het freatische vlak en diepte van de zoetwaterbel. Dit geldt indien isostatisch evenwicht en een scherp grensvlak wordt verondersteld. De diepte van het grensvlak is afhankelijk van het relatieve dichtheidsverschil tussen het zoete en het zoute water volgens de relatie

$$H = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot h, \text{ waarbij}$$

- H = diepte zoetwaterbel onder gemiddeld zeeniveau (m);
 ρ_s = dichtheid zout water (kg/m³);
 ρ_f = dichtheid van zoetwater (kg/m³);
 h = hoogte van het freatisch vlak boven gemiddeld zeeniveau (m).

Zeewater ter hoogte van Texel heeft een dichtheid van 1025 kg/m³. De verhouding tussen de diepte van het freatische vlak en de diepte van de zoet-zout grens bedraagt dan 49. De diepte van het zoet-zout grensvlak wordt daarmee op ca. NAP-140 m berekend. De verhouding van het freatisch grondwaterniveau en diepte van de zoet-zout grensvlak in zowel het duingebied De Koog en Den Hoorn wijkt hiervan af. Het is minder diep dan theoretisch wordt berekend.

Intermezzo Diepte zoetwaterbel

Oorzaak voor de ondiepere zoet-zout grens is enerzijds de bodemopbouw en anderzijds de lagere stijghoogten in de onderliggende wervoerende pakketten. De slechtdoorlatende laag van de Formatie van Drente en de Holocene veenkleilagen verhinderen dat de zoetwaterbel gedeeltelijk dieper door kan dringen in de ondergrond.

Het feit dat de zoetwaterbel in De Koog dikker is dan bij Den Hoorn wordt veroorzaakt door de grotere weerstand van de weerstandbiedende lagen bij Den Hoorn. De stijghoogte in het watervoerende pakket onder het fretatisch pakket is lager dan die in het fretatisch pakket (naar verwachting ca. NAP+0,5 m à NAP+1,5 m).

In het uiterste noorden van Texel ligt een zoetwaterbel van circa 75 meter diepte. Vermoedelijk hangt de horizontale vorm van deze zoetwaterbel samen met de sterke kustafslag die sinds de vorige eeuw heeft plaatsgevonden (Verwey, 1979). Deze zoetwaterbel is waarschijnlijk niet in evenwicht (verzetting). De zoetwaterbel zal zich herstellen naar een minder breed duingebied en afnemen in diepte. Langs de duinen komt plaatselijk inversie voor. Hier wordt zoutwater boven zoetwater aangetroffen. Dit is veroorzaakt door overstromingen met zout zeewater voor de bedijking in het verleden, in combinatie met een kwelstroming van zoetwater uit de duinen.

In de polders wordt op geringe diepte zout water aangetroffen als gevolg van kwel. Oorzaak van de kwelstroming is de lage ligging (beneden NAP) en de daarmee samenhangende sterke ontwatering. De kwelflux van het zoute water is afhankelijk van het potentiaalverschil en de weerstand van de deklaag. Deze weerstand varieert sterk in Texel. Kwel van zoutwater wordt ook gemeten in het oppervlaktewater. De hoogste chloridenconcentraties worden ten westen van de Waddendijk gemeten.

2.8. Waterhuishouding

Het oppervlaktewater van Texel wordt via een fijnmazig stelsel van stuwen en waberen vertraagd afgevoerd naar het oostelijk lager gelegen deel. Het water verzamelt zich uiteindelijk in vier verschillende bemalingseenheden. In bijlage XVI is de stroomrichting van de hoofdwaterlopen aangegeven. In bijlage XIX zijn naast de hoofdwaterlopen, tevens de vier verschillende bemalingseenheden en de locaties van de gemalen en rioolwaterzuiveringen weergegeven. Het water in de verschillende bemalingseenheden wordt door de gemalen op de waddenzee uitgeslagen.

Op basis van de peilvakkenkaart in bijlage IX kunnen de verschillende peilvakken in Texel worden onderscheiden. In de peilvakken wordt een vast zomer- en winterpeil door middel van peilregulerende kunstwerken ingesteld. De peilbesluiten van Texel behandelen alleen het primaire watersysteem. De gemalen zijn volledig geautomatiseerd. De aansturing van kunstwerken vindt plaats op basis van in- en uitschakel niveaus op basis van zeewaterstanden.

Lozing effluent van rwzi's op watersysteem

Het effluent van de vijf rwzi's op Texel wordt geloosd op het oppervlaktewater. In tabel 2.2 is de hoeveelheid afvalwater weergegeven die maandelijks per deelgebied door de verschillende RWZI's op het oppervlaktewater wordt geloosd. De hoeveelheden volgen uit data aangeleverd door Hoogheemraadschap Uitwaterende sluzen, m.u.v. die voor 't Horntje, welke overgenomen is uit het Waterbeheersplan Hollands Kroon (1997-2000).

Tabel 2.2. Gemiddelde maandelijks hoeveelheid effluent (1992-1995)

| RWZI | Lozing RWZI Maandgem. 92-95 (m ³ /mnd) | Gemaal |
|---------------|--|-----------------------------|
| Cocksdorp | 14.711 | Eijerland |
| Oosterland | 9.948 | Krassaakert |
| Everstaakooog | 117.507 | Krassaakert |
| Oudeaschild | 12.457 | Dijkmanshulzen en De Schans |
| 't Horntje | 1.833 | Prins Hendrik-Polder |

Gemalen

Het water verlaat het systeem aan de oostkant van Texel. Het water wordt met behulp van gemalen op de waddenzee uitgeslagen. In tabel 2.3. is de maximale capaciteit en maand-gemiddelde hoeveelheid uitgeslagen water over de jaren 1992-1995 weergegeven. De data zijn aangeleverd door het Waterschap Hollands Kroon. De gemaaldebieten zijn berekend aan de hand van het aantal draaiuren. In bijlage XXXII zijn de "gemeten" gemaaldebieten voor alle afwateringseenheden grafisch weergegeven voor de modelperiode 1992-1995.

Tabel 2.3. Maximale gemaalcapaciteit en gemiddelde hoeveelheid uitgeslagen water per maand voor de modelperiode 1992-1995

| Gemaal | Polders | Max. capaciteit (m ³ /min) | Totaal uitgemalen Maandgem. 92-95 (m ³ /maand) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|---|
| Eijerland | Eijerland | 2 x 130 | 666.960 |
| Kraaikeet | Wiaaf en Burg en Het Noorden | 2 x 160 | 1.079.840 |
| Dijkmanshuizen en De Schans | Gemeenschappelijke polders | 4 x 120 | 1.578.120 |
| Prins Hendrik-Polder | Prins Hendrik Polder | 1x45 en 1x18 | 544.937 |

Waterkwaliteit

De kwaliteit van het water op Texel wordt op verschillende locaties gemeten. De waterkwaliteitsgegevens volgen uit het waterbeheersplan Hollands Kroon (1997-2000). In bijlage XXII zijn de chloridenconcentraties op diverse monsterpunten te Texel weergegeven.

In het beheersgebied is van west naar oost sprake van een duidelijke zoet-zout gradiënt in het oppervlaktewater. In het oostelijk deel van het gebied worden de hoogste chloridenconcentraties gemeten. Dit wordt veroorzaakt door een sterke zoute kwel uit de Waddenzee (17.000 mg Cl/l). Alleen in de duinstreek en ter plaatse van de Hooge Berg is het water zoet (zie paragraaf 2.7).

De chloridenconcentratie van het effluent (afvalwater) dat geloosd wordt door de verschillende RWZI's is afgeleid uit meetgegevens aangeleverd door Hoogheemraadschap Uitwaterende sluisen. De meetgegevens zijn gemiddeld over de periode 1989-1995. In tabel 2.4 zijn de chloridenconcentraties weergegeven die door de RWZI's op het oppervlaktewater worden geloosd.

Tabel 2.4. Chloridenconcentraties van afvalwater geloosd door RWZI's te Texel

| RWZI | Chloridenconcentratie (mg/l) |
|---------------|------------------------------|
| Cocksdorp | 153 |
| Oostereind | 228 |
| Evensteekooog | 188 |
| Oudeschild | 790 voor 1992 en 380 na 1992 |
| 1 Hornje | 251 |

2.9. Grondwateronttrekking en infiltratie

grondwateronttrekking/infiltratie Hooge Berg

Vanaf 1977 vindt zowel infiltratie als onttrekking plaats van grondwater door de PWN ter plaatse van de Hooge Berg. Het geïnfiltreerde (gedemineraliseerd) water werd geproduceerd uit zeewater met behulp van restwarmte van de elektriciteitscentrale nabij Oudeschild. De filter van de onttrekkings- en infiltratiebron bevindt zich in het tweede watervoe-rende pakket, onder de kalleem op een diepte van circa 20 tot 25 m onder NAP. Het water wordt in de winter geïnfiltriseerd en in de zomer deels weer opgepompt. In geval van calamiteiten zal de drinkwaterbehoefte gedekt worden door de grondwatervoorraad onder de

Hooge Berg. Netto wordt er thans op de Hooge Berg geen water meer onttrokken. In 1989 werd door het PWN een zinkerverbinding met de vaste wal tot stand gebracht. Daardoor is winning vanuit de Hooge Berg niet langer noodzakelijk voor drinkwaterlevering op Texel. Verder is bekend dat de zuivelfabriek De Eendracht grondwater onttrekt ter hoogte van de Hooge Berg sinds 1930 op een diepte van 24 meter beneden maaiveld. Sinds 1962 is een toenemend chloridegehalte van het opgepompte grondwater waargenomen.

winning in de Moksloot.

In 1956 is de onttrekking gestart in de Mokslootvallei (in de duinen) door het Provinciale waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN). In het begin is alleen grondwater onttrokken in het freatisch pakket (boven de kelleem). Vanaf 1972 is ook grondwater onttrokken uit het eerste watervoerende pakket. Dit water is vervolgens toegevoegd aan het grondwater en ten behoeve van drinkwatervoorziening gebruikt. Van 1956 tot 1971 nam de onttrokken hoeveelheid water toe van 250.000 tot 755.000 m³. In de zomermaanden (toerisme) wordt relatief meer gewonnen dan in de wintermaanden. Vanaf 1972 werd de hoeveelheid gewonnen water teruggebracht tot 500.000 m³ door de ingebruikname van de waterfabriek in Oudeschild. In september 1991 is de drinkwaterwinning geheel gestopt vanwege bedrijfseconomische redenen. In 1992 en 1993 is tijdelijk nog onttrokken op verzoek van het Staatsbosbeheer, omdat bij de uitvoering van inrichtingsmaatregelen in de valleien wateroverlast voorkwam. Er zijn maandgegevens van deze put van de periode 1975 tot 1996. Voor 1975 zijn alleen jaarlijkse gegevens bekend.

overige grondwaterwinnings

Van grondwaterwinnings elders in Texel is nu weinig bekend. In de jaren 1993, 1994 hebben twee andere onttrekkingen plaatsgevonden met een totaal volume van ca. 50.000 m³. Verder is bekend dat ten behoeve van beregening water onttrokken wordt voor golfterrein De Texelse nabij vakantiecentrum De Krim.

2.10. Geohydrologische schematisatie

De geohydrologische schematisatie van de ondergrond van Texel is in tabel 2.5 weergegeven. De geohydrologische schematisatie bestaat tot aan de basis (Formatie van Oosterhout) uit één of twee watervoerende pakketten, afhankelijk van de plaats, die alleen door de Westland Formatie, de Formatie van Drente (kelleem) en de Formatie van Peelo (potklei) gescheiden zijn. De andere slecht doorlatende lagen (laagjes) zijn slechts zeer plaatselijk van invloed.

Eerste watervoerende pakket

Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door de zanden boven het kelleem. Het pakket bestaat uit pleistocene eolische zanden van de Formatie van Twente en de holocene oude en jonge duinen van de Westland Formatie. Lokaal worden deze formaties gescheiden door de eerste scheidende laag, waardoor ter plaatse sprake is van het eerste watervoerende pakket 1A en 1B. Het eerste watervoerende pakket is alleen in de kuststrook aanwezig. De dikte van dit pakket in het duingebied van De Koog tot Den Hoorn bedraagt circa 15 à 20 meter. De kD-waarde varieert van ca. 5 tot ca. 20 m³/dag. De kD-waarde in de duinen ten zuiden van de Koog wordt op ca. 120 m³/dag geschat. Voor de Mokslootvallei worden kD-waarden van 60 m³/dag (oostelijk van de Moksloot) tot ca. 120 m³/dag (westelijk van de Moksloot) geschat.

Tabel 2.5. Geohydrologische schematisatie

| Schematisatie | Formatie |
|--------------------------------|---|
| Watervoerende pakket 1A | Duinzanden Westland Formatie |
| 1 ^e scheidende laag | Holocene lagunaire afzettingen |
| Watervoerende pakket 1B | Oude holocene zanden, Formatie van Twente |
| 2 ^e scheidende laag | Kelleem (Drente Form.) en klei van de Form. van Eindhoven |
| Watervoerende pakket 2A | Zanden van Formatie van Eindhoven en Urk II |
| 3 ^e scheidende laag | Potklei van de Formatie van Peelo en klei van Urk |
| Watervoerende pakket 2B | Zanden van de Form. Van Urk I, Sterksel, Enschede en Harderwijk |
| Geohydrologische basis | Formatie van Maasvluis en Oosterhout |

Eerste scheidende laag, deklaag

De eerste scheidende laag bestaat uit holocene lagunaire afzettingen. De laag vormt in de duinen lokaal de scheiding tussen het watervoerende pakket 1A en 1B. Buiten het duingebied vormt deze laag over het algemeen, maar niet per definitie de deklaag. De afzettingen zijn op het hele eiland aanwezig met uitzondering van het zuidelijk duingebied en de hoger gelegen delen van de oude kern van Texel. De weerstand van de laag neemt naar het zuiden toe af. De c-waarde bedraagt naar verwachting enige duizenden dagen.

De tweede scheidende laag

De tweede scheidende laag wordt gevormd door de kelleem (Formatie van Drente) en vormt de scheiding tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket (ofwel, indien aanwezig tussen 1B en 2A). De samenstelling van de kelleem is heterogeen en de dikte varieert ruimtelijk sterk zodat de doorlatendheid geen eenduidig waarde heeft. Op plaatsen waar de kelleem is gestuwd neemt de weerstand van het totale pakket, als gevolg van scheuren en erosie af. Op basis van pompproeven houdt de PWN een c-waarde van 9.000-13.000 dagen aan voor al het kelleem op de Hooge Berg.

Tweede watervoerende pakket

Het tweede watervoerende pakket ligt onder de kelleem van de Formatie van Drente en wordt gevormd door de zanden van de Formaties van Eindhoven, Urk, Sterksel, Enschede, en Harderwijk. Het tweede watervoerende pakket wordt grotendeels gescheiden in watervoerende pakket 2A en 2B, door de derde scheidende laag (potklei). De kD-waarde varieert van ca. 200 m²/dag tot 1.500 m²/dag.

De derde scheidende laag

De derde scheidende laag wordt gevormd door de potklei (Formatie van Peelo) en scheidt het tweede watervoerende pakket in watervoerende pakket 2A en 2B. De lithologische samenstelling van de potklei is zeer gevarieerd, en de dikte varieert sterk door het voorkomen in diepe geulen. De potklei is veelal een compacte klei, die dikwijls zandhoudend is. De weerstand wordt hierdoor lager ingeschat dan de kelleem.

De geohydrologische parameters zijn in tabel 2.6. opgenomen.

Tabel 2.6. Geohydrologische parameters uit de literatuur

| Formatie | Kh (m/dag) | Kv (m/dag) | kD (m ² /dag) |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|
| Duinzanden | < 10 | | 5-140 |
| Formatie van Texel | 5 | | |
| Formatie van Eem | 10-15 | | |
| Formatie van Eindhoven | 5-10 | | |
| Formatie van Urk II | 15-25 | 0,05-5 | 200 |
| Formatie van Urk I | 25-60 | 0,05-5 | 400-1.500 |
| Formatie van Enschede | 25-60 | (0,2-0,5)Kh | |
| Formatie van Hardenwijk | 25-60 | (0,2-0,5)Kh | |
| | | | C (lagen) |
| Westland Formatie | 0,01- 0,1 | | 1.500-4.000 |
| Formatie van Drenthe | 0,001-0,05 | (0,1-0,3)*Kv | 7.000-13.000 |
| Formatie van Peelo | 0,001-0,01 | (0,1-0,3)Kh | 2.000-20.000 |
| Formatie van Enschede/Urk | | (0,1-1)Kh | |
| Formatie van Enschede/Peelo | | (0,1-1)Kh | |

2.11. Regionale grondwaterstroming

Globaal is Texel op te delen in 4 hydrologische subsystemen: de duinen, de Hooge Berg en de polders (zeekleigebied en marien zandgebied). In de duinen stroomt het grondwater gedeeltelijk in westelijke richting om uiteindelijk in de Noordzee te stromen en gedeeltelijk in oostelijke richting om via het oppervlaktewater stelsel (en/of drains) m.b.v. gemalen in de Waddenzee te worden uitgeslagen.

Het grondwater onder de Hooge Berg heeft eveneens een vrij peil en stroomt radiaal af richting de polders. In de polders wordt het grondwaterpeil gereguleerd door middel van een stelsel van kleine ontwaterings-slootjes en hoofdwaterlopen. In de polders kunnen kleine grondwatersysteemjes op lokale schaal voorkomen (water infiltreert in landbouwperceel en kwelt op in nabijgelegen sloot).

2.12. Landgebruik

In bijlage VI is de landgebruikskaart opgenomen. Deze kaart is gebaseerd op satellietbeelden uit 1995. Op de kaart zijn de volgende hoofdgroepen te onderscheiden:

- weiland en akkerbouw;
- duinen (met en zonder vegetatie);
- natte natuur;
- loof- en naaldbos;
- open water;
- stedelijk gebied.

Cultuurgrond

Op Texel is in totaal ca. 8.500 ha als cultuurgrond in gebruik. Hiervan wordt ca. 3.500 ha in gebruik genomen door akkerbouwgewassen, ca. 4.325 ha door grasland en ca. 675 ha door tuinbouw (ref. CBS, Landbouwtelling 1995/1996).

Akkerbouw (onder andere aardappelen, bieten, bollen, granen, mais) vindt voornamelijk in de polders plaats. Bollen en mais worden ook tegen de binnenduinrand aan geteelt. Buiten de polders en duinen is de grond vooral als grasland in gebruik. Het grootste deel van de agrarische graslanden is van het soortenarme, bemeste raaigras type (bijlage XII, graslandtypen).

Het stedelijk gebied van Texel bestaat uit de kernen van Den Burg, Den Hoorn, Oudeschild, Oosterend, De Koog, De Cocksdorp, campings en zomerhuisjes.

Loof- en naaldbos is beperkt tot de binnenduinrandzone tussen de Jan Ayenslag in het zuiden en De Koog in het noorden en het recreatieve bosgebied ten oosten van De Cocksdorp.

Open water komt verspreid over geheel Texel in verschillende watertypen voor. Niet alleen worden oude kreekrestanten, kolken, duinplassen en meertjes aangetroffen, maar ook eendekoolen en veedrinkputten. De drinkputten zijn gegraven om zoet regenwater vast te houden ten behoeve van veedrenking. Het gaat om plaatsen waar geen open water aanwezig is (Hooge Berg) of waar het oppervlaktewater teveel chloride bevat.

Natuur

Een groot deel van het areaal aan natuurgebied op Texel wordt ingenomen door het duingebied. Daarnaast komen enkele kleinere oppervlakken natuur voor. Een groot areaal natuurgebied is in beheer bij Staatsbosbeheer. Een aantal reservaten aan de oostkant van Texel zijn in beheer bij Natuurmonumenten. In deze paragraaf worden de belangrijkste natuurgebieden op Texel beschreven. Voor de ligging van de natuurgebieden wordt verwezen naar afbeelding 2.1 op de linkerpagina. In deze paragraaf is bij de subkopjes tussen haakjes steeds het jaar waarin de vegetatiekartering is gedaan aangegeven.

Duinen-zuid (1997)

In het oudste duinmassief ten oosten van de Moksloot is het aandeel heiden hoog. De heiden worden afgewisseld met duinschapegrasweiden, die vaak korstmosrijk ontwikkeld zijn. Tussen de Mokslootvallei en de Geul liggen relatief jonge, kalkrijkere duinen, waar kalkindicerende vegetaties van Duinsterretje en Muurpiper zijn aangetroffen. Langs de zeereep van de zuidelijke punt van het duingebied vindt duinvorming plaats en komt op grote schaal Biestarwegras voor.

De grootste natuurwaarden van de Mokslootvallei betreffen zowel mesotrofe en basen- en kalkrijke gemeenschappen van het riet- en zeggenverbond als mesotrofe kleine zeggenmoerassen en heischrale graslanden. In 1993 is een groot deel van de vallei geplagd om pioniergemeenschappen een nieuwe kans te bieden en de diversiteit te verhogen. In 1996 heeft dit al geleid tot een duidelijke toename van het areaal van Rode lijst-soorten als Teer gulchelheil en Weegbreefonteinkruid.

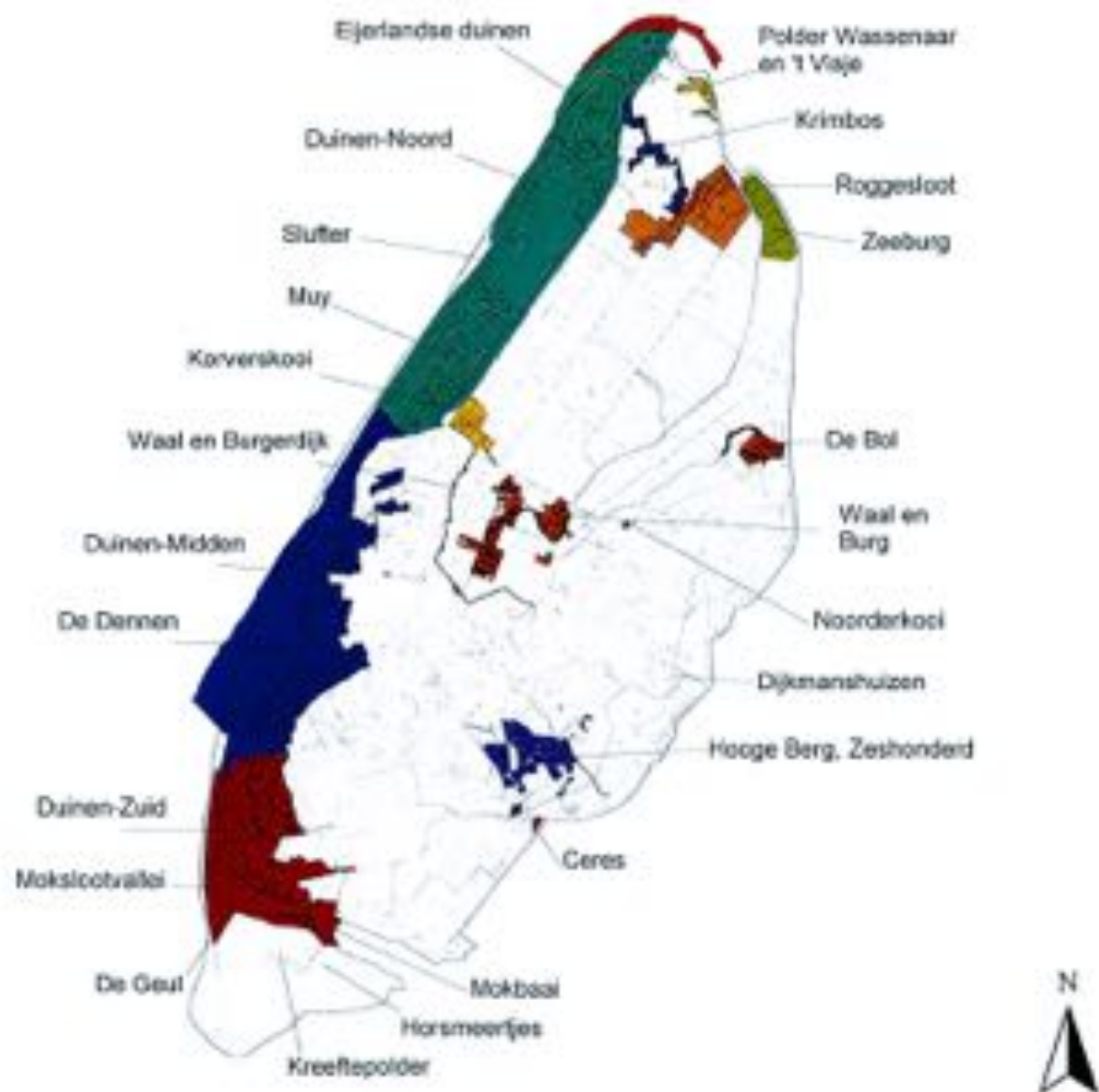
In de Geul komen uiteenlopende gemeenschappen voor van soortenarm rietland, kruipwilgstruweel, mesotroof rietland en vernieuwde vormen van de gemeenschap van Galigaan. Ook hier worden meerdere Rode lijst-soorten aangetroffen. Plaatselijk wijst de vegetatie op verdroging, ~~die samenhangt met kustafslag~~. De ontwikkelingsmogelijkheden voor waardevolle duinvalleivegetaties zijn ook hier groot.

De Horsmeertjes bestaan grotendeels uit open water met daaromheen een brede zone van soortenarm rietland. Ten dele betreft het zwak brakke vormen. Langs de rietzone treedt struweelvorming op; buiten de struweelzone bevindt zich een zone van waardevolle duinvalleivegetaties met tal van Rode lijst-soorten. Verzuring vormt een bedreiging voor deze vegetaties.

In de Kreeftepolder, een recent gevormde primaire vallei, bestaat de vegetatie uit pioniergemeenschappen, die kenmerkend zijn voor kalkrijke duinvalleien. Ook in deze vallei is weer een groot aantal Rode lijst-soorten aangetroffen.

De kwelders in de Mokbaai worden gekenmerkt door zilte gemeenschappen met soorten als Zeekraal, Engels slijkgras en Zilte rus.

Afbeelding 2.1 natuurgebieden op Texel



0 1 2 3 4 5 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg1.1

Witteveen + Bos

Langs de hoger gelegen randen komen plaatselijk zilte moerasvegetaties voor. Nog hoger in de gradiënt zijn zilte vormen van kalkrijke duinvalleivegetaties met enkele Rode lijst-soorten gevonden.

Duinen-noord (1998)

Het noordelijk duingebied kan onderverdeeld worden in De Sluffer, De Muy en de Eijerlandse Duinen. In het gebied wordt een groot aantal Rode lijst-soorten van kwelders, droge duinen, vochtige tot natte valleien en graslanden aangetroffen.

De Sluffer bestaat uit een centraal kweldergeedeelte, dat in open verbinding staat met de Noordzee en waarin vegetaties van zilte milieus domineren. Daaromheen ligt een duinstrook waarin vegetaties van droge duinen, vochtige valleien en graslanden het aspect bepalen.

De zeeduinenrij en de kleine duintjes op de kwelder zijn kalkrijker dan de overige duinen. Naast Helm en Biestarwegras wordt hier dan ook de kalkindicerende gemeenschap van Duinsterretje en Muurpeper aangetroffen.

In de Langedam-vallei, een jonge primaire duinvallei, worden goed ontwikkelde pionierge-meenschappen van natte duinvalleien gevonden. Het zijn kalkindicerende vegetaties met een groot aantal Rode lijst-soorten, die aan de randen overgaan in kruipwilgstruweel.

Het overig duingebied bestaat uit droge duinen, graslanden en plaatselijk vochtige valleien. Ten noorden van de kwelder en bij de Zanddijk duiden de duinvegetaties op de aanwezigheid van kalk in de bodem. Langs de binnenduintrand komen naast plekken met kraaiheide juist aan kalkarme bodems gebonden vegetaties voor.

De valleien in het duincomplex zijn voornamelijk begroeid met kruipwilgstruwelen. Plaatselijk komen slecht ontwikkelde Knopbiesvegetaties voor; alleen in de Bunkervallei zijn deze nog in goed ontwikkelde vormen aanwezig. Hier komen ook zilte indicerende vegetaties voor met soorten als Zilte rus, Zeerus en Zilt torkruid.

De graslanden van de Hoegelanden bestaan voornamelijk uit droge tot vochtige, voedselrijke witbolgraslanden. Plaatselijk komen ook vochtige Kamgrasweiden voor. In de vochtige graslanden worden incidenteel soorten van brakke milieus aangetroffen. Momenteel wordt hiervoor een natuurbouwplan voorbereid. Middels een hydrologisch onderzoek met behulp van een grondwatermodel zijn de effecten van dit natuurbouwplan in beeld gebracht.

Veel schraaler zijn de graslanden van de Riezenwei en de Groene Hoek. Het gaat hier om bloemrijke hooilanden met soorten als Gestreepte witbol, Reukgras, Moerasroklaver, Gewone veldbies en Biezeknoppen. Daarnaast is hier een schraalland met de gemeenschap van Tandjesgras en Tormentil aanwezig.

In De Muy en de Eijerlandse Duinen hangen de vegetatietypen nauw samen met het kalkgehalte van de bodems. Er is een duidelijke gradiënt aanwezig van kalkrijke duinen langs de zeereep naar kalkloze duinen richting de binnenduintrand. De kalkrijke duinen langs de zeereep zijn voornamelijk begroeid met Helm. Achter de eerste duinenrij komt daarnaast ook de gemeenschap van Duinsterretje en Muurpeper en duindoorn- en dauwbraamstruwelen voor. Verder naar het oosten in het minder kalkrijke middenduingebied overheersen gemeenschappen van Buntgras en van Schapegras, Schapezuring, Gewone veldbies en Gewoon struisgras. Nog verder richting binnenduintrand zijn de duinen droger en min of meer kalkloos. Duinschapegrasweiden, gemeenschap van Buntgras en van Zandzegge zijn hier de kenmerkende vegetaties.

In de Muy komen in de binnenduinrand veel heidevegetaties voor; het betreft vooral Kraaiheide en in mindere mate Struikheide en Dopheide. Duinriet en Krulwilg zijn storingselementen, die vooral in de binnenduinrand respectievelijk in het gehele duingebied voorkomen.

In het duinmassief van De Muy liggen twee natte valleien, de Muy en de Buiten-Muy. De Muy bestaat uit een zoetwaterplas waarin kranwierren domineren en die omringd wordt door een soortenarme rietkraag. In de vallei komen verder vooral struuelen van Grauwe wilg en Krulwilg voor. Plaatselijk worden basenrijkere omstandigheden indicerende vegetaties aangetroffen. Het betreft hier de gemeenschap van Galigaan, Knopbiesvegetaties en de gemeenschap van Wateraardbei.

De Buiten-Muy is een langgerekte vallei, die direct achter de zeereep ligt. In de vallei is een aantal karakteristieke pioniergemeenschappen van duinvalleien aanwezig, die zich ontwikkelen in de richting van de voor kalkrijke duinvalleien karakteristieke Knopbiesvegetaties. Naast twee plassen worden er ook riet- en grote zeggemoerassen aangetroffen. Plaatselijk komen kleine zeggemoerassen voor.

Binnen het gebied van De Muy komt een vrij groot oppervlak aan graslanden voor. Het gaat deels om zeer voedselrijke witbolgraslanden en deels om iets schralere Kamgrasweiden en soortenarme gemeenschappen met Pijpestrootje. Plaatselijk komen goed ontwikkelde vormen van droge duinschraallanden met soorten als Blauwe zegge, Tandjesgras en Tormentil. In de Vlakte van Stark zijn bloemrijke schraallanden aanwezig. Aan de noordkant van de Slufterbollen, de Scheer en de graslanden ten zuiden van het Slufterdijkje komt een aantal valleien met goed en minder goed ontwikkelde Knopbiesvegetaties voor. In de Scheer komen ook brakke gemeenschappen voor zoals de gemeenschap van Zeerus en Zilt torrkruid en brakke vormen van overstromingsgraslanden.

In de Eijerlandse Duinen worden heidevegetaties beperkt aangetroffen en vooral in de kalkarme valleien en noordhellingen. De gemeenschap van Eikvaren, Kraaiheide en Struikheide is de aldaar meest algemeen gevonden heidevegetatie.

In het duinencomplex komt een aantal valleien voor. De Grote vallei bestaat voornamelijk uit droge en vochtige vormen van het krulwilgstruweel. Plaatselijk komen verdroogde Knopbiesvegetaties met enkele basenminnende soorten voor. Op een rug die door de vallei loopt komt duinschraalland voor. In de Grote en Kleine Mandenvallei worden vochtige duinvalleivegetaties aangetroffen. Deze hebben zich ontwikkeld na het uitschuiven van de valleien in het midden van de jaren 80. Eveneens worden goed ontwikkelde Knopbiesvegetaties en de gemeenschap van Duinrus en Zomprus aangetroffen. Ook in deze valleien indiceren de soorten basenrijke omstandigheden.

De witbolgraslanden van de Krim en het Kippenland hebben een voedselrijk karakter. Veel schraler ontwikkeld zijn de graslanden van Sebastopol. De gemeenschap van Gewoon struisgras, Reukgras en Gewone veldbies is de schraalste variant; die van Gestreepte witbol, Engels raalgras en Gewoon struisgras de voedselrijkere.

Polder Wassenaar en 't Visje

De vegetatie van Polder Wassenaar bestaat voornamelijk uit schrale tot voedselrijke witbolgraslanden. In het noordelijk deel komen duin- en stuitzandvegetaties voor. Het gaat vooral om de gemeenschap van Schapegras, Schapezuring, Gewone veldbies en Gewoon struisgras. Daarnaast worden er duinrietruigten en gemeenschappen van Zandzegge en van Helm aangetroffen. In het zuiden is plaatselijk zilt grasland aanwezig.

't Visje bestaat uit graslanden met twee door rietmoerassen omringde plasjes. De graslanden zijn over het algemeen bloemrijker, vochtiger en schraler dan in polder Wassenaar.

Voedselrijke witbolgraslanden komen er bijvoorbeeld niet voor. Een groot deel van de graslanden wordt ingenomen door de gemeenschap van Gestreepte witbol, Moerasrolklaver en Biezeknoppen. In de laagste delen van het grasland worden temidden van de gemeenschap van Rietzwenkgras, Fioringras en Valse voezegge ook soorten van brakke standplaatsen, zoals Zilte rus en Schorrezoutgras aangetroffen. Op de hogere en drogere delen vinden we een fragmentair ontwikkelde glanshavergemeenschap.

De plasjes bestaan uit open water omringd door soortenarme rietvegetaties. Lokaal komt ook een brakke vorm van rietland met Heen voor.

De Dennen (1996)

De Dennen is een grotendeels bebost binnenduingebied tussen de Duinen-zuid en de Duinen-noord. Het bos is grotendeels eind vorige eeuw aangeplant. In het bosgebied liggen enkele graslandenclaves, waaronder de Ploegelanden en 't Alloo.

Het bosgebied wordt gekenmerkt door Berken-Zomereikenbos en Wintereiken-Beukenbos. Esdoornbossen met een rijke voorjaarsflora worden gevonden op de vochtige, relatief voedselrijke en kalkhoudende bodems. In een smalle strook in de binnenduinrand zijn Elzen-Eikenbossen en verdroogde Elzenbroekbossen te vinden. De zone is relatief nat door zoet kwelwater uit het duinmassief. De oorspronkelijk aangeplante naaldbossen zijn nog aanwezig op de voedselarme bodems.

In 't Alloo komen waardevolle halfnatuurlijke graslandvegetaties voor. Het betreft een mozaiek van relatief schrale Kamgrasweiden, Kleine zegge-gemeenschappen, Dotterbloemhoollanden en schraallanden. Het mozaiek is ontstaan door de gradienten in waterkwaliteit als gevolg van de toevoer van zoet kwelwater en de invloed van zuur regenwater. In 1999 is in dit gebied een natuurbouwproject gerealiseerd.

In de ontkalkte duinen aan de westrand van De Dennen worden frequent droge duinheidevegetaties met Kraaihei en Struikhei aangetroffen. Ook hier worden weer Buntgrasvegetaties en Duinschapegraslanden aangetroffen.

Korverskool (1993/1994)

Circa 2 km ten noordoosten van De Koog ligt natuureservaat Korverskool. Centraal in het reservaat ligt een eendekool, omgeven door aangeplant elzenhakhout. Ten westen en noorden van de eendekool liggen halfnatuurlijke graslandvegetaties. De rest van het reservaat bestaat uit duinen.

De duinvegetaties zijn kenmerkend voor sterk ontkalkte duinen. Het zijn vooral droge graslanden met lokaal veel Helm, afgewisseld door Duinschapegrasland. Struikhei als kensoort van droge duinheidevegetaties word frequent aangetroffen in de duinen van het reservaat. Daarnaast worden ook heidevegetaties met Kraaihei en Gewone dophei gevonden.

Botanisch het meest interessant zijn de halfnatuurlijke graslandvegetaties aan de oostzijde van de eendekool. Ten gevolge van de aanwezige gradienten komt een mozaiek voor van relatief schrale Kamgrasweiden, Kleine zeggengemeenschappen, Dotterbloemhoollanden en Schraallanden. De aangetroffen soorten als Holpijp, Dotterbloem, Grote boterbloem, Brede orchis en Harlekijn indiceren vrij hoge grondwaterstanden en zwak basische omstandigheden. Anderzijds wijzen de Kleine zeggengemeenschappen op invloed van regenwater.

Opvallend is de aanwezigheid van Fijn hoornblad in een sloot aan de westzijde van de kool. De soort is een relict van de voormalige brakke omstandigheden.

Het Elzenbroekbos rond de eendekool is als hakhout in beheer en lijkt verdroogd te zijn.

Ceres (beheerplan 1986)

De bijna 4 ha grote polder Ceres is omstreeks 1963 ontstaan door een bochtafsnijding bij de aanleg van de Zeedijk op deltahoogte. Een groot deel van de polder wordt ingenomen door een meertje, gevoed door regenwater. In het meertje groeit onder andere Zilte waterranonkel, een soort die wijst op de voormalig zilte omstandigheden. De bodem van het meertje was in 1961 bedekt met een dichte mat kranswieren.

Om het meertje heen ligt een rietland dat overgaat in een Moerasspirearuigte. Naast indicatoren van zoute omstandigheden zoals Gele lis en Moerasspirea worden ook soorten van brakke milieus aangetroffen.

De overige ruimte wordt ingenomen door schraalgraslanden. In de natste delen worden weer zoutminnende en --tolerante soorten gevonden. Het voorkomen van Veenpluis en Haarmos wijst op zure omstandigheden. Op de drogere delen worden soorten van kalkrijkere milieus aangetroffen, zoals Zandhaver, Zeepostelein, Buntgras en Vogelpootje.

Krimbos (beheerplan 1993)

Het Krimbos is een aangepant loofbos, dat op de overgang van de binnenduinrand naar de ingepolderde kwelders van polder Eijerland ligt. In het bos komen alleen algemene plantensoorten voor en zijn sporen van het voormalig gebruik van de gronden voor de bollenteelt terug te vinden door de aanwezigheid van Sneeuwkllokje en Narcis. De aanwezige graslanden zijn voedselrijk en de duinvegetaties soortenarm. In de sloten komt de invloed van brak grondwater tot uiting in de vegetatie met soorten als Ruwe bies, Zeebies en Zilte rus.

Zeeburg (beheerplan 1991)

Zeeburg heeft een oppervlakte van 106 ha en bestaat uit grasland en een vijver. Zeeburg maakt deel uit van polder de Eendracht, die in 1846 is ingepolderd. In 1985 was een het grasland in landbouwkundig gebruik en botanisch van weinig waarde. Langs de slootkanten en randen werden soorten van zilverschoongraslanden en glanshaverhoollanden aangetroffen. De invloed van zoute kwel komt tot uiting in het voorkomen van brakke soorten als Zilte schijnspurrie, Stomp kweldergras en in de sloten *Suaeda* en *Zannichellia*.

Roggesloot (1992)

De Roggesloot is een oude kreek, die door de bedijking van de Eijerlandse Polder in 1836 van de zee werd afgesloten. Daarna verlandde een deel van het water en ontwikkelde zich langs de rand een begroeiing van biezen en riet. In het open water van de kreek is geen begroeiing aanwezig. Langs het open water is een rietkraag aanwezig, die overgaat in overstromingsgraslanden. In beide zones zijn soorten van (zwak) brakke omstandigheden als Heen en Zilte rus aanwezig.

Op de hogere delen worden bloemrijke schraalgraslanden en witbolgraslanden aangetroffen. Het zijn vegetaties, die indicierend zijn voor voedselarme tot matig voedselrijke en kalkhoudende tot kalkrijke substraten.

De Bol

De Bol ligt in polder Het Noorden. Het natuurgebied bestaat uit een aantal sloten, twee geïsoleerd liggende kreken en natte graslanden met slijkige plekken die periodiek onder water staan. Het reservaat wordt gescheiden van de Waddenzee door de zeedijk en een breed kanaal. De bodem bestaat uit fijn zeezand. Als gevolg van een vrij sterke brakke kwelstroom vanuit de Waddenzee zijn in De Bol brakke natuurwaarden aanwezig. In het verleden kwam in het open water *Ruppia*-vegetaties voor. Door dijkverzwaring en het verwijderen van de Suatlesluis is de waterhuishouding veranderd.

Met name door de verminderde doorstroming en verversing van het water zijn deze vegetaties hard achteruit gegaan. In de lagere delen van de graslanden komen ziltindicerende soorten als Zeeaster, kweldergrassen en Moeras- en Schorrezoutgras voor. De hogere delen zijn begroeid met de 'Texelse hooiweide', een zeer waardevol graslandtype met overgangen van zoet naar zout waarin bijzondere soorten als Harlekijn, Addertong en Engels gras voorkomen (Wessels, 1993).

Dijkmanshuizen

Dijkmanshuizen ligt ten oosten van Den Burg op een afstand van circa 1 km van de Waddenzeedijk. Het zuidoostelijk deel van het gebied bestaat uit open water en rietland, terwijl het noordwestelijke deel vooral uit schrale, vochtige graslanden bestaat. In deze graslanden komt een grote diversiteit aan plantensoorten voor. Kleine hoogteverschillen veroorzaken gradiënten in vochtigheid en saliniteit en daarmee een rijke schakering aan standplaatsen. De hogere, drogere en zoetere delen worden alleen door regenwater beïnvloed. Hier komen zoutmijdende, voedselarme vegetaties voor. In de lagere en nattere delen komt zoute kwel aan het oppervlak. Op deze plekken zijn dan ook de ziltindicerende soorten te vinden (Buma, 1994).

Waal en Burg en De Petten

De natuurgebieden Waal en Burg en De Petten maken deel uit van het 'Lage land van Texel', een complex van bezittingen van Natuurmonumenten. De gebieden zijn waardevol als broedgebied van talrijke wilde vogels. De brakke gras- en rietlanden herbergen waardevolle plantensoorten als harlekijnorchis en engels gras. Dit unieke graslandtype, de 'Texelse hooiweide', wordt gekenmerkt door steile gradiënten in zoutgehalte. Plaatselijke brakke kwel en microrelief zijn voorwaarden waaronder deze soortenrijke vegetaties voorkomen. In De Petten is daarnaast open water aanwezig. De plas vormt een rustgebied voor wadvogels, die tijdens hoogwater neerstrijken om te wachten tot het wad weer droogvalt.

De Hemmer

Polder de Hemmer is gelegen ten zuidwesten van Den Burg. Ten westen van de Westeweg worden veel kwelindicerende soorten aangetroffen, wat wijst op kwel die waarschijnlijk afkomstig is uit de Westerdunnen. Ten oosten van de Westeweg en ten zuiden van de Hemmerweg worden vooral ziltindicerende soorten gevonden. Uit het vegetatiepatroon is niet duidelijk af te leiden of dit het gevolg is van zoute kwel of van de daar aangetroffen kreekrestant. Voor de overige vegetatie in De Hemmer is geen duidelijk patroon af te leiden.

3. SYSTEEMANALYSE

In dit hoofdstuk wordt de informatie uit hoofdstuk 2 geïntegreerd, geanalyseerd en samenhangend beschreven in een systeemanalyse. Bij de systeemanalyse is onderscheid gemaakt in een hydrologische en een ecohydrologische systeemanalyse. Beide zijn regionaal van aard.

3.1. Hydrologische systeemanalyse

De hydrologische systeemanalyse behelst een beschrijving van het functioneren van het hydrologisch systeem. Door de integratie van de informatie die verzameld is tijdens de inventarisatie ontstaat een beeld van het functioneren van het hydrologisch systeem. Hiervoor moeten de ruimtelijke patronen van de verschillende aspecten gekoppeld worden.

Eerst wordt het regionale stromingspatroon van het grondwater beschreven. Vervolgens wordt voor Texel op een viertal representatieve dwarsdoorsneden en één lengtedoorsnede ingezoomd. In deze doorsneden is aangegeven welke formaties aanwezig zijn, de schematisering, de Stuytandtypering en de grondwaterstromingsrichting.

3.1.1. Regionaal grondwaterstromingspatroon

Texel is op te delen in 4 hydrologische systemen (zie afbeelding 3.1):

1. het duinsysteem;
2. de kelleemsysteem (de Hooge Berg);
3. het marien beïnvloede zandgebied;
4. de zeezandgebieden (polders) en mariene kleigebieden.

Ad. 1: het duinsysteem

Het grondwatersysteem in de duinen van Texel wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van een zoetwaterbel. Als gevolg van het jaarlijkse neerslagoverschot vindt in de duinen opbolling van het freatisch vlak plaats en ontstaat er een zoetwaterbel. Het natuurlijke grondwaterstromingspatroon kent een waterscheiding die centraal in de duinen ligt. Hierdoor vindt er een oostelijke en westelijke afstroming van zoet water plaats. Aan de randen van deze infiltratiegebieden treedt het geïnfiltrerde zoete regenwater uit. Deze zone heeft een breedte van enkele tientallen tot enkele honderden meters. Dit grondwater wordt middels sloten of duinrellen afgevoerd. Aan de zeezijde treedt dit zoete grondwater uit in de kuststrook. In het duinsysteem worden grofweg twee zoetwaterballen aangetroffen, namelijk in het noorden (Eijerlandse duinen) en in het zuiden (Westerduinen). Opgemerkt wordt dat de winning nabij de Moksloot in het verleden het grondwaterstromingspatroon heeft beïnvloed. De winning is inmiddels stopgezet.

Ad. 2: de Hooge Berg

Het grondwatersysteem in de kelleembult (De Hooge Berg) wordt eveneens gekenmerkt door het voorkomen van een zoetwaterbel. Het regenwater infiltrert ter plaatse van de Hooge Berg waarna een deel vervolgens radiaal afstroomt over de kelleem. Aan de randen van de kelleembult kwelt het zoete water op.

Ad. 3: het marien beïnvloede zandgebied

Het marien beïnvloede zandgebied kenmerkt zich door een relatief dunne zoetwaterzone. Het gebied heeft een zuidwest-noordoostelijke ligging en volgt de lijn Oosterend- Den Burg en Den Burg- Westerduinen. Het natuurlijke afwateringspatroon kent ook hier een waterscheiding die in zuidwest- noordoostelijke richting ligt. Het zoete grondwater stroomt in noordelijke en zuidelijke richting af. In het mariene zandgebied van het oude land is het zoete kwelwater afkomstig van regenwater dat in de duinen en de Hooge Berg is geïnfiltrerd. In lager gelegen gebieden komt zout water als kwel naar boven. Als gevolg hiervan worden zoet-zout gradiënten in dit gebied aangetroffen.

Afbeelding 3.1

Locale stromingsrichtingen en indeling in systeemgebieden



0 1 2 3 4 Kilometers

legenda

- duinzandsysteem
- zeezandsysteem
- kleisysteem
- marine klei
- marin zand
- oude kreek

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burgt. 1

Witteveen + Bos

Ad. 4: de zeezandgebieden en het mariene kleigebied (polders)

De polders op Texel hebben bijna allemaal een polderpeil dat beneden NAP ligt. Hierdoor kwelt er in de polder zout (>300 mg/l) grondwater op. In de bovenste meters van de ondergrond in de polders kunnen dunne (zoete) neerslaglagen voorkomen. Dit is neerslag die uit de onverzadigde zone naar het grondwater percoleert. Polders met een deklaag (polder Eijerland) hebben een diepere neerslag zoetwaterlaag dan polders waar de deklaag dunner is of geheel ontbreekt zoals in de Prins Hendrik polder. De overgang van zoet naar zout grondwater is in de polders al op een diepte van enkele meters gelegen.

Polder Waal en Burg en polder Het Noorden hebben het laagste oppervlaktewaterpeil. De zoute kwelintensiteiten zijn in deze polders het grootst. Door het lage peil in deze polders, kwelt een deel van het grondwater uit de aangrenzende gebieden naar deze polders. De grondwaterstroming in het poldersysteem wordt sterk beïnvloed door de polderwatergangen die het gebied sterk ontwateren. De gemalen zorgen ervoor dat het grondwater (en overtollig neerslagwater) uiteindelijk wordt uitgeslagen op de waddenzee.

3.1.2. Maatgevende profielen

In bijlage XV is de ligging van de maatgevende profielen en de boringen op kaart weergegeven. Tevens is een korte uitleg van de methodiek van de Stuytzandtypering weergegeven. De profielen betreffen vier dwarsprofielen en één lengteprofiel over Texel. De doorsneden zijn eveneens in bijlage XV weergegeven. In deze profielen is tot een diepte van circa NAP-300 m aangegeven welke formaties aanwezig zijn, de schematisering, de Stuytzandtypering en de grondwaterstromingsrichting (de pijlen zijn indicatief en zeggen niets over de snelheid). Per profiel wordt het grondwatersysteem besproken.

profiel A-A'

Profiel A-A' is een lengte doorsnede over Texel van het Marsdiep tot de Eijerlandse duinen en de Noordzee. Globaal stroomt diep, zout grondwater van het Marsdiep en de zee naar Texel. Dit blijkt zowel uit de stijghoogteverdeling als de Stuytzandtypen die aangetroffen worden. De duinsystemen in de Moksloot en de Eijerlandse duinen hebben een zoetwaterbel. Uit de Stuytzandtypering van de zoetwaterbel in de Eijerlandse duinen wordt onderin de bel het type f4NaHCO₃+ aangetroffen. Dit wijst op een verzoeting en mogelijk een uitbreiding van de zoetwaterbel aldaar. Uit de Stuytzandtypering van de zoetwaterbel ter plaatse van de Moksloot wordt het type f3CaHCO₃+ aangetroffen. Het zoute water uit zee en Marsdiep stroomt onder de zoetwaterbellen door en kwelt op in het westelijk deel van De Hemmer. In de oude krekken in De Hemmer is sprake van verzoeting. In het oostelijk deel van De Hemmer kwelt zoet water op uit de duinen. Bij Den Burg, in het midden van het profiel, ligt het kelleemsysteem.

profiel B-B'

Profiel B-B' is een dwarsdoorsnede over het midden van Texel van De Koog tot Dijkmanshuizen Waddenzee. Dit profiel doorsnijdt het duinsysteem ter hoogte van De Koog en de kelleembultsysteem bij Den Burg. De zoetwaterbel van Den Burg bereikt op dit moment een diepte van circa 60 meter. De zoetwaterbel wordt gevoed door infiltratie van neerslag. De grondwaterstroming in de zoetwaterbel is hoofdzakelijk vertikaal gericht. Verder worden er in deze bel geen verzoetings of verziltings-Stuytzandtypes aangetroffen. Zowel in de duinen bij De Koog als in Den Burg wordt boven in het profiel mengtypes aangetroffen. Dit duidt op infiltratie van water dat beïnvloed is door landbouw activiteiten. Het poldergebied tussen deze twee systemen heeft een brakwaterzone. Aan de oostkant van de Hoope Berg ter hoogte van Dijkmanshuizen ligt een overgangsgebied met zowel bijzondere zoete, brakke en zoute kwel.

profiel C-C'

Dit profiel loopt door het gebied De Muy naar polder Eijerland en vervolgens naar Oostereind. Ter plaatse van de Muy ligt het duinsysteem met een zoetwaterbel van circa 20 meter. Het zoete water stroomt horizontaal af in westelijke richting (de Noordzee) en in oostelijke richting (Eijerlandse polder). Globaal stroomt zout grondwater van de Noordzee onder de zoetwaterbel door waar het in de Eijerlandse Polder opkwelt. Het zoute water uit de Waddenzee kwelt direct achter de dijk op en dringt door in de ondergrond van Texel. In deze polder zijn ondiepe zoutbrakke grondwaterstromingsystemen aanwezig. Over de weerstandlaag behorend tot de Formatie van Peelo wordt geen groot stijghoogteverschil gemeten zodat de flux door deze laag naar verwachting gering is.

profiel D-D'

Profiel D-D' ligt van de Noordzee, via de Mokslotvallei en De Hors en de Prins Hendrik polder naar de Waddenzee. Ter plaatse van de Mokslot ligt het duinsysteem met een zoetwaterbel van circa 60 meter. Het zoete water stroomt horizontaal af in de richting van Den Hoorn en in zuidelijke oostelijke richting (De Hors). Het zoute grondwater van de Noordzee stroomt onder de zoetwaterbel door waar het in de Prins Hendrik polder opkwelt. Het zoute water uit de Waddenzee kwelt direct achter de dijk op. Door het ontbreken van een slecht doorlatende laag is naar verwachting deze kwelflux relatief groot. Het zoute water uit de Waddenzee dringt ook door in de ondergrond van Texel. Het grondwater in de diepe ondergrond ter plaatse van De Hors heeft het Stufzandtype H4NaCl, hetgeen duidt op hypersaline grondwater.

profiel E-E'

Profiel E-E' loopt van de Eijerlandse Duinen over de Roggesloot naar de Waddenzee. Het duinsysteem in de Eijerlandse duinen heeft een zoetwaterbel van gemiddeld circa 35 meter. Plaatselijk wordt zoet water tot 60 meter diepte gemeten. Dit is vermoedelijk een relict uit de periode dat het duinmassief groter in omvang was. Uit de Stufzandtypering van de zoetwaterbel wordt onderin de bel het type 14NaHCO₃⁻ aangetroffen. Dit wijst op een verzoeting en mogelijk een uitbreiding van de zoetwaterbel. Het zoute grondwater uit de Noordzee stroomt onder de zoetwaterbel door naar Eijerlandse polder. Het zoute water uit de Waddenzee kwelt direct achter de dijk op en dringt door in de ondergrond van Texel. Ter hoogte van de Roggesloot wordt op geringe diepte (NAP -5 m) zout grondwater aangetroffen door de sterk drainerende werking van de Roggesloot. De gemeten stijghoogteverschillen over de Formatie van Peelo zijn minimaal zodat de grondwaterflux door deze laag naar verwachting minimaal is.

3.1.3. Herkomstgebieden

Met behulp van het stationaire gecalibreerde grondwatermodel (zie hoofdstuk 7) zijn stroombaanberekeningen vanuit de belangrijkste infiltratiegebieden gemaakt. Dit zijn de duinen (Westerduinen en Eijerlandse duinen & Stufferbollen) en de Hooge Berg. Deze drie infiltratiegebieden zijn met het stroombaanpatroon in bijlage VIII opgenomen.

Samenvattend kan uit de afbeeldingen opgemaakt worden dat het grondwater in het midden van deze gebieden nagenoeg loodrecht infiltreert tot ca. NAP-40 m. Vervolgens kwelt aan de randen van de infiltratiegebieden het geïnfiltreerde zoete grondwater weer op.

3.1.4. Water en chloridebalansen

Met behulp van het gecalibreerde grond- en oppervlaktewatermodel (zie hoofdstuk 7) zijn van de verschillende bemalingseenheden op Texel water- en chloridebalansen gemaakt. De bemalingseenheden zijn:

- Prins Hendrikpolder, 750 ha;
- Gemeenschappelijke polders (gemalen de Schans en Dijkmanshuizen), 4.750 ha;

- Krassekeet (polder Waalenburg en polder het Noorden), 2.975 ha;
- Polder Eijerland 3.500 ha.

De balansen zijn opgesteld voor een gemiddelde, droge en natte situatie binnen de modelperiode (1992-1995). De ligging van de bemalingseenheden is weergegeven in bijlage XIX.

Waterbalansen

Binnen de waterbalans kunnen in- en uitlaattermen worden onderscheiden en een bergingsverandering. De inlaatterm bestaat uit neerslag (N), kwel (K), en toevoer van RWZI-effluent (T). De uitlaatterm bestaat uit verdamping (V), infiltratie (I) en afvoer door het gemaal (A). In formulevorm: $N + K + T - V - I - A - B = 0$. Opgemerkt wordt dat met de term N-V de grondwateraanvulling wordt bedoeld. Een bergingsverandering wordt veroorzaakt door wijziging van het polderpeil, de grondwaterstand en het wegzakken van de oppervlaktewaterpeilen onder stuwpeil. In de maand april wordt het oppervlaktewaterpeil verhoogd (zomerpeil) en in oktober wordt het peil verlaagd (winterpeil). Er wordt een restterm geïntroduceerd (R). Deze term fungeert als sluitpost in de waterbalans. Deze sluitpost ontstaat door discrepanties in de waterbalans van het grondwatermodel en door horizontale uitwisseling tussen de polders (inclusief drangwater uit de duinen). In de waterbalans is de bergingsverandering in de restpost opgenomen. De bergingsverandering heeft betrekking op zowel het oppervlaktewater als het grondwater!

In tabellen 3.1, 3.2 en 3.3 zijn de waterbalansen weergegeven van respectievelijk een gemiddelde, een droge en een natte situatie. Uit tabel 3.1 blijkt in april 1992 (gemiddelde situatie) dat er vanwege de overgang van winter- naar zomerpeil water geborgen wordt. In een droge zomer (tabel 3.2) zakt oppervlaktewaterpeilen onder stuwpeil door het verdampingsoverschot. Hierdoor is er geen gemaal afvoer en is er een negatieve berging. Een natte periode (tabel 3.3) resulteert in een hoge gemaalafvoer en in een toename van de berging door peilstijgingen. Door de hogere peilen slaat de kwel in de Gemeenschappelijke polders en het afwateringsgebied van gemaal Krassekeet om in infiltratie. Doordat de restpost bij Prins Hendrikpolder hoger is dan de bergingspost is de waarde van de term R+B in de tabel 3.3 negatief.

Tabel 3.1. Waterbalans van de gemiddelde stationair situatie (in 1000 m³/maand)

| Apr. 92 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|--------|--------|-----|--------|-----|-----|
| | N+V | K | T | Totaal | A | I | Totaal | | |
| Prins Hendrikp. | 206 | 223 | 1,9 | 431 | 354 | 14 | 368 | 63 | |
| Gemeensch. P. | 1094 | 528 | 19 | 1641 | 1399 | 189 | 1528 | 113 | |
| Krassekeet | 682 | 288 | 89 | 1060 | 898 | 89 | 977 | 83 | |
| Polder Eijerland | 962 | 237 | 9 | 1208 | 1113 | 45 | 1158 | 49 | |

Tabel 3.2. Waterbalans van een droge zomer (in 1000 m³/maand)

| Jul. 94 | Aanvoer | | | Totaal | Afvoer | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|--------|--------|---|--------|-------|
| | K | T | N+V | | A | I | Totaal | |
| Prins Hendrikp. | 278 | 1,9 | 280 | 560 | 374 | 0 | 374 | -94 |
| Gemeensch. P. | 895 | 17 | 912 | 2275 | 0 | 0 | 2275 | -1383 |
| Krassekeet | 499 | 123 | 622 | 1376 | 0 | 0 | 1376 | -754 |
| Polder Eijerland | 380 | 26 | 406 | 1787 | 0 | 0 | 1787 | -1381 |

Tabel 3.3. Waterbalans van een natte winter (in 1000 m³/maand)

| Nov. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|----------|--------|-----|---------|-----|-----|
| | N-V | K | T | Neerslag | A | I | Uitlaat | | |
| Prins Hendrikp. | 1114 | 590 | 1,5 | 1306 | 1331 | 0 | 1331 | -25 | |
| Gemeensch. P. | 6588 | 0 | 38 | 6626 | 5859 | 299 | 6158 | 468 | |
| Krassekeet | 4111 | 0 | 187 | 4298 | 3858 | 84 | 3942 | 356 | |
| Polder Eijerland | 4800 | 84 | 18 | 4902 | 4902 | 0 | 4902 | 0 | |

Chloridebalans

Binnen de chloridebalans kunnen in- en uitlaattermen worden onderscheiden en een bergingsverandering. De inlaatterm bestaat uit de bruto neerslag (N), grondwaterkweel (K), en toevoer van RWZI-effluent (T). De uitlaatterm bestaat uit infiltratie (I) en afvoer door het gemaal (A). In formulevorm: $N + K + T - I - A - B = 0$. Een bergingsverandering wordt veroorzaakt door indamping van het water. Ook hier is een restterm geïntroduceerd (B).

In de balansen is er vanuit gegaan dat de chloridenconcentratie in de neerslag constant blijft (50 mg/l). Uit het gecalibreerde grondwatermodel waarbij rekening is gehouden met dichtheidsstroming is de gemiddelde zoutvracht van de kweel afgeleid per bemalingseenheid:

- Prins Hendrikpolder: 10,73 kg Cl/m³;
- Gemeenschappelijke polders: 5,66 kg Cl/m³;
- Krassekeet: 7,10 kg Cl/m³;
- Polder Eijerland: 6,09 kg Cl/m³.

Voor de zoutvrachten van het effluent is uitgegaan van de gemiddelde chlorideconcentraties zoals die in tabel 2.4 zijn vermeld.

In tabellen 3.4, 3.5 en 3.6 zijn de chloridebalansen weergegeven van respectievelijk een gemiddelde, een droge en een natte situatie. In tabel 3.4 is de afvoer door het gemaal gelijk gesteld aan de totale aanvoer. Hierdoor is term R+B nul. In een droge periode is er geen gemaalafvoer (tabel 3.5). Hierdoor neemt de zoutconcentratie in het oppervlaktewater toe (term R+B). In een natte periode zijn de gemaaldebieten dan wel hoog (tabel 3.3) maar uit tabel 3.6 blijkt juist dat de zoutvrachten laag zijn.

Tabel 3.4. Chloridebalans van de gemiddelde stationair situatie (in ton Cl/maand)

| Apr. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R |
|------------------|---------|------|-----|----------|--------|---|---------|---|---|
| | N | K | T | Neerslag | A | I | Uitlaat | | |
| Prins Hendrikp. | 18 | 2393 | 0,5 | 2412 | 2412 | | 2412 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 118 | 2988 | 6 | 3112 | 3112 | | 3112 | 0 | |
| Krassekeet | 74 | 2052 | 18 | 2146 | 2146 | | 2146 | 0 | |
| Polder Eijerland | 87 | 2543 | 2 | 2632 | 2632 | | 2632 | 0 | |

Tabel 3.5. Chloridebalans van een droge zomer (in ton Cl/maand)

| Jul. 04 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|------|-----|----------|--------|---|---------|------|-----|
| | N | K | T | Neerslag | A | I | Uitlaat | | |
| Prins Hendrikp. | 18 | 2983 | 0,5 | 2998 | 0 | | 0 | 2978 | |
| Gemeensch. P. | 87 | 5066 | 5 | 5158 | 0 | | 0 | 5158 | |
| Krassekeet | 64 | 3543 | 23 | 3630 | 0 | | 0 | 3630 | |
| Polder Eijerland | 64 | 2314 | 5 | 2383 | 0 | | 0 | 2383 | |

Tabel 3.6. Chloridebalans van een natte winter (in ton Cl/maand)

| Nov. 92 | Aanvoer | | | | Afweg | | | | n+B |
|------------------|---------|------|-----|------|-------|----|------|---|-----|
| | N | K | T | Cl | A | I | Cl | | |
| Prins Hendrikp. | 65 | 2099 | 0,5 | 2096 | 2096 | 0 | 2096 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 348 | 0 | 12 | 360 | 342 | 18 | 360 | 0 | |
| Kraaskeef | 218 | 0 | 25 | 253 | 248 | 5 | 253 | 0 | |
| Pooper Eijerland | 256 | 512 | 4 | 772 | 772 | 0 | 772 | 0 | |

3.1.5. Stromingsrichting oppervlaktewater

Op basis van de peilenkaart en het oppervlaktewatermodel zijn de stromingsrichtingen van de hoofdwaterlopen op kaart aangegeven (zie bijlage XV). Uit de kaart blijkt dat het oppervlaktewater van west naar oost stroomt naar het gemaal. (wordt nog verder uitgewerkt)

3.2. Ecohydrologische systeemanalyse

De ecohydrologische systeemanalyse sluit aan bij de hydrologische systeemanalyse en is eveneens regionaal van aard. In bijlage XII worden verspreidingskaarten van indicerende groepen plantensoorten weergegeven. Deze kaarten geven een goed beeld van de verspreiding van zoete kwel en brakke omstandigheden.

In onderstaande beschrijving is aangesloten bij de vier hydrologische systemen, die in voorgaande paragraaf zijn onderscheiden.

het duinsysteem

Voor de vegetatie in het duingebied zijn met name de lokale hydrologische systemen van belang. Regenwater infiltreert in de duinen en kwelt in de duinvalleien op. Met name in de zone met jonge duinen wordt het regenwater tijdens de bodempassage aangerijk met basen, waardoor in de valleien bijzondere vegetaties worden aangetroffen.

Van de zee-reep naar de binnenduinrand verloopt een gradiënt van kalkhoudende naar kalkarme bodems. De kalkgradiënt hangt samen met het initiële kalkgehalte van de bodem, de duur van de ontkalkingsprocessen, het instuiven van kalkhoudend zand uit de zee-reep en stuifkuilen, en met eventuele verrijking door meeuwenkolonies. De ruimtelijke variatie aan vegetatietypen van de droge duinen hangt nauw samen met de kalkgradiënt. Langs de zee-reep liggen kalkrijke helmduinen. In de zuidpunt is de eerste duinenrij begroeid met een Duindoorn-Vlierstruweel. In het overig duingebied zijn direct achter de eerste duinenrij kalkindicerende vegetaties met soorten als Helm, Duinsternetje en Muurpeper te vinden. Uitgestrekte duinroosvegetaties komen voor in de kalkhoudende duinen. Richting de middenduinen (meer naar het oosten) worden de duinen steeds minder kalkrijk en gaan kalkhoudende vormen van Buntgrasvegetaties en gemeenschappen met soorten als Schapegras, Schapezuring, Gewone veldbies en Gewoon struisgras overheersen. Nog verder richting de binnenduinrand worden de duinen min of meer kalkloos. Kenmerkende vegetaties zijn duinshapegrasweiden en de gemeenschap van Zandzegge.

Kleine, relatief hoog gelegen valleien in de duinen (bijvoorbeeld Zoderenvlak, Pieter Rozenvlak, Maffenvlak, Heidevallei) zijn begroeid met heide- en kleine zeggevegetaties. Dit wijst op een zuur karakter en komt goed overeen met een infiltratiesituatie.

valleien

Door kustafslag zijn de noordelijke duinen in breedte afgenomen. Het infiltrerend oppervlak is hierdoor verkleind, waardoor de grondwaterstanden zijn gedaald.

Ook polderpeilverlagingen in de polders die grenzen aan de binnenduinrand en het graven van ontwateringsloten hebben gezorgd voor een grondwaterstandsverlaging in het duinmassief. Over het algemeen zijn de duinvaleien daardoor droger geworden. Binnen het duincomplex komt nog een aantal vochtige duinvaleien voor. In de valleien kwelt in de duinen geleïftrreerd en aangerijkt regenwater op. In de valleien worden basenminnende soorten als Knopbies en Geelhartje gevonden. In doorstroomvallen vindt toestroom van enigszins verrijkt grondwater plaats dat stroomafwaarts in de vallei weer infiltrreert.

De primaire Lange dam-vallei heeft tot het begin van de jaren 40 een open verbinding met zee gehad en herbergt een groot aantal kalkminnende Rode lijst-soorten. Zeer natte duinvaleien zijn de Muy en de Buiten-Muy. De Muy is een zoete waterplas, waarin plaatselijk soorten van basenrijkere milieus voorkomen. De Buiten-Muy is net als de Lange dam-vallei een langgerekte vallei direct achter de zeereep. Ook hier komen karakteristieke pioniergemeenschappen van kalkrijke duinvaleien voor. De Bunkervallei is eveneens pas rond de jaren 40 afgedamd. Hier komen nog soorten en vegetaties van brakke milieus voor. Bij zeer hoge zeewaterstanden kan de vallei volstromen, waarbij het water voor een groot deel achterblijft. Dit verklaart het voorkomen van de ziltminnende soorten.

Aan de zuidpunt van het duingebied van Texel vindt juist kustaangroei plaats. Als gevolg daarvan treedt vernatting op; de Horspolders zijn tegenwoordig veel natter dan in de jaren 60 en 70. De aangroei van land is een proces dat een zeer grote bijdrage levert aan de diversiteit in milieu- en vegetatietypen. In het zuidelijk duingebied is een reeks primaire duinvaleien aanwezig. De valleireeks omvat een scala aan successiestadia die samenhangen met ontkalking, humus- en veenvorming, vernatting en ontwatering. Daarnaast is het stopzetten van de waterwinning van belang geweest voor het vernatting van een aantal valleien. In en rond de Moksloot zijn de valleien vrijwel geheel ontkalkt tot een diepte van 1-1,2 m beneden maaiveld. Kalkrijke omstandigheden in de valleien worden veroorzaakt door toestroom van met kalk verrijkt grondwater.

De valleien in het zuidelijk duingebied kunnen ingedeeld worden in infiltratie-, doorstroom- en kwelvalleien. De Bollekamer is een infiltratievallei en het Grootte Vlak en Pompevlak zijn kwelvalleien. Doorstroomvalleien zijn de Cladiumvallei, de Jacobabofien en het Kapevlak.

Het zure karakter van de Bollekamer komt tot uiting in de snelle uitbreiding van Zwarte zegge na het plaggen. De drie doorstroomvalleien zijn duidelijk basenrijker van karakter met de gemeenschappen van Duinrus en Zomprus en bieden goede perspectieven voor de ontwikkeling van kenmerkende basenrijke duinvalleivegetaties. De vegetatie in de kwelvalleien verschilt van die van de doorstroomvalleien door het mesotrofere karakter met de gemeenschappen van Padderus en Snavelzegge en soorten als Teer guichelheilen kranswieren. In het Pompevlak wijst het aantreffen van soorten als Zannichellia en Zilte rus op een invloed van licht brak water.

Na plaggen en maaien kunnen zich waardevolle schrale duinvalleivegetaties in de Geul ontwikkelen. Nu al worden daar meerdere kwelindicerende en basenminnende Rode lijst-soorten aangetroffen.

De Horsmaertjes bestaan grotendeels uit water met een brede zone van rietlanden die overwegend soortenarm zijn en met name in de oostelijke plas wijzen op een zwak brakke waterkwaliteit. Met name langs de westelijke plas wijst het voorkomen van Padderus op kwel.

In de nog recenter gevormde Kreeftepolder zijn vooral karakteristieke pioniergemeenschappen van duinvaleien aanwezig. De vegetaties geven een ontwikkeling in de richting van de voor kalkrijke duinvaleien karakteristieke Knopbiesvegetaties.

binnenduinrand

In de bossen ter plaats van de binnenduinrand van de Jan Aeyenlag is van het zuiden tot aan De Koog in het noorden de grondwaterstand in de 20^e eeuw gemiddeld circa een meter gedaald.

Voor een belangrijk deel is de verdroging te wijten aan een stelsel van diepe ontwateringsloten, peilverlagingen in de polders, de drinkwaterwinning en de relatief hoge verdamping van naaldbos. Door het stoppen van de drinkwaterwinning, het dempen van diepe sloten en het omvormen van naaldbos naar loofbos wordt de verdroging tegengegaan. Plaatselijk (ter hoogte van Gerritsland, Ecomare en 't Alloo) komen nog wel vrij hoge grondwaterstanden voor dankzij een constante voeding met zoet kwelwater uit het duinmassief. In 't Alloo heeft dit een mozaiek van waardevolle, relatief schrale vegetaties tot gevolg. De gradienten tussen kwelwater uit de duinen en regenwater spelen hierin een belangrijke rol.

graslanden

De graslanden binnen de duinen variëren afhankelijk van het beheer van voedselrijke witbolgraslanden tot de schralere kamgrasweiden en duinschraallanden. Op de voedselrijke graslanden vindt intensieve beweidings plaats, terwijl het beheer van de schrale graslanden bestaat uit maaien en afvoeren. Ziltindicerende vegetaties worden plaatselijk aangetroffen in de graslanden van de Scheer, de Vlakte van Stark, Ploegelanden en de Groene Hoek. In de Scheer vinden nog regelmatig inundaties met zeewater plaats, waardoor de aanwezigheid van zilte soorten verklaard kan worden. Het is onduidelijk hoe de aanwezigheid van Zilte rus in de Vlakte van Stark verklaard kan worden. In de Ploegelanden en de Groene Hoek zijn het graslanden die zijn ontstaan na afdamming in 1955. Mogelijk is op deze plaatsen nog een relict aan zout water in de bodem aanwezig of is sprake van salt spray.

Onder andere in polder de Nederlanden en in de omgeving van het Vlak van Stark wijst de aanwezigheid van soorten en vegetaties van basenrijke milieus op de toestroom van basenrijk kwelwater. Waarschijnlijk is de kwel afkomstig uit de Nol van Bertus respectievelijk uit de Wilgenvlakte.

kwelder

De Slufter is een kweldergebied dat in open verbinding met de Noordzee staat en waarin vegetaties van zilte milieus domineren. Ook in de Mokbaal komen lage en hoge kwelders voor. De vegetatiezonering hangt in beide kweldergebieden nauw mee samen met de hoogte en daarmee de mate waarin de vegetatie door zeewater wordt overstromd. In de laagste delen van de kwelder bestaat de vegetatie uit soorten die zijn aangepast aan een dagelijkse overstroming met zout water; Zeekraal en Engels slijkgras worden hier volop gevonden.

Op de hoger gelegen delen van de kwelder gaat de vegetatie over in gemeenschappen van Zeealsem en Zilte rus. Op de overgang van kwelder naar duin stroomt zoet water de kwelder op en ontstaat een zoet-zoutgradient. Op de overgang van zout naar zoet komen zeer waardevolle vegetaties voor met soorten als Fraai duizendguldenkruid en Hertshoornweegbree. Dergelijke waardevolle vegetaties kunnen zich alleen ontwikkelen op plaatsen waar een voldoende groot duinlichaam zorg kan dragen voor toevoer van zoet, kalkrijk water en waar bovendien een brede en hoge kwelder aanwezig is. Overstroming met zeewater zal hier slechts incidenteel gebeuren. Plaatselijk komen op de Slufter en in de Mokbaal brakke moerasvegetaties met Heen voor.

het kelleem-systeem (de Hooge Berg)

Het hoogste punt van Texel is de Hooge Berg. De Hooge Berg maakt deel uit van een kelleembult, die ten zuiden van Den Burg dagzoomt. De kelleem heeft een grotere verbreiding, maar wordt elders door lemig fijn zand bedekt. Regenwater dat op de Hooge Berg valt, infiltriert in de onverzadigde zone tot de slecht doorlatende kelleemlaag. Over deze laag stroomt het water door het lemig fijn zand naar het omringende lager gelegen gebied, waar het deels als zoete kwel aan het oppervlak komt. Op kaart 9 (bijlage XII) met de verspreiding van 'soorten van zoete tot zeer zoet sloten, grotendeels met kwel' is dat omringende gebied goed zichtbaar.

De Hooge Berg kent hoge grondwatertrappen ofwel lage freatische grondwaterstanden. In het landschap is dit herkenbaar aan het nagenoeg ontbreken van ontwateringsloten. In plaats van sloten zijn in het verleden de typisch Texelse 'tuurwallen' als erfafscheiding en veekering aangelegd. Op deze tuurwallen worden kenmerkende soorten als Grasklokje, Geel walstro en Zandblauwtje gevonden. Naast deze tuurwallen worden in dit gebied 'oanen' gevonden. Deze meestal droogstaande greppels, voeren het overtollig water af van de hoge kalleemgronden rond Den Burg en Oosterend. Gedeelten van deze oanen zijn beduikerd.

Het landgebruik op en rond de Hooge Berg is voornamelijk weiland en akkerbouw. Door de relatief lage grondwaterstanden zijn de graslanden over het algemeen van een relatief droog type (bijlage XII: graslandtypen). Belangrijker dan de grondwaterstanden is echter het beheer van de graslanden. Bij een beheer met extensieve beweiding of maaien en afvoeren is een schralere vegetatie aanwezig dan bij een intensieve bemesting. Op de Hooge Berg is de grondwaterkwaliteit volgens de Stuytzand-classificatie van het mengtype. Dit wijst op een intensief landbouwkundig gebruik met o.a. beperkte boienteeft (jellieteeft).

het mariene beïnvloede zandgebied

Het mariene beïnvloede zandgebied bestaat uit het oude land, waarin centraal de kalleembult van de Hooge Berg is gelegen. De bodem bestaat niet alleen uit zand, maar ook uit zeeklei die in een ver verleden is afgezet in geulen. Aan de randen van het gebied komen zowel polders, duingebied als zee voor. Dit houdt in dat juist in het mariene zandgebied gradienten tussen bodemtypen en tussen zoet en zout water zijn gelegen. Zoet water is afkomstig van regenwater dat in de duinen en de Hooge Berg is geïnfilteerd en vervolgens naar lagere delen afstroomt. Het zoute water komt in de lager gelegen delen als kwel naar boven. In de binnenduinrand en de zone rondom de Hooge Berg vormen het zoete en zoute water gradienten, die potentieel een grote diversiteit aan standplaatsen herbergen. Ook geringe hoogteverschillen vergroten de potentiële diversiteit in het gebied.

Het landgebruik in dit gebied is overwegend agrarisch; naast een beperkte akkerbouw is het land vooral als grasland in gebruik. De graslandvegetatie is soortenarm door het intensieve gebruik. Het diepere grondwater is zout. Alleen door de aanwezigheid van een dunne zoetwaterbel is landbouw in dit gebied mogelijk. Ook liggen er enkele natuurgebieden, zoals Dijkmanshuizen en De Bol. In deze natuurgebieden resulteren eerdergenoemde gradienten in een soortenrijke vegetatie.

de polders en de mariene kleigebieden

De polders op Texel liggen laag; het waterpeil wordt over het algemeen beneden NAP gehandhaafd. Door de lage ligging kwelt in de polders zout grondwater op. In alle polders worden in sloten en sloottaluds regelmatig soorten van brakke en zilte omstandigheden aangetroffen. De hoogste aantallen worden gevonden in de polders die aan de Waddenzee grenzen (bijlage XII: soorten van brakke en zilte sloten, soorten van brakke sloottaluds).

De polders zijn bijna geheel in landbouwkundig gebruik. Op de percelen worden aardappelen, bieten, granen, maa's, overige landbouwgewassen en bollen verbouwd. Een deel van de percelen is als grasland in gebruik. Ook hier geldt weer dat de vegetatie van het grasland vooral door het beheer bepaald wordt. In de polders komen met name graslanden van het raalgrasstype voor (bijlage XII: kaart graslandtype). Het zijn soortenarme en zwaar bemeste graslanden. De aanwezigheid van dunne, zoete regenwaterlenzen die drijven op het zoute grondwater, maakt landbouw in de polders mogelijk. De overgang van het zoete naar het zoute grondwater is in de polders op een geringe diepte van enkele meters gelegen. Daar waar de deklaag ontbreekt, zijn de zoete neerslaglenzen het dunst.

Door uit- en afspoeling van landbouwgronden en effluentlozingen is in het algemeen het oppervlaktewater voedselrijk.

De polders hebben een relatief intensief verkavelingspatroon van sloten ten behoeve van de ontwatering. Het oppervlaktewater wordt door middel van ruim 600 stuwen getrappt vastgehouden. De polderpellen worden gereguleerd door enkele gemalen en handbediende stuwen.

In de natuureservaten in de polders worden vaker plantensoorten van brakke omstandigheden aangetroffen. Het gaat om de Roggesloot, De Bol, polder Wassenaar en 't Visje. De Roggesloot is een voormalige kreek, polder Wassenaar en 't Visje zijn pas in de 19^e eeuw ingepolderd. Alle gebieden worden gevoed door brakke kwel uit de Waddenzee.

4. KANSEN EN KNELPUNTEN

In dit hoofdstuk is de werkwijze beschreven om aan de hand van de methode watermood knelpuntenkaarten te maken. Er is een kaart gemaakt voor de het aspect grondwaterkwantiteit en er is een kaart voor het aspect oppervlaktewaterkwaliteit (chloridegehalte) gemaakt.

Voor het ontwikkelen van scenario's is het van belang inzicht te hebben in de huidige knelpunten in de waterhuishouding op Texel. In het kader van deze studie is op basis van de Watermood-methodiek een knelpuntenkaart gemaakt voor de grondwaterkwantiteit en de oppervlaktewaterkwaliteit (chloride).

Er is geen knelpuntenkaart gemaakt van de grondwaterkwaliteit (chloride) omdat hiervoor geen normen worden gehanteerd. De normen zijn (impliciet) verwerkt in de subdoeltypen voor de natuur en in de chloridenormen voor de oppervlaktewaterkwaliteit. Ook is geen knelpuntenkaart gemaakt van de oppervlaktewaterkwantiteit (stromingssnelheden). Alleen de hoofdwaterlopen op Texel zijn in DUFLOW gemodelleerd (zie hoofdstuk 6). Deze schematisatie is te globaal om gedetailleerd op watergangniveau de stroomsnelheden exact te berekenen.

4.1. Werkwijze op hoofdlijnen

Watermood (Projectgroep Watermood, 1998) staat voor WATERsysteemgericht Normeren, Ontwerpen en Dimensioneren en is een initiatief van de Dienst Landelijk Gebied en de Unie van Waterschappen. Aanleiding voor het ontwikkelen van een nieuwe methode was de behoefte meer watersysteem gericht te normeren, te ontwerpen en te dimensioneren. Het is een methodiek waarmee de inrichting en het beheer van oppervlaktewatersystemen zodanig kan worden vormgegeven dat de gewenste grondwaterregimes kunnen worden bereikt. De gewenste grondwaterregimes zijn afhankelijk van de toegekende functies en de gebiedseigenschappen.

Bij Watermood worden in het algemeen de volgende stappen gevolgd:

- stap 1: vaststellen van het optimale grond- en oppervlaktewaterregime (OGOR);
- stap 2: vaststellen van het actuele grond- en oppervlaktewaterregime (AGOR);
- stap 3: bepaling doelrealisatie;
- stap 4: selectie van maatregelen;
- stap 5: evaluatie en monitoring.

Voor dit onderzoek zijn alleen de eerste drie stappen doorlopen voor wat betreft de grondwaterkwantiteit en de oppervlaktewaterkwaliteit. Stap 4 en 5 zijn alleen voor de volledigheid genoemd.

Tijdens stap 1 zijn per standplaats de randvoorwaarden geïnventariseerd waaraan het grond- en oppervlaktewatersysteem moet voldoen om optimaal invulling te kunnen geven aan de functies. Daarbij is nog geen sprake van belangenafwegingen en is voorbij gegaan aan de haalbaarheid. Tijdens stap 2 is voor elk standplaats het grondwaterregime en voor alle oppervlaktewatermonsterpunten het chloridegehalte bepaald. Een vergelijking van de optimale en actuele grondwaterregime en oppervlaktewaterkwaliteit heeft tijdens stap 3 plaatsgevonden. Het resultaat van deze laatste stap is een knelpuntenkaart. De knelpuntenkaart is een hulpmiddel bij het ontwikkelen van de scenario's, die in hoofdstuk 8 staan beschreven.

In de volgende paragrafen wordt verder op de eerste stappen ingegaan.

4.2. Standplaatsen

Voor het vaststellen van de optimale grondwaterregimes moeten eerst de standplaatsen geïdentificeerd worden. Standplaatsen zijn hier gedefinieerd als een combinatie van bodemtype en grondgebruiksvorm. De hoofdwaterlopen met hun watertypologie uit het provinciaal Waterhuishoudingsplan (WHP II) zijn als lijnvormige standplaatsen ingevuld.

Voor het (vlakdekkend) grondgebruik voor Texel is de landgebruikskaart digitaal beschikbaar (LGN3+, 1:10000). Ten aanzien van het grondgebruik zijn de volgende categorie onderscheiden:

- landbouw (akkerbouw en grasland);
- natuur (natuurdoelen met o.a. bos);
- bebouwd.

Voor het bepalen van het optimale grondwaterregime voor landbouw zijn de HELP-tabellen gebruikt (zie volgende subparagraaf). In de HELP-tabellen zijn de verschillende bodemtypen van de bodemkaart geclusterd tot een beperkter aantal bodemtypen. Immers, het onderscheid bij de bodemkaart is gericht op opbouw, textuurverdeling, etc en de bodemtypen van de HELP-tabellen op opbrengstdepressies. Daarbij is minder detail noodzakelijk. Voor het bepalen van de standplaatsen is derhalve de clustering van bodemtypen in de HELP-tabellen gehanteerd (zand, klei en veengronden).

Voor de functie natuur vormt elk natuurdoeltype afzonderlijk een standplaats. Het bodemtype wordt geacht te zijn verdisconteerd in het voor een gebied vastgesteld natuurdoeltype. Ook het overige grondgebruik zoals stedelijk gebied en bos is verondersteld onafhankelijk te zijn van het bodemtype voor het bepalen van een optimaal grondwaterregime.

Op basis van bovenbeschreven werkwijze zijn in deze studie voor Texel 80 standplaatsen onderscheiden (waaronder 2 voor landbouw). Voor deze standplaatsen is vanuit een sectorale benadering het optimale grond- en oppervlaktewaterregime bepaald.

4.3. Actuele grond- en oppervlaktewaterregime

grondwaterkwantiteit

Voor het in beeld brengen van het actuele grondwaterregime is gebruik gemaakt van grondwatertrappen van de bodemkaart. Het voordeel van de grondwatertrappenkaart is dat deze voor Texel gebiedsdekkend aanwezig is. De dichtheid van de grondwaterstandsmeetpunten is onvoldoende voor het bepalen van een vlakdekkend regime. Voor een groot aantal peilbuizen op Texel is de meetperiode te kort om een gemiddeld regime te bepalen. Evenals bij het bepalen van grondwatertrappen is hiervoor immers minimaal een achtjarige meetreeks nodig met tweewekelijkse metingen. Op basis van een kort-durende meetreeks kan wel worden gecheckt op het binnen dezelfde orde van grootte ligt. De peilbuisgegevens zijn steekproefsgewijs gebruikt om te verifiëren of de op de bodemkaart aangegeven grondwatertrappen in overeenstemming zijn met de meer recente metingen.

Voor het bepalen van de grondwatertrappen voor Texel is de digitale versie van de bodemkaart van Texel schaal 1:10.000 gebruikt (zie eveneens paragraaf 2.4). De grondwatertrappenkaart is opgenomen in bijlage V.

oppervlaktewaterkwaliteit

Voor het bepalen van de zoutconcentratie van het oppervlaktewater zijn de chlorideconcentraties gebruikt die gemeten zijn in de "meetpunten waterkwaliteit" van de hoofdwaterlopen (zie eveneens paragraaf 6.4.3). De gemiddelde chloridenconcentraties in de hoofdwaterlopen zijn weergegeven op kaart (bijlage XXI).

4.4. Optimale grond- en oppervlaktewaterregime

4.4.1. Landbouw

Het optimale grondwaterregime voor landbouwgebieden is vastgesteld op basis van de HELP-tabellen. Opbrengstderiving als gevolg van te natte en te droge situaties worden in de HELP-tabellen aangegeven voor zeer veel combinaties van bodemtype, grondwatertrap en grondgebruiksvorm. De optimale grondwatertrap wordt gevonden bij de hoogst mogelijke opbrengst op een standplaats. In paragraaf 4.5. wordt nader ingegaan op de te hanteren grenzen voor een optimaal grondwaterregime.

4.4.2. Natuur

Kenmerkend voor de functie natuur is dat de natuurdoeltypen deels zijn gebaseerd op de voorkomende bodemtypen (die ook zijn gevormd door het hydrologisch systeem). Het definiëren van een standplaats door de combinatie van natuurdoeltype en bodemtype is dus niet nodig.

Voor de functie natuur wordt gebruik gemaakt van subdoeltypen (voor de korte termijn, 5-10 jaar) die Staatsbosbeheer (SBB) voor zijn gebieden heeft gedefinieerd. Ook voor bos zijn door SBB subdoeltypen gedefinieerd. Derhalve is bos niet als aparte functie opgenomen. Het optimale grondwaterregime voor een subdoeltype wordt gedefinieerd in termen van grondwatertrappen, omdat dit het detailniveau is waarop het actuele grondwaterregime bekend is.

Voor natuur is naast het grondwaterregime, de grondwaterkwaliteit een belangrijke parameter (zoet, brak, zout). De grondwaterkwaliteit wordt onder andere beïnvloed door kwel. Van daar dat bij de verschillende natuurdoeltypen is aangegeven of kwel gewenst is om de natuurdoeltypen te ontwikkelen. Daarmee is de grondwaterkwaliteit in kwelsituaties indirect in beeld.

4.4.3. Stedelijk gebied

Voor al het bebouwd gebied, zoals aangegeven op de landgebruikskaart, is een ontwateringsdiepte van 70 cm beneden maaiveld ingevoerd.

4.4.4. Oppervlaktewaterkwaliteit

De provincie Noord-Holland werkt voor de oppervlaktewaterkwaliteit met het SEND-stelsel (Prov. Noord-Holland, 1996). SEND staat voor Specifiek Ecologische NormDoelstellingen. Het stelsel is "een samenhangend geheel van normen (parameters) met betrekking tot de ecologische toestand van het oppervlaktewatersysteem". De in het stelsel opgenomen doelstellingen voor de abiotische parameters zijn de randvoorwaarden voor de karakteristieke planten- en aquatische macrofaunasoorten van een watertype. De normen voor de waterkwaliteit zijn afhankelijk van de functie die aan de wateren is toegekend. De strengste normen gelden voor wateren met de hoofdfunctie natuur; voor de wateren zonder een natuurfunctie zijn de minst strenge normen van kracht. Aan wateren met een nevenfunctie natuur is een middelste normenniveau verbonden. De invulling van de normen is daarnaast afhankelijk van het watertype. Per watertype is een afzonderlijke set van normen ontwikkeld, waardoor rekening wordt gehouden met de natuurlijke variatie van aquatische ecosystemen. Op Texel zijn de volgende watertypen aanwezig: zilte polderwateren, brakke polderwateren, licht brakke polderwateren, polderwateren onder invloed van kwel, algemene polderwateren en kalkarme duinwateren. De gewenste oppervlaktewaterkwaliteit is afhankelijk van zowel het watertype als de functie van het water.

In het tweede Waterhuishoudingsplan van de provincie Noord-Holland (WHP-2) is de watertypenkaart opgenomen.

Voor Texel zijn van belang kalkarme duinwateren, polderwateren onder invloed van kwel, licht brakke polderwateren brakke polderwateren, zitte polderwateren en algemene polderwateren.

Op kaart A1 (Functiekaart voor water) van de bijlagen van het WHP-2 is voor het beheergebied van waterschap Hollands Kroon aangegeven wat de functie van de wateren is. Op Texel komen voor: hoofdfunctie natuur, hoofdfunctie agrarisch, hoofdfunctie agrarisch met nevenfunctie natuur en hoofdfunctie stedelijk water. Per watertype en functie worden bepaalde kwaliteitsnormen nagestreefd, waaronder één voor chloride (zie paragraaf 4.5.4).

Een optimale oppervlaktewaterkwaliteitskaart wordt gemaakt door de kaart watertypologie en de functiekaart over elkaar heen te leggen en per combinatie in de SEND-tabel de gemeten chloridenconcentratie te toetsen aan de bijbehorende norm.

4.5 Toetsingscriteria

In de vorige paragraaf is het optimale grond- en oppervlaktewaterregime bepaald voor de verschillende functies, landgebruiksvormen en natuurdoelen. In de beslissingsondersteuning is het echter ook van belang om aan te geven waar de ondergrens ligt van wat als optimaal wordt aangemerkt en welke grondwaterregimes absoluut onaanvaardbaar zijn voor de verschillende functies. Daarom worden in dit hoofdstuk toetsingscriteria beschreven.

4.4.5. Landbouw

Het optimale grondwaterregime wordt bepaald op basis van een maximale opbrengst, gegeven het bodemtype, in afhankelijkheid van het grondwaterregime in een meteorologisch gemiddeld jaar.

In de HELP-tabellen is de opbrengstdepressie gerelateerd aan het opbrengstniveau dat op de beste gronden bij de meest gunstige grondwatertrap haalbaar is (grondwaterstandsafhankelijke depressie). Hieruit blijkt dat ook onder de meest ideale omstandigheden een bepaalde grondsoort altijd "opbrengstschade" heeft (ten gevolge van nat en/of droog), terwijl relatief gezien het opbrengstniveau dan 100% is. Om naast elkaar voorkomende standplaatsen toch met elkaar te kunnen vergelijken is dit onderzoek gekozen om opbrengstdepressie bij een bepaalde grondwatertrap uit te drukken als percentage van de opbrengstdepressie bij een optimale grondwatertrap.

Voor grasland en bouwland zijn voor alle grondsoorten en grondwatertrappen zijn de opbrengstdepressie t.o.v. van de optimale grondwatertrap (IV) weergegeven in de tabel 4.1. en 4.2. (Een * achter de Gt-codes betekent 'droger deel', om de gedachten te bepalen; met een GHG dieper dan 25 cm. GHG en GLG in cm beneden maaiveld).

Tabel 4.1. Opbrengstdepressies bouwland voor de verschillende gronden

| Gt | GHG | GLG | Veengrond | Zandgrond | Kleigrond |
|------|-----|-----|-----------|-----------|-----------|
| I | 10 | 70 | Nvt | Nvt | Nvt |
| I* | 25 | 75 | Nvt | Nvt | Nvt |
| II | 15 | 105 | 23% | 20% | 27% |
| II* | 25 | 105 | 11% | 10% | 10% |
| IV | 50 | 110 | 0% | 0% | 0% |
| V | 35 | 140 | 5% | 5% | 6% |
| V* | 35 | 150 | 4% | 3% | 0% |
| VI | 60 | 170 | 9% | 8% | 3% |
| VII | 100 | 200 | 18% | 14% | 5% |
| VII* | 160 | 260 | Nvt | 28% | 22% |

Tabel 4.2. Opbrengstdepressies grasland voor de verschillende gronden

| GR | GHG | GLG | Veengrond | zandgrond | Kleigrond |
|------|-----|-----|-----------|-----------|-----------|
| II | 15 | 70 | 21% | 10% | 17% |
| II* | 25 | 75 | 11% | 7% | 7% |
| III | 15 | 105 | 70% | 70% | 72% |
| III* | 15 | 105 | 8% | 4% | 8% |
| IV | 50 | 110 | 0% | 0% | 0% |
| V | 25 | 140 | 7% | 7% | 7% |
| V* | 35 | 150 | 8% | 5% | 6% |
| VI | 60 | 170 | 18% | 10% | 10% |
| VI* | 100 | 200 | 14% | 16% | 17% |
| VI* | 160 | 260 | 14% | 22% | 23% |

Opgemerkt wordt dat de grondwatertrappen V en III qua ondergrens dicht bij grondwatertrap IV liggen. Volgens de HLP-tabellen is grondwatertrap IV theoretisch de meest optimale grondwatertrap voor zowel grasland als bouwland. Volgens informatie van Waterschap Hollands Kroon hoeft dat in de praktijk op Texel niet zo te zijn.

Voor landbouw is gekozen voor drie doelrealisatieklassen, analoog aan het rapport van de projectgroep Waternood: optimaal, aanvaardbaar en onaanvaardbaar. Gezien bovenstaande tabellen heeft Witteveen+Bos de grenzen van de verschillende klassen voor drie verschillende categorieën bodems vastgesteld. Deze zijn in tabel 4.3 weergegeven. In de tabel zijn de opbrengsten bij de verschillende categorieën weergegeven, waarbij de depressie een optelsom is van zowel (theoretische) nat- als droogteschade. In deze studie is bovendien de verhouding tussen nat- en droogteschade vastgelegd binnen de klassen.

Tabel 4.3. Grenzen aan doelrealisatieklassen landbouw

| Relatieve opbrengstdepressie (%) | Classificatie |
|----------------------------------|--------------------------|
| -100 - -15 | Onaanvaardbaar, te droog |
| -15 - -5 | Aanvaardbaar |
| -5 - +5 | Optimaal |
| +5 - +15 | Aanvaardbaar |
| +15 - +100 | Onaanvaardbaar, te nat |

Bij deze klasse-indeling is uitgegaan van de beste eendgronden waar 100% opbrengst mogelijk is.

4.4.6. Natuur

Voor natuur is het optimale regime bepaald op basis van de door SBB geformuleerde subdoeltypen. Per subdoeltype is op basis van literatuur en expert-judgement van ieder subdoeltype door Witteveen+Bos de meest gewenste grondwatertrap bepaald (zie bijlage XVII). Het is mogelijk dat een subdoeltype bij meerdere grondwatertrappen tot ontwikkeling kan komen. In verband met de gehanteerde systematiek is bij het vervaardigen van de knelpuntenkaart echter maar één grondwatertrap gekozen. Het optimale regime krijgt een beoordeling optimaal. De grenzen aan de doelrealisatie natuur zijn in tabel 4.4. weergegeven. De GVG is de gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand ($GVG = GHG + 0,2 \cdot (GLG - GHG) + 5 \text{ cm}$).

Tabel 4.4. Grenzen aan doelrealisatie natuur voor een subdoeltype

| Afwijking ten GVG | Classificatie |
|-------------------|---------------|
| < -10 cm | Veel te nat |
| -5 tot -10 cm | Te nat |
| +5 tot -5 cm | Optimaal |
| +5 tot +10 cm | Te droog |
| > +10 cm | Veel te droog |

Voor grondwaterkwaliteit (chloridegehalte) is een belangrijke parameter (zoet, brak, zout) voor het natuurdoeltype. De grondwaterkwaliteit wordt onder andere beïnvloed door kwel. Voor de verschillende natuurdoeltypen is aangegeven of kwel gewenst is, en of deze kwel dan zout, brak of zoet moet zijn (zie bijlage XVII).

4.4.7. Bebouwd gebied

De minimale ontwateringsdiepte voor bebouwd gebied is 70 centimeter onder maaiveld. Dit is vertaald naar een grondwatertrap VII. Alle grondwatertrappen natter dan VII worden als onaanvaardbaar aangemerkt. Deze gebieden zijn niet aangegeven op kaart m, dat voor het stedelijk gebied de grondwatertrappen ontbreken.

4.4.8. Oppervlaktewaterkwaliteit

De oppervlaktewaterkwaliteit wordt getoetst aan de hand van de SEND-parameters. De gewenste oppervlaktewaterkwaliteit is afhankelijk van zowel het watertype als de functie van het water (zie paragraaf 4.4.4).

Per watertype en functie wordt een bepaalde chloridenorm nagestreefd. In de SEND-tabel komt het aspect functie terug in het te behalen niveau. Het hoge niveau moet worden gehaald in gebieden met hoofdfunctie natuur, het middelste niveau in gebieden met een nevenfunctie natuur en het lage niveau in de gebieden waar geen natuurfunctie is toegekend (op Texel dus hoofdfunctie agrarisch en hoofdfunctie stedelijk water). In tabel 4.4. zijn per watertypologie en functie (niveau)de chloridenormen weergegeven.

Tabel 4.4: Normen voor chloride in wateren op Texel (bron: kaart C WHP-3)

| Watertype | Niveau | Cl-norm (mg/l) |
|---------------------------------|--------|----------------|
| Zoute polderwateren | Hoog | >7500 |
| | Midden | >5000 |
| | Laag | >3000 |
| Brakke polderwateren | Hoog | >2000 |
| | Midden | >1750 |
| | Laag | >1500 |
| Licht brakke polderwateren | Hoog | >1000 |
| | Midden | >750 |
| | Laag | >600 |
| Polderwateren o.l.v. zoute kwel | Hoog | <150 |
| | Midden | <250 |
| | Laag | <400 |
| Algemene polderwateren | Hoog | >0 |
| | Midden | >0 |
| | Laag | >0 |
| Kalkarme duinwateren | Hoog | >0 |
| | Midden | >0 |
| | Laag | >0 |

Een knelpunten kaart van de oppervlaktewaterkwaliteit is gemaakt door de kaart watertypologie en de functiekaart over elkaar heen te leggen en per combinatie in de SEND-tabel de bijbehorende norm voor chloride daarbij te zoeken. Knelpunten in de waterkwaliteit kunnen alleen ontstaan op plaatsen waar de huidige waterkwaliteit bekend is, d.w.z. op de monitoringpunten van USHN. De knelpuntenkaart voor wat betreft oppervlaktewaterkwaliteit wordt daarmee een stippenkaart.

Op de knelpuntenkaart voor chloridegehalten is per oppervlaktewatermeetpunt aangegeven of de chloridenconcentratie ontbreekt, optimaal, te hoog of te laag is. Tevens is de watertypologie ook op deze kaart aangegeven.

4.5. Knelpuntenkaarten

grondwaterkwantiteit

De knelpuntenkaart voor grondwaterkwantiteit is opgenomen in bijlage XVIII. De knelpuntenkaart is gemaakt met ArcView. Per grondgebruiksfunctie zijn de actuele en optimale grondwaterregimes met elkaar vergeleken. Op basis van de toetsingscriteria (klassengrenzen) uit het vorige paragraaf zijn vervolgens de doelrealisaties bepaald voor natuur en landbouw.

De opvallendste conclusies van de knelpuntenkaart zijn:

- In grote delen van de landbouwgebieden bevindt de opbrengstdepressie zich tussen -5% en +5%;
- Tegen de duinen is de opbrengstdepressie in het landbouwgebied hoger door natschade in de winterperiode;
- Op de mariene zandgronden in de polders treedt in de zomer droogteschade op;
- De oude kreekbeddingen treden opbrengstverminderingen op door te hoge grondwaterstanden;
- In de natuurgebieden komt optimaal, te droog en te nat naast elkaar voor. Dit heeft te maken met de korte termijn doelstellingen van de subdoeltypen. Indien de lange termijn doelstellingen waren gehanteerd was het oppervlak te droog veel groter geweest.

Voor de vlekken "veel te nat of veel te droog" of bij een grote relatieve opbrengstdepressie kunnen bijvoorbeeld de scenario's worden ontwikkeld.

oppervlaktewaterkwaliteit

Een knelpunten kaart van de oppervlaktewaterkwaliteit is gemaakt door de kaart watertypologie en de functiekaart over elkaar heen te leggen en per combinatie in tabel 4.4 de bijbehorende norm voor chloride daarbij te zoeken. Knelpunten in de waterkwaliteit kunnen alleen ontstaan op plaatsen waar de huidige waterkwaliteit bekend is, dwz op de monsterpunten van Uitwaterende Sluizen. De knelpuntenkaart voor wat betreft oppervlaktewaterkwaliteit is daarom een stippenkaart.

Op de knelpuntenkaart voor chloridegehalten is per oppervlaktewatermeetpunt aangegeven of de chloridenconcentratie ontbreekt, optimaal, boven of onder de norm ligt t.o.v. de SEND-norm. Tevens is de watertypologie ook op deze kaart aangegeven.

Op de kaarten zijn een aantal stippen te zien. Voor de stippen vlekken "boven de norm of onder de norm" kunnen bijvoorbeeld scenario's m.b.t. oppervlaktewater worden bedacht. Opvallend zijn het grote aantal monsterpunten waar de chloridenconcentratie onder de norm ligt. Bij slechts 6 monsterpunten ligt de chloridenconcentratie boven de norm.

5. GRONDWATERSTROMINGSMODEL

In dit hoofdstuk is de modelopbouw beschreven van het grondwatermodel.

5.1. Inleiding

Voor de modellering van het grond- en oppervlaktewater bij Texel is een geïntegreerd model opgesteld, dat naast de waterbeweging ook de chloridegehalten kan berekenen. Dit geïntegreerd zoet-zoutmodel is opgebouwd uit verschillende (bestaande) "simulatieprogramma's", waarbij koppelingen zijn aangebracht tussen de verschillende onderdelen. Bij de voor- en nabewerkingen is gebruik gemaakt van het GIS ARC/INFO en ArcView.

5.2. Keuze rekenmodel

Het grondwatermodel is gemaakt met het programmapakket Processing MODFLOW (PMwin versie 5.0). Verschillen in stijghoogten als gevolg van concentratieverschillen worden ingebracht met behulp van de density-package ontwikkeld door het KIWA. Het oppervlaktewater is gemodelleerd met een DUFLOW-pakket (het oppervlaktewatermodel wordt in hoofdstuk 6 beschreven).

Korte achtergrondinformatie bij de gebruikte modellen:

- MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1984): MODFLOW is een code, die gebaseerd is op de eindige differentie-methode. Het modelgebied wordt ruimtelijk opgedeeld in blokken, waarbinnen alle eigenschappen uniform worden verondersteld en toegekend aan het middelpunt van de cel. MODFLOW berekent grondwaterstroming in drie dimensies. MODFLOW maakt gebruik van onderling onafhankelijke 'packages', die elke een specifiek onderdeel van het hydrologische systeem beschrijven.
- KIWA-package (Schaars en Van Gerven, 1997): In de originele MODFLOW code wordt geen rekening gehouden met dichtheidsverschillen. Daarom is het zg. KIWA-package ontwikkeld, waarbij in de stromingsvergelijking een extra term is ingebracht om rekening te houden met de invloed van dichtheidsverschillen op het stromingsveld. In de waterbalans-optie van MODFLOW is hier echter geen rekening mee gehouden. Ook met het KIWA-package berekent MODFLOW altijd zoetwaterstijghoogtes. Bij vergelijking met in het veld gemeten stijghoogten dient dus gecorrigeerd te worden m.b.v. het chloride gehalte.
- MODDENS3D (Sanford en Konikow, 1986 en Oude Essink, 1998): het KIWA-package houdt geen rekening met de verandering van het dichtheidsveld met de tijd. Met MODDENS3D is het mogelijk niet-stationaire 3D dichtheidsafhankelijke stroming te modelleren. Niet alleen wordt het initiële snelheidsveld berekend, maar tevens wordt de verplaatsing van het dichtheidsveld gesimuleerd. De code kan rekening houden met hydrodynamische dispersie en moleculaire diffusie. Een belangrijke eigenschap is dat deze code groot-schalige geometrie kan modelleren door grote elementen te gebruiken, zonder dat ernstige numerieke problemen optreden.
- MT3D (Zheng, 1992): Het 3D transportprogramma MT3D wordt gebruikt voor het berekenen van advectie, dispersie en chemische reacties van opgeloste stoffen in het grondwater. Het programma gebruikt MODFLOW voor de berekening van fluxen. Het programma is opgebouwd uit verschillende packages voor de diverse chemische processen.

Voor de interactie is een hulpprogramma ontwikkeld dat fluxen uit MODFLOW vertaalt naar invoer voor DUFLOW. Per deelgebied (vaak peilvakken) wordt de kwelflux uit MODFLOW gesommeerd en toegekend aan de waterloop die voor afwatering van het deelgebied zorgt. Het MODFLOW/MT3D-instrument is geschikt om een goed beeld te krijgen van het watersysteem en voor het berekenen van scenario's waarbij de verandering van dichtheden een beperkte invloed hebben op het stromingspatroon.

Voor de scenario's waarbij verandering van het dichtheidspatroon in het grondwater een duidelijke invloed hebben op het stromingspatroon, is het gecalibreerde MODFLOW-model omgezet naar een MODENS3D-model.

In hoofdstuk 7 wordt verder ingegaan op de gebruikte calibratie-procedures.

5.3. Modelgebied en netwerk

Een model is opgesteld tussen de x-coördinaten 106.000 en 126.000 en de y-coördinaten 552.000 en 581.000. Op deze wijze wordt geheel Texel meegenomen, inclusief een randzone van 3 kilometer rond het eiland. Deze randzone is noodzakelijk om, met name bij grootschalige scenario's, de grondwaterstroming en de zout-zoutbeweging onder Texel te modelleren zonder dat 'randeffecten' optreden.

Er is een celgrootte van 250 x 250 m aangehouden in het basismodel. In de verticaal is het model opgedeeld in 25 modellagen. Om berekeningen met MODENS3D mogelijk te maken heeft elke modellaag een uniforme dikte (binnen de laag). Aan de bovenzijde is de laagdikte gering (1,5 m) terwijl aan de onderzijde van het model een laagdikte van 20 meter is gebruikt. In onderstaande tabel zijn de laagdikten aangegeven. In tabel 5.1 is de verticale schematisatie aangegeven.

Tabel 5.1. Dikte en dieptes GDOT-model van de verschillende modellagen en het voorkomen van de gidslagen

| Modellaag | Dikte [m] | Top [m + NAP] | Onderkant [m + NAP] | Voorkomende formaties (alleen de scheidende lagen zijn hierin opgenomen) |
|-----------|-----------|---------------|---------------------|--|
| 1 | 3 | 6 | 3 | Westland, Drente |
| 2 | 3 | 3 | 0 | Westland, Drente |
| 3 | 1,5 | 0 | -1,5 | Westland, Drente, Urk2 |
| 4 | 1,5 | -1,5 | -3 | Westland, Drente, Urk2 |
| 5 | 4 | -3 | -7 | Westland, Drente, Urk2 |
| 6 | 5 | -7 | -12 | Westland, Eem, Twente Drente, Urk2 |
| 7 | 10 | -12 | -22 | Westland, Eem, Twente Drente, Urk2 |
| 8 | 10 | -22 | -32 | Eem, Twente Drente, Urk2 |
| 9 | 10 | -32 | -42 | Urk2 |
| 10 | 10 | -42 | -52 | Urk2, Peelo, Urk1 |
| 11 | 10 | -52 | -62 | Peelo, Urk1 |
| 12 | 10 | -62 | -72 | Peelo, Urk1 |
| 13 | 10 | -72 | -82 | Peelo, Urk1 |
| 14 | 10 | -82 | -92 | Peelo, Urk1 |
| 15 | 10 | -92 | -102 | (geen scheidende lagen) |
| 16 | 20 | -102 | -122 | (geen scheidende lagen) |
| 17 | 20 | -122 | -142 | (geen scheidende lagen) |
| 18 | 20 | -142 | -162 | (geen scheidende lagen) |
| 19 | 20 | -162 | -182 | (geen scheidende lagen) |
| 20 | 20 | -182 | -202 | (geen scheidende lagen) |
| 21 | 20 | -202 | -222 | (geen scheidende lagen) |
| 22 | 20 | -222 | -242 | (geen scheidende lagen) |
| 23 | 20 | -242 | -262 | Maasvluis |
| 24 | 20 | -262 | -282 | Maasvluis |
| 25 | 20 | -282 | -302 | Maasvluis |

5.4. Modelperiode

Ten behoeve van de scenario-berekeningen wordt een instationair grondwaterstromingsmodel opgesteld. Een recente aaneengesloten periode dient te worden gemodelleerd, met daarin zowel droge als natte perioden.

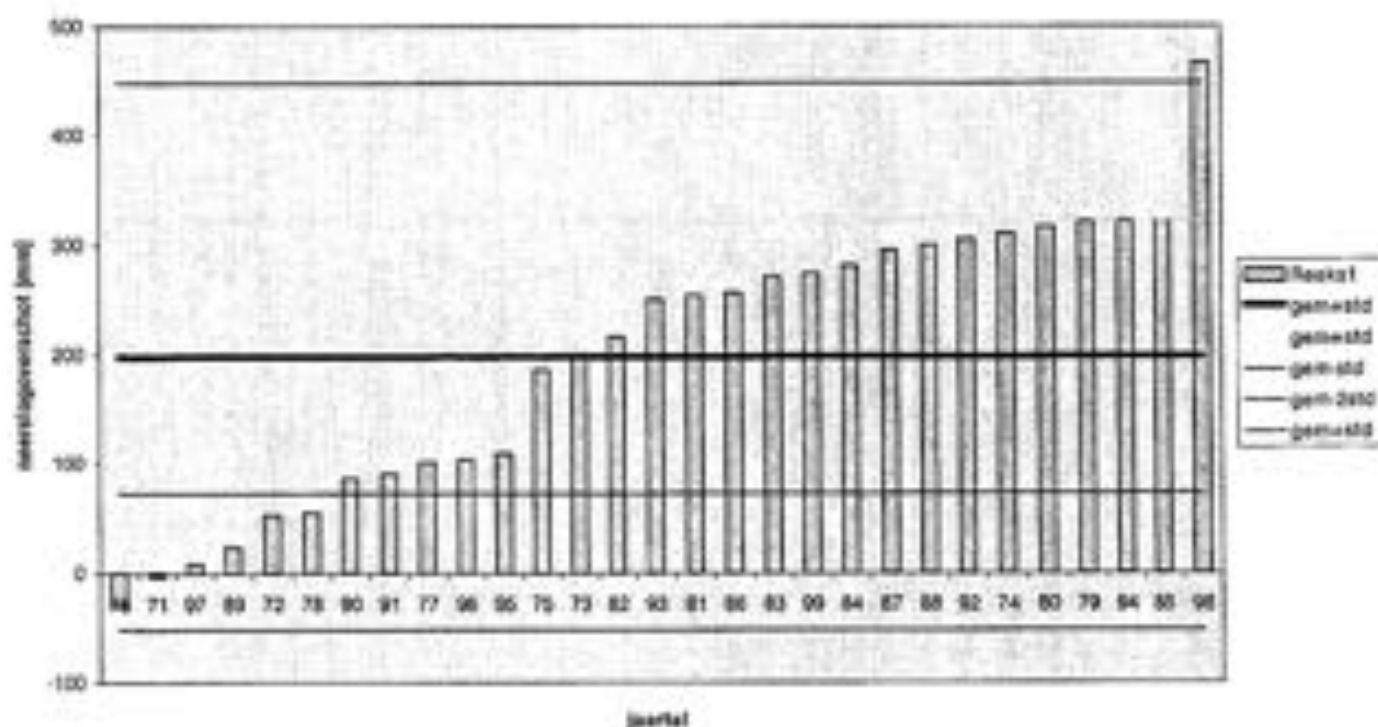
neerslag De Kooy (Den Helder)

Als eerste is een analyse gemaakt van de jaarlijkse neerslaghoeveelheden en neerslagoverschot van station De Kooy over de afgelopen 30 jaar (zoals aangegeven in hoofdstuk 2 is er nauwelijks verschil tussen de neerslaggegevens van de meetstations Den Burg, Cocksdorp, De Koog en De Kooy; er is daarom alleen een analyse van gegevens van station De Kooy gemaakt).

In afbeelding 5.1 is het jaarlijks neerslagoverschot uitgezet, gerangschikt in oplopende volgorde, en is tevens het gemiddelde uitgezet, verminderd of vermeerderd met de standaarddeviatie. Uit de analyse blijkt dat 1976 een zeer droog jaar is geweest, met een negatief neerslagoverschot. In 1998 is het neerslagoverschot het grootst over de afgelopen 30 jaar; meer dan 400 mm op jaarbasis. In de afgelopen 10 jaar zijn zowel droge als natte jaren voorgekomen.

Afbeelding 5.1:

geordeerde neerslagoverschot naar jaarlijkse hoeveelheid met gemiddelde en standaard deviatie
1971-1999



modelperiode

Voor de te modelleren periode is het van belang dat:
er een droog, een nat jaar en een gemiddeld binnen de modelperiode valt.
er een recente periode wordt gebruikt

Uit de grafiek blijkt dat (over de afgelopen 10 jaar) het neerslagoverschot in 1993 het gemiddelde het meest benaderd. Het jaar 1994 is een nat jaar (gemiddelde+standaarddeviatie) en 1995 is een droog jaar (gemiddelde-standaarddeviatie). Het jaar 1997 is een recent, zeer droog jaar, terwijl 1998 als een recent, extreem nat jaar kan worden beschouwd.

Door de jaren 1992 tot en met 1995 te kiezen wordt een (enigszins) gemiddeld jaar, een nat jaar (1994) en een droog jaar (1995) gemodelleerd. Het jaar 1992 is dan het startjaar, met als startdatum 28 april (een datum waarop veel gemeten wordt, terwijl in april 1992 een "normale" hoeveelheid neerslag is gevallen en de voorjaars situatie als een -enigszins- gemiddelde situatie kan worden beschouwd.). Bij de calibratie zal, alvorens instationair te calibreren, het model worden gecalibreerd op de datum 28-4-1992. De totale modelperiode voor het instationair model zal de periode 28-4-1992 tot en met 31-12-1995 omvatten.

In bijlage VII is neerslag per decade aangegeven. Hieruit blijkt dat binnen de modelperiode ook verschillende natte en droge perioden voorkomen.

Tijdstappen

De instationaire modellering wordt uitgevoerd met tijdstappen (stressperioden) van één maand. Dit betekent dat invoer van gegevens als grondwateraanvulling, onttrekkingen, pellen en concentraties op basis van maandelijkse gemiddelden heeft plaatsgevonden.

5.5. Geohydrologische parameters

Aan de verschillende formaties zijn in het model doorlatendheden toegekend. In onderstaande tabel zijn de initiële waarden aangegeven.

Tabel 5.2 Initiële gekozen horizontale en verticale doorlatendheid van de Formaties

| Formatie | gidslaag/watervoerende laag | Kh [m/dag] | Kv [m/dag] (= 0,25*Kh) |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|
| Maastuis | Gidslaag | Ondoorlatend | Ondoorlatend |
| Maastuis/Harderwijk | | 10 | 2,5 |
| Harderwijk | Watervoerende laag | 30 | 7,5 |
| Enschede | Watervoerende laag | 30 | 7,5 |
| Enschede/Urk1 | | 4 | 1 |
| Urk1 | Gidslaag | 0,04 | 0,01 |
| Enschede/Peelo | | 1 | 0,25 |
| Peelo | Gidslaag | 0,01 | 0,0025 |
| Enschede/Urk2 | | 3 | 0,75 |
| Urk2 | Gidslaag | 0,03 | 0,0075 |
| Enschede/Drente | | 2 | 0,5 |
| Drente | Gidslaag | 0,25afhankelijk van de dikte | 0,0625 |
| Eem | Gidslaag | Afhankelijk van de dikte | Afhankelijk van de dikte |
| Twente | Gidslaag | Afhankelijk van de dikte | Afhankelijk van de dikte |
| Westland | Gidslaag | Afhankelijk van de dikte | Afhankelijk van de dikte |

In bovenstaande tabel zijn de doorlatendheden van de verschillende lagen aangegeven. Voor cellen in een modellaag waarin zowel een gidslaag als een watervoerende laag voorkomen zijn de Kh en Kv afzonderlijk bepaald. De gidslagen zijn hierbij bepalend geweest door de verticale doorlatendheid, terwijl het watervoerende pakket de horizontale doorlatendheid bepalen. In onderstaand intermezzo wordt hier dieper op ingegaan.

Bepaling van K_h en K_v voor de modellagen 1 tot 7

Omdat de bovenste 7 modellagen beter bekend zijn en dus ook meerdere gidslagen per model laag kunnen bevatten zijn voor iedere model laag apart de dikte van de gidslagen opgeteld. Hierdoor is nauwkeurig te bepalen wat de horizontale en verticale doorlatendheid van de model laag wordt. Met name de verticale doorlatendheid is sterk afhankelijk van de dikte van de gidslaag in een celmodel laag. Nadat van deze methode is dat in het model het onderscheid van de verschillende gidslagen verloren gaat. Bijvoorbeeld de gidslaag behorende tot de Fomatie van Drente en Westland kunnen niet meer van elkaar onderscheiden worden. Per cel in een model laag wordt de horizontale doorlatendheid K_h berekend met de opgetelde dikte van de verschillende gidslagen voor iedere cel. De horizontale doorlatendheid wordt berekend met onderstaande formule:

$$K_h = (K_{h1} \cdot l + K_{h2} \cdot d) \quad \text{waarde}$$

K_h = de gemiddelde horizontale doorlatendheid voor een bepaalde cel
 K_{h1} = de horizontale doorlatendheid van de fractie van de cel waar geen gidslaag is
 K_{h2} = de horizontale doorlatendheid van de fractie van de cel waar wel een gidslaag is
 l = de dikte van de model laag van de betreffende cel
 d = de dikte van de gidslaag van de betreffende cel

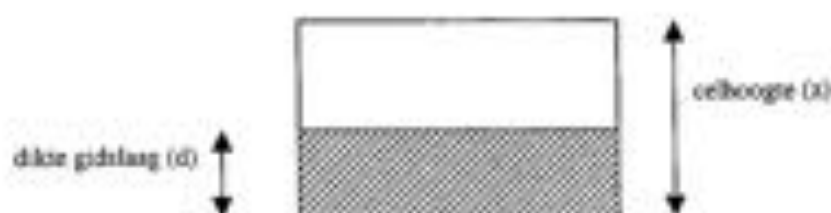
[m/dag]
[m/dag]
[m/dag]
[m]
[m]

De berekening van de verticale doorlatendheid is uitgevoerd met onderstaande formule:

$$K_v = d \cdot (K_{v1} \cdot K_{v2} / (d + K_{v2} \cdot l)) \quad \text{waarde}$$

K_v = de gemiddelde verticale doorlatendheid voor een bepaalde cel
 K_{v1} = de verticale doorlatendheid van de fractie van de cel waar geen gidslaag is
 K_{v2} = de verticale doorlatendheid van de fractie van de cel waar wel een gidslaag is
 l = de dikte van de model laag van de betreffende cel
 d = de dikte van de gidslaag van de betreffende cel

[m/dag]
[m/dag]
[m/dag]
[m]
[m]



Figuur 1. Opzet-verdeling van een cel in het grondwatermodel. Voor iedere cel is de dikte van de elkaar voorkomende gidslagen bij elkaar opgeteld. De model laag wordt verdeeld in twee delen als fractie van de totale dikte van de celmodel laag. De onder fractie van het gebied bestaat deel van de cel voor de overige fractie het rietveldwaterende deel. Bij de berekening van de horizontale en verticale doorlatendheid wordt rekening gehouden met deze fractie.

Intermezzo 1. Bepaling doorlatendheden.

5.6. Bovenrandvoorwaarden (topstelsysteem)

Ten aanzien van het topstelsysteem in Texel kunnen drie gebieden worden onderscheiden. Ten eerste de polders waarin een vast peil wordt gehandhaafd. Ten tweede de vrijafwaterende gebieden, waar ook afwatering plaatsvindt, met name in de winterperiode, maar waar de watergangen in de zomer kunnen droogvallen. Ten slotte de gebieden waar geen oppervlakkige afwatering plaatsvindt, zoals de duinen en de kelleembult. Voor deze drie gebieden zijn verschillende topstelsystemen in MOOFLOW gebruikt.

grondwateraanvulling

Voor het bepalen van de grondwateraanvulling zijn neerslaggegevens en verdamping van belang. Met behulp van landgebruiksgegevens en onderstaande gewasfactoren is de grondwateraanvulling per maand en per modelcel berekend.

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 zijn er slechts geringe verschillen in de neerslaghoeveelheden tussen de verschillende meetstations. Voor de modellering wordt gebruik gemaakt van de gegevens van station De Kooy. In onderstaand intermezzo is de berekening van de aanvulling aangegeven.

$$R(t) = P(t) - ET(t) - E(t), \quad \text{waarin:}$$

$R(t)$ = de grondwateraanvulling op tijdstip t [L]

$P(t)$ = de neerslag op tijdstip t [L]

$ET(t)$ = transpiratie verdamping op tijdstip t [L]

$E(t)$ = interceptie verdamping op tijdstip t [L]

$ET + E$ = potentiële verdamping [L]

De neerslag is gemiddeld over de meetstations Den Burg De Koog De Kooy en De Coeksdorp. De transpiratie verdamping wordt berekend met:

$$ET(t) = E_{pot}(t) * f_{pot}(t), \quad \text{waarin:}$$

$E_{pot}(t)$ = de potentiële Penman open waterverdamping op tijdstip t [L]

$f_{pot}(t)$ = de gewasfactor voor tijdstip t [L]

De Makkink referentiegewasverdamping is gemeten door het meetstation in De Kooy en omgerekend naar Penman open water verdampingswaarden.

De interceptie verdamping wordt berekend met:

$$E(t) = (1-a) * P(t) * f_{int}(t)$$

Waarin:

f_{int} = de interceptiefactor voor tijdstip t [L]

a = correctiefactor: verhouding $ET(t)/E(t)$ tijdens een bui, bepaald op 0,07 (Doornen, 1987) [L]

Intermezzo 2 Berekening grondwateraanvulling

Tabel 5.3: Maandelijke gewasfactoren voor Penman open-water verdamping

| Landgebruik | Gewasfactor per maand | | | | | | | | | | | | Gemiddeld |
|------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Gras | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.70 |
| Mais | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1 | 1 | 1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.53 |
| Aardappelen | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.48 |
| Bieten | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 0.9 | 1 | 0.9 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.50 |
| Granen | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.47 |
| Overige landbouw | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.46 |
| Kale grond | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.30 |
| Fruittest | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.1 | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.94 |
| Heide | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.70 |
| Loofbos | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| Naaldbos | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.50 |
| Overige natuur | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.70 |
| Open water | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1.00 |
| Bebouwd | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.59 |

Bij de berekening van de grondwateraanvulling zijn bovenstaande factoren gebruikt. Daarnaast speelt de interceptie-verdamping een rol (tabel 5.4).

Tabel 5.4 Interceptiefactoren per maand bij verschillende landgebruik (Gehrels & Vermeulen, 1993)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Gemiddeld |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Loofbos | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.18 |
| Naaldbos | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |
| Bebouwd | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |

Beide soorten verdamping zijn afhankelijk van het landgebruik en het seizoen. Voor de verdeling van het landgebruik op Texel is gebruik gemaakt van de landgebruikkaart Texel.

polders

In de peilbeheerste gebieden is een complex topsysteem gehanteerd. Zowel de grondwateraanvulling is ingevoerd (Recharge-module), als de polderpeilen en drainageweerstand (General Head Boundary-module). De gebruikte drainageweerstand zijn gerelateerd aan de grondwatertrappen (tabel 5.5). De gehanteerde peilen zijn afkomstig van de peilvakkenkaart.

Tabel 5.5. Grondwatertrappen en drainageweerstand

| Grondwatertrap | Drainageweerstand [dagen] | Conductiviteit [m ² /dag] (GHB) |
|----------------|---------------------------|--|
| I | 200 | 313 |
| II | 150 | 417 |
| II* | 150 | 417 |
| III | 300/150* | 208/417 |
| III* | 250/150* | 250/417 |
| IV | 200 | 313 |
| V | 500 | 125 |
| VI | 600 | 104 |
| VII | 700 | 89 |
| VII* | 700 | 89 |

*drainageweerstand voor de vrij afwaterende gebieden

duingebieden

In de duingebieden is alleen de grondwateraanvulling als bovenrandvoorwaarde opgegeven (Recharge-module). Lokaal kan de oververzadigde zone in het duingebied een dikte van rond de 20 meter bereiken. Hierdoor kan enige vertraging optreden tussen tijdstip van neerslag en tijdstip van aanvulling ter hoogte van het treatisch grondwater. Bij de calibratie is hiermee rekening gehouden (bergingscoëfficiënten).

vrij afwaterende gebieden

In de zgn. vrij afwaterende gebieden wordt in de winter een maximaal peil gehandhaafd, maar kan het peil in de zomer wegzakken onder dit niveau. Dit is gemodelleerd middels peilen en drainageweerstand, middels de Drain-module. Hierdoor vindt afvoer plaats bij hogere grondwaterstanden, maar vindt geen infiltratie van water vanuit de waterlopen plaats in droge perioden. De vrij afwaterende gebieden bevinden zich op de overgang van duin- naar poldergebieden.

hoofdwaterlopen

De hoofdwaterlopen zijn apart gemodelleerd met de River-module. Als startwaarde wordt een bodemweerstand van 2 dagen gebruikt voor deze waterlopen.

open zee

De open zee is aan de ovenzijde van het model gemodelleerd met een vast peil (NAP -0.05 m).

5.7. Overige randvoorwaarden

zijrandvoorwaarde

Aan de zijranden van het model (op een afstand van 3 kilometer van het eiland wordt een 'no flow'-boundary gehanteerd. Dit betekent dat er geen (voor de modellering) significante grondwaterstroming loodrecht op de zijranden is verondersteld.

onderrandvoorwaarde

Aan de onderzijde (geohydrologische basis) is de verticale grondwaterstroming verwaarloosbaar geacht; er is derhalve een gesloten onderrand aangehouden.

5.8. Dichtheden en chloridegehalten

dichtheden

Om de grondwaterstroming correct te modelleren is het van belang de dichtheidsstroming ook mee te nemen. Deze dichtheid is gekoppeld aan het chloridegehalten. In gebieden met zoet water is deze dichtheid 1 kg/l, en in gebieden met zout grondwater loopt de dichtheid op tot 1,025 kg/l. Middels het KIWA-density package wordt de dichtheid verdisconteerd bij de berekening van de grondwaterstroming.

5.9. Grondwateronttrekkingen

Op Texel vinden thans geen grote onttrekkingen meer plaats. In 1989 werd door het PWN een zinkerverbinding met de vaste wal tot stand gebracht. Daardoor is de winning vanuit de Hooge Berg niet langer strikt noodzakelijk. Sinds 1993 wordt bij de Hooge Berg maximaal ca. 15.000 m³/j gewonnen op een diepte tussen NAP -20 m en NAP -30 m. De onttrekking bij de Moksloot is na 1993 stopgezet. Aan de noordzijde van het eiland vindt een onttrekking plaats nabij het golfterrein.

In 1994 is onttrekking met een volume van 5000 m³ geweest bij de Keesomlaan, terwijl bij Stappenland 450.000 m³ is onttrokken (zie ook par. 2.9). Daarnaast onttrekt een beperkt aantal particulieren op de Hooge Berg kleine hoeveelheden water t.b.v. beregening. Voor de toekomst zijn er plannen voor warmte / koude opslag in het grondwater, wat extra onttrekking en infiltratie zal vereisen.

5.10. Bergingscoëfficiënten

Om instationair te modelleren is het noodzakelijk bergingscoëfficiënten in te voeren. Te onderscheiden valt de freatische bergingscoëfficiënt en die van de diepere pakketten. Als uitgangswaarden worden respectievelijk 0,2 en 0,001 gehanteerd.

6. OPPERVLAKTEWATERSTROMINGSMODEL

In dit hoofdstuk is de modelopbouw van het oppervlaktewatermodel gepresenteerd. In paragraaf 6.1, 6.2 en 6.3 wordt ingegaan op de keuze voor DUFLOW en de modelschematisatie. De invoergegevens worden beschreven in paragraaf 6.4.

6.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de opbouw van het oppervlaktewaterstromingsmodel beschreven. Eerst komt de keuze van het model en de modelschematisatie aan de orde. Vervolgens worden de invoergegevens behandeld.

6.2. Keuze model

De oppervlaktewatermodellering is met name bedoeld om balansberekeningen mogelijk te maken, waarbij zowel waterbalans als chloridebalansen worden uitgerekend. Voor de modellering wordt het programma DUFLOW for Windows (versie 3.2) gebruikt, dat zowel voor kwantiteits- als kwaliteitsberekeningen kan worden gebruikt.

Door het opstellen van een eenvoudig DUFLOW-oppervlaktewatermodel ontstaat beter inzicht in het functioneren van het systeem dan het geval is bij gebruik van waterbalansen. Daarnaast is deze methode betrouwbaarder (minder fouten gevoelig) en minder bewerkelijk bij het doorrekenen van scenario's. Het oppervlaktewater wordt gemodelleerd met een eenvoudig DUFLOW-model op hoofdlijnen. De interactie tussen de het grondwatermodel (MODFLOW) en het oppervlaktewatermodel (DUFLOW) wordt normaliter verzorgd door MODFLOW. Echter door problemen met de software (informatie leverancier) is er een Pascal programma ontwikkeld die de koppeling tussen MODFLOW en DUFLOW verzorgt.

In het DUFLOW model wordt het oppervlaktewatersysteem geschematiseerd. Met dit model worden eerst stromingsberekeningen gemaakt (waterkwantiteit). Daarna worden er waterkwaliteitsberekeningen voor de conservatieve stof chloride gedaan.

6.3. Modelschematisatie

Het hoofdwatersysteem van Texel is vereenvoudigd in een modelschematisatie gebracht. In bijlage XX is deze schematisatie weergegeven. De schematisatie is zo opgesteld dat op per pelvlak een randvoorwaarde voor kwantiteit en kwaliteit (chloride) wordt ingevoerd.

Aannamen

In de modelschematisatie zijn een aantal vereenvoudigingen ten opzichte van de werkelijke situatie doorgevoerd:

- Alleen de hoofdwatgangen van Texel zijn in model gebracht.
- Het model houdt geen rekening met de aanwezigheid van kunstwerken (duikers, stuwen en pompen) in het beheersgebied. Hierdoor worden de verschillende pellen in de pelvakken niet gestimuleerd.
- De gebruikte profielen zijn niet de daadwerkelijke profielen. De ingevoerde profielen geven het bergend oppervlak weer dat door de hoofdwatgangen in beslag wordt genomen.
- De directe invloed van neerslag en verdamping op het watersysteem is verwaarloosd. Alleen indirecte invloed via het grondwater wordt meegenomen.
- De inlaat van boezemwater op het watersysteem is verwaarloosd.

Dimensies

Het hoofdwatersysteem van Texel bestaat uit watgangen met verschillende dimensies. Het model is vereenvoudigd door aan de vier verschillende deelgebieden 4 verschillende profielen toe te kennen.

Hierbij is rekening gehouden met het bergend oppervlak van alle hoofdwaterlopen van een deelgebied samen. In tabel 6.1 zijn de 4 berekende profielen voor de vier bemalingseenheden weergegeven.

Tabel 6.1. Profielbeschrijving

| Bemalingseenheid | Zomer | | Winter | | Talus (t: r) | Bodem-breedte |
|-----------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|
| | Waterdiepte (M) | Peil (m-NAP) | Waterdiepte (M) | Peil (m-NAP) | | |
| Eijerland | 0,80 | -0,39 | 0,55 | -0,77 | 1:1,5 | 1,0 |
| Waal en Burg | nog onbekend | | Nog onbekend | | 1:1,5 | 3,2 |
| Het Noorden | nog onbekend | | nog onbekend | | 1:1,5 | 3,4 |
| Dijkmanshuizen en De achans | nog onbekend | | nog onbekend | | 1:1,5 | 2,4 |
| Prins Hendrik-polder | 0,80 | -1,37 | 0,59 | -1,61 | 1:1,8 | 2,4 |

6.4. Invoergegevens

6.4.1. Peilen

Op basis van de peilvakkenkaart (zie bijlage IX) kunnen verschillende peilvakken te Texel onderscheiden worden. In de peilvakken wordt een vast peil door middel van peilregulerende kunstwerken ingesteld. De peilbesluiten van Texel hebben voornamelijk betrekking op het primaire watersysteem door aanwezigheid van honderden stuwen in het secundaire watersysteem. Het oppervlaktewatermodel is slechts op hoofdlijnen geschematiseerd. Aanwezige stuwen en duikers zijn niet ingevoerd. Hierdoor worden niet de daadwerkelijke peilen in het oppervlaktewater gesimuleerd. Het model is zodanig opgebouwd dat het bergend oppervlak van de watergangen in de verschillende deelgebieden gelijk is aan de werkelijke hoeveelheid bergend oppervlak van de hoofdwaterlopen. Bij het berekenen van het bergend oppervlak is uitgegaan van het jaargemiddelde peil in het afwateringsgebied.

Doordat de door de gemalen ingestelde peilen niet gecorrigeerd worden door de in het systeem aanwezige kunstwerken, zullen de absolute peilen niet gebruikt worden. Voor de vier bemalingseenheden zal het gemiddeld berekende peil worden ingevoerd. Deze gemiddeld berekende peilen zijn vermeld in paragraaf 6.3, tabel 6.1.

6.4.2. Wateraanvoer

Wateraanvoer vindt plaats door de aanvoer vanuit de RWZI's. In tabel 2.2 van paragraaf 2.7 is de gemiddelde jaarlijkse hoeveelheid effluent weergegeven. Deze waarden met bijhorende chloridenconcentraties zijn als randvoorwaarde aan het model opgelegd.

6.4.3. Kwel en wegzijging

De hoeveelheid kwel en wegzijging en bijhorende chloridenconcentraties volgen uit het grondwaterstromingsmodel. Deze berekende waarden met bijhorende chloridenconcentraties zijn als randvoorwaarde aan het model opgelegd.

6.4.4. Uitgeslagen gemaal hoeveelheden

De gemalen zijn volledig geautomatiseerd. De aansturing van kunstwerken vindt plaats op basis van in- en uitschakel niveaus van zowel het polderpeil als het zeewaterpeil. In bovenstaande paragraaf is beschreven welke peilen daadwerkelijk zullen worden gebruikt. Omdat het model uitgaat van bergende oppervlakken zal ter controle van het model de in het model gesimuleerde uitgeslagen hoeveelheid water vergeleken worden met de in werkelijkheid uitgeslagen hoeveelheid water. In paragraaf 2.7, tabel 2.3 zijn deze uitgeslagen hoeveelheden weergegeven.

6.4.5. Initiële zoutconcentraties

De initiële zoutconcentraties zijn ingevoerd aan de hand van concentraties gemeten in het oppervlaktewater. In bijlage XXII is een overzicht gegeven van de gemeten chloridenconcentraties te Texel.

7. CALIBRATIE

7.1 Inleiding

Om de voorspellende waarde van het model te toetsen is een calibratie uitgevoerd op zowel het stationaire als op het instationaire model. Op het stationaire model is voorafgaande aan de calibratie tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om een indruk te verkrijgen van de invloed van de individuele parameters op de modelresultaten. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn gebruikt om een reële schatting te kunnen maken van de marges waarbinnen de parameters bij de calibratie mogen variëren.

7.2 Gevoeligheidsanalyse

Als onderdeel van de calibratie wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Om een globale indruk te krijgen van de gevoeligheden van het model voor wat betreft grondwaterstanden, stijghoogten en afvoeren wordt de gevoeligheidsanalyse voor de meest gevoelige, relatief onbekende parameters uitgevoerd (-50% en +50%):

- de drainageweerstand;
- de bodemweerstand van de hoofdwaterlopen;
- de hydraulische weerstand van de deklaag in de polders;
- de horizontale weerstand van het freetlach pakket in de duinen;
- keileemweerstand (formatie van Drente);
- potkleiweerstand (formatie van Peelo).

7.2.1 Verandering drainageweerstand

De berekende effecten op de grondwaterstanden van het veranderen van de drainageweerstand zijn zichtbaar in afbeelding 7.1. In tabel 7.1 is de verandering van de gemiddelde gemaalafvoer weergegeven.

Tabel 7.1 Verandering gemaalafvoer door verandering drainageweerstand

| Gemaal | C_{drain} -50% | C_{drain} +50% |
|----------------|------------------|------------------|
| Eijerland | +5% | -15% |
| Krassekeet | +45% | -49% |
| Dijkmanshuizen | +19% | -23% |
| De Schans | +32% | -36% |
| Prins Hendrik | +25% | -32% |

Het effect op de grondwaterstanden is maximaal 0,4 m. Een verhoging van de drainageweerstand heeft meer effect op de grondwaterstand en de gemaalafvoer als een verlaging. De gemaalafvoer van Polder Waal- en Burg (Het Noorden (gemaal Krassekeet) is vanwege de diepe ligging het meest gevoelig voor een verandering in de drainageweerstand.

7.2.2 Verandering bodemweerstand hoofdwaterlopen

De berekende effecten op de grondwaterstanden van het veranderen van de bodemweerstand van de hoofdwaterlopen zijn opgenomen in afbeelding 7.2. In tabel 7.2 is de verandering van de gemiddelde gemaalafvoer weergegeven.

Tabel 7.2. Verandering gemaalafvoer door verandering bodemweerstand hoofdwaterlopen

| Gemaal | C_{bodem} -50% | C_{bodem} +50% |
|----------------|------------------|------------------|
| Eijerland | +1% | -2% |
| Krassekeet | +2% | -3% |
| Dijkmanshuizen | +1% | -4% |
| De Schans | +4% | -5% |
| Prins Hendrik | +3% | -3% |

afbeelding 7.1: Gevoeligheidsanalyse drainage weerstand

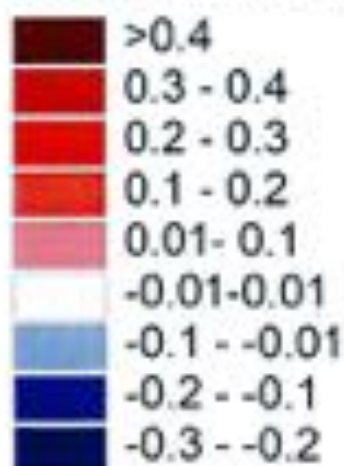
verschil in freatische grondwaterstand
drainage weerstand -50%



verschil in freatische grondwaterstand
drainage weerstand + 50%



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

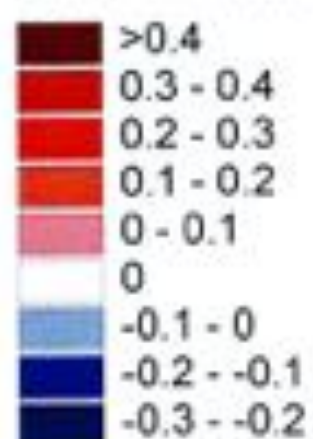
afbeelding 7.2: Gevoeligheidsanalyse bodempweerstand hoofdwaterlopen

verschil in freatische grondwaterstand
bodempweerstand hoofdwaterlopen - 50%

verschil in freatische grondwaterstand
bodempweerstand hoofdwaterlopen + 50%



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

De grondwaterstanden en de gemaalafvoeren blijken matig gevoelig voor een verandering van de bodemweerstand van de hoofdwaterlopen. Het effect op de grondwaterstand is maximaal 30 cm en slechts lokaal van invloed. De gevoeligheid van de gemaaldebieten op een verandering van de bodemweerstand is gering vanwege het relatief geringe oppervlak van de waterlopen t.o.v. het totaaloppervlak. Een verhoging van de weerstand blijkt wederom meer effect te hebben op de grondwaterstanden dan een verlaging.

7.2.3 Verandering hydraulische weerstand deklaag

De berekende effecten op de grondwaterstanden van het veranderen van de hydraulische weerstand van de deklaag in de polders zijn weergegeven in afbeelding 7.3. In tabel 7.3 is de verandering van de gemiddelde gemaalafvoer weergegeven.

Tabel 7.3. Verandering gemaalafvoer door verandering hydraulische weerstand deklaag

| Gemaal | $C_{\text{deklaag}} - 50\%$ | $C_{\text{deklaag}} + 50\%$ |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Eijerland | +17% | -12% |
| Kraaskeest | +11% | -8% |
| Dijkmanshulzen | + 7% | -2% |
| De Schans | + 7% | -2% |
| Prins Hendrik | +47% | -40% |

Het effect op de grondwaterstanden is maximaal 50 cm. Verandering van de weerstand van de deklaag in de polders heeft op enkele plaatsen ook invloed in de duinen en de Hooge Berg. De grondwaterstand is slechts lokaal gevoelig voor een verandering van de deklaagweerstand. De gemaalafvoer van polder Prins Hendrik blijkt het gevoeligst voor verandering in de deklaagweerstand, waarschijnlijk vanwege de diepe ligging en de kleiige ondergrond waardoor een relatief grote verandering in de hoeveelheid kwel vanuit zee kan optreden.

7.2.4 Verandering kh-waarde in de duinen

De berekende effecten op de grondwaterstanden van het veranderen van de horizontale doorlatendheid van het freatisch zandpakket in de duinen zijn weergegeven in afbeelding 7.4. De gevoeligheid voor een afname van de doorlatendheid of k-waarde blijkt groter dan bij een toename. Het effect op de grondwaterstanden is maximaal 25 cm. Vanwege de toename van de horizontale weerstand zal de grondwaterspiegel in de duinen meer opbollen en daardoor hoger zijn.

7.2.5 Verandering keileemweerstand (Formatie van Drente)

De berekende effecten op de grondwaterstanden van het veranderen van de keileemweerstand van de Formatie van Drente zijn zichtbaar in afbeelding 7.5. Het effect op de grondwaterstanden in de poldergebieden is gering, vanwege de peilbeheersing (vooral gevoelig voor de drainage weerstand). In de gebieden met een vrij peil is het effect maximaal 1,5 m. Met name de Hooge berg en het middelste deel van de duinen blijken gevoelig. Vanzelfsprekend blijkt dit samen te vallen met het voorkomen en dikte van deze formatie (zie bijlage III).

7.2.6 Verandering potkleiweerstand (Formatie van Peelo)

De berekende effecten op de stijghoogten (NAP -72 m -NAP-82 m) van het veranderen van de potkleiweerstand van de Formatie van Peelo zijn zichtbaar in afbeelding 7.6. Het effect blijkt zeer gering (enkele centimeters) en beperkt zich tot die gebieden waar de Formatie van Peelo dik is (zie bijlage III).

7.3 Te calibreren periode en tijdstappen

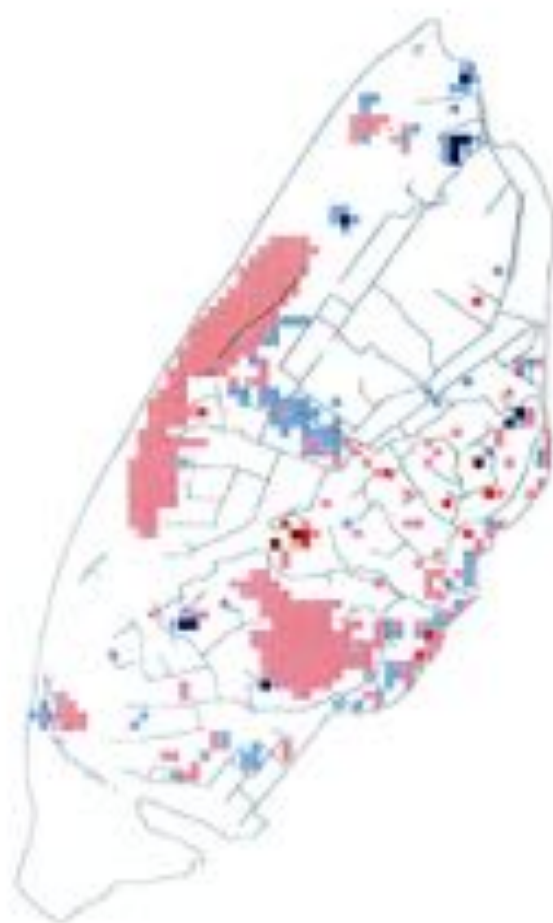
De calibratie van het stationaire model dient plaats te vinden op een gemiddelde situatie. Gekozen is voor de datum 28-04-92, omdat op deze datum veel metingen van stijghoogten zijn gedaan.

afbeelding 7.3: Gevoeligheidsanalyse weerstand deklaag in de polders

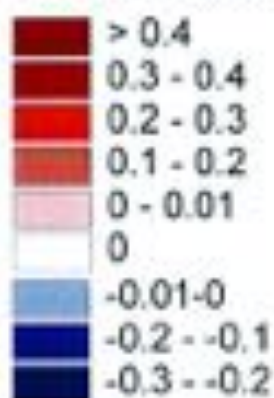
verschil in freatische grondwaterstand
weerstand deklaag - 50%



verschil in freatische grondwaterstand
weerstand deklaag + 50%




verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg1.1

Witteveen  **Bos**

afbeelding 7.4: Gevoeligheidsanalyse

horizontale k-waarde duinen

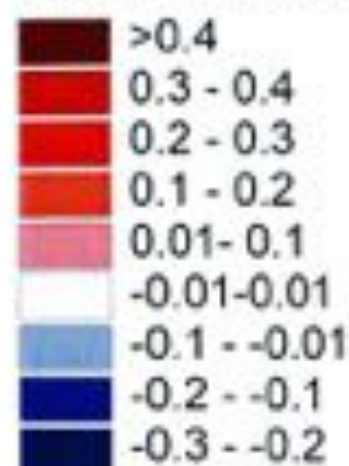
verschil in fretatische grondwaterstand
horizontale k-waarde +50%



verschil in fretatische grondwaterstand
horizontale k-waarde - 50%



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

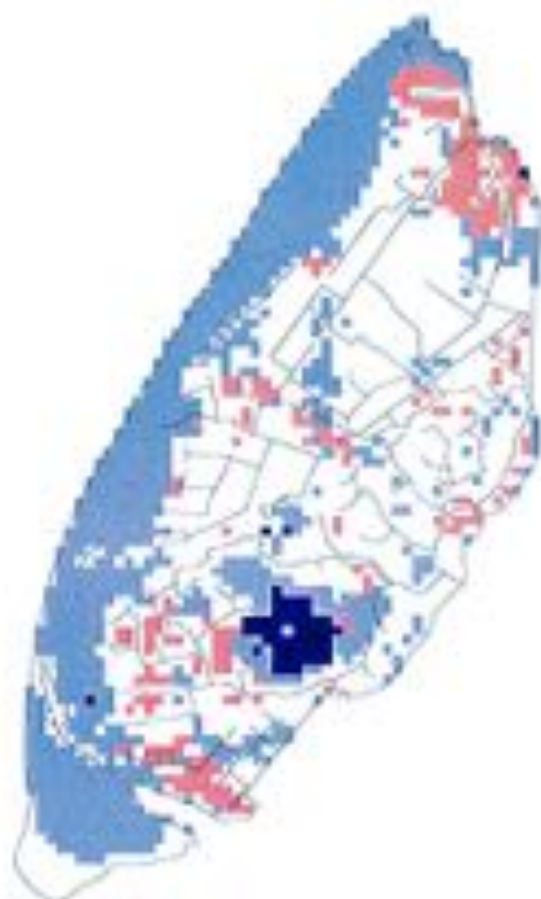


opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Tessel
projectcode: Burg4.1

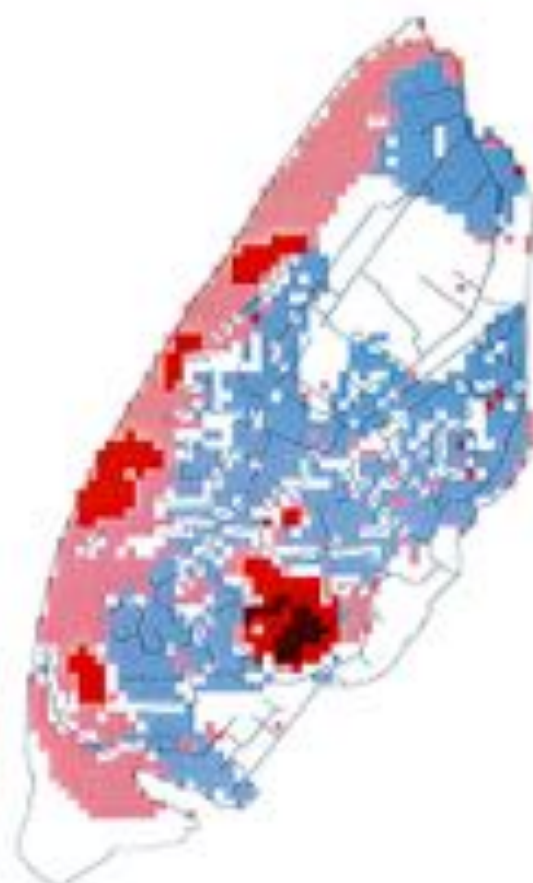
Witteveen  **Bos**

afbeelding 7.5: Gevoeligheidsanalyse vertikale weerstand Drenthe

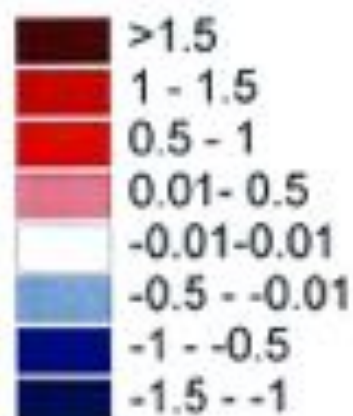
verschil in freatische grondwaterstand
vertikale weerstand Drenthe -50%



verschil freatische grondwaterstand
vertikale weerstand Drenthe +50%



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

afbeelding 7.6: Gevoeligheidsanalyse vertikale weerstand Peelo

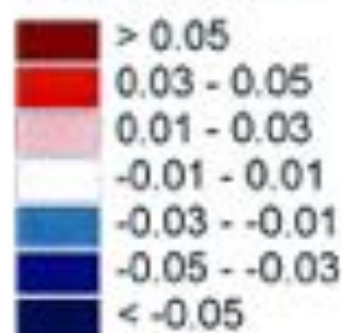
verschil in stijghoogte op NAP -77 m
vertikale weerstand Peelo -50%



verschil stijghoogte op NAP -77 m
vertikale weerstand Peelo + 50%



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

In april 1992 een normale hoeveelheid neerslag is gevallen en het voorjaar als redelijk gemiddelde situatie beschouwd kan worden. Het gecalibreerde stationaire model is als uitgangssituatie genomen voor het instationaire model. De calibratie van het instationaire model is uitgevoerd op de periode 28-04-92 tot 31-12-95.

7.4 Calibratie van het stationaire model

In deze paragraaf worden de calibratieresultaten besproken van het stationaire model. Het grond- en oppervlaktewatermodel is stationair gecalibreerd op:

- alle stijghoogtegegevens op 28/4/92;
- alle uitgeslagen gemiddelde gemaaldebieten van april 1992;
- de gemiddelde zout-concentraties van april 1992 in alle oppervlaktewatermonsterpunten (verificatie);

Ten behoeve van de keuze van de calibreren parameters is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd (zie paragraaf 7.2). Daaruit is gebleken dat voornamelijk verschillen in stijghoogten en grondwaterstanden optreden in de poldergebieden bij verandering van de drainage weerstand en in de duinen en op de Hooge Berg bij verandering van de weerstand van de klei-lem (Drente Formatie).

Daarnaast heeft de drainage weerstand een grote invloed op de uitgeslagen gemaalhoeveelheden. De gemaalhoeveelheden van met name de Prins Hendrik polder en polder Eijerland blijken tevens gevoelig voor de weerstand van de deklaag.

7.4.1 Calibratie op stijghoogten en grondwaterstanden

Voor de stationaire calibratie op stijghoogten en grondwaterstanden is gebruik gemaakt van de PEST (Parameter ESTimation) routine binnen MOOFLOW. PEST gebruikt een doelfunctie die gebaseerd is op de gewogen kleinste kwadratenmethode. Bij deze inverse automatische calibratie methode worden de, te optimaliseren, parameters zodanig aangepast (binnen de opgegeven marges) dat het verschil tussen berekende en gemeten waarden wordt geminimaliseerd.

Voor de stationaire calibratie op stijghoogten en grondwaterstanden zijn 111 peilbuisfilters gebruikt. Het doel van de calibratie is om de verschillen (berekend-gemeten) te minimaliseren. Er zijn een paar gebruikelijke statistische parameters om objectief de gemiddelde verschillen te bepalen:

- Mean Error (ME), ofwel Gemiddelde Verschil (GV);
- Mean Absolute Error (MAE), ofwel Gemiddelde Absolute Verschil (GAV);
- Root Mean Squared Error (RMSE), ofwel Wortel Gemiddelde Kwadratenmethode (WGK).

Bij de calibratie kan de betrouwbaarheid van het model gekwantificeerd worden met deze statistische parameters. Vooraf zijn bij de calibratie op stijghoogten de volgende criteria gehanteerd:

- een gemiddelde absoluut verschil van maximaal 0,3 m;
- de verschillen mogen niet systematisch verdeeld zijn.

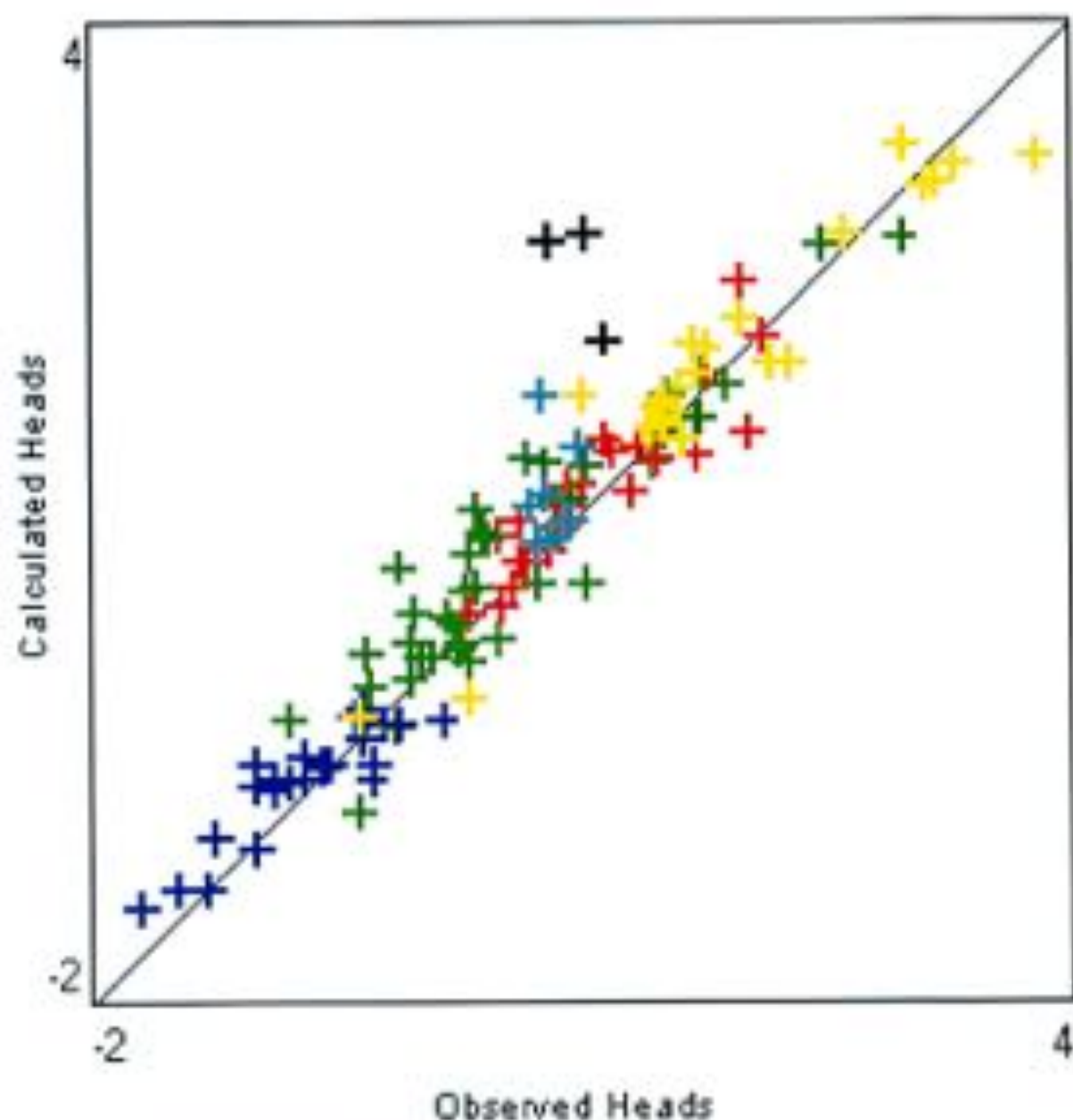
In het stationair model zijn tijdens de calibratie de volgende aanpassingen in het model gemaakt:

- Verbetering van de schematisatie van het oppervlaktewaterstelsel in het model. Het betreft enkele waterlopen in de duinen (waar zich een vrij peil kan instellen), de Slufter, de Moksloot, de Horsmeertjes en de Geul.
- De ligging van de drains tegen de duinen, is verbeterd. Tevens is de grens van het gebied waar een polderpeil wordt gehandhaafd met het duingebied verlegd.

- De horizontale doorlatendheid van het freatisch pakket in de zuidelijke duinen (lager dan y-coördinaat 562.000) is verhoogd van 5 naar 15 m/dag (zie hierover paragraaf 2.10). De verticale doorlatendheid in dit gebied is verhoogd van 1,25 naar 3,75 m/dag voor het freatisch pakket.
- In de poldergebieden is de verticale doorlatendheid verlaagd van 1,25 naar 0,01 m/dag voor gebieden waar geen kiel voorkomt tot een diepte van NAP -22 m. Gebieden met een kleipakket (gehele celdikte bestaat uit kiel) hebben ter vergelijking een verticale doorlatendheid van 0,0025 m/dag. De verticale doorlatendheden zijn verlaagd om de door het model berekende kwel te verbeteren.
- In polder Eijerland is de verticale doorlatendheid verlaagd tot 0,005 m/dag voor cellen zonder kiel.
- De drainageweerstanden in polder Eijerland zijn verhoogd teneinde de bijdrage van het grondwater aan de totaal uitgeslagen hoeveelheid water door het gemaal (te hoog berekend) te reduceren. Dit leidt echter tot onacceptabele hoge grondwaterstanden in de polder Eijerland. Gezien de betrouwbaarheid en de variabiliteit van de uitgeslagen gemaal hoeveelheden (zie bijlage XXII) is gekozen om prioriteit te geven aan de juiste voorspelling van de grondwaterstanden en dus de drainage weerstand niet te verhogen.
- Op basis van de berekeningen met MOCDENS3D is op enkele plaatsen de grondwateraanvulling iets bijgesteld teneinde de ontwikkelingen van de zoetwaterballen juist te kunnen modelleren. Zo is in de zuidelijke uitloper van Texel (De Hors/Onrust) de aanvulling verlaagd naar 0,00025 m/dag (0,25 mm/dag) en is de aanvulling van landbouwgebieden iets verlaagd van 1,18 mm/dag naar 1 mm/dag.
- De initiële chloridenconcentraties en de daarop gebaseerde dichtheden zijn gecalibreerd op gemeten chloride concentraties in het grondwater en op de door MOCDENS3D voorspelde ontwikkelingen in de tijd (d.w.z. als MOCDENS3D een voorspelling van de ontwikkeling van een zoetwaterbel doet welke niet realistisch is vindt aanpassing van de initiële chloridenconcentraties plaats). Uiteindelijk heeft dit geleid tot een betrouwbare dichtheidsverdeling, wat voor een model met dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming vanzelfsprekend van groot belang is.
- Calibratie van een model dient plaats te vinden op basis van meetgegevens. Echter, slechts voor enkele peilbuzen is het chloridengehalte gemeten en bovendien dateren deze metingen veelal uit 1989. Stijghoogte gegevens zonder bijbehorende chloridengehalte van het grondwater zijn in een gebied als Texel niet bruikbaar. Alle gemeten stijghoogten dienen namelijk gecorrigeerd te worden voor het gemeten chloridengehalte teneinde zoetwaterstijghoogtes te verkrijgen, welke met elkaar kunnen worden vergeleken en welke bruikbaar zijn voor (de calibratie van) een grondwaterstromingsmodel. Het ontbreken van voldoende meetwaarden van chloride heeft de bruikbaarheid van stijghoogtegegevens t.b.v. de calibratie van het model beperkt.
- De hoeveelheid uitgeslagen debiet van de gemalen is zeer variabel en er lijkt geen sprake te zijn van een basisafvoer welke te relateren zou zijn aan de kwel. Op basis van het waterbeheersplan Hollandse Kroon en op basis van het model zou de hoeveelheid kwel per maand voor bijvoorbeeld de Prins Hendrik polder ongeveer 150.000 m³/mond moeten bedragen. Gemeten waarden van het uitgeslagen debiet liggen hier regelmatig ver onder. Hoewel dit zou kunnen wijzen op het effect van onttrekkingen t.b.v. irrigatie, is dit effect ook terug te vinden in maanden waarin geen irrigatie verwacht wordt. De onzekerheid omtrent de link tussen kwel en uitgeslagen gemaaldebiet wordt voor wat betreft het stationaire model nog versterkt door de wisseling van de pellen in de periode half april tot half mei. In het model is met deze onzekerheid rekening gehouden door gebruik te maken van gemiddelde pellen. Echter de fout in dit gemiddelde die hierdoor wordt veroorzaakt is maximaal 30 cm wat een aanzienlijk verschil in het debiet kan opleveren.
- Voor wat betreft de gemeten chloridengehalten in het oppervlakte water geldt dat de variatie hierin zeer groot is. De bruikbaarheid voor de calibratie van de zoutbelasting voor de kwel wordt verstoord door het voorkomen van extreem hoge chloridengehalten, oplopend tot bijvoorbeeld 43100 mg/l Cl⁻ in september 1991.

Afbeelding 7.7
Berekende versus gemeten stijghoogten

Comparison of Calculated and Observed Heads



Variance = .1337066

- Hooze Berg eerste filters
- Hooze Berg diepere filters
- polder tot NAP -7 m
- duinen tot NAP -7 m
- NAP -7 m tot NAP -32 m
- dieper dan NAP -32 m

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burgf.1

Witteveen **Bos**

Het omrekenen van de chloride concentraties naar vrachten (= debiet * concentratie) laat zien dat ook de vrachten zeer variabel zijn. De vrachten blijken seizoensafhankelijk. In de zomermaanden zijn de concentraties van Cl in het oppervlaktewater hoog, de vrachten zijn in de zomermaanden echter het laagst a.g.v. het hogere peil in de watergangen waardoor de kwel (en dus de zoutbijdrage) gering is. Voor de winter geldt het omgekeerde. Per seizoen of per maand is echter geen constante waarde voor de vrachten af te lezen, wat de calibratie op zoutbelasting bemoeilijkt.

calibratieresultaat

Het verschil tussen berekend en gemeten stijghoogte is per peilbuisfilter in tabelvorm gepresenteerd in bijlage XXIX. De berekende waarden versus de gemeten waarden zijn in afbeelding 7.7 weergegeven. De afwijkingen blijken niet systematisch verdeeld, m.u.v. de 3 ondiepe filters op de Hooge Berg die te hoog worden berekend. Op andere delen van de Hooge Berg worden de grondwaterstanden echter weer te laag berekend. De sterke stijghoogtegradient onder de Hooge Berg zorgt er voor dat met het huidige model (met cellen van 250 bij 250 m) het moeilijk is om de hydrologische situatie rondom de Hooge Berg nauwkeurig te simuleren. De statistische parameters van het calibratieresultaat zijn weergegeven in tabel 7.4.

Tabel 7.4. Statistische parameters calibratie

| | Laag < NAP-7 m duinen | Laag < NAP-7 m polders | Laag NAP-7 tot -32 m | Laag NAP-32 tot -62 m | Laag < -62 m |
|----------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| Aantal filters | 25 | 23 | 41 | 17 | 5 |
| GV | +0,02 | +0,06 | +0,12 | +0,16 | +0,02 |
| GAV | 0,20 | 0,18 | 0,26 | 0,05 | 0,26 |
| WGK | 0,27 | 0,21 | 0,32 | 0,18 | 0,33 |
| Max. afw. | +0,72 | +0,44 | +0,77 | +0,35 | +0,44 |
| Te hoog | | | | | |
| Max. afw. | -0,60 | -0,41 | -0,48 | -0,36 | -0,56 |
| Te laag | | | | | |

In totaal zijn 111 peilbuisfilters gebruikt voor de calibratie. Voor alle filters tesamen geldt een GV van +0,07 m, een GAV van 0,24 m en een WGK van 0,36 m. Geconcludeerd dat voldaan is aan het calibratiecriterium van een GAV van 0,3 m.

In afbeelding 7.8a t/m 7.8d zijn de verschillen tussen de gemeten en berekende stijghoogte per diepte weergegeven op de zogenaamde "ballenkaart". Door de positieve (te laag berekend) en negatieve verschillen (te hoog berekend) ruimtelijk te bekijken, kan geconcludeerd worden dat er geen sprake is van systematische fouten.

De berekende grondwaterstanden zijn opgenomen in afbeelding 7.10. De hoogste grondwaterstanden worden berekend op de Hooge Berg en in de zuidelijke duinen. De laagste grondwaterstanden worden berekend in de laag gelegen polders Het Noorden en Prins Hendrik. Rondom de Moksloot en de Slufter worden de grondwaterstanden naar beneden getrokken, omdat deze waterlopen als afwateringsbasis fungeren. In afbeelding 7.11 zijn de stijghoogten in de diepere pakketten weergegeven. Onder de duinen neemt de stijghoogte in eerste instantie af (infiltratie), maar eenmaal onder de zoutwaterbel neemt de stijghoogte weer toe en is de grondwaterstroming dus omhoog gericht (zie ook pijltjes in de doorsneden van scenario 1, bijlage XXIII). Onder de polders neemt de stijghoogte evenredig toe met de diepte, wat deels wordt veroorzaakt door het zouter worden van het water. Hierdoor is de grondwaterstroming opwaarts gericht, hoewel binnen het pakket ook een horizontale stroming in eilandinwaartse richting aanwezig zal zijn.

Afbeelding 7.8.a
Afwijkingen gecalibreerd model
(maaiveld tot NAP -7 m)



berekend - gemeten in meters

- < -0.5
- -0.5 - -0.3
- -0.3 - -0.1
- -0.1 - 0.1
- 0.1 - 0.3
- 0.3 - 0.5
- > 0.5

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Afbeelding 7.8.b
Afwijkingen gecalibreerd model
(NAP -7 m tot NAP -32 m)



berekend - gemeten in meters

- < -0.5
- -0.5 - -0.3
- -0.3 - -0.1
- -0.1 - 0.1
- 0.1 - 0.3
- 0.3 - 0.5
- > 0.5

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burgl. 1

Witteveen + Bos

Afbeelding 7.8.c
Afwijkingen gecalibreerd model
(NAP -32 m tot NAP -62 m)



berekend - gemeten in meters

- < -0.5
- -0.5 - -0.3
- -0.3 - -0.1
- -0.1 - 0.1
- 0.1 - 0.3
- 0.3 - 0.5
- > 0.5

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen **Bos**

Afbeelding 7.8.d
Afwijkingen gecalibreerd model
(dieper dan NAP -62 m)



berekend - gemeten in meters

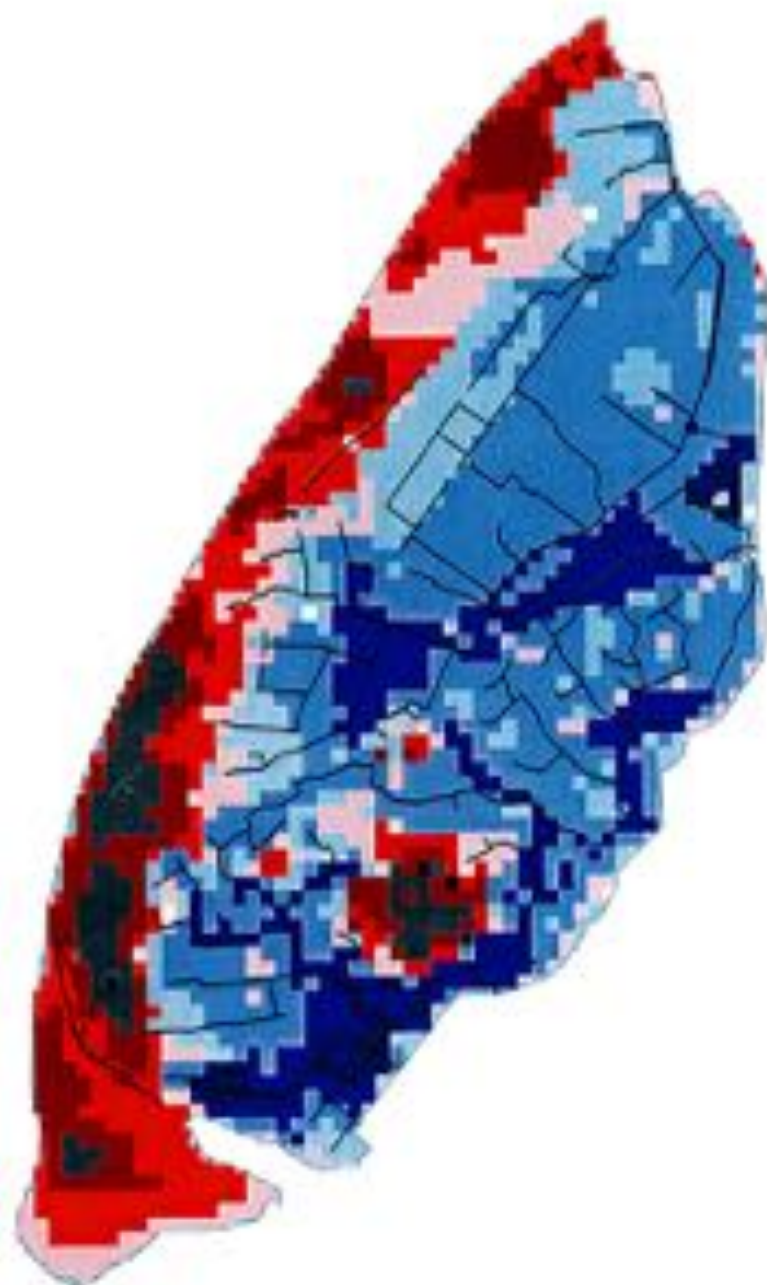
- < -0.5
- -0.5 - -0.3
- -0.3 - -0.1
- -0.1 - 0.1
- 0.1 - 0.3
- 0.3 - 0.5
- > 0.5

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

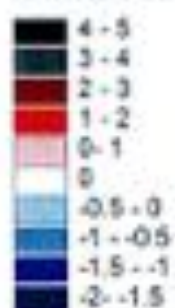
Witteveen + Bos

Afbeelding 7.10

Freatische grondwaterstanden gecalibreerd model



in meters t.o.v. NAP



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen **Bos**

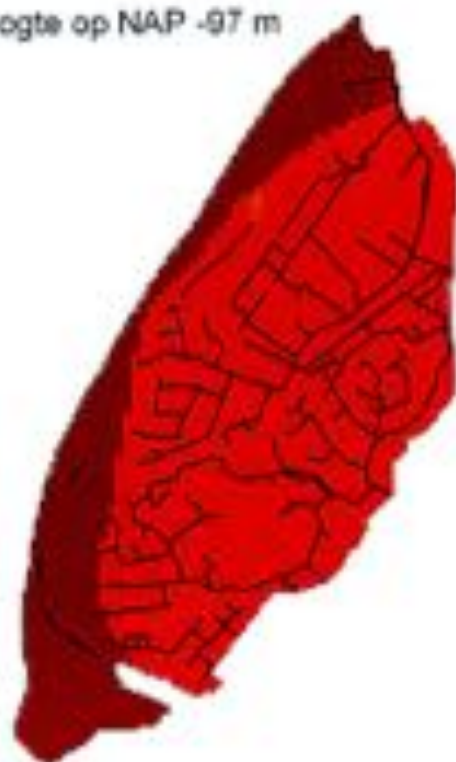
Afbeelding 7.11

Stijghoogten in de diepte gecalibreerd model

stijghoogte op NAP - 27 m



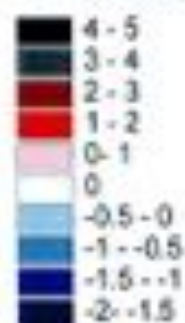
stijghoogte op NAP - 97 m



stijghoogte op NAP - 192 m



in meters t.o.v. NAP



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

In afbeelding 7.12 is de berekende kwel en infiltratie over een vlak op een diepte van NAP - 1,5 m weergegeven. De duinen en de Hooge Berg zijn duidelijk als infiltratiegebieden te onderscheiden. Ook in de polders zijn op de hoger gelegen delen (bewoningskernen) enkele infiltratiegebiedjes te onderscheiden. De meeste kwel doet zich voor in de Prins Hendrik polder. De Sluffer en de Mokstoot zijn tevens als kwelgebied te onderscheiden. Het moerasgebied rond de Molenkil en de Westerkolk in polder Waal en Burg is duidelijk als kwelgebied te herkennen. De natte situatie ten zuiden en oosten van de Hooge Berg wordt door het model tevens als belangrijk kwelgebied berekend.

In afbeelding 7.13 is tenslotte een geïnterpoleerde kaart van de grondwaterstanden opgenomen, wat een isohypsenpatroon van het grondwater oplevert.

7.4.2 Calibratie op gemaaldebieten

Het grond- en oppervlaktemodel is handmatig gecalibreerd op de gemaaldebieten van de 4 bemalingseenheden. Aan de hand van het aantal draaluren van de gemalen is berekend hoeveel m³ per maand en per jaar is uitgeslagen. In tabel 7.5 zijn de gemeten en berekende gemaaldebieten weergegeven.

Tabel 7.5. Calibratieresultaat gemaaldebieten

| Gemaal | Gemiddeld 92-95 | Gemiddeld apr.92 | Berekend apr. 92 | Afwijking |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| | (m.b.v. draaluren) | (m.b.v. draaluren) | (opp. model) | t.o.v. apr 92 |
| | m ³ /maand | m ³ /maand | m ³ /maand | % |
| Eijerland | 906.440 | 618.200 | 1.112.950 | +81% |
| Kraaikeet | 1.279.840 | 931.200 | 885.350 | -6% |
| Gemeenschappelijke polders | 1.831.800 | 1.169.200 | 1.359.060 | +17% |
| Prins Hendrik | 588.971 | 465.840 | 364.190 | -14% |

calibratieresultaat

De procentuele afwijkingen tussen de berekende en de gemeten gemaaldebieten is per gemaal in eveneens weergegeven in tabel 7.5.

Vooraf is bij de calibratie op gemaaldebieten als criteria gehanteerd dat de afwijking tussen de berekende en gemeten afvoer van het gemaal maximaal 40% van de gemeten hoeveelheid mag bedragen. Uit tabel 7.5. blijkt dat alleen polder Eijerland hieraan niet voldoet. De redenen hiervoor kunnen zijn:

- rekenen met een maandgemiddelde neerslag;
- de variatie in het gemaaldebiet is groot vanwege de snellere reactietijd van het polderstelsel t.o.v het model.
- Fouten in opgegeven pompcapaciteiten a.g.v. verzandingen en slijtage

7.4.3 Verificatie op chloridenconcentraties

Het grond- en oppervlaktewatermodel is handmatig gecalibreerd op de gemiddelde zoutconcentratie van april 1992. Hiervoor zijn alle oppervlaktewatermonsterpunten op Texel gebruikt.

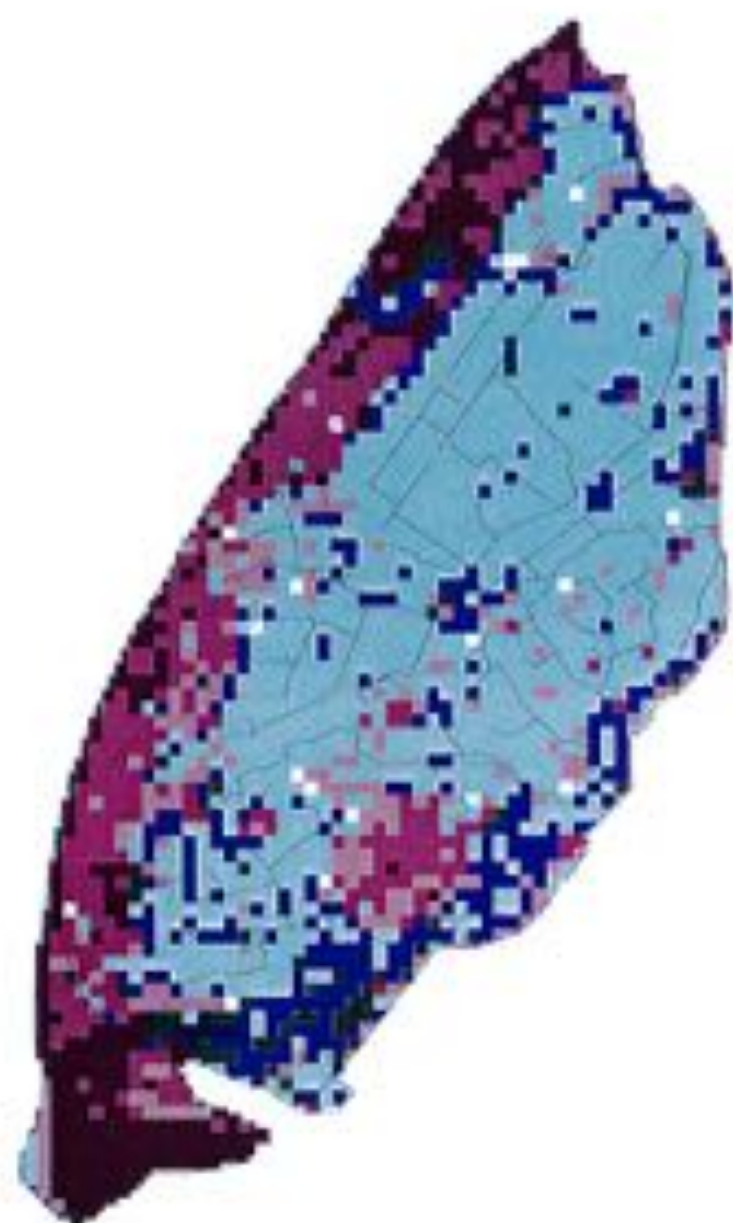
verificatieresultaat

Het verschil in de monsterpunten tussen berekend en gemeten chloridenconcentratie is voor alle monsterpunten kleiner dan 50% van de seizoensfluctuatie (bijlage XXXII).

7.4.4 Verificatie op kwel- en zoute gebieden

Met behulp van het grondwatermodel zijn kwel- en infiltratiegebieden berekend en weergegeven in afbeelding 7.12.

Afbeelding 7.12
Kwel en infiltratie op NAP -1,5 m
gecalibreerd model



kwel (-) en infiltratie (+) in mm/dag



0 1 2 3 4 5 6 7 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Afbeelding 7.13

Isohypsens freatisch grondwater



Isohypsens in meters t.o.v. NAP



schaal 1:123.000

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

De berekende kwelgebieden zijn vergeleken met de waargenomen kwelminnende vegetaties. Vooraf is de eis gesteld dat de berekende kwelgebieden voor minimaal 90% van de ligging dient overeen te komen met de waargenomen kwelindicatoren.

Tevens zijn met het grondwatermodel gebieden berekend waar het (freatische) grondwater een chloridenconcentratie heeft van meer dan 300 mg/l. Vooraf is als eis gesteld dat de berekende zoute gebieden voor minimaal 90% van de ligging overeen dienen te komen met de waargenomen zoutminnende vegetatie.

Verificatieresultaat

De berekende kwel-/zoute gebieden en de gebieden met kwelindicerend/zoutminnende vegetatie blijkt dat de berekende gebieden nagenoeg overeenkomen met de waargenomen gebieden en aan de eis wordt voldaan.

7.5 Calibratie van het niet-stationaire model

In deze paragraaf worden de calibratieresultaten besproken van het niet-stationaire model. Het grond- en oppervlaktewatermodel wordt niet-stationair gecalibreerd op:

- alle stijghoogtegegevens van 28/4/92 t/m 31/12/95 voor alle peilbuizen die op meer dan 500 meter onderlinge afstand van elkaar liggen en waarvan bemonstering op chloride heeft plaatsgevonden (zie kaart in bijlage XXX);
- alle uitgeslagen gemaalgebieden;
- chloridenconcentraties van een aantal monsterpunten in de duinen en nabij de gemalen (verificatie).

7.5.1 Calibratie op gemeten tijd-stijghoogtelijnen

Voor de niet stationaire calibratie op stijghoogten en grondwaterstanden zijn alle stijghoogtegegevens van 28/4/92 t/m 31/12/95 voor alle peilbuizen die op meer dan 500 meter onderlinge afstand van elkaar liggen (zie kaart in bijlage XXX) gebruikt.

Het doel van de calibratie is om de verschillen (gemeten-berekend) te minimaliseren. Bij de calibratie van het instationaire model is het tijdsaspect van groot belang. Daarom is bij de instationaire calibratie vooral gekeken naar het verloop van berekende tijd-stijghoogtelijnen in vergelijking met gemeten tijdstijghoogtelijnen. De initieel gekozen freatische bergingscoëfficiënt van 0,2 is voor de polders in meerdere stappen aangepast tot uiteindelijk 0,05. Voor de duinen is de bergingscoëfficiënt ongewijzigd gebleven. De bergingscoëfficiënt voor diepere pakketten is voor modellaag 4 aangepast naar 0,05, voor modellaag 5 en 6 naar 0,01 en voor laag 7 en dieper naar 0,001.

calibratieresultaat

Het verschil tussen berekende en gemeten tijdstijghoogtelijnen is in grafische vorm opgenomen in bijlage XXX. De hier gepresenteerde stijghoogten zijn teruggerekend naar ongecorrigeerde stijghoogten (in het veld te meten, dus geen zoetwaterstijghoogten). De hoogteschaal (x-as) is van de grafieken is verschillend vanwege de onderling grote verschillen tussen de peilbuizen in stijghoogte. Verschillen tussen de gemeten en berekende tijdstijghoogtelijnen worden naast modelonnauwkeurigheden veroorzaakt door het ontbreken van gegevens over het chloride gehalte van het grondwater door de tijd. In enkele peilbuizen zijn in het (verre) verleden metingen van het chloride gehalte gedaan, maar gegevens door de tijd ontbreken. Het is evident dat dergelijke gegevens voor het modelleren van een zoet-zout grondwatersysteem onontbeerlijk zijn. Om dit probleem op te lossen zijn de gemeten chloridegehalten constant verondersteld in de tijd, waardoor echter wel een (onnodige) fout geïntroduceerd wordt. Er kan gesteld worden dat het model door de ruimtelijke en temporele discretisatie moeite heeft om kleine variaties te simuleren.

Daarnaast kan worden opgemerkt dat de metingen van de stijghoogten niet continu zijn en soms onverklaarbare hoge pleken/ dalen vertonen. Voor het verder verbeteren van de berekende tijdstijghoogtelijnen is het noodzakelijk om een de bergingscoëfficiënt ruimtelijk meer te kunnen laten variëren. Gegevens om deze ruimtelijke differentiatie op te baseren zijn echter niet voor handen, bovendien is het cel voor cel invoeren en calibreren van de bergingscoëfficiënt niet werkbaar.

Voor een aantal peilbuizen in de natuurgebieden zijn duurlijnen berekend (zie resultaten scenario 3, bijlage XXV, huidige situatie).

7.5.2 Calibratie op uitgeslagen debieten

Het grond- en oppervlaktemodel is handmatig niet-stationair gecalibreerd op de gemaaldebieten van de 4 bemalingseenheden voor de periode 28/4/92 t/m 31/12/95. Aan de hand van het aantal draaiuren van de gemalen is berekend hoeveel m³ per maand is uitgeslagen. De berekende en gemeten afvoer is voor elk gemaal in de tijd gepresenteerd. Bij de calibratie is als criterium gehanteerd dat de afwijking tussen de berekende en gemeten afvoer van het gemaal maximaal 40% van de gemeten hoeveelheid mag bedragen. De resultaten zijn opgenomen in bijlage XXXII. De berekende debieten blijken redelijk goed overeen te komen met de gemeten debieten.

7.5.3 Verificatie op chloridenconcentraties

Handmatig wordt het grond- en oppervlaktewatermodel gecalibreerd op zoutconcentraties in de oppervlaktewatermonsterpunten die nabij het gemaal liggen en op paar monsterpunten die het dicht tegen de duinen aan liggen (meest stroomopwaarts). De punten zijn

- Voor de duinen: 80314, 80319 en 82016
- Nabij de gemalen : 804008, 803011, 802024, 801006

De berekende en gemeten chloridenconcentratie van deze monsterpunten zijn in de tijd gepresenteerd en opgenomen in bijlage XXXIII. De gemeten reeksen van de chloridenconcentraties door de tijd zijn niet continu in de tijd, maar de berekende waarden blijken redelijk goed overeen te komen.

8 SCENARIO'S

8.1 Inleiding

Om de effecten van mogelijke toekomstige ontwikkelingen en ingrepen in de het waterhuishoudkundig systeem te kwantificeren zijn een zestal scenario's opgesteld en met het institutioneel model doorgerekend. De scenario's omvatten zowel externe (globale) ontwikkelingen (scenario 1 en 5) als interne lokale ingrepen (scenario 2,3 en 4). In dit hoofdstuk wordt allereerst een korte omschrijving gegeven van de scenario's, daarna wordt beschreven hoe deze in het model zijn geïmplementeerd. De hydrologische effecten van deze scenario's zijn in hoofdstuk 9 opgenomen.

8.2 Omschrijving scenario's

1. Zeespiegelrijzing-scenario:

Als gevolg van de globale opwarming van de aardse atmosfeer zal de zeespiegel in de komende eeuw naar verwachting gaan stijgen. Voor het eiland Texel zal dit gevolgen hebben voor de dimensies van de zeekeringen, maar met name voor de waterkwantiteit en kwaliteit op het eiland. In dit scenario is uitgegaan van een relatieve zeespiegelstijging van 75 cm in de komende 100 jaar (absolute zeespiegelstijging van 50 cm in combinatie met een bodemdaling van 25 cm).

2. Waterconservering:

Ten behoeve van de landbouw worden de polders op Texel ontwaterd, wat effecten kan hebben op nabijgelegen natuurgebieden in de binnenduinrand en in de polders zelf. Om dit effect te verkleinen is een scenario opgesteld waarbij in alle polders het zomer- en winterpeil met 20 cm wordt verhoogd, behalve in de polder Waal en Burg.

3. Natuurontwikkeling:

In enkele kleine natuurgebiedjes die in de polders zijn gelegen worden de peilen lokaal fors verhoogd om vochtminnende vegetatie kansen te bieden. Het gaat hierbij om de volgende gebiedjes:

- Omgeving Roggesloot: de omliggende polders gaan naar een vast peil van NAP -0,40 m en de Roggesloot zelf krijgt een vast peil van NAP -0,50 m;
- Natuurreservaat De Bol en de aangrenzende hoofdwaterlopen krijgen zeepil;
- Natuurreservaat Dijkmanshuizen en aangrenzende hoofdwaterlopen gaan naar een peil van NAP -0,50 m;
- De zuidelijke flank van de Hooge Berg (omgeving De Schans) gaat inclusief de hoofdwaterloop naar een peil van NAP -0,40 m;
- In de binnenduinrand van de zuidelijke duinen gaan de peilen omhoog tot NAP -0,20 m, waarbij delen met een peil van NAP 0 m ongewijzigd blijven;
- Naaldbos "De Dennen" wordt omgezet in loofbos / natte heide, waardoor de verdampingsfactor in de zomer 20% lager wordt;
- Polder Waal en Burg krijgt een peil van NAP -0,80 m, inclusief de hoofdwaterlopen.

4. Waterketenscenario:

Ten behoeve van de conservering van regenwater wordt in enkele bebouwde gebieden het hemelwater dat afkomstig is van de verhardingen afgekoppeld en ter plekke geïnfilteerd. Het gaat hierbij om de volgende gebieden:

- Vakantiecentrum "De Krim";
- Het dorpje "De Koog";
- Het dorp "Den Burg";
- Het dorpje "Oosterend"

Tevens wordt het effluentdebiet van de RWZI's ingezet en geïnfilteerd in de volgende gebieden:

- De helft van het effluent van RWZI "De Cockdorp" wordt in de golfbaan van vakantiecentrum "De Krim" geïnfilteerd;
- De helft van het effluent van RWZI "Everste Koog" wordt in het westelijk deel van polder de Hemmer geïnfilteerd;
- De helft van het effluent van RWZI "Oosterend" wordt ten zuidwesten van Oosterend geïnfilteerd.

Tenslotte wordt verondersteld dat door PWN opslag van water plaatsvindt onder de Hooge Berg met een volume van 0,4 miljoen m³ per jaar.

5. Klimatologische scenario:

Als gevolg van de verstoring van het mondiale klimaat zullen naar verwachting veranderingen optreden in onder andere het neerslagpatroon. In dit scenario is uitgegaan van een forse toename van de hoeveelheid neerslag in de winter (factor 2) en een lichte afname van de neerslag in de zomer (factor 0,8).

6. PM

.....

8.3 Ontwikkeling scenario's in modeltermen

1. Zeespiegelrijzing-scenario:

Met de stijging van de zeespiegel zal de dichtheidsverdeling van het grondwater in de ondergrond van Texel in de komende eeuw veranderen. MOFLOW is echter niet in staat om met een instationaire verandering in de dichtheidsverdeling te kunnen rekenen. Om rekening te houden met het veranderende dichtheidsveld door de tijd is voor de berekening van dit scenario gebruik gemaakt van de code MOCDENS3D. Voor meer modeltechnische informatie over deze scenarioberekening wordt verwezen naar het intermezzo "berekening zeespiegelrijzing". In het scenario is uitgegaan van een lineaire zeespiegelrijzing van 75 cm voor de komende eeuw. Om een verantwoorde vergelijking te kunnen uitvoeren van de effecten van de zeespiegelrijzing is tevens de autonome ontwikkeling zonder zeespiegelrijzing tot 2100 doorberekend.

Grondwaterstroming in waternerende pakketten waar een variabele dichtheid heerst kan eigenlijk niet gemodelleerd worden met een gewoon grondwater model waarin een constante dichtheid wordt gebruikt. Momenteel bestaan er echter een flink aantal computer codes die niet-stationaire driedimensionale dichtheidafhankelijke grondwaterstroming kunnen modelleren, zoals bijvoorbeeld HST3D, Feflow, Metropol, DDF en MOCDENS3D. De code die gebruikt is in het Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel heet MOCDENS3D. Een belangrijke eigenschap van MOCDENS3D is dat grootschalige systemen kunnen worden gemodelleerd zonder dat ernstige numerieke problemen optreden. Met deze code is het mogelijk niet-stationaire stroming van zoet, brak en zout grondwater te modelleren, waarbij rekening wordt gehouden met moleculaire diffusie (gelijk gesteld aan 10^6 m²/dag) en hydrodynamische dispersie. De longitudinale dispersiviteit in dit model is gelijk gesteld aan 2 m, terwijl de horizontale en verticale transversale dispersiviteiten gelijk zijn aan 0,2m.

De vergelijking voor grondwaterstroming, die is aangepast voor dichtheidsverschillen in het grondwater, wordt opgelost met de 'Strongly Implicit Procedure' van MODFLOW. Het convergentie-criterium voor de grondwaterstromingsvergelijking is 10^3 m. Stofftransport in MOCDENS3D wordt gemodelleerd door de stoftransportvergelijking op te splitsen in twee delen: (a) een advectieve term die wordt opgelost met een deel-tjesverplaatsingstechniek (m.b.v. de methode der karakteristieken), en (b) een dispersieve-term opgelost met een eindige differentie methode. Door deze opsplitsing kan numerieke dispersie binnen de perken worden gehouden, ook als grote elementen en kleine longitudinale dispersiviteiten worden gebruikt. Met name in deze eigenschap verschilt MOCDENS3D van de codes die gebruik maken van de standaard eindige elementen en differentie methoden. De vergelijkingen voor grondwater en stofftransport zijn gekoppeld omdat de dichtheid verandert door het transport van zout in de ondergrond. Numeriek wordt hiermee rekening gehouden door de tijdstap van de grondwaterstromingsvergelijking steeds opnieuw uit te rekenen.

Het geohydrologisch systeem van Texel heeft de volgende afmetingen: 29 km bij 20 km bij 302 m diep. Het systeem is als volgt opgedeeld: 80 rijen van 250 m breed in Oost-West richting, 116 kolommen van 250 m breed in Noord-Zuid richting en 23 lagen met een dikte die varieert van 1,5 m tot 20 m. Door de vorm van het eiland is zo'n 60 % van de elementen (~125.000) actief in de numerieke berekening; de rest doet niet mee. Het (advectieve) transport van zout wordt gemodelleerd met behulp van deel-tjes, waarvan er initieel 8 in elk element worden geplaatst. De tijdstap om de vergelijking van de stroming van grondwater opnieuw op te lossen is gelijk aan 1 jaar. De totale simulatie tijd is gelijk aan 500 jaar.

Een zeespiegelstijging wordt gestimuleerd door de stijghoogte in alle 'zeer' elementen (met een MODFLOW HBOUND-waarde van -1) toe te laten nemen met 0,0075 m per tijdstap van één jaar. Ver in zee, op zo'n drie kilometer uit de kust, heerst er over het verticaal een 'no-flow'-randvoorwaarde. De driedimensionale initiële dichtheidverdeling is opgesteld aan de hand van chloride concentraties metingen in peilbuizen. Deze verdeling, die zowel het transport van zout als de stroming grondwater beïnvloedt, is lastig te bepalen.

Intermezzo berekening zeespiegelstijging-scenario

2. Waterconservering-scenario:

In alle polders m.u.v. Waal en Burg is zowel het zomer- als winterpeil in de hoofdwaterlopen en de detailontwatering met 20 cm verhoogd.

3. Natuurontwikkeling-scenario:

In de aangegeven natuurgebiedjes (zie vorige paragraaf) is zowel het zomer- als winterpeil in de hoofdwaterlopen (RIVER-module) en de detailontwatering (General Head Boundary) verhoogd naar de genoemde peilen.

Voor het maaidbos in natuurgebied "De Dennen" is de verdampingsfactor met 20% verlaagd, de grondwateraanvulling opnieuw berekend en in het model gebracht.

4. Waterketen-scenario:

In de genoemde bebouwde gebieden wordt het regenwater afkomstig van verhardingen in de bodem geïnfilteerd, zodat het ten goede komt aan het bodemvocht en het grondwater. Uitgegaan is van een verhard oppervlak van 50% van het bebouwd gebied. Van de neerslag die valt op verhard oppervlak komt 65% tot afvoer (run-off factor) en infiltreert.

De helft van het effluent van de RWZI's wordt op enkele plaatsen geïnfilteerd. Het effluent-debiet is hierbij verdeeld over meerdere modelcellen. Hierbij is uitgegaan van een maximaal te infiltreren capaciteit van 40 m³/dag.

5. Klimatologisch scenario:

De grondwateraanvulling is opnieuw berekend met een dubbele neerslaghoeveelheid in de winter en met 80% van neerslaghoeveelheid in de zomer.

6.

PM

9 HYDROLOGISCHE EFFECTEN SCENARIO'S

9.1 Inleiding

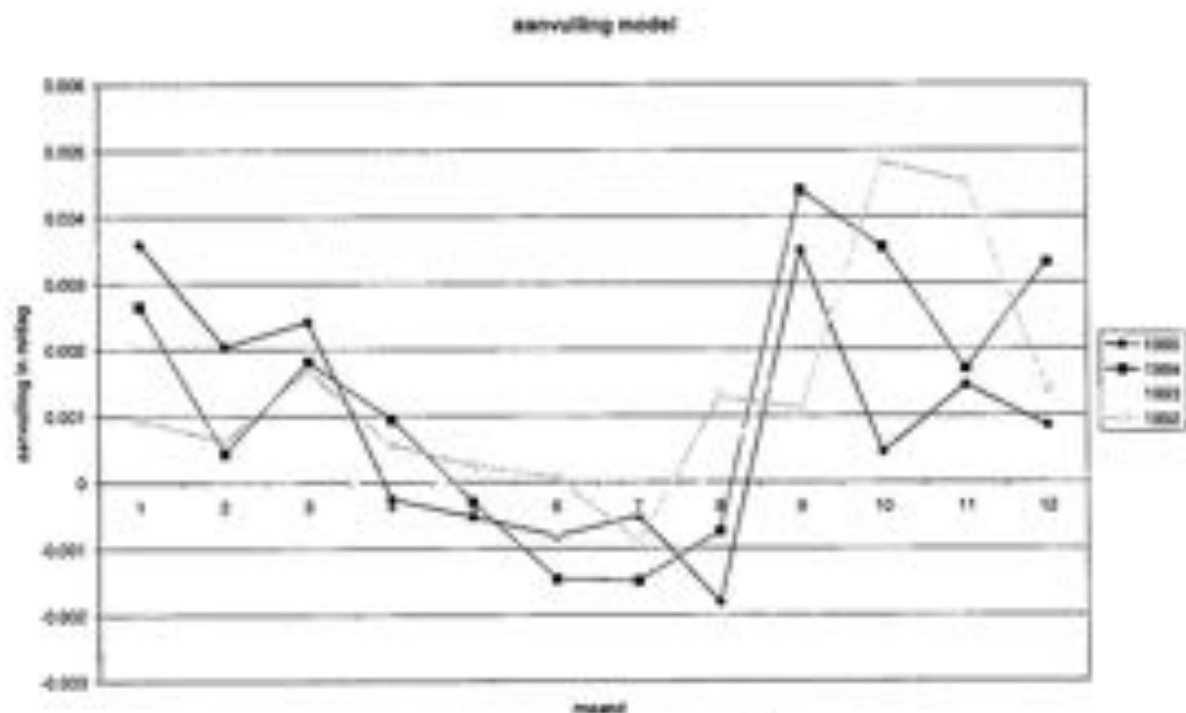
Met behulp van het gecalibreerde model zijn de verschillende scenario's doorgetekend en de geohydrologische effecten bepaald. De geohydrologische effecten betreffen:

- de verandering van de grondwaterstanden en stijghoogten;
- de verandering van kwel/infiltratie;
- de verandering van het zoutzoet grensvlak;
- de verandering van de berekende uitmaaldebeten (voor alle gemalen);

Om de effecten van de scenario's weer te geven zijn binnen de modelperiode een aantal kritische tijdstippen onderscheiden waarop de effecten van de scenario's worden gepresenteerd. Na bestudering van de grondwateraanvulling over de periode 1992-1995 (zie afbeelding 9.1) zijn de volgende termen gehanteerd:

- - droge zomer : juli 1994
- - natte winter : november 1992
- - gemiddelde voorjaarsituatie : april 1994

Afbeelding 9.1 De grondwateraanvulling van het model in de modelperiode



Omdat de droge zomer en de natte winter binnen de modelperiode te beschouwen zijn als extremen zullen de effecten van de scenario's tussen de resultaten van beide periodes in liggen. De resultaten van de scenario's worden voor enkele hydrologische aspecten gepresenteerd zoals opgenomen in tabel 9.1. Voor scenario 1 is het onderscheid tussen zomer en winter niet relevant voor de tijdschaal die wordt aangehouden bij de berekening van scenario 1. Het effect van de zeespiegelrijzing wordt weergegeven voor een gemiddelde situatie over 100 jaar. Tevens wordt voor dit scenario de verandering van de zoutbelasting weergegeven.

Voor scenario 2, 4 en 5 worden de resultaten gepresenteerd voor zowel een droge zomer als een natte winter, omdat verschillende effecten voor beide perioden te verwachten zijn. Voor scenario 3 (natuurontwikkeling) worden de effecten gepresenteerd voor een gemiddelde situatie, omdat de vegetatie uiteindelijk afhankelijk van langdurige ontwikkelingen. Aanvullend worden voor scenario 3 doorlooptijden gepresenteerd van de natuurgebieden Roggesloot, Waal en Burg, Dijkmanshuizen en de duinen.

Tabel 9.1 Presentatie van de resultaten van de scenario's

| Presentatie van effecten in / op: | Scen 1 | Scen 2 | Scen 3 | Scen 4 | Scen 5 | Scen 6 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Droge zomer | | X | | X | X | |
| Natte winter | | X | | X | X | |
| Gemiddelde situatie | X | | X | | | |
| Verandering grondwaterstand | X | X | X | X | X | |
| Verandering kwel / infiltratie | X | X | X | X | X | |
| Verandering gemaaldebieten en chloridebalansen | X | X | X | X | X | |
| Verandering zoet-zout grensvlak | X | | | | X | |

9.1 Hydrologische effecten scenario 1

De resultaten van scenario 1 zijn in bijlage XXIII opgenomen.

9.1.1 Verandering grondwaterstand

De stijghoogtes blijken als gevolg van de zeespiegelstijging toe te nemen, waarbij de toename aan de randen van het eiland (dichter bij de zee) het grootst is. Op een diepte tussen NAP-1.5 tot NAP-3 m is de verhoging van de stijghoogtes het grootst in de duinen, vanwege de vrije grondwaterstand die zich hier kan instellen. In de polders is de verandering gering, omdat in deze gebieden het peil wordt gereguleerd door het ontwateringssysteem. De afname van de stijghoogtes in de polders is het gevolg van het feit dat het grondwatersysteem over de periode 2000 -2100 aan het verzilten is. Met toenemende diepte blijkt tevens de stijghoogte verandering in de polders toe te nemen.

9.1.2 Verandering kwel en infiltratie

De infiltratie in de duinen ondervindt vrijwel geen effect van de zeespiegelstijging. De toename van de kwel blijkt aan de randen van de polders het grootst en bedraagt maximaal ca. 0,7 mm/dag. In de bijlage is tevens de verandering van de kwel door de tijd opgenomen. De zwarte lijn geeft de autonome ontwikkeling van de kwel door de tijd weer, de rode lijn geeft de toename van de kwel a.g.v. de zeespiegelrijzing weer. De lichte afname van de kwel in de autonome situatie is het gevolg van het zouter worden van het systeem, waardoor de dichtheidsverdeling in de ondergrond verandert.

9.1.3 Verandering gemaaldebieten

In tabel 9.2 is de verandering weergegeven van de gemaaldebieten over 100 jaar als gevolg van een zeespiegelrijzing, waarbij ervan uitgegaan is de neerslag en verdamping en het effluent debiet van de RWZI's niet verandert.

Met name in polder Eijerland en de Prins Hendrik Polder blijkt de hoeveelheid uitgeslagen water door de toename van de kwel fors toe te nemen.

Tabel 9.2. Verandering gemaaldebiet over 100 jaar a.g.v. zeespiegelstijging

| 2100 AD | Toename gemaaldebiet |
|-----------------------------------|----------------------|
| Prins Hendrik polder | 37 % |
| Gemeenschappelijke polders | 28 % |
| Polder Waal en Burg / Het Noorden | 25 % |
| Polder Eijerland | 43 % |

9.1.4 Verandering zoutbelasting

De chloride concentraties in het grondwater blijken a.g.v. de autonome ontwikkeling tussen 2000 en 2100 AD zonder zeespiegelstijging fors toe te nemen. Het toegevoegde effect van de zeespiegelstijging is in dit opzicht relatief gering. Dat betekent dat ook zonder een zeespiegelstijging het systeem zal gaan verzilten, door de ontwatering in de polders. Door een polderpeil lager dan het zeepil te handhaven wordt kwel aangetrokken, waardoor de hogere chloridenconcentraties van grotere diepte naar omhoog bewegen.

De toename van de zoutbelasting is weergegeven in kaartvorm, het verloop van de zoutbelasting per polder door de tijd is eveneens in grafiekvorm opgenomen. Met name in polder Eijerland blijkt de zoutbelasting toe te nemen (zie ook tabel 9.3) door de toename van de chloride concentraties in het grondwater gecombineerd met de toename van de kwel. Ook in de andere polders is een behoorlijke toename van de zoutbelasting zichtbaar.

Tabel 9.3. Verandering zoutbelasting over 100 jaar a.g.v. zeespiegelstijging

| 2100 AD | Toename zoutbelasting |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Prins Hendrik polder | 42 % |
| Gemeenschappelijke polders | 66 % |
| Polder Waal en Burg / Het Noorden | 57 % |
| Polder Eijerland | 100 % |

9.1.5 Verandering zoet-zout grensvlak

Zowel uit de kaarten als uit de doorsneden blijkt de diepteligging van het zoet-zout grensvlak binnen 100 jaar niet of nauwelijks te veranderen. Dit is het gevolg van de trage reactie van de zoetwaterbelllen op verandering van de zeespiegel. Daarnaast is in dit scenario de zeespiegelstijging pas na 100 jaar op het maximum van 0,75 m. Pas na enkele eeuwen zijn duidelijke effecten van de zeespiegelstijging op de diepteligging van het grensvlak zichtbaar.

9.2 Hydrologische effecten scenario 2

De resultaten van scenario 2 zijn in bijlage XXIV opgenomen

9.2.1 Verandering grondwaterstand

De grondwaterstanden in de polders met het verhoogde peil nemen vrijwel overal toe met ongeveer 20 cm zowel in de zomer als in de winter. Vanwege de verhoging van de ontwateringsbasis (in hoofdwaterlopen en detailontwatering) stijgen de grondwaterstanden evenredig. Buiten de polders is de verhoging van de grondwaterstanden beperkt, slechts enkele centimeters in de binnenduinrand.

9.2.2 Verandering kwel en infiltratie

De verschillen in de verandering van de kwel en infiltratie tussen de zomer en winter situatie zijn gering, omdat de verhoging van het polderpeil in de zomer even groot is als in de winter (slechts enkele cellen nabij de Hoops Berg wijken iets af). Vanwege het hogere polderpeil neemt de kwel in met name de Prins Hendrik polder en langs de zeedijk iets af. Langs de westelijke randen van de polders wijzen de positieve waarden op een omslag naar infiltratie a.g.v. het peilverschil met polder Waal en Burg en de binnenduintrand. Door de aanvoer van water uit de polders met verhoogd peil neemt in enkele delen van deze gebieden de infiltratie iets af.

9.2.3 Gemaaldebieten en chloridebalansen

In tabel 9.4 tot 9.7 zijn de waterbalansen en chloridebalansen van de droge zomer respectievelijk de natte winter opgenomen. Voor dit scenario is het grootste effect merkbaar in polder Eijerland in een afname van de kwel term. Door de hogere peilen neemt de kwel af en daarmee de aanvoer van chloride. Het gemaaldebiet neemt door dit scenario niet of nauwelijks toe.

Tabel 9.4. Waterbalans van een droge zomer (in 1000 m³/maand) voor scenario 2

| Jul. 94 | Aanvoer | | | | Afweg | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|--------|------|-------|---|--------|-------|-----|
| | K | T | Totaal | N-V | A | I | Totaal | | |
| Prins Hendrik | 261 | 1,9 | 263 | 374 | 0 | 0 | 374 | -111 | |
| Gemeensch. P. | 856 | 17 | 872 | 2275 | 0 | 0 | 2275 | -1403 | |
| Kraaikeet | 488 | 123 | 611 | 1378 | 0 | 0 | 1378 | -765 | |
| Polder Eijerland | 348 | 28 | 372 | 1787 | 0 | 0 | 1787 | -1415 | |

Tabel 9.5. Chloridebalans van een droge zomer (in ton Cl/maand) voor scenario 2

| Jul. 94 | Aanvoer | | | | Afweg | | | | R+B |
|------------------|---------|------|-----|--------|-------|---|--------|--|-----|
| | N | K | T | Totaal | A | I | Totaal | | |
| Prins Hendrik | 14 | 2800 | 0,5 | 2815 | 0 | 0 | 2815 | | |
| Gemeensch. P. | 87 | 4839 | 5 | 4931 | 0 | 0 | 4931 | | |
| Kraaikeet | 54 | 3485 | 23 | 3542 | 0 | 0 | 3542 | | |
| Polder Eijerland | 64 | 2137 | 5 | 2176 | 0 | 0 | 2176 | | |

Tabel 9.6. Waterbalans van een natte winter (in 1000 m³/maand) voor scenario 2

| Nov. 92 | Aanvoer | | | | Afweg | | | | R+B |
|------------------|---------|---|-----|--------|-------|-----|--------|------|-----|
| | N-V | K | T | Totaal | A | I | Totaal | | |
| Prins Hendrik | 1154 | 0 | 1,9 | 1156 | 1313 | 173 | 1486 | -330 | |
| Gemeensch. P. | 6588 | 0 | 38 | 6626 | 5815 | 338 | 6153 | 473 | |
| Kraaikeet | 4111 | 0 | 187 | 4298 | 3845 | 94 | 3939 | 359 | |
| Polder Eijerland | 4830 | 0 | 18 | 4848 | 4552 | 51 | 4603 | 245 | |

Tabel 9.7. Chloridebalans van een natte winter (in ton Cl/maand) voor scenario 2

| Nov. 92 | Aanvoer | | | | Afweg | | | | R+B |
|------------------|---------|---|-----|--------|-------|----|--------|-----|-----|
| | N | K | T | Totaal | A | I | Totaal | | |
| Prins Hendrik | 55 | 0 | 0,5 | 56 | 50 | 6 | 56 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 345 | 0 | 12 | 360 | 340 | 20 | 360 | 0 | |
| Kraaikeet | 318 | 0 | 35 | 353 | 247 | 6 | 253 | 100 | |
| Polder Eijerland | 258 | 0 | 4 | 260 | 257 | 3 | 260 | 0 | |

9.3 Hydrologische effecten scenario 3

De resultaten van scenario 3 zijn in bijlage XXV opgenomen.

9.3.1 Verandering grondwaterstand

De polderpeil verhogingen leiden tot een bijna evenredige verhoging van de grondwaterstand. Het effect op de omgeving van deze lokale ingrepen is vanwege de modeldiscretisatie (250 * 250 m) moeilijk te bepalen en bedraagt slechts enkele modelcellen. In het natuurgebied "De Bol" is de verhoging het grootst (meer dan 2 meter), omdat in het grootste deel van dit gebied het peil wordt verhoogd van NAP -2,10 m naar zeepil.

9.3.2 Verandering kwel en infiltratie

De afname van de kwel is in het natuurgebiedje "De Bol" het grootst, vanwege de grote peilverhoging. Ook in de andere gebiedjes is een afname van de kwel zichtbaar. Aan de randen van de natuurgebiedjes met peilverhoging neemt de kwel iets toe. Het omzetten van het naaldbos in het binnenduinrandgebied "De dennen" in loofbos of natte heide (afname gewasverdamming) leidt tot meer grondwateraanvulling en daarmee tot een toename van de infiltratie.

9.3.3 Gemaaldebieten en chloride balansen

In tabel 9.8 tot 9.11 zijn de waterbalansen en chloridebalansen van de droge zomer respectievelijk de natte winter opgenomen. Voor dit scenario is het grootste effect merkbaar in polder Waal en Burg / Het Noorden in de afname van de kwelterm. Ook de gemaaldebieten nemen af door de hogere peilen in een aantal deelgebiedjes.

Tabel 9.8. Waterbalans van de gemiddelde huidige situatie (in 1000 m³/maand)

| Apr. 94 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|------|--------|------|-----|-----|
| | N-V | K | T | Tot | A | Tot | | |
| Prins Hendrikp. | 254 | 265 | 1,8 | 521 | 497 | 497 | 24 | |
| Gemeensch. P. | 1284 | 515 | 20 | 1819 | 1540 | 1540 | 279 | |
| Kraaskeel | 857 | 335 | 110 | 1252 | 1195 | 1195 | 57 | |
| Polder Eijerland | 1200 | 345 | 14 | 1559 | 1425 | 1425 | 134 | |

Tabel 9.9. Chloridebalans van de gemiddelde huidige situatie (in ton Cl/maand)

| Apr. 94 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | R |
|------------------|---------|------|-----|------|--------|------|---|---|
| | N | K | T | Tot | A | Tot | | |
| Prins Hendrikp. | 13 | 2843 | 0,5 | 2857 | 2857 | 2857 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 64 | 2915 | 38 | 3017 | 3017 | 3017 | 0 | |
| Kraaskeel | 40 | 2379 | 22 | 2441 | 2441 | 2441 | 0 | |
| Polder Eijerland | 60 | 2151 | 3 | 2164 | 2154 | 2164 | 0 | |

Tabel 9.10. Waterbalans van de gemiddelde situatie (in 1000 m³/maand) voor scenario 3

| Apr. 94 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|------|--------|------|-----|-----|
| | N-V | K | T | Tot | A | Tot | | |
| Prins Hendrikp. | 254 | 257 | 1,8 | 513 | 497 | 497 | 26 | |
| Gemeensch. P. | 1284 | 490 | 20 | 1794 | 1510 | 1510 | 284 | |
| Kraaskeel | 857 | 285 | 110 | 1252 | 1150 | 1150 | 102 | |
| Polder Eijerland | 1200 | 339 | 14 | 1553 | 1425 | 1425 | 128 | |

Tabel 9.11. Chloridebalans van de gemiddelde situatie (in ton Cl/maand) voor scenario 3

| Apr. 94 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | |
|------------------|---------|------|-----|------|--------|------|---|--|
| | N | K | T | A | A | R | R | |
| Irina Hendrikp. | 13 | 2756 | 0,5 | 2772 | 2772 | 2772 | 0 | |
| Gemeenschap. P. | 64 | 2773 | 38 | 2875 | 2875 | 2875 | 0 | |
| Kraatskeet | 40 | 2045 | 22 | 2107 | 2107 | 2107 | 0 | |
| Polder Eijerland | 60 | 2066 | 3 | 2129 | 2128 | 2128 | 0 | |

9.3.4 Verandering duurlijnen

In de grafieken met de duurlijnen wordt het overschrijdingspercentage van een bepaalde grondwaterstand weergegeven. Voor de vegetatie is dit een belangrijk gegeven. Veel vegetatie vereist bijvoorbeeld natte condities gedurende langere tijd. De duurlijnen zijn opgemaakt voor 4 natuurgebieden:

- Roggesloot: de duurlijn van scenario 3 loopt evenwijdig en ligt ongeveer 15 à 20 cm hoger a.g.v. de peilverhoging in en rondom de roggesloot. Een grondwaterstand van bijvoorbeeld 80 cm beneden maaiveld wordt in de huidige situatie ca. 38% van de tijd overschreden, in het geval van scenario 3 is de overschrijding bijna 70 % van de tijd;
- Waal en Burg: de duurlijn van scenario 3 ligt hoger, maar loopt niet evenwijdig met de huidige situatie, d.w.z. dat de grondwaterstand gedurende het hele jaar minimaal 35 cm zal stijgen en in 10% van het jaar (36 dagen) de stijging van het grondwater zelfs 90 cm zal bedragen. Deze verschillen in de tijd worden veroorzaakt door het vaste peil dat in scenario 3 wordt ingesteld, terwijl in de huidige situatie een zomer- en winterpeil gehandhaafd wordt;
- Dijkmanshuizen: in deze duurlijn is het zojuist beschreven effect niet zichtbaar, waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat de gebruikte peilbuizen buiten het eigenlijke natuurgebied ligt of omdat het verschil tussen zomer- en winterpeil in het peilvakje gering is;
- Duinen ("De Dennen"): door het verlopen van het naaldbos neemt de aanvulling toe, waardoor de grondwaterstand gedurende het hele jaar ter plaatse ongeveer 10 cm stijgt.

9.4 Hydrologische effecten scenario 4

De resultaten van scenario 4 zijn in bijlage XXVI opgenomen.

9.4.1 Verandering grondwaterstand

Door de toename van de infiltratie neemt in alle betreffende gebieden de grondwaterstand toe (omgeving Den Burg maximaal 1 à 1,5 meter voor enkele cellen). De toename van de grondwaterstand is in de winter hoger als gevolg van de lagere polderpeilen in de winter. De grondwaterstand op de Hooge Berg ondervindt minder invloed van het vaste polderpeil; daar is de verhoging van de grondwaterstand in de zomer groter dan in de winter.

9.4.2 Verandering kwel en infiltratie

De infiltratie neemt in alle gebieden toe, met name onder Den Burg. In de droge zomer beperkt de toename van de infiltratie zich tot de Hooge Berg. Vanwege het verdampingsoverschot in de zomer is de hoeveelheid water afkomstig van verhardingen die beschikbaar is voor infiltratie gering. De verandering in de kwel is gering en er is weinig verschil in de zomer en de winter situatie.

9.4.3 Gemaaldebieten en chloridebalansen

In tabel 9.12 tot 9.15 zijn de waterbalansen en chloridebalansen van de droge zomer respectievelijk de natte winter opgenomen. Voor dit scenario is het grootste effect merkbaar in de gemeenschappelijke polders in een toename van het debiet van het gemaal in de natte winter en in polder Eijerland in een afname van de kwel in de winter. Voor de andere polders zijn de veranderingen gering.

Tabel 9.12. Waterbalans van een droge zomer (in 1000 m³/maand) voor scenario 4

| Jul. 04 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|--------|--------|---|---|--------|-------|
| | N-V | K | T | Totaal | N-V | A | I | Totaal | |
| Prins Hendrikp. | | 279 | 1,9 | 281 | 374 | 0 | 0 | 374 | -177 |
| Gemeensch. P. | | 890 | 13 | 903 | 2216 | 0 | 0 | 2216 | -1403 |
| Krassekeel | | 500 | 62 | 562 | 1365 | 0 | 0 | 1365 | -795 |
| Polder Eijerland | | 382 | 13 | 395 | 1781 | 0 | 0 | 1781 | -1475 |

In kolom "N-V" cellen met grijs tint: hierin is afgekoppelde neerslag en de infiltratie van RWZI-effluent verwerkt.

Tabel 9.13. Chloridebalans van een droge zomer (in ton Cl/maand) voor scenario 4

| Jul. 04 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|------|------|--------|--------|---|---|--------|-----|
| | N | K | T | Totaal | N | A | I | Totaal | |
| Prins Hendrikp. | 14 | 2994 | 0,5 | 3009 | 0 | 0 | 0 | 3009 | |
| Gemeensch. P. | 87 | 5037 | 4 | 5128 | 0 | 0 | 0 | 5128 | |
| Krassekeel | 54 | 3550 | 11,5 | 3616 | 0 | 0 | 0 | 3616 | |
| Polder Eijerland | 64 | 3325 | 2,5 | 3393 | 0 | 0 | 0 | 3393 | |

Tabel 9.14. Waterbalans van een natte winter (in 1000 m³/maand) voor scenario 4

| Nov. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|-----|--------|--------|-----|---|--------|-----|
| | N-V | K | T | Totaal | N-V | A | I | Totaal | |
| Prins Hendrikp. | 1114 | 190 | 1,9 | 1306 | 1331 | 0 | 0 | 1331 | -26 |
| Gemeensch. P. | 6829 | 0 | 29 | 6858 | 5962 | 591 | 0 | 6553 | 553 |
| Krassekeel | 4184 | 0 | 94 | 4278 | 3555 | 190 | 0 | 4085 | 193 |
| Polder Eijerland | 5145 | 29 | 9 | 5183 | 4027 | 315 | 0 | 4642 | 290 |

In cellen met grijs tint: hierin is afgekoppelde neerslag en de infiltratie van RWZI-effluent verwerkt.

Tabel 9.15. Chloridebalans van een natte winter (in ton Cl/maand) voor scenario 4

| Nov. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|------|-----|--------|--------|----|---|--------|-----|
| | N | K | T | Totaal | N | A | I | Totaal | |
| Prins Hendrikp. | 55 | 2029 | 0,5 | 2085 | 56 | 0 | 0 | 56 | 0 |
| Gemeensch. P. | 341 | 0 | 8 | 349 | 309 | 40 | 0 | 349 | 0 |
| Krassekeel | 209 | 0 | 16 | 227 | 207 | 20 | 0 | 227 | 0 |
| Polder Eijerland | 257 | 475 | 2 | 734 | 699 | 75 | 0 | 774 | 0 |

9.5 Hydrologische effecten scenario 5

De resultaten van scenario 5 zijn in bijlage XXV opgenomen.

9.5.1 Verandering grondwaterstand

Door de verdubbeling van de neerslag in de winter stijgen de grondwaterstanden fors, met name in de zuidelijke duinen en op de Hooge Berg. In de polders stijgt de grondwaterstand met 0,25 tot 0,5 m. Direct langs de waterlopen is de grondwaterstijging minder groot. In de zomer is in de duinen en op de Hooge Berg een na-ijffect zichtbaar van de verdubbeling van de winterneerslag. Aangezien het water hier niet afgevoerd wordt maar berging optreedt van het neerslag-overschot blijven de grondwaterstanden hoog (ten opzichte van de normaal lagere grondwaterstanden in de zomer is het verschil zelfs groter). In het poldergebied wordt de extra neerslag via het oppervlaktewaterstelsel naar zee afgevoerd, zodat van een verhogend effect op de grondwaterstanden in de zomer geen sprake meer is. Het effect van de afname van de neerslag in de zomer is niet terug te vinden (in de zomers is de neerslag gering, de relatieve afname van de neerslag met 20% heeft een gering absoluut effect).

9.5.2 Verandering kwel en infiltratie

In de natte winter neemt de infiltratie fors toe, zelfs op enkele hoger gelegen delen in de polders. In de droge zomer is nog steeds sprake van een toename van de infiltratie vanwege het eerder genoemde nali-effect van de natte winter, hoewel de toename kleiner is geworden. De kwel blijkt in de polders in de natte winter af te nemen of om te staan in infiltratie. In de zomer neemt de kwel op de randen van de infiltratiegebieden (duinen en Hooge Berg) toe. Ook in de polders is een lichte toename van de kwel zichtbaar, die verklaard kan worden door de afname van de neerslag (kleinere neerwaartse flux) en het licht dalen van de grondwaterstanden (maximaal 5 cm), waardoor een grotere opwaartse flux optreedt.

9.5.3 Gemaaldebieten en chloridebalansen

In tabel 9.16 tot 9.19 zijn de waterbalansen en chloridebalansen van de droge zomer resp. de natte winter opgenomen. Een overzicht van de procentuele verandering per polder voor alle scenario's is in een overzichtstabel in het 10 opgenomen. Voor het huidige scenario is het grootste effect merkbaar in polder Eijerland in een forse toename van het gemaaldebiet in de winter. Ook in de andere polders nemen de gemaaldebieten fors toe.

Tabel 9.16. Waterbalans van een droge zomer (in 1000 m³/maand) voor scenario 5

| Jul. 04 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|-----|------|------|--------|---|------|-------|-----|
| | K | T | Tot | N-V | A | I | Tot | | |
| Prins Hendriep. | 326 | 1,9 | 328 | 433 | 0 | 0 | 433 | -105 | |
| Gemeensch. P. | 1124 | 17 | 1141 | 2633 | 0 | 0 | 2633 | -1492 | |
| Kraaikeel | 620 | 123 | 743 | 1597 | 0 | 0 | 1597 | -854 | |
| Polder Eijerland | 533 | 26 | 563 | 2059 | 0 | 0 | 2059 | -1496 | |

Tabel 9.17. Chloridebalans van een droge zomer (in ton Cl/maand) voor scenario 5

| Jul. 04 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|------|-----|------|--------|---|-----|------|-----|
| | N | K | T | Tot | A | I | Tot | | |
| Prins Hendriep. | 11 | 3498 | 0,5 | 3510 | 0 | 0 | 0 | 3510 | |
| Gemeensch. P. | 70 | 6362 | 5 | 6437 | 0 | 0 | 0 | 6437 | |
| Kraaikeel | 43 | 4402 | 23 | 4468 | 0 | 0 | 0 | 4468 | |
| Polder Eijerland | 51 | 3246 | 5 | 3302 | 0 | 0 | 0 | 3302 | |

Tabel 9.18. Waterbalans van een natte winter (in 1000 m³/maand) voor scenario 5

| Nov. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|---|-----|-------|--------|------|-------|------|-----|
| | N-V | K | T | Tot | A | I | Tot | | |
| Prins Hendriep. | 2265 | 0 | 1,9 | 2267 | 1906 | 60 | 1966 | 303 | |
| Gemeensch. P. | 13428 | 0 | 38 | 13466 | 8800 | 1712 | 10512 | 2945 | |
| Kraaikeel | 8377 | 0 | 187 | 8564 | 5941 | 844 | 6785 | 1779 | |
| Polder Eijerland | 10369 | 0 | 18 | 10387 | 8563 | 729 | 9291 | 1096 | |

Tabel 9.19. Chloridebalans van een natte winter (in ton Cl/maand) voor scenario 5

| Nov. 02 | Aanvoer | | | | Afvoer | | | | R+B |
|------------------|---------|---|-----|-----|--------|-----|------|---|-----|
| | N | K | T | Tot | A | I | Tot | | |
| Prins Hendriep. | 113 | 0 | 0,5 | 114 | 1080 | 34 | 1114 | 0 | |
| Gemeensch. P. | 671 | 0 | 12 | 683 | 672 | 111 | 883 | 0 | |
| Kraaikeel | 419 | 0 | 35 | 454 | 398 | 56 | 454 | 0 | |
| Polder Eijerland | 518 | 0 | 4 | 522 | 481 | 41 | 522 | 0 | |

9.5.4 Diepte zoet-zout grensvlak

Voor dit scenario is in MOCDENS3D gerekend met een toename van de gemiddelde grondwateraanvulling van 80 %, omdat binnen MOCDENS3D geen onderscheid valt te maken tussen een zomer en winter situatie. De toename van de natuurlijke grondwateraanvulling (β) blijkt een duidelijk effect te hebben op de diepte van het zoet-zout grensvlak. Onder de Westerdunnen neemt de zoetwaterbel in diepte toe van NAP -47 m naar NAP -77 m. Ook in de rest van de duinen en onder de Hooge Berg neemt de zoetwaterbel fors in diepte en daarmee in volume toe.

9.6 Hydrologische effecten scenario 6

9.6.1 Verandering grondwaterstand

9.6.2 Verandering kwel en infiltratie

9.6.3 Gemaaidebieten en chlooridebalansen.

10 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Uit de systeem analyse is een beeld verkregen van de hydrologie en de ecologie van het eiland. Het eiland is op te delen in de volgende hydrologische systemen:
 - Het duinsysteem, waarbinnen zich door de infiltratie van het neerslagoverschot zoetwaterbellien hebben gevormd. Vanuit dit zoete systeem treedt op enkele plaatsen kwel op in de polders, waardoor zich in deze voornamelijk brakke polders zoetwater afhankelijke vegetatie kan ontwikkelen.
 - De Hooge Berg, waaronder zich eveneens een zoetwaterbel heeft kunnen ontwikkelen.
 - Het marien beïnvloedde zandgebied en het kleigebied (polders), waar een dunne zone zoetwater al ondiep overgaat in brak water. In deze gebieden vindt kwel plaats vanuit de omliggende zee.

Om inzicht te verkrijgen in de bijdrage van de verschillende componenten aan het hydrologische systeem zijn voor een drietal perioden (droge zomer, natte winter en gemiddelde situatie) waterbalansen opgesteld. Daaruit blijkt dat het oppervlaktewatersysteem voornamelijk wordt beïnvloed door de hoeveelheid neerslag / verdamping. De kwel blijkt een ondergeschikte rol te vervullen. Voor de aanvoer van chloride speelt de kwel echter een cruciale rol, met name vanwege de (in de toekomst) toenemende gehalten chloride in de ondergrond.

- Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de stijghoogten en grondwaterstanden in de polders met name gevoelig zijn voor verandering van de drainage weerstand en in de duinen en op de Hooge Berg met name gevoelig zijn voor de weerstand van de keileem. De gemaaldebieten blijken gevoelig voor de drainage weerstand en in de polders Eijerland en Prins Hendrik tevens voor de weerstand van de deklaag. Na calibratie van het model is het gemiddeld absoluut verschil (GAV) tussen de berekende en gemeten stijghoogten 0,24 m. De belangrijkste aanpassing in het model tijdens de calibratie is het gedetailleerd invoeren van het dichtheidsveld in het model op basis van metingen en MOCDENS3D berekeningen.
- In tabel 10.1 tot 10.4 is per polder een samenvattende overzichtstabel opgenomen voor de effecten van de scenarioberekeningen op het gemaaldebiet, de kwel en de zoutvrucht van het oppervlaktewater bij het uitstroompunt.

Tabel 10.1 Procentuele verandering voor de Prins Hendrikpolder

| | | Gemaaldebiet | Kwel | Zoutvrucht |
|------------|--------------|--------------|-------|------------|
| Scenario 1 | Gemiddeld | 37% | 37% | 42% |
| Scenario 2 | Droge zomer | 0% | -6% | 6% |
| | Natte winter | -1% | -100% | -98% |
| Scenario 3 | Gemiddeld | -2% | -3% | -3% |
| Scenario 4 | Droge zomer | 0% | 0% | 0% |
| | Natte winter | 0% | 0% | 0% |
| Scenario 5 | Droge zomer | 0% | +17% | +17% |
| | Natte winter | +43% | -100% | -47% |
| Scenario 6 | Nvb | Nvb | Nvb | |

Tabel 10.2 Procentuele verandering voor de Gemeenschappelijke polders

| | | Gemaaldebiet | Kwiel | Zoutvracht |
|------------|--------------|--------------|-------|------------|
| Scenario 1 | Gemiddeld | 26% | 26% | 66% |
| Scenario 2 | Droge zomer | 0% | -4% | -4% |
| | Natte winter | -1% | 0% | 0% |
| Scenario 3 | Gemiddeld | -2% | -5% | -6% |
| Scenario 4 | Droge zomer | 0% | -1% | -1% |
| | Natte winter | +2% | 0% | -3% |
| Scenario 5 | Droge zomer | 0% | +26% | +25% |
| | Natte winter | +50% | 0% | +60% |
| Scenario 6 | Nvb | Nvb | Nvb | Nvb |

Tabel 10.3 Procentuele verandering voor de Krassekeet (Waal en Burg / Het Noorden)

| | | Gemaaldebiet | Kwiel | Zoutvracht |
|------------|--------------|--------------|-------|------------|
| Scenario 1 | Gemiddeld | 25% | 25% | 57% |
| Scenario 2 | Droge zomer | 0% | -2% | -2% |
| | Natte winter | 0% | 0% | 0% |
| Scenario 3 | Gemiddeld | -4% | -14% | -14% |
| Scenario 4 | Droge zomer | 0% | 0% | 0% |
| | Natte winter | +1% | 0% | -10% |
| Scenario 5 | Droge zomer | 0% | +24% | +23% |
| | Natte winter | +54% | 0% | +60% |
| Scenario 6 | Nvb | Nvb | Nvb | Nvb |

Tabel 10.4 Procentuele verandering voor Eijerland

| | | Gemaaldebiet | Kwiel | Zoutvracht |
|------------|--------------|--------------|-------|------------|
| Scenario 1 | Gemiddeld | 43% | 43% | 103% |
| Scenario 2 | Droge zomer | 0% | -8% | 9% |
| | Natte winter | -1% | -100% | -66% |
| Scenario 3 | Gemiddeld | 0% | 2% | 2% |
| Scenario 4 | Droge zomer | 0% | +1% | 0% |
| | Natte winter | +1% | -7% | -6% |
| Scenario 5 | Droge zomer | 0% | +40% | +39% |
| | Natte winter | +66% | -100% | -28% |
| Scenario 6 | Nvb | Nvb | Nvb | Nvb |

- Met scenario 1 is het effect van een zeespiegelrijzing van 0,75 cm over 100 jaar berekend. Belangrijkste uitkomsten van dit scenario zijn dat de chloridengehalten van het ondiepe grondwater en de kwiel fors gaan toenemen. De bijdrage van de zeespiegelrijzing hieraan is echter gering ten opzichte van de autonome ontwikkeling die het eiland in de toekomst zal doormaken. De belangrijkste oorzaak hiervan is de verzilting van ondergrond door de kunstmatige (diepe) ontwatering van de polders. Het effect van de zeespiegelrijzing op de diepte van het zoet-zout grensvlak is binnen 100 jaar nog niet zichtbaar, vanwege de trage reactie van het systeem. Pas na 500 jaar is zichtbaar dat de diepte van de zoetwaterbellen afneemt.
- Met scenario 2 is het effect berekend van het opzatten van de polderpeilen met 20 cm, m.u.v. polder Waal en Burg. Deze maatregel blijkt met name in polder Eijerland en Prins Hendrik de kwiel fors te reduceren. De afname van het gemaaldebiet is gering vanwege

de neerslag-afhankelijkheid van systeem. Een afname van de kwel van 100% duidt op een omslag naar infiltratie.

- Met scenario 3 is het effect berekend van een aantal ingrepen in de polderpeilen ten behoeve van natuurontwikkeling. Als gevolg hiervan neemt de kwel en daarmee de zoutbelasting af, met name in polder Waal en Burg / het Noorden.
- Met scenario 4 is het effect berekend van een aantal "waterketen" maatregelen, waarbij het effluentdebiet en de neerslag op verhardingen wordt geïnfilteerd. De effecten op de grondwaterstanden zijn echter zeer lokaal van aard en vrijwel niet merkbaar in het gemaaldebiet.
- Met scenario 5 is de neerslag in de winter en zomer met respectievelijk met factor 2 en 0,8 vermenigvuldigd. De verdubbeling van de neerslag in de winter heeft in de duinen extra berging tot gevolg waardoor ook in de zomer hogere grondwaterstanden worden berekend. De gemaaldebieten nemen in alle polders vanwege de extra aanvoer fors toe. In de drogere zomers blijkt de kwel in de polders behoorlijk toe te nemen. Vanwege de verdamping in de watergangen is het effect op het gemaaldebiet echter gering.
- Bij het meten van stijghoogten op Texel is het van groot belang om met enige regelmaat ook de chloridegehalten in de peilbuizen te meten. Indien dit niet wordt gedaan zijn de stijghoogtegegevens niet te interpreteren en onbruikbaar ten behoeve van calibratie van grondwatermodellen.

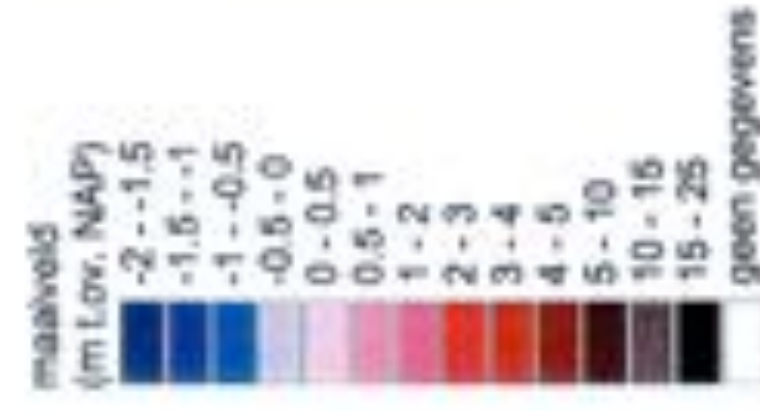
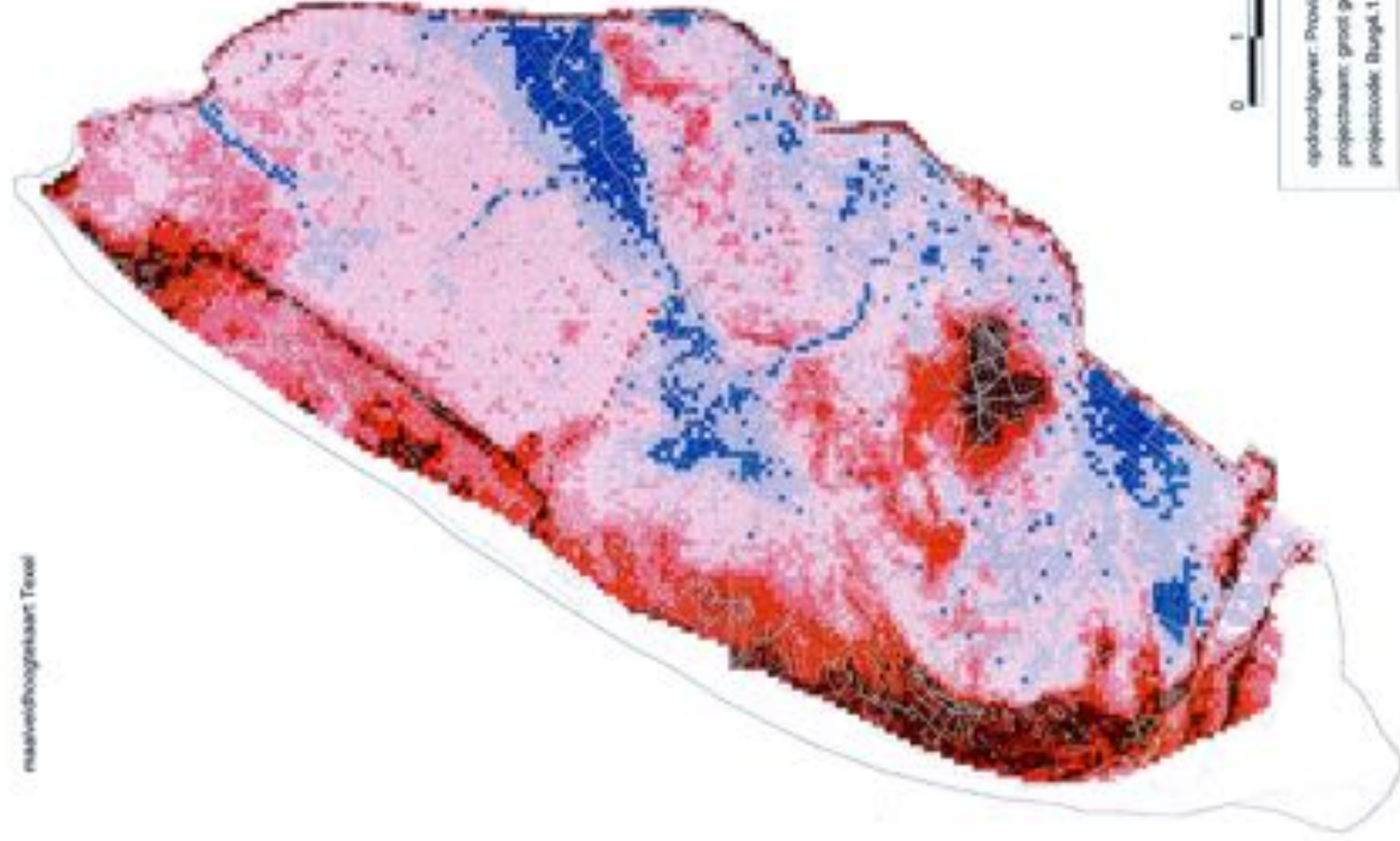
REFERENTIES

1. Staatsbosbeheer. 100 jaar natuur voor iedereen, Toon Fey-Abooude. 1999.
2. Flora en Fauna van Texel. Provincie Noord-Holland. 1996.
3. De Convexe Kustboog. Het westelijk waddengebied en het eiland Texel tot circa 1550 (deel 1) en na 1550 (deel 2). Henk Schoorl. 1999.
4. tLant van Texsel. Een geschiedbeschrijving. J.A. van der Vlis. 2^e druk 1979.
5. Resultaten van uitgewerkte waterstanden (TORS) in Blok en zwanenbol, Polder Waal en Burg Texel. W.J. Niemeyer. 1996.
6. Geohydrologische modelstudie van de Mokslootvallei, Texel. Witteveen+Bos. Deventer 1989.
7. Grondwaterkwaliteit, een eerste presentatie van grondwaterkwaliteitsgegevens uit het provinciaal Meetnet Grondwaterkwaliteit. Provincie Noord-Holland. Haarlem, 1997.
8. Flora en fauna van Texel, de huidige situatie en de ontwikkelingen sinds 1985 in de polders en op het oude land. Provincie Noord-Holland. Haarlem, 1996.
9. Gebiedsvisie natuur, landschap en bodem voor Texel, Provincie Noord-Holland, Haarlem 1997.
10. Voorontwerp begrenzingenplan Texel. Gedeputeerde staten van Noord-Holland, 1998.
11. Waterbeheersplan Hollands Kroon 1997-2000. waterschap Hollands Kroon, Wieringerwerf 1997.
12. Grondwaterkaart van Nederland. Kaartblad 4W, 9W, 9O. (Waddeneilanden). Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft/Oosterwolde, 1987.
13. Ontwerp legger van de wateren. Waterschap Hollands Kroon.
14. Kustverdediging Eijerland eindrapportage van de projectgroep. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, dir. Noord-Holland, Haarlem 1993.
15. Bepaling van de kwelflux vanuit de Hooge Berg (Texel) naar het terrein Westergeest. Bakker en Hetterschijt, 1994.
16. Topografische kaart van Nederland 1:25.000. Kaartblad 98 (Texel). Topografische dienst. Emmen, 1998.
17. Legger van de wateren. Prins Hendrikpolder, Eijerland, Duinen Texel, Waal en Burg. 1996.
18. Kaart behorend bij het peilbesluit 3-5-1974 schaal 1:20.000. Waterschap Texel.
19. Vegetatiekaart Muy, Slufter en Eijerlandse Duinen 1:5000 (Texel-Noord, 1998). Everts en de Vries. ecologisch advies en onderzoeksbureau, Groningen 1998.
20. Vegetatiekaart Roggesloot (Texel). Everts & de Vries 1:2.500. Ecologisch advies en onderzoeksbureau, Groningen 1992.
21. CD-rom provincie Noord-Holland. Digitale gegevens van de geohydrologische ondergrond van Texel uit het REGIS bestand. 1999.
22. LGN3+ van Texel, digitale landgebruik kaart. 1999.
23. Arvview bestand met de bodemkaart van Texel.
24. CD-rom met Top10vector-bestanden van Texel. Kaartbladen 04DZ2, 04GZ1, 09AN2, 09BN1, 09BN2, 09EN1, 09AZ2, 09BZ1, 09BZ2, 09EZ1, 09CN2, 09DN1, 09DN2, 09GN1, 09CZ2, 09DZ1, en 09DZ2. 1999.
25. Brak bekeken; onderzoek naar de optimalisatiemogelijkheden van brakke watertypen. Y. Wessels, 1998. Stageverslag.
26. Onderzoek naar de opkomst van zuur-indicerende plantensoorten in de vochtige schraalgraslanden van het natuurmonument Dijkmanshuizen (Texel). J. Buma, 1994. Stageverslag.

REFERENTIES (vervolg)

28. Simuleren van 3D dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming: MOCDENS3D. G.H.P. Oude Essink, in :stromingen 1998
29. De vorming van het land. J.H.A Berendsen, Universiteit Utrecht 1996
30. McDonald, M.G. en A.W. Harbaugh. A modular three-dimensional finite-difference groundwaterflow model. USGS 1988
31. Sanford, W.E. en L.F. Konikow. A two-constituent solute-transport model for groundwater having variable density, USGS 1985
32. Zheng, C. MT3D: A modular three-dimensional transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reaction of contaminants in groundwater systems, Papadopoulos & Ass. 1990
33. Projectgroep waterlood: grondwater als leidraad voor oppervlaktewater, DLG en Unie van Waterschappen 1998
34. Buijs hydro-ecologisch onderzoek en advies, Plaatsing peilbuizen voor het GGOT, 2000

maaiveldhoogteaanpak Texel



0 1 2 3 4 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Buzgk-1

Witteveen **Bos**

BILAGE II
Soorpurtenkaart en boordieptekaart met ligging profielen

Buurtpuntkaart Texel inclusief ligging van de geohydrologische profielen
bron: grondwaterkaart (Waddeneilanden 1987), bronnen RGDG

voeg andere boringen toe

einddiepte boring
m t.o.v. maaiveld

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 50
- 50 - 100
- 100 - 400

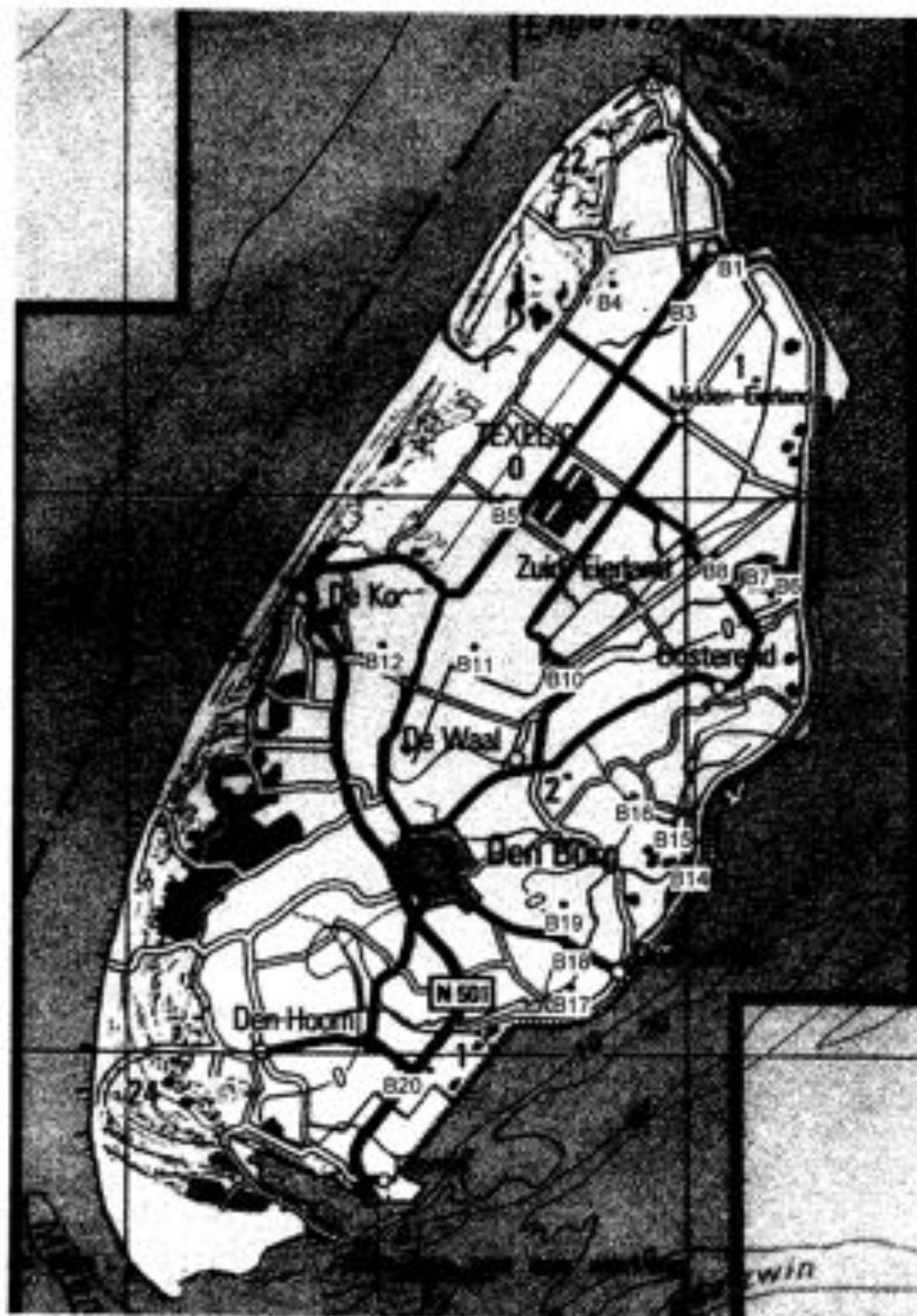


opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen **Bos**

2. Gegevens geplaatste meetpunten

2.1 Locatiekaart aanvullende meetpunten GGOT



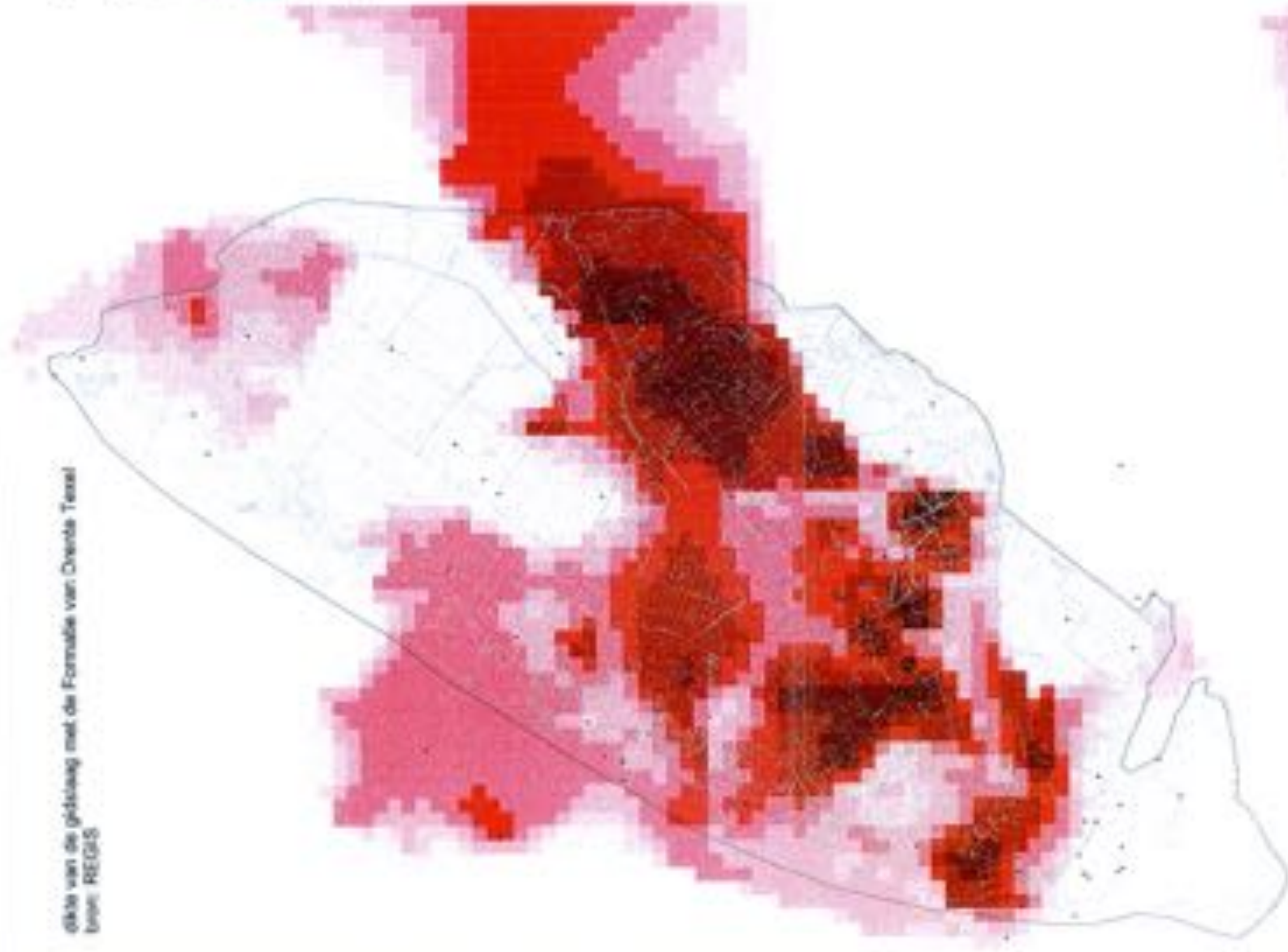
februari 2000

dikte van de gidslaag met de Formatie van Drenthe Tessel
Bron: REGIS

legenda

• lokale boorput

dikte (m)

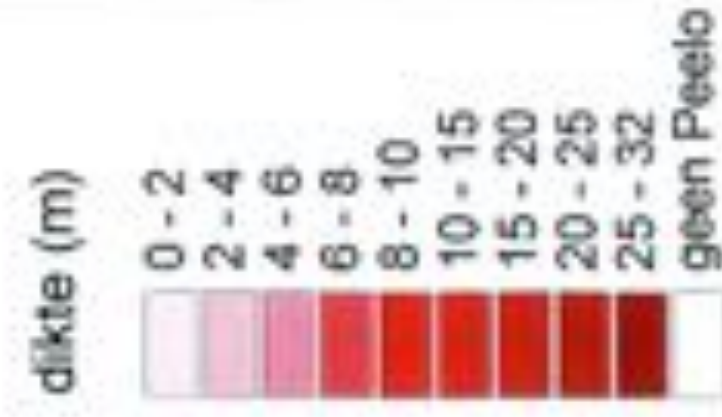


opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Tessel
projectcode: Burgel.1

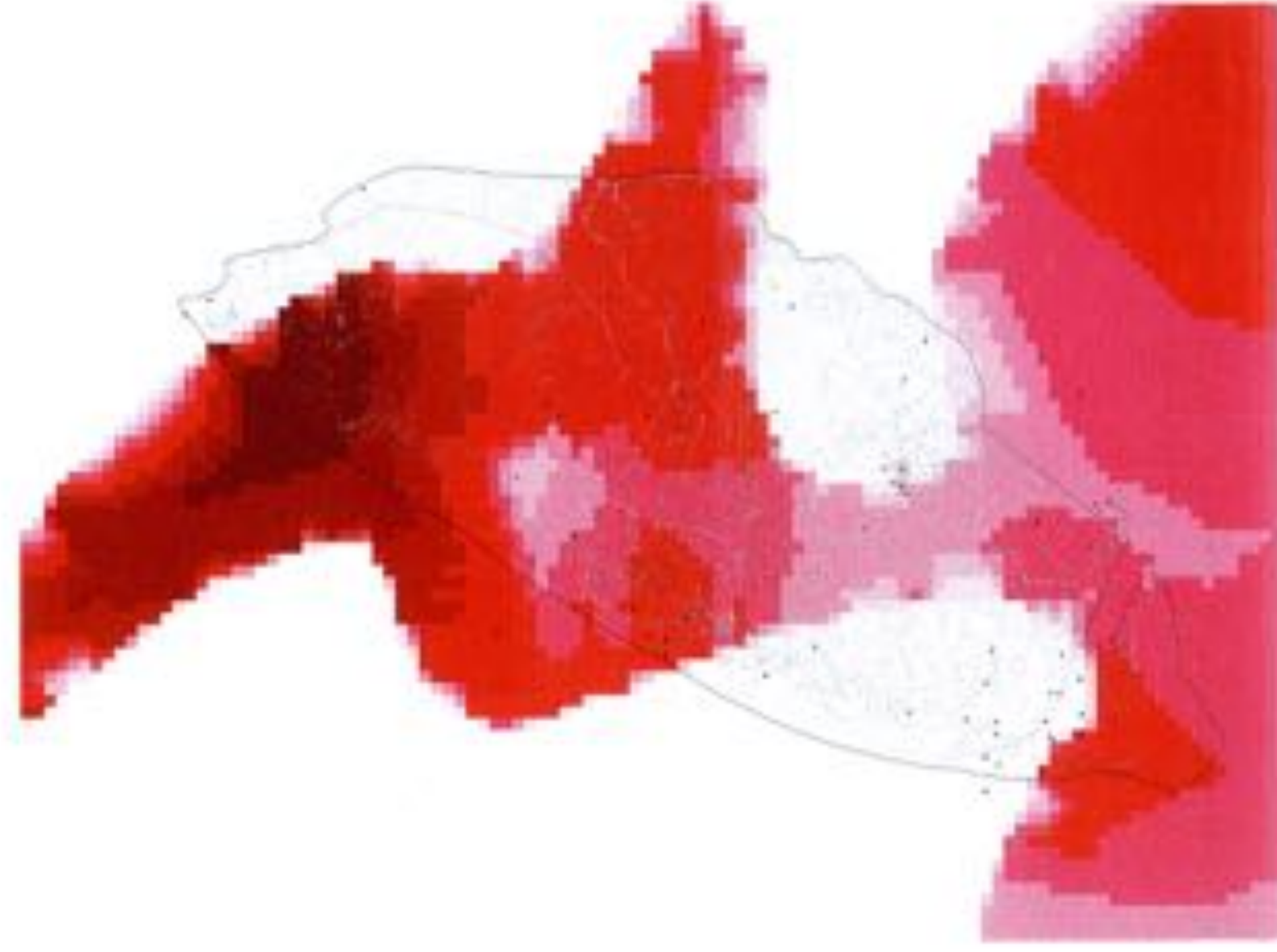
Witteveen

Bos

dikte van de gidslaag met de Formatie van Peelo
bron: REGIS



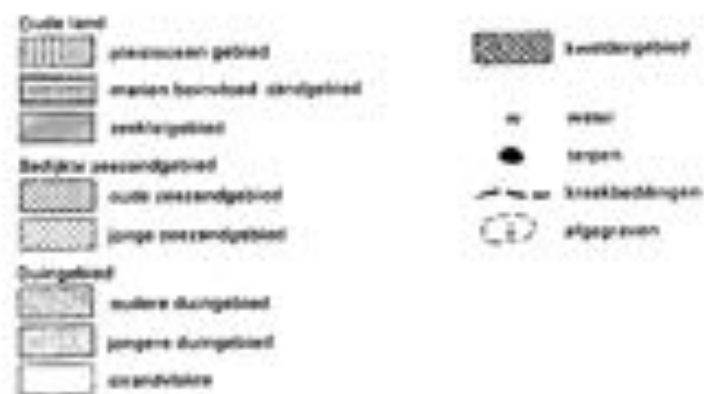
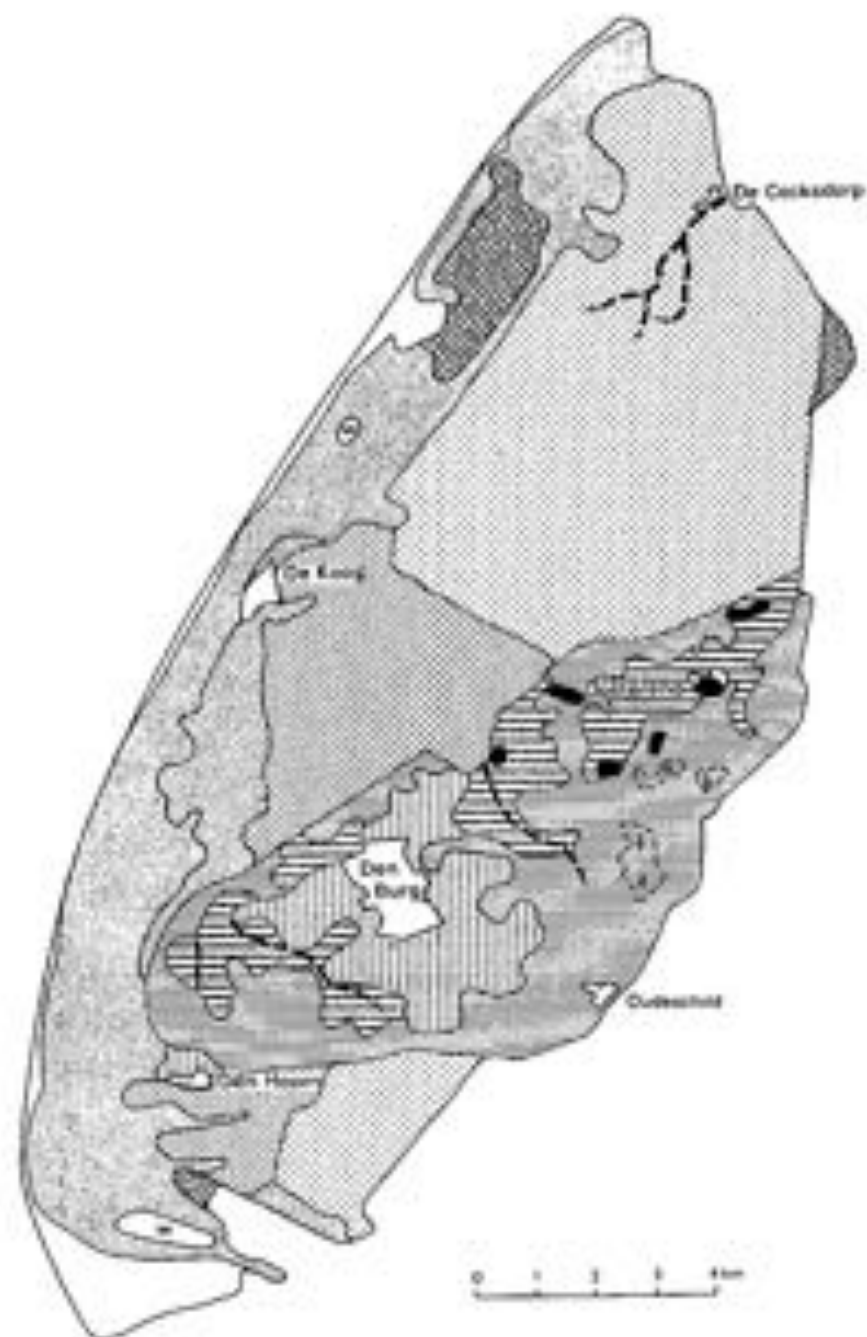
lokatie
boorpunt



0 1 2 3 4 5 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Blurg4.1

Witteveen **Bos**



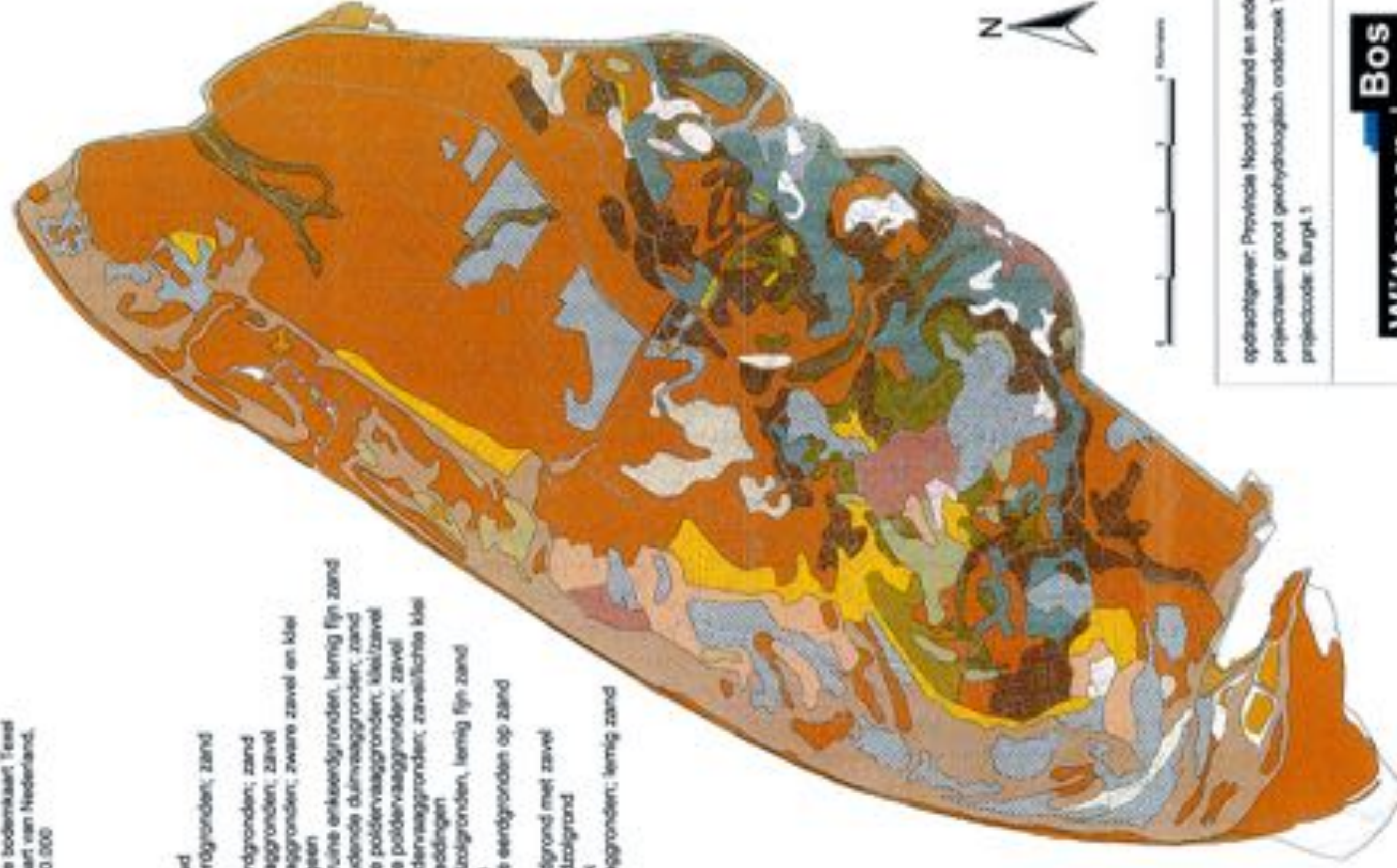
bodemgeografie Texel
 bron: Bodemkaart van Nederland, 1986

BIJLAGE V
Bodemkaart en Grondwatertrappenkaart

versimpelde bodemkaart Terest
bron: bodemkaart van Nederland,
blad Terest 1: 50.000
Stobbe, 1966

legenda

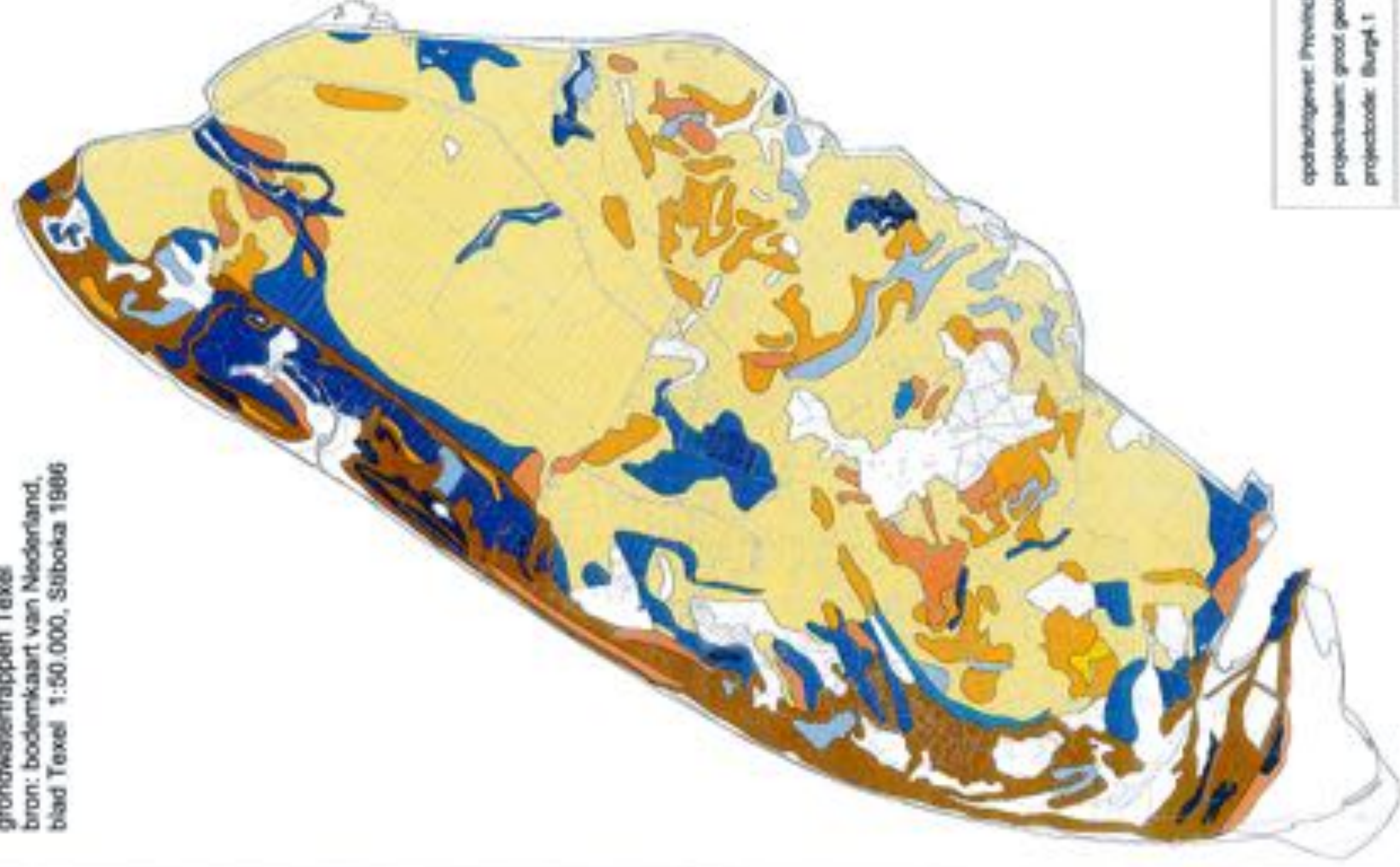
| | |
|---|--|
|  | bebouwd |
|  | beekveergronden; zand |
|  | oijk |
|  | poosveergronden; zand |
|  | poosveergronden; zavel |
|  | poosveergronden; zware zavel en klei |
|  | helaarogeen |
|  | hoge bruine eekveergronden, leemig fijn zand |
|  | kalshoudende duinveergronden; zand |
|  | kalrijke poosveergronden; klei/zavel |
|  | knippenige poosveergronden; zavel |
|  | knippenige veergronden; zavellichte klei |
|  | kreekbeddingen |
|  | laarpoosveergronden, leemig fijn zand |
|  | moeras |
|  | moerige eekveergronden op zand |
|  | terp |
|  | tuinveergrond met zavel |
|  | veldpoosveergrond |
|  | verwerk |
|  | vlekveergronden; leemig zand |
|  | water |



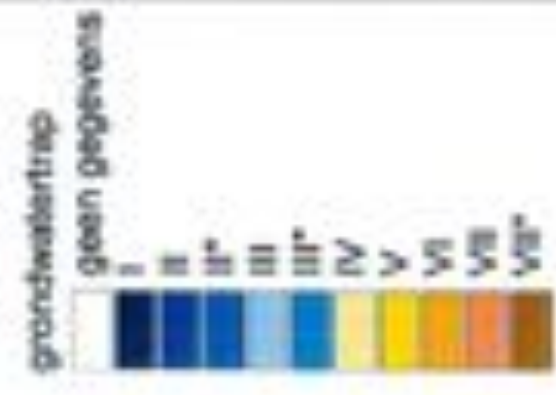
opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Terest
projectcode: Burgpl.1

Witteveen + Bos

grondwatertrappen Texel
bron: bodemkaart van Nederland,
blad Texel 1:50.000, Suboika 1986



legenda



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4-1

Witteveen **Bos**



BIJLAGE VI
Landgebruikskaart

Landgebruiksk kaart

weiland



akkerbouw



loofbos



naaldbos



open water



stedelijk gebied



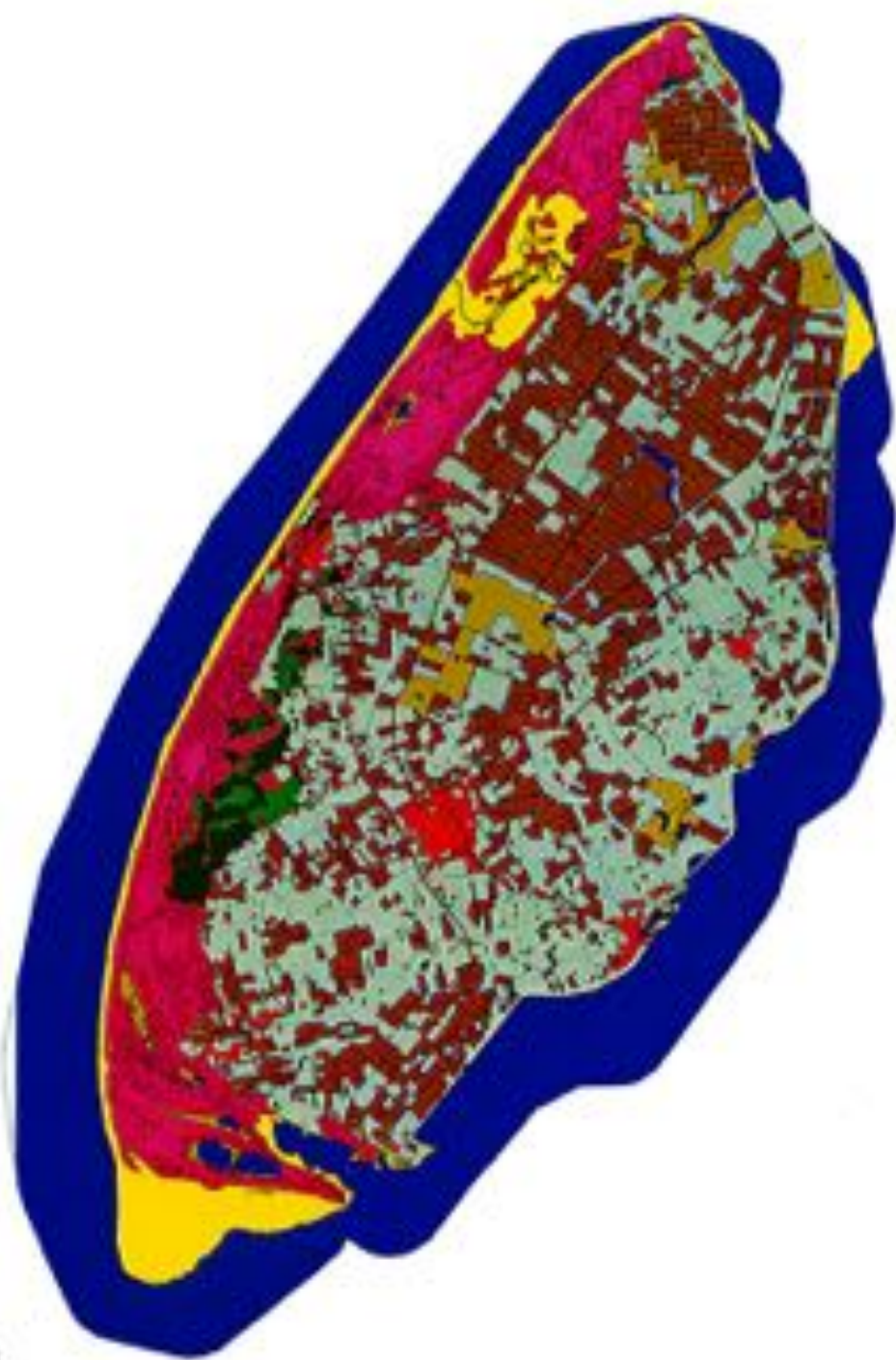
kale grond



duinvegetatie



natte natuur

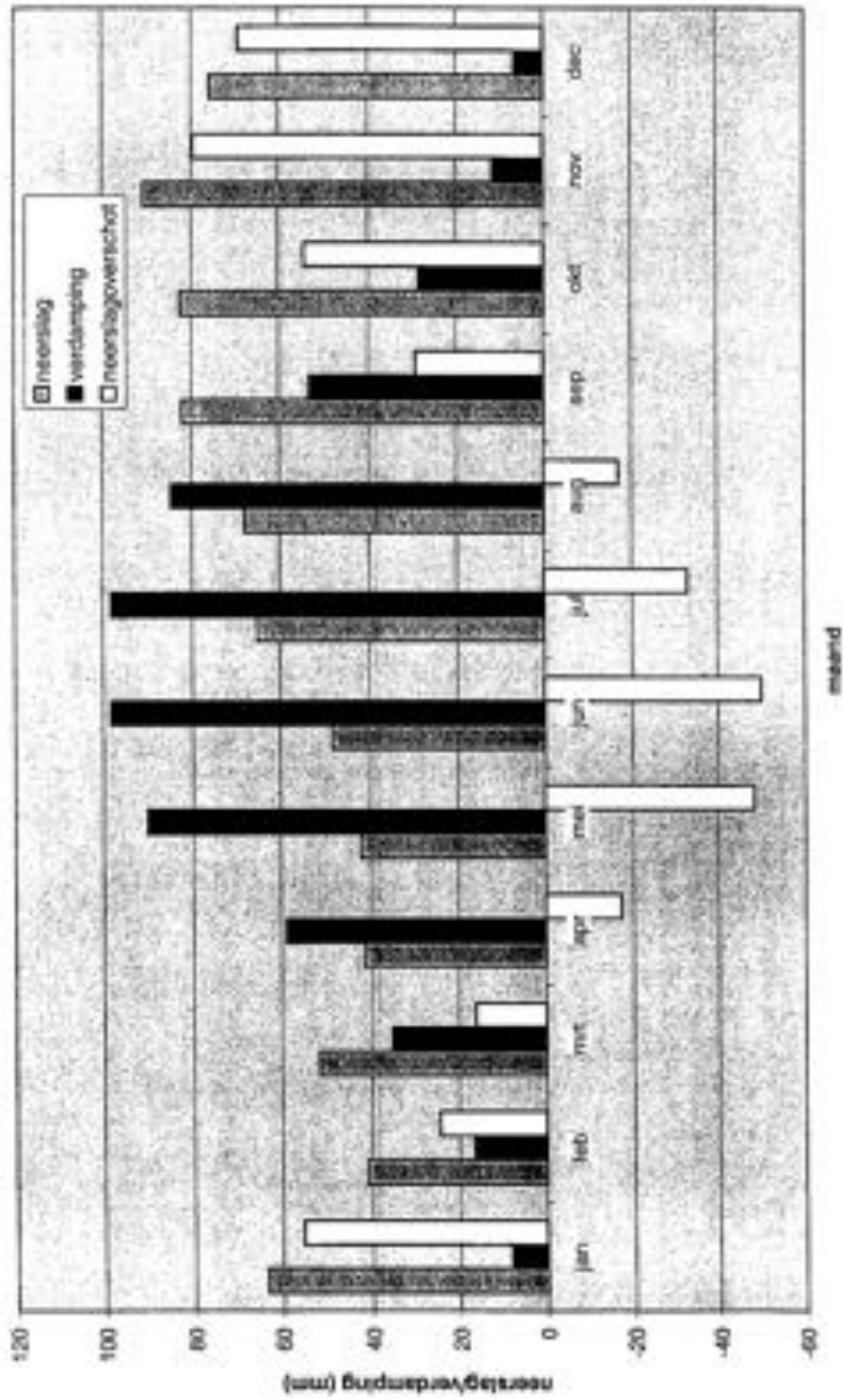


0 1 2 3 4 5 6 7 Kilometers

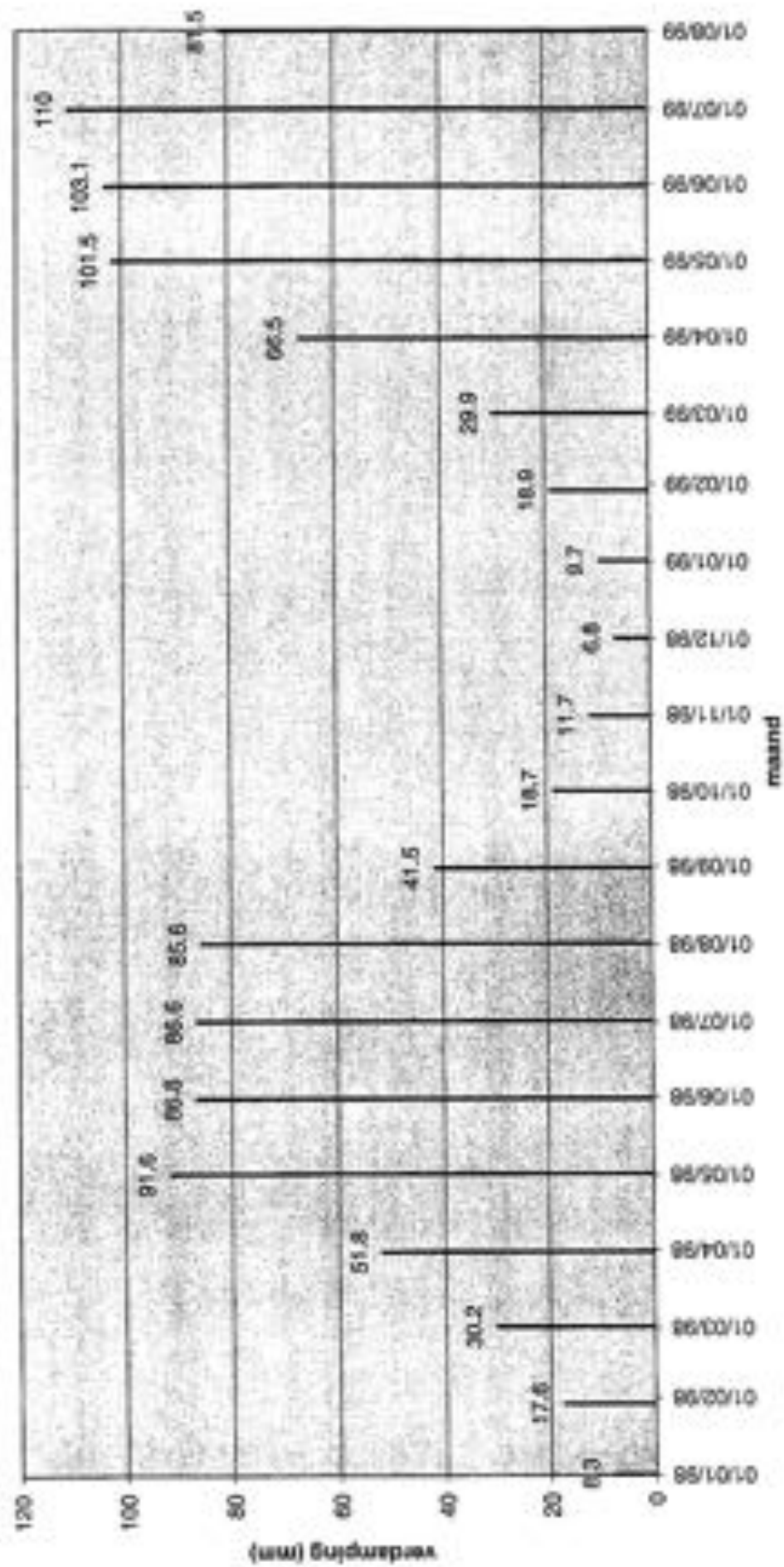
opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burgt.1

Witteveen  **Bos**

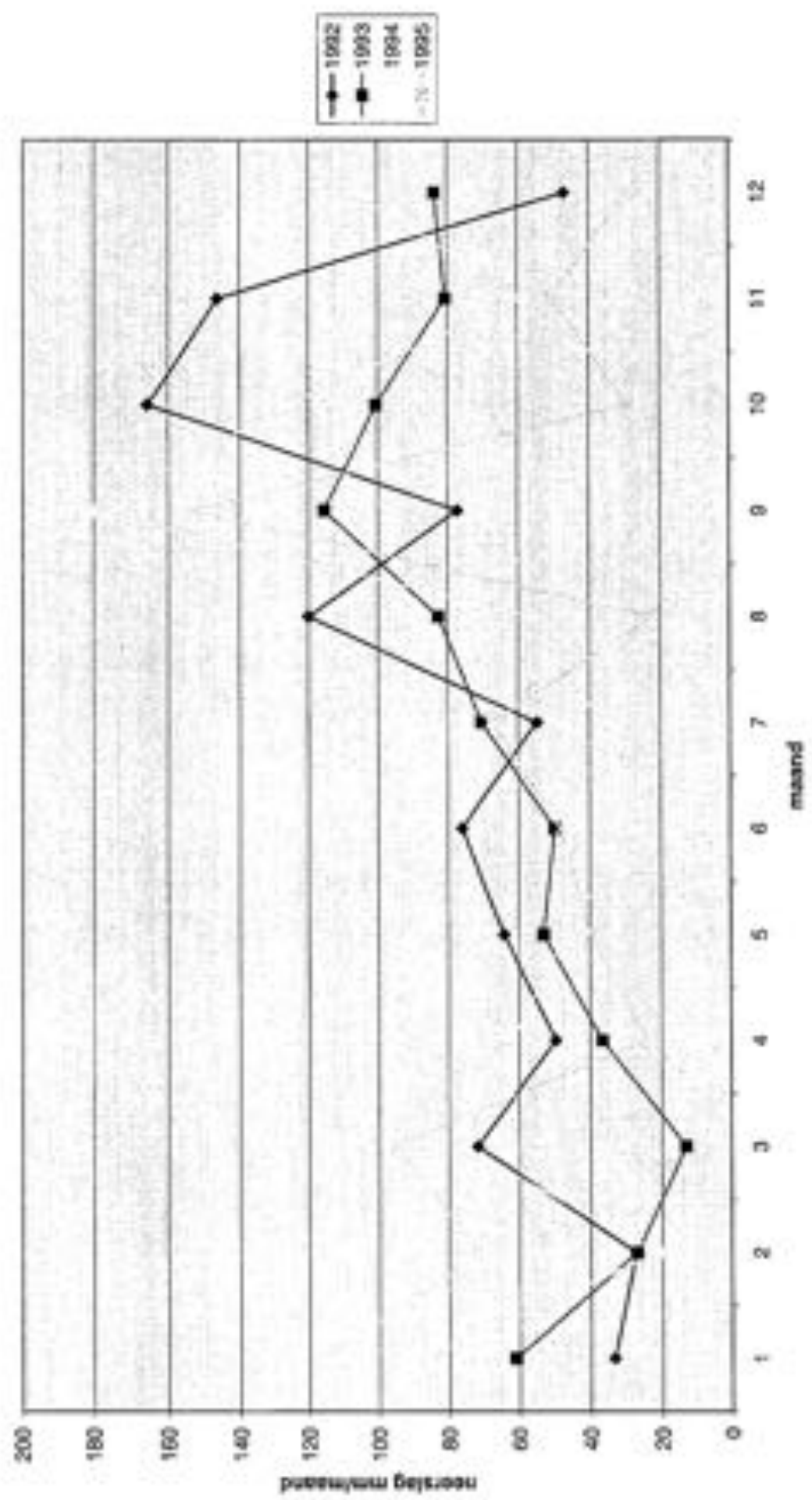
gemiddelde neerslag, verdamping en neerslagoverschot per maand gemeten in de Kooy (1961-1990)



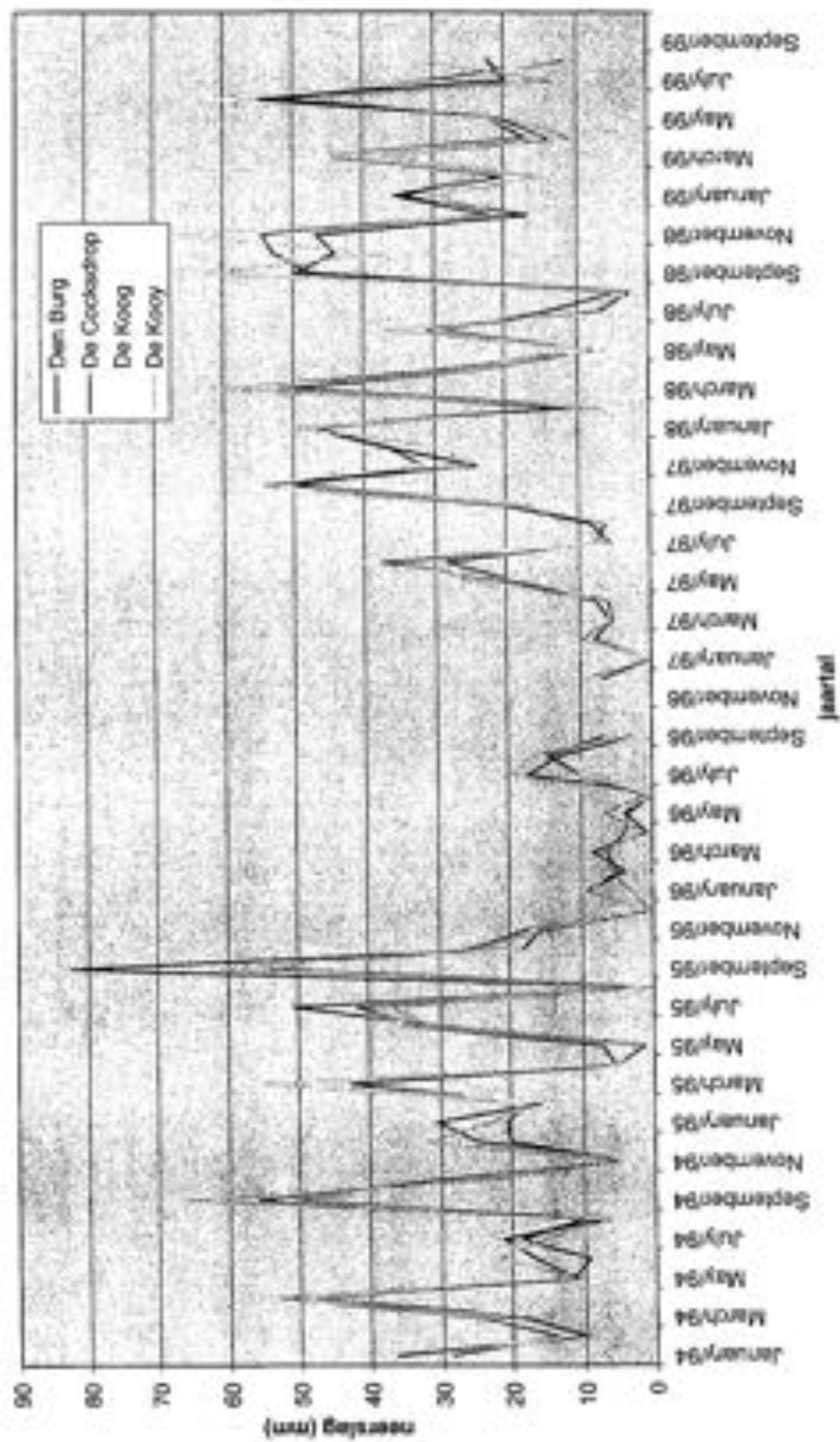
potentiele maandelijks verdamping gemeten op meetstation De Kooy over de periode januari 1998 tot augustus 1999



hoeveelheid neerslag per maand



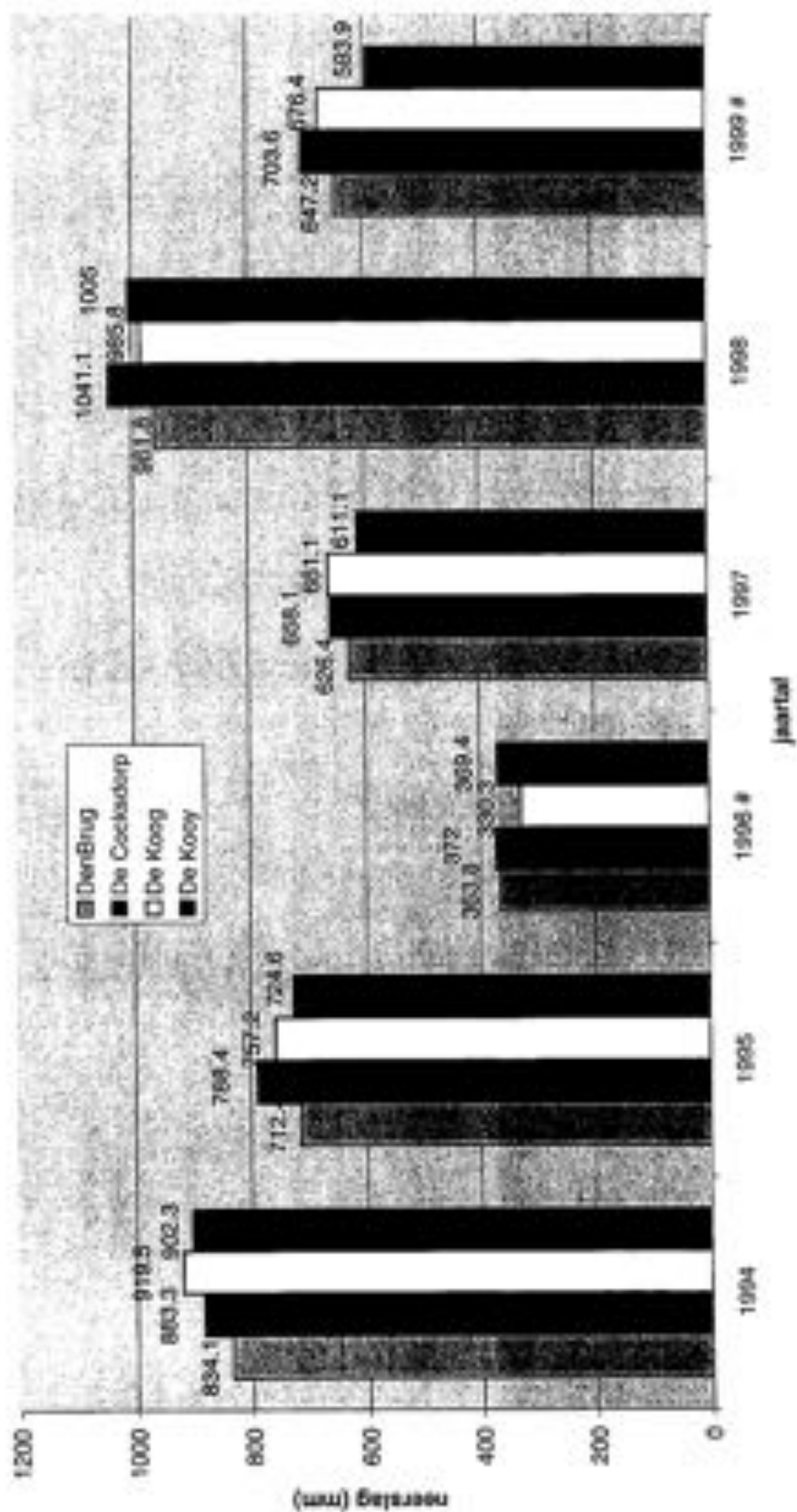
neerslag per decade in mm voor verschillende meetstations periode jan 1994 - okt 1999
 bron: KNMI



totale jaarlijkse neerslag voor verschillende meetstations

bron: KNMI

= neerslaggegevens ontbreken voor enkele maanden van het jaar



BIJLAGE VIII
Infiltratiegebieden met stroombanenpatroon

Stroomlijnen Eijerlandse Duinen en Slufterbollen



stroomlijnen vanaf freatisch vlak,
onderscheiden naar diepte in m t.o.v. NAP

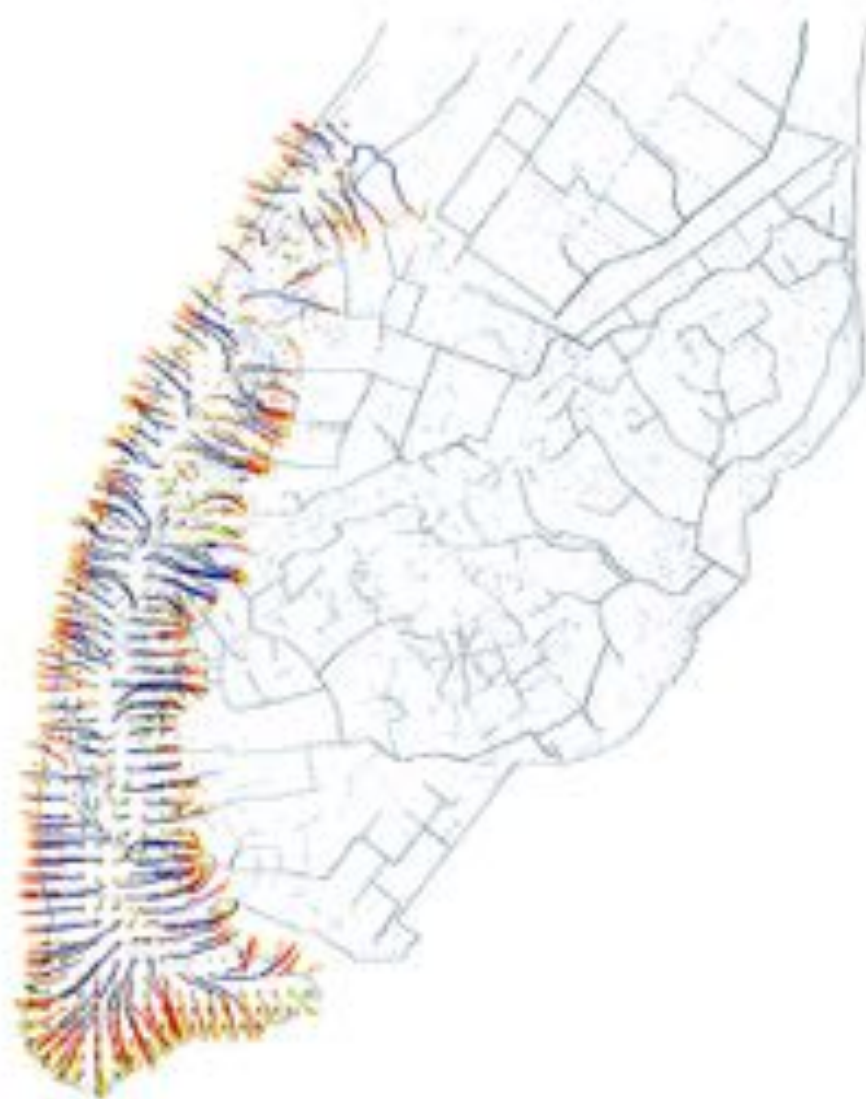


0 1 2 3 4 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Stroomlijnen Wester Duinen



stroomlijnen vanaf freatisch vlak,
onderscheiden naar diepte in m t.o.v. NAP

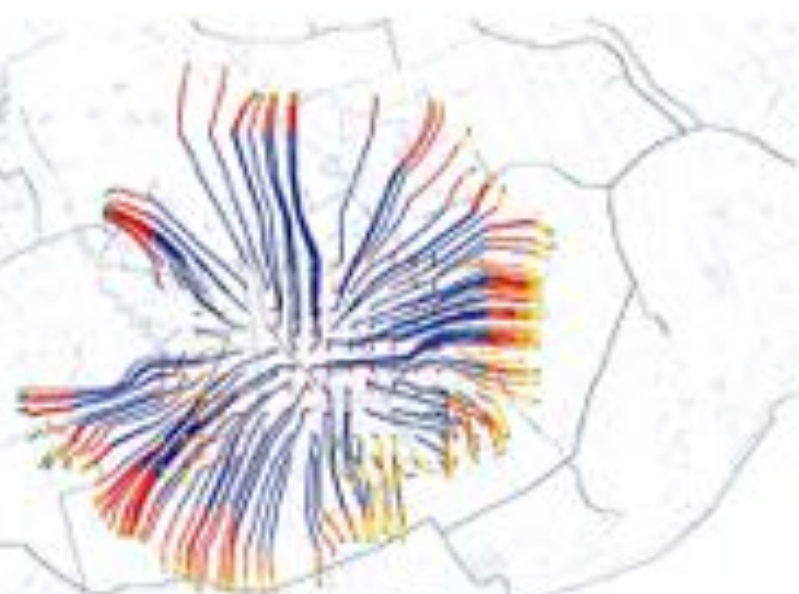


0 1 2 3 4 5 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Stroomlijnen Hooge Berg



stroomlijnen vanaf freatisch vlak,
onderscheiden naar diepte in m t.o.v. NAP



0 1 2 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

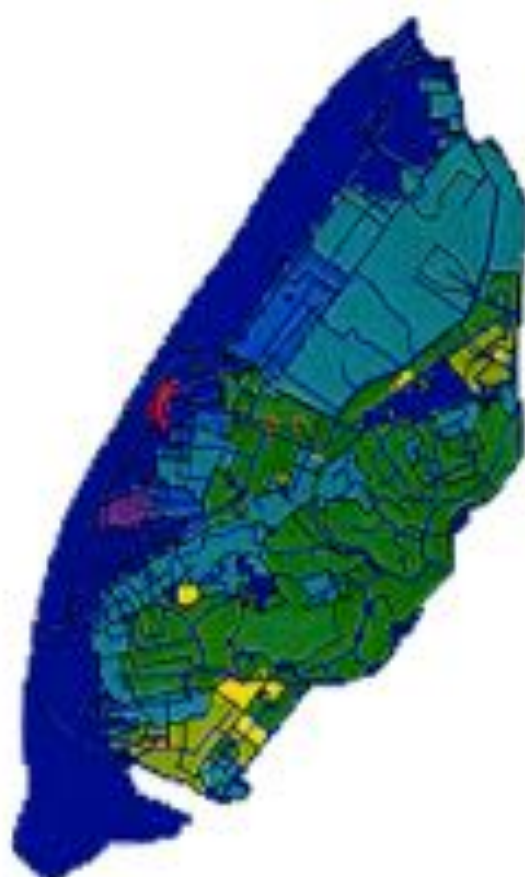
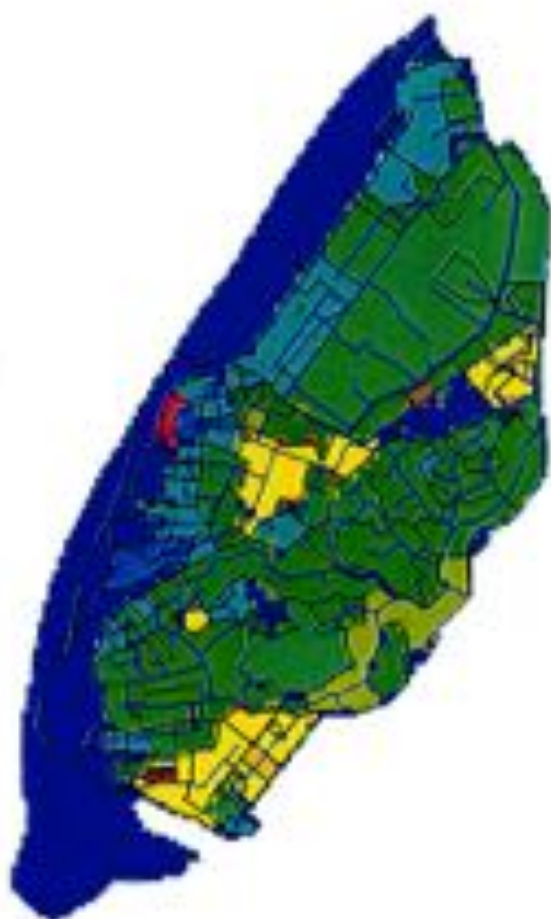
Witteveen + Bos

BIJLAGE IX
Pellenkaart met hoofdwaterlopen

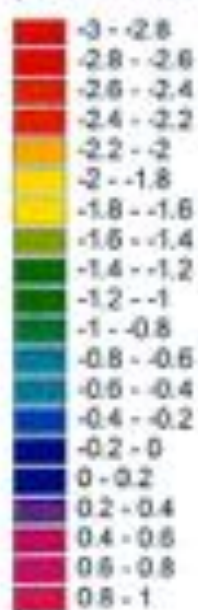
Peilenkaart oppervlaktewater

winter situatie

zomer situatie



peil in meters t.o.v NAP



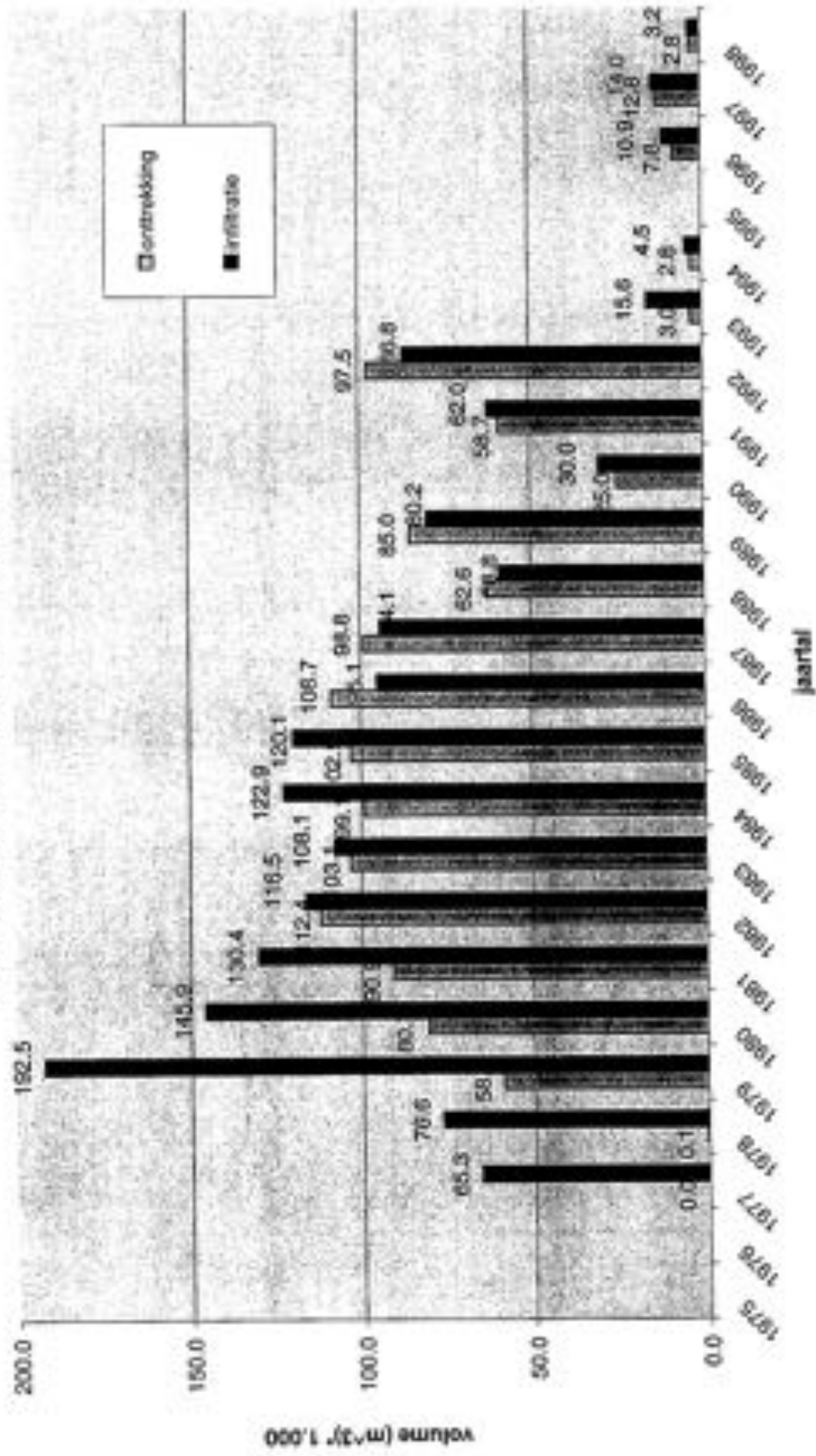
0 1 2 3 4 5 Kilometers



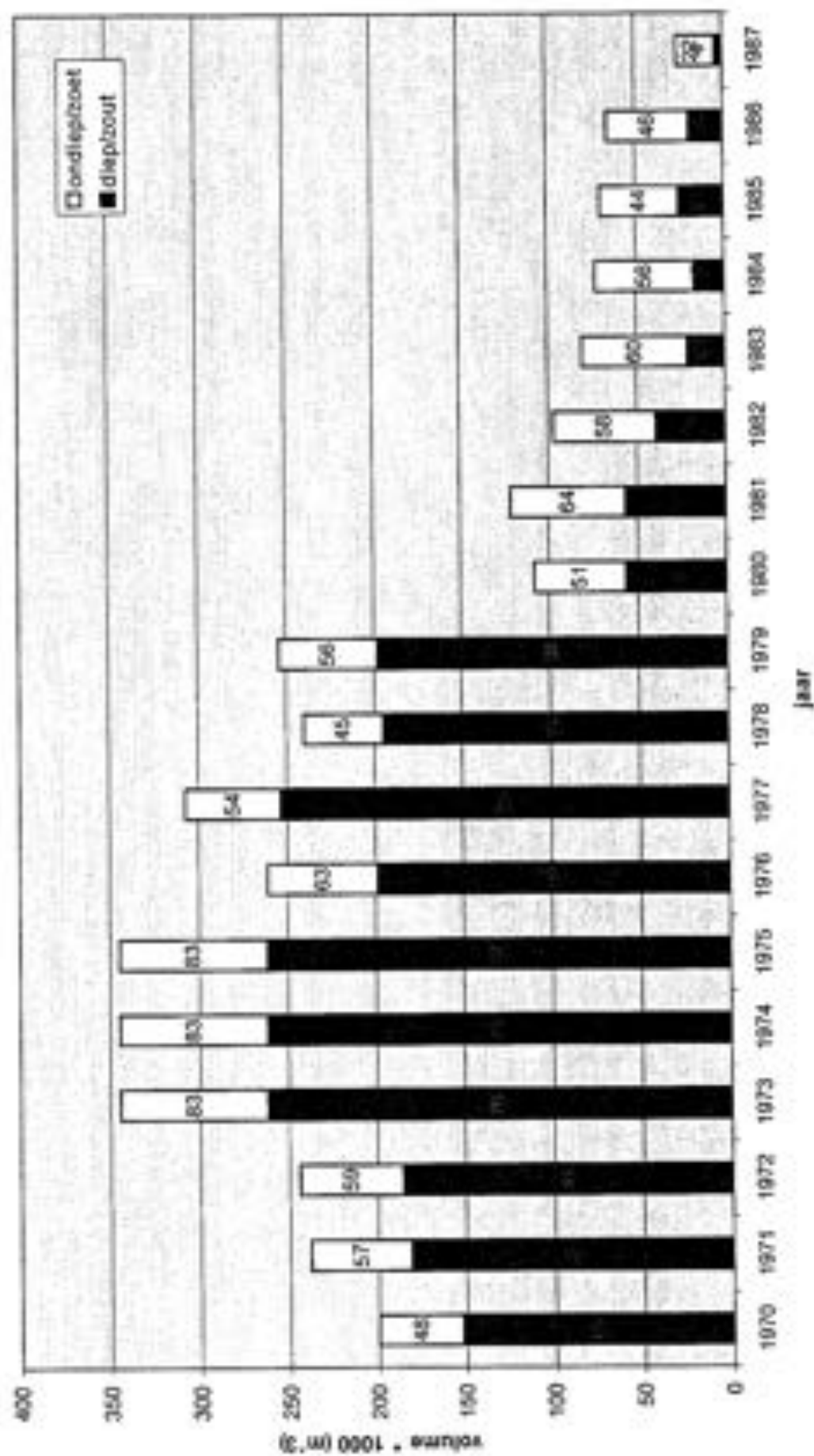
opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Terschelling
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

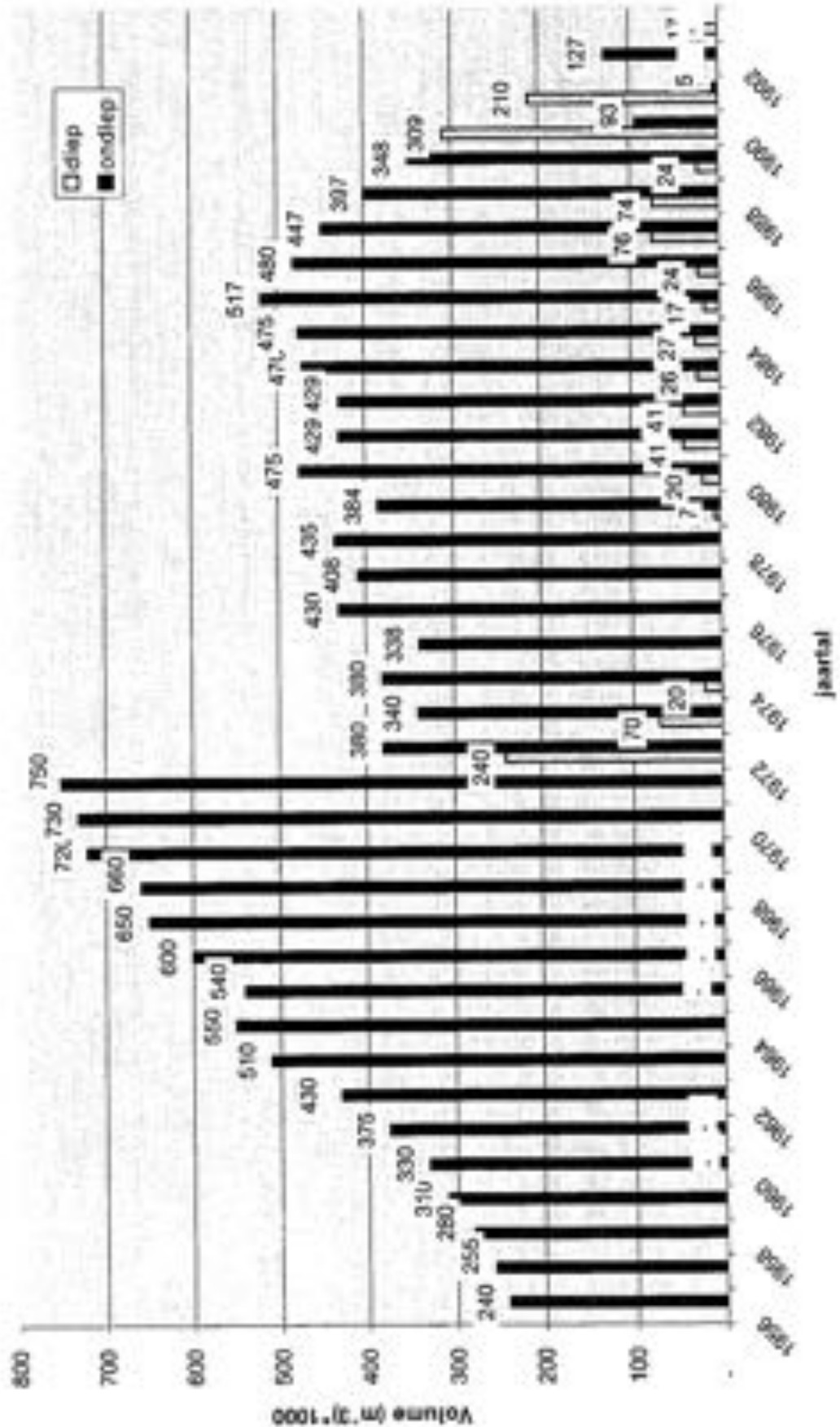
Jaarlijkse onttrekking en infiltratie Hooge Berg



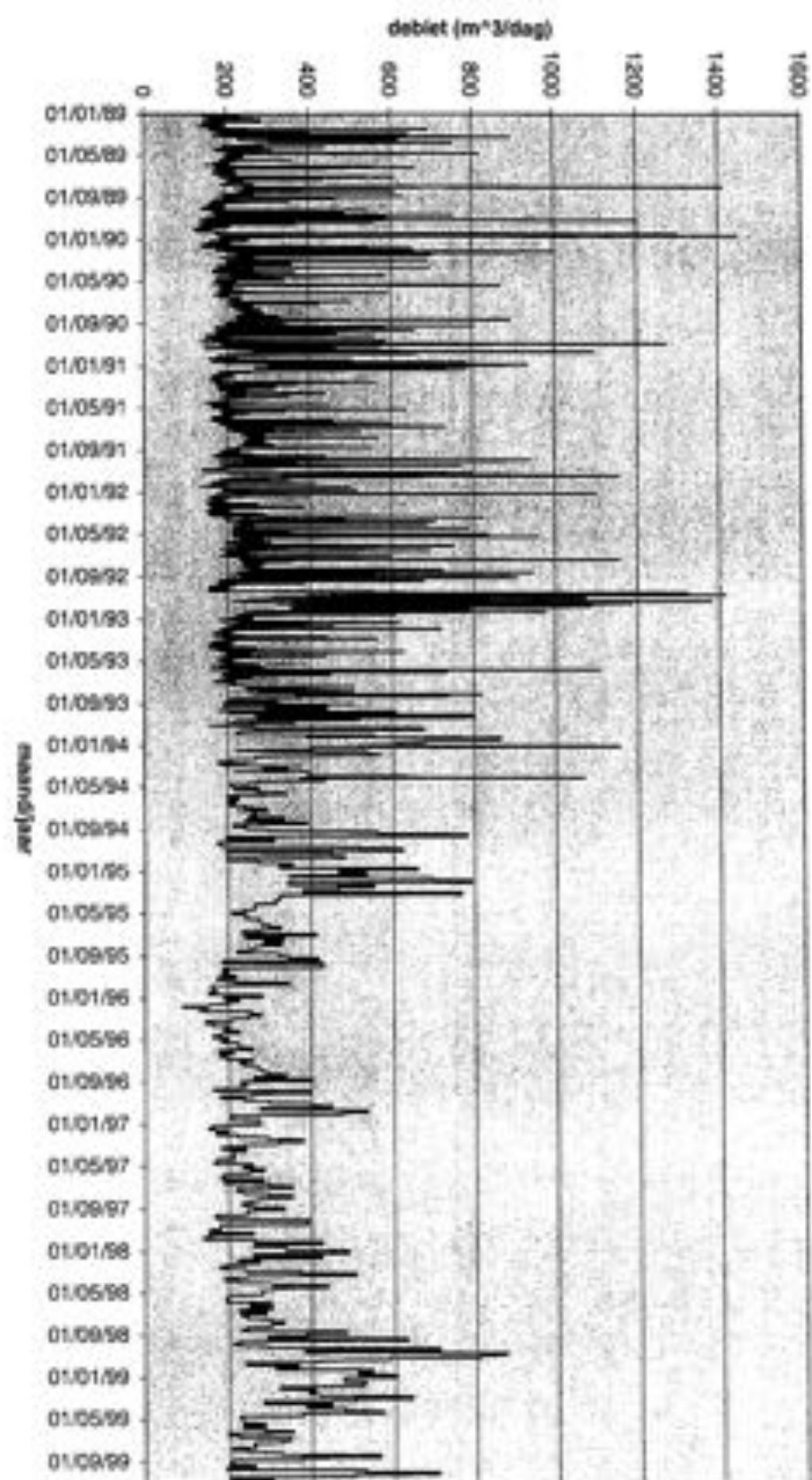
jaarlijks onttrokken hoeveelheid door de zuivelfabriek te Texel



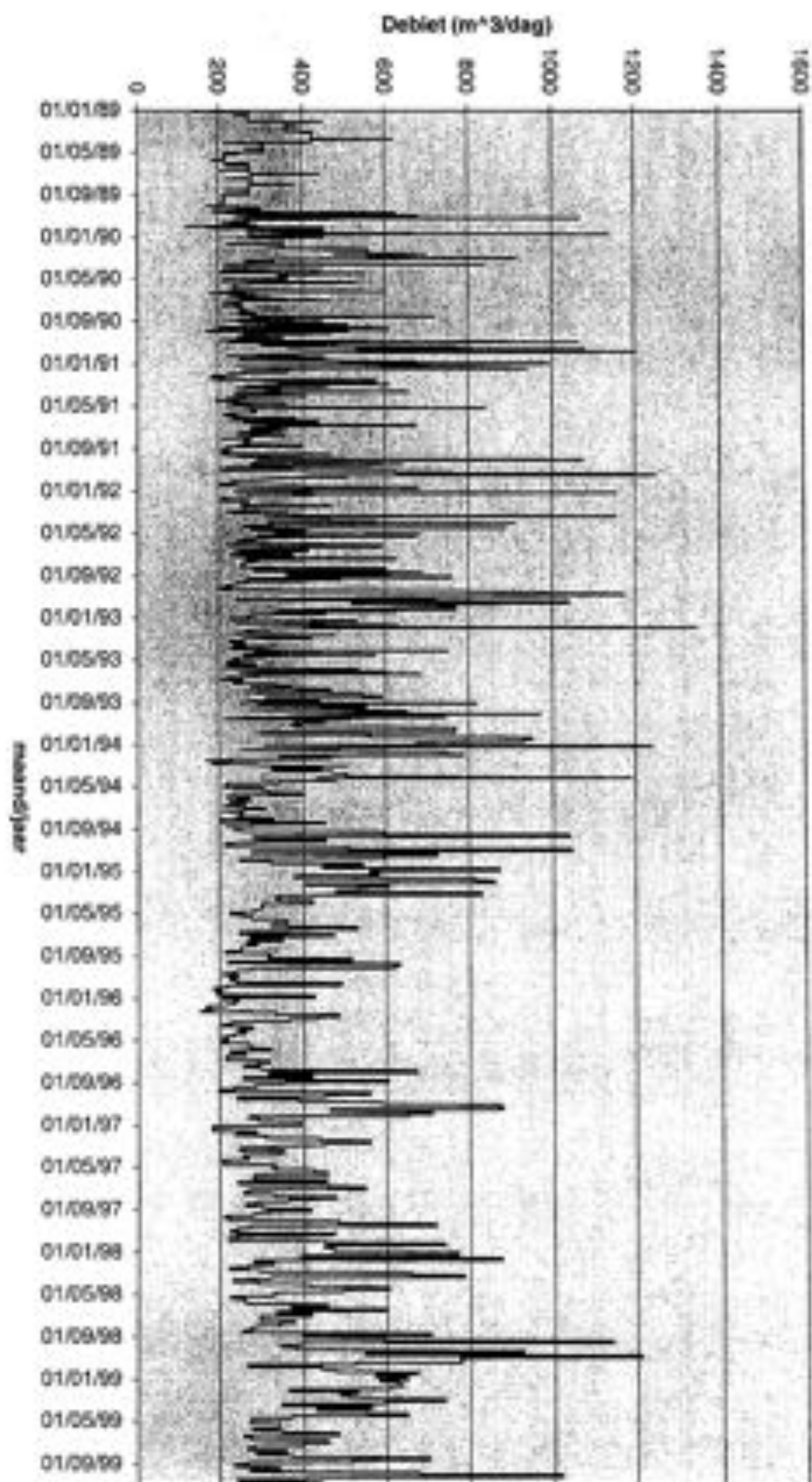
Jaarlijkse onttrekking Meksfloot



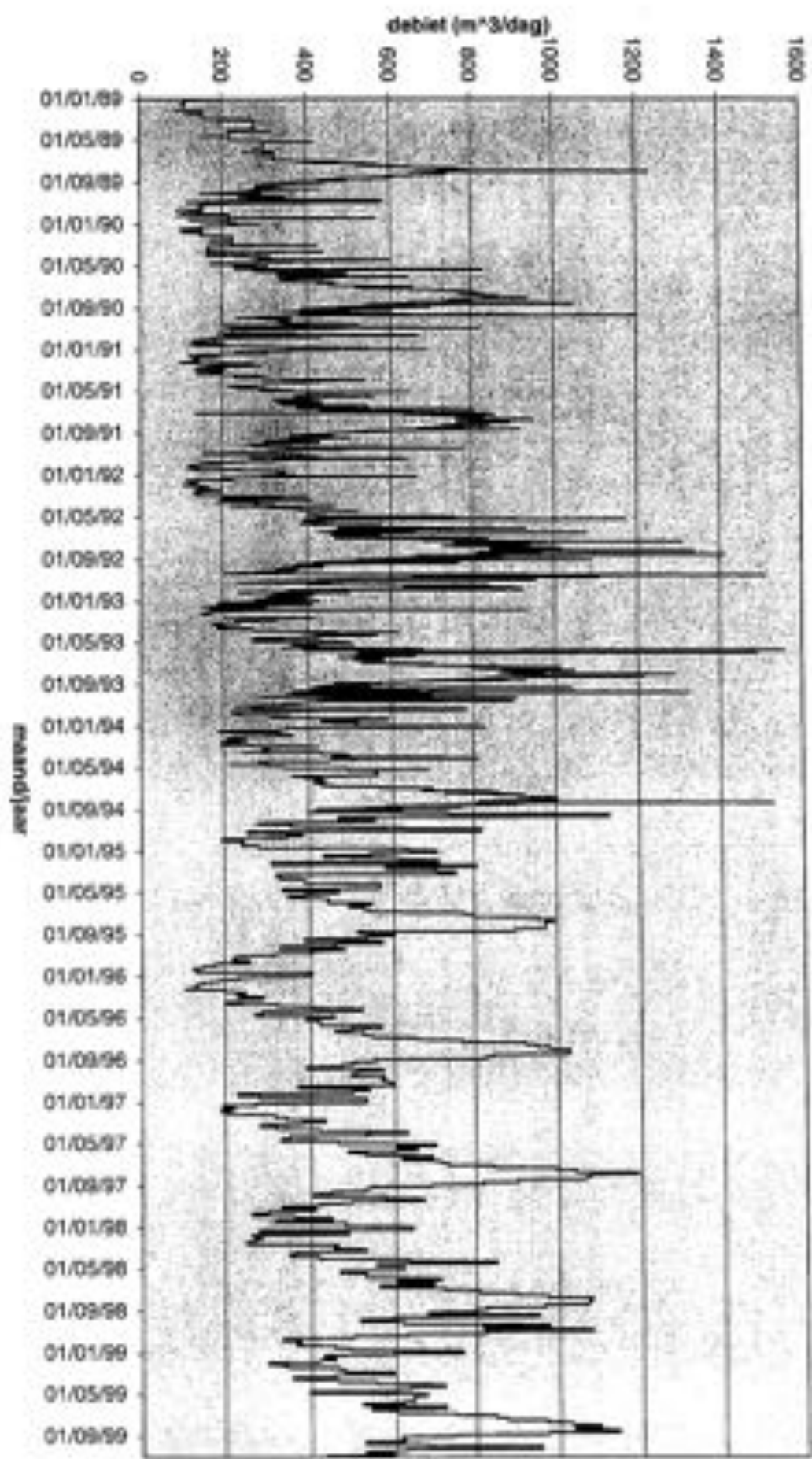
BILAGE X
Effluentengebieten RWZI's



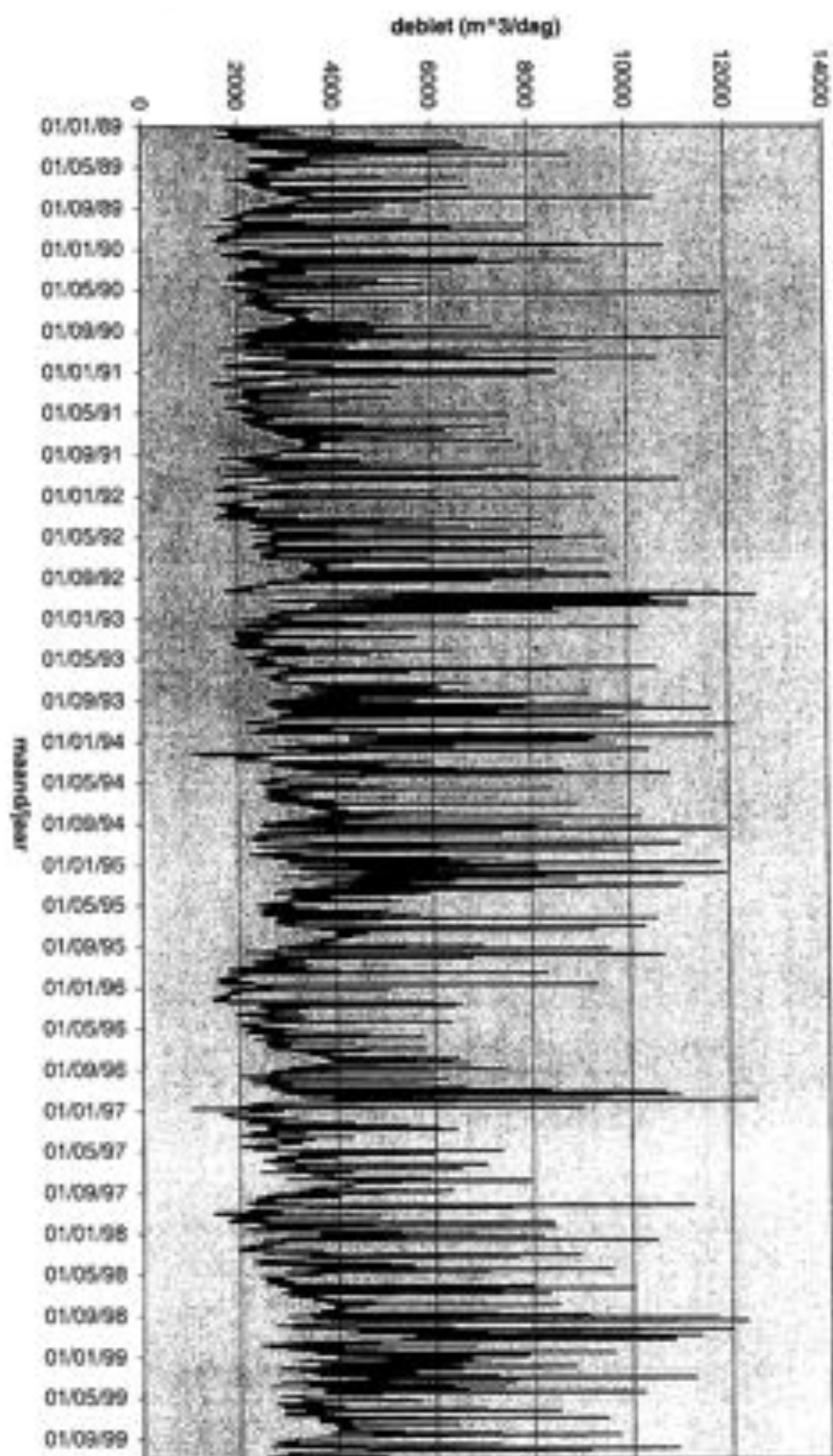
dagelijks debiet rzzi Oosterend



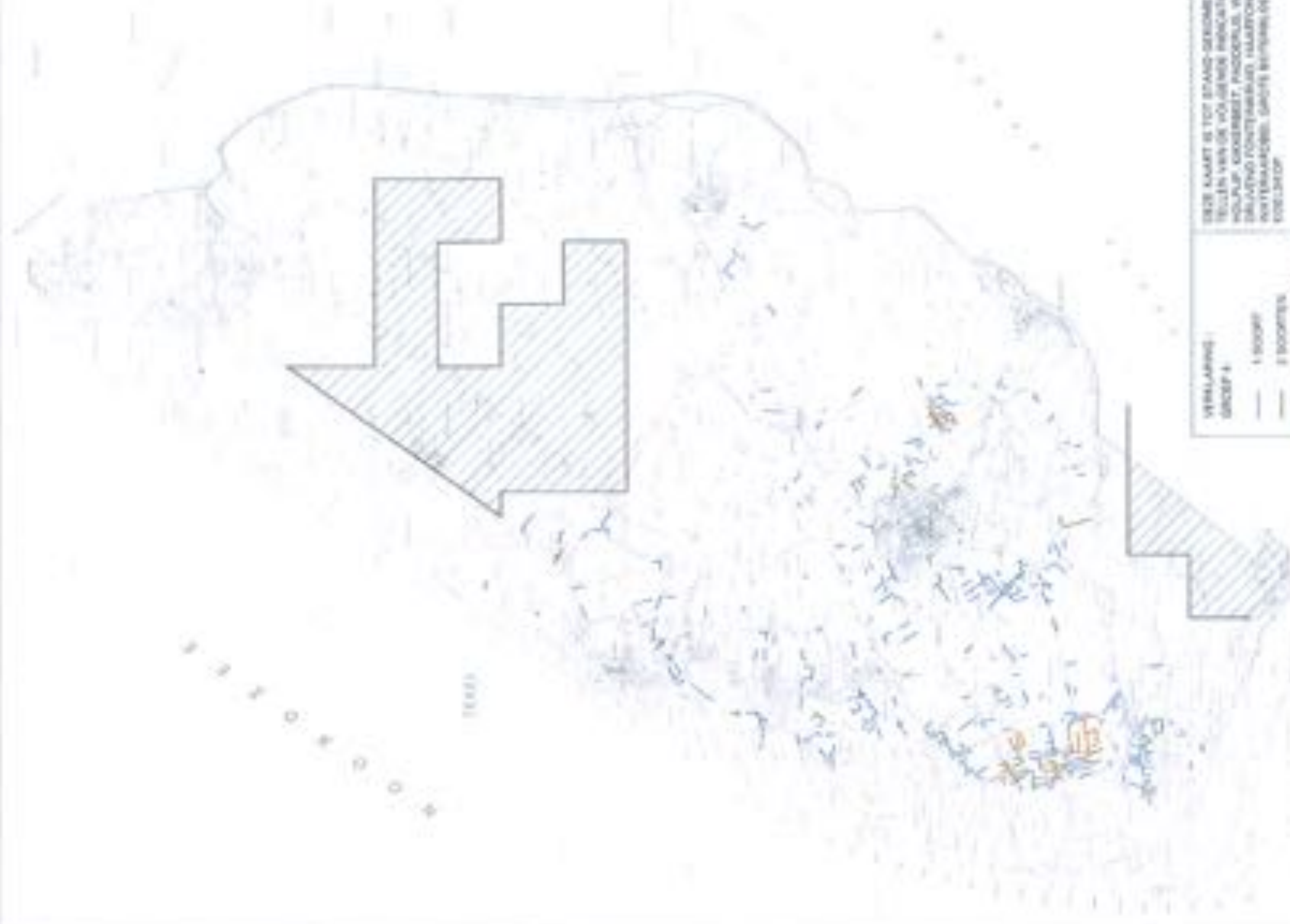
dagelijks debiet rwzi Ouderschild



dagelijks debit rwti de Cocksdorp



Totale dagelijkse debiet ruzi Everstehooog



VERBLIJVEN:
GRUPE 4

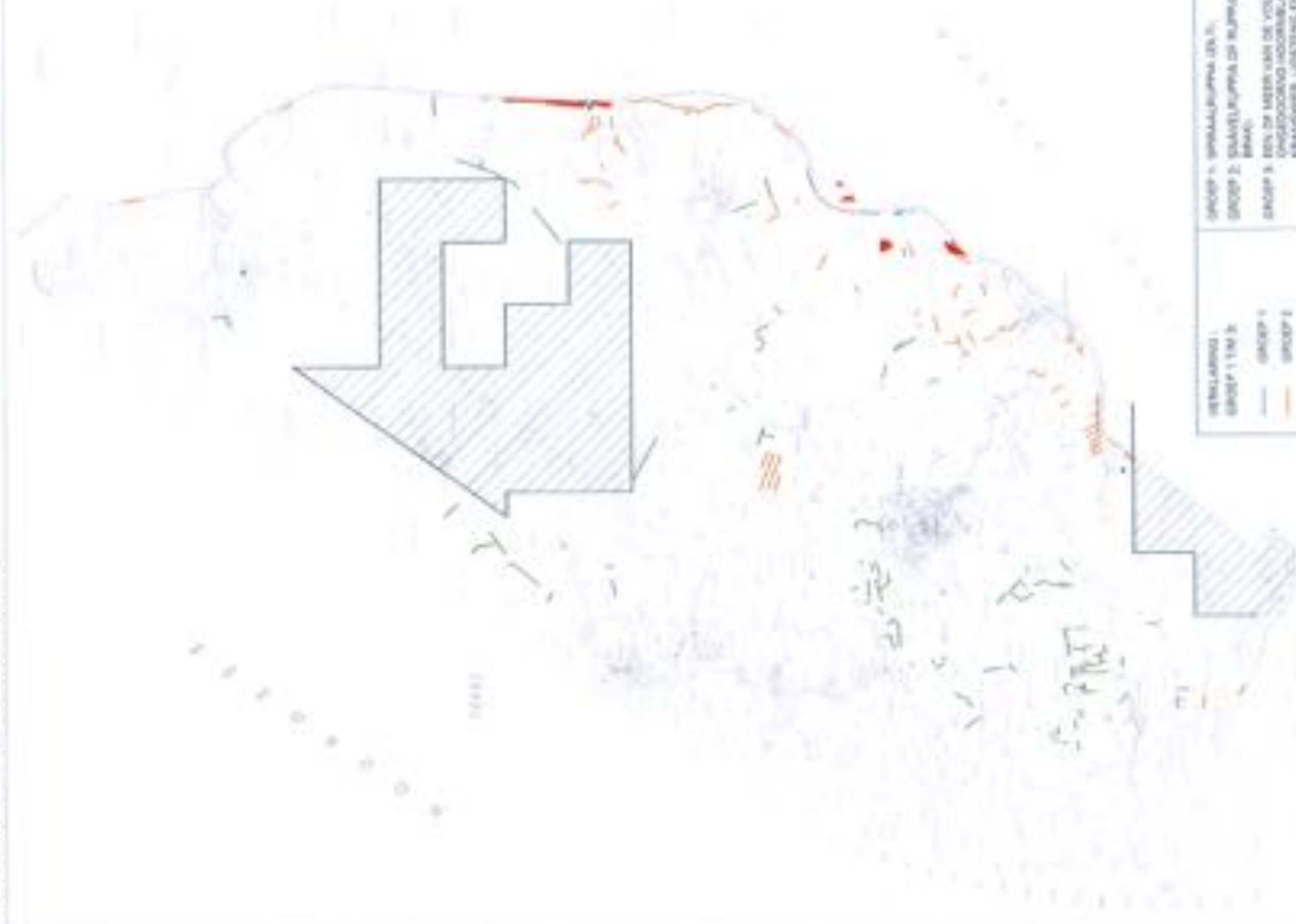
1 SOORT

2 SOORTEN

3 OF MEER SOORTEN

WET OVERDROEF

DEZE KAART IS TOEGELIJK GEMAKT DOOR HET
RIJNLAND VOOR DE WERKING VAN DE
HOUP-GRONDRECHT, PROCESSUS VAN
DE WERKING VAN DE WERKING VAN
DE WERKING VAN DE WERKING VAN
DE WERKING VAN DE WERKING VAN
DE WERKING VAN DE WERKING VAN



VERKLARING:
 GROEP 1 (M 3)

— GROEP 1

— GROEP 2

— GROEP 3

□ MET OVERBOODT

GROEP 1: SMALBUNNEN (M 3)

GROEP 2: KWADRAATBUNNEN OF RIJEN (SPEC. BOLT TOT 60CM)

GROEP 3: BUNNEN VAN DE VOLGENDE SOORTEN:
 OPHOOGDE HOORNEN, SAMENSTEL-
 BAKKINGEN, LUCHTING EN ZILTE WATER-
 RANGEREK, LICHT BASSIN TOT 60CM.



VERKLARING:

GROEP 4

- 1-2 SOORTEN
- 3-4 SOORTEN
- 5 OF MEER SOORTEN
- NIET OVERDECKT

DEZE KAART IS NIET STANDAARDISEREN EN NIET
 TELLEN VAN DE VOLGENDE INDICATIE SOORTEN:
 MOERASSCHRIJF, BLAASJE EN ZWARTE ZILDE,
 AFW. GORSE, EN OVERIGE, VERVOLGENDE, NIET
 WATERSLOTTEN, NIET OVERDECKT, NIET EN
 BEZONNEN, NIET OVERDECKT, NIET EN
 NIET OVERDECKT

Ligging peilbuizen instationaire calibratie



eisen:

- geen OLGA SUN buizen
- minimale afstand \pm 500 m
- goede tijdreeks verwacht
- chloride gehalte bekend

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

BILAGE XIV
Afgeleide gegevens van de peilbuizen

Overzicht afgeleide grondwatergegevens 1999 - 2009 (alle gegevens in cm, stijghoogten niet gecorrigeerd voor dichtheid)

| TNO aanduiding | Filter | Bovenkant | | Onderkant | | NAP | | NAP | | Gemiddeld | | NAP | | Aantal WAAR reningen | Datum emisie stand | Datum laatste stand |
|-------------------|--------|----------------------|------------|----------------------|------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------------------|-------|-------|--|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | Filter t.o.v. NAP | t.o.v. NAP | Filter t.o.v. NAP | t.o.v. NAP | hoogst gemeten | laagst gemeten | gemiddeld | hoogst gemeten | Standard afwijking | Stand | Stand | | | | |
| 040 L 0001 | 1 | -105 | -155 | -52 | -34 | -16 | 9 | 216 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 040 L 0002 | 1 | 130 | 118 | 233 | 263 | 297 | 20 | 145 | 14-04-1999 | 26-12-1998 | | | | | | |
| 040 P 0014 | 1 | -198 | -208 | 76 | 102,5 | 129 | 16 | 215 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 040 P 0014 | 2 | -1449 | -1549 | 59 | 87 | 115 | 16 | 215 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 040 P 0014 | 3 | -2101 | -2201 | 59 | 86,5 | 114 | 15 | 215 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0001 | 1 | -116 | -160 | -31 | 3,5 | 35 | 11 | 15 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0002 | 1 | -109 | -159 | -81 | -59 | -37 | 8 | 216 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0003 | 1 | 122 | 72 | 97 | 148 | 165 | 20 | 0 | 14-04-1999 | 29-05-1997 | | | | | | |
| 000 L 0004 | 1 | 64 | -114 | -75 | -55,5 | -35 | 8 | 204 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0005 | 1 | -95 | -215 | 136 | 125,5 | -115 | 18 | 3007 | 01-04-1999 | 01-04-1999 | | | | | | |
| 000 L 0006 | 1 | -144 | -194 | -89 | -63,5 | -42 | 11 | 0 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0007 | 1 | -209 | -158 | -98 | -62 | -36 | 18 | 210 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0008 | 1 | -74 | -124 | -48 | -18 | 12 | 16 | 184 | 14-04-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0010 | 1 | 113 | 30 | 251 | 255 | 259 | 7 | 0 | 26-11-1999 | 29-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0014 | 1 | 4 | 8 | 153 | 165 | 177 | 5 | 19 | 14-04-1999 | 26-10-1991 | | | | | | |
| 000 L 0015 | 1 | 111 | 99 | 152 | 166,5 | 181 | 9 | 89 | 14-04-1999 | 26-07-1994 | | | | | | |
| 000 L 0016 | 1 | 143 | 129 | 136 | 147,5 | 159 | 5 | 175 | 14-04-1999 | 14-12-1998 | | | | | | |
| 000 L 0017 | 1 | -29 | -41 | 145 | 172 | 199 | 11 | 27 | 14-04-1999 | 24-07-1991 | | | | | | |
| 000 L 0018 | 1 | 133 | 121 | 144 | 171,5 | 198 | 11 | 86 | 14-04-1999 | 26-07-1994 | | | | | | |
| 000 L 0019 | 1 | 132 | 120 | 157 | 177 | 197 | 9 | 79 | 14-04-1999 | 26-07-1994 | | | | | | |
| 000 L 0020 | 1 | -223 | -283 | -127 | -113 | -89 | 14 | 197 | 14-04-1999 | 01-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0021 | 1 | -542 | -592 | -131 | -114 | -97 | 4 | 184 | 14-04-1999 | 01-03-1999 | | | | | | |
| 000 L 0022 | 1 | 165 | 156 | 219 | 230,5 | 242 | 9 | 68 | 26-11-1991 | 26-12-1998 | | | | | | |
| 000 L 0024 | 1 | -74 | -174 | -51 | -15 | 21 | 20 | 157 | 24-04-1999 | 17-06-1998 | | | | | | |
| 000 P 0012 | 1 | -1273 | -1373 | -49 | -13 | 23 | 20 | 157 | 24-04-1999 | 17-06-1998 | | | | | | |
| 000 P 0012 | 2 | -122 | -222 | 43 | 76 | 113 | 13 | 156 | 24-04-1999 | 17-06-1998 | | | | | | |
| 000 P 0013 | 1 | 1153 | 1253 | 39 | 71,5 | 104 | 16 | 156 | 24-04-1999 | 17-06-1998 | | | | | | |
| 000 P 0040 | 1 | -415 | -515 | -72 | -33 | 6 | 14 | 213 | 14-04-1999 | 15-03-1999 | | | | | | |
| 000 P 0040 | 2 | -875 | -975 | -36 | -17 | 2 | 10 | 213 | 14-04-1999 | 15-03-1999 | | | | | | |
| 000 P 0040 | 3 | 8215 | 8415 | -58 | -37 | -16 | 11 | 213 | 14-04-1999 | 15-03-1999 | | | | | | |
| 000 P 0040 | 4 | -12415 | -12615 | -66 | -49 | -32 | 8 | 210 | 14-04-1999 | 15-03-1999 | | | | | | |

| MTG-TMO | Bovenkant filter L.o.v.NAP | Onderkant filter L.o.v.NAP | NAP Gemiddeld laagst gemeten | NAP gemiddeld | NAP Gemiddeld hoogst gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR metingen | Curium score stand | Datum laatste stand |
|------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 008 P 0041 | -588 | -788 | 120 | 143 | 166 | 11 | 209 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0041 | -568 | -3788 | 30 | 51,5 | 70 | 30 | 211 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0041 | -5388 | -5588 | -1 | 33,5 | 68 | 56 | 211 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0045 | -582 | -682 | 31 | -68 | -26 | 11 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0045 | -1782 | -1882 | -78 | -57 | -36 | 12 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0045 | -2882 | -2982 | -73 | -57,5 | -42 | 9 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0045 | -4882 | -5082 | 78 | -62 | -46 | 8 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -600 | -608 | 171 | 196 | 221 | 12 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -1100 | -1200 | 147 | 174,5 | 202 | 17 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -3167 | -3267 | 51 | 81 | 111 | 24 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -3809 | -3909 | 44 | 78 | 108 | 29 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -5612 | -5712 | -35 | -7 | 21 | 15 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -8515 | -8715 | -58 | -28 | -2 | 20 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -10018 | -10118 | -68 | -20 | 19 | 80 | 211 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -122 | -222 | 9 | 34 | 55 | 13 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -673 | -873 | 11 | 31 | 51 | 12 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -1974 | -2074 | -6 | 11,5 | 28 | 9 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -3476 | -3576 | -33 | -96 | 1 | 10 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -6077 | -6177 | -48 | -33,5 | -13 | 11 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0047 | -6879 | -6979 | -12 | 7,5 | 27 | 11 | 212 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -778 | -878 | 11 | 27,5 | 44 | 7 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -1580 | -1780 | 19 | 25,5 | 52 | 9 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0048 | -2882 | -2982 | 13 | 28 | 45 | 9 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0049 | -247 | -347 | -78 | -60 | -42 | 18 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0049 | -1750 | -1850 | -89 | -72,5 | -56 | 8 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0049 | -2852 | -2952 | -79 | -63 | -47 | 8 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0050 | -330 | -430 | -43 | -27,5 | -12 | 10 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0050 | -2173 | -2273 | -42 | -28,5 | -11 | 7 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0050 | -2874 | -2974 | -49 | -33 | -17 | 8 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0051 | -329 | -329 | -130 | -117 | -104 | 5 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0051 | -1840 | -1940 | -120 | -100,5 | -81 | 11 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0051 | -2841 | -3041 | -109 | -83 | -69 | 9 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0052 | 192 | 92 | 209 | 340 | 371 | 25 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 008 P 0052 | -1110 | -1210 | 234 | 268,5 | 279 | 24 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |

| MGTG-TNO | Bovenkant | | Onderkant | | MNP Gemiddeld laagst generaten | MNP gemiddeld | MNP Gemiddeld hoogst gematen | Standaard afwijking | Aantal WRAAR namingen | Datum eerste stand | Datum laatste stand |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Filter L.o.v MNP | Filter L.o.v MNP | Filter L.o.v MNP | Filter L.o.v MNP | | | | | | | |
| TNO aanduiding | Filter | Filter | Filter | Filter | | | | | | | |
| 000 P 0002 | 3 | -2412 | -2512 | 60 | 79,5 | 99 | 11 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0003 | 1 | -385 | -485 | -709 | 97 | 86 | 11 | 208 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0003 | 2 | -2385 | -2485 | -35 | -15 | 5 | 11 | 208 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0003 | 3 | -3085 | -4085 | -36 | -16 | 4 | 10 | 208 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0003 | 4 | -4685 | -5785 | -37 | -17 | 3 | 10 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0004 | 1 | -395 | -495 | -69 | -31 | 7 | 28 | 208 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0004 | 2 | -1095 | -1795 | -67 | -34 | -11 | 12 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0004 | 3 | -3095 | -3695 | -51 | -33 | -15 | 8 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0004 | 4 | -5395 | -5395 | -63 | -35 | -17 | 8 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 P 0006 | 1 | -382 | -482 | 86 | 84,5 | 103 | 13 | 88 | 25-05-1994 | 17-06-1998 | |
| 000 P 0006 | 2 | -1132 | -1232 | 84 | 83,5 | 101 | 13 | 88 | 25-05-1994 | 17-06-1998 | |
| 000 P 0006 | 3 | -2033 | -2133 | 84 | 83,5 | 99 | 13 | 88 | 25-05-1994 | 17-06-1998 | |
| Filter 000 | P 90 | 01 01 vervalle n | sinds 0100 | Jan-95 | | | | | | | |
| Filter 000 | P 90 | 02 01 vervalle n | sinds 0100 | Jan-95 | | | | | | | |
| 000 S 0003 | 1 | 119 | 19 | 109 | 271 | 328 | 45 | 198 | 14-04-1990 | 28-12-1998 | |
| 000 L 0001 | 1 | 119 | 19 | 109 | 109 | 109 | 23 | 7 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |
| Filter 000 | L 00 | 05 01 vervalle n | sinds 1461 | Jan-82 | | | | | | | |
| Filter 000 | P 00 | 04 01 vervalle n | sinds 2090 | Jan-83 | | | | | | | |
| Filter 000 | P 00 | 04 02 vervalle n | sinds 2090 | Jan-83 | | | | | | | |
| Filter 000 | P 00 | 04 03 vervalle n | sinds 2090 | Jan-83 | | | | | | | |
| 000 L 0000 | 1 | -124 | -174 | -65 | -34,5 | -14 | 11 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0001 | 1 | -162 | -262 | -120 | -81 | -42 | 16 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0002 | 1 | -152 | -252 | -108 | -66 | -24 | 25 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0003 | 1 | 209 | 159 | 187 | 246,5 | 306 | 19 | 225 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0004 | 1 | -37 | -87 | 8 | 32,5 | 57 | 15 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0005 | 1 | -124 | -174 | -84 | -77 | -60 | 12 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0006 | 1 | | | -83 | -65,5 | -48 | 9 | 180 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| Filter 000 | L 00 | 27 01 vervalle n | sinds 2970 | Jun-86 | | | | | | | |
| 000 L 0008 | 1 | 166 | 216 | -121 | -87 | -73 | 14 | 263 | 14-04-1990 | 29-03-1999 | |
| 000 L 0009 | 1 | 255 | 155 | 266 | 271 | 276 | 29 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |
| 000 L 0009 | 1 | 323 | 223 | 347 | 352,5 | 358 | 31 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |
| 000 L 0001 | 1 | 284 | 184 | 306 | 311 | 316 | 31 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |
| 000 L 0002 | 1 | 304 | 204 | 340 | 343,5 | 347 | 27 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |
| 000 L 0003 | 1 | 349 | 249 | 380 | 385 | 390 | 26 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 | |

| MTG-TNO | Bovenkant Eiler | Ongequant Eiler | NAP Gemiddeld laagst gemeten | NAP gemiddeld | NAP Hoogst gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR nominen | Datum eerste stand | Datum laatste stand |
|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| TNO aanvullend | Eiler | Eiler | | | | | | | |
| | L.v.NAP | E.o.v.NAP | | | | | | | |
| 090 L 0004 | 339 | 209 | 366 | 371 | 376 | 38 | 6 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0005 | 342 | 242 | 356 | 360,5 | 365 | 62 | 6 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0006 | 305 | 205 | 333 | 338,5 | 344 | 33 | 6 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0007 | 3 | -47 | 147 | 173,5 | 200 | 26 | 153 | 20-04-1990 | 26-12-1998 |
| 090 L 0008 | 110 | 70 | 154 | 158,5 | 163 | 17 | 6 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0009 | 83 | -17 | 150 | 158 | 160 | 16 | 6 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0040 | 111 | 11 | 180 | 186 | 190 | 22 | 7 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0041 | 174 | 74 | 214 | 214 | 214 | 26 | 7 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0042 | 118 | 18 | 145 | 147,5 | 150 | 22 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0044 | 119 | 19 | 164 | 164 | 164 | 25 | 7 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0045 | 74 | -26 | 144 | 144 | 144 | 24 | 7 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0058 | 138 | 38 | 160 | 164 | 168 | 24 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 L 0079 | 147 | 97 | 267 | 312,5 | 338 | 13 | 130 | 26-06-1990 | 26-12-1998 |
| 090 L 0071 | 21 | -29 | 159 | 178,5 | 198 | 12 | 134 | 26-06-1990 | 26-12-1998 |
| 090 L 9003 | 79 | -139 | -85 | -95 | -95 | 16 | 185 | 14-04-1990 | 14-01-1998 |
| 090 P 0013 | -638 | -758 | 88 | 91 | 94 | 23 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0014 | -252 | -352 | 142 | 142,5 | 145 | 18 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0015 | -437 | -537 | 168 | 168,5 | 171 | 18 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0016 | -751 | -801 | 149 | 149 | 149 | 14 | 3 | 20-04-1990 | 14-12-1992 |
| 090 P 0017 | -423 | -573 | 161 | 163,5 | 166 | 16 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0017 | -1498 | -1598 | 133 | 134,5 | 136 | 14 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0018 | -445 | -545 | 163 | 166,5 | 170 | 19 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0018 | -2150 | -2250 | 142 | 144 | 146 | 15 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0019 | -275 | -375 | 154 | 157 | 160 | 19 | 8 | 20-04-1990 | 26-04-1993 |
| 090 P 0056 | -345 | -445 | 103 | 103,5 | 104 | 6 | 158 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0056 | -1210 | -1310 | 80 | -74 | -68 | 6 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0057 | -48 | -148 | 9 | 50,5 | 92 | 21 | 153 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0057 | -691 | -801 | 15 | 52 | 89 | 16 | 164 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0058 | 67 | 13 | 145 | 204 | 263 | 19 | 158 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0058 | -668 | -768 | 73 | 95,5 | 118 | 22 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0059 | 190 | 60 | 208 | 263 | 328 | 19 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0059 | 618 | -718 | 179 | 222 | 266 | 23 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0060 | 66 | -34 | 119 | 165,5 | 212 | 13 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0060 | -1069 | -1169 | 73 | 193 | 127 | 12 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |

| NTIG-TMO | Bovenhand filter L.o.v.NAP | Onderhand filter L.o.v.NAP | MAP laagst gemiddeld gemeten | NAP gemiddeld | NAP hoogst gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR nemingen | Cutum eerste stand | Datum laatste stand |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 090 P 0061 | 26 | -75 | 97 | 159.5 | 222 | 19 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0061 | -111.2 | -321.2 | 99 | 80 | 161 | 11 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0062 | -151 | -251 | 26 | 52.5 | 79 | 11 | 148 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0062 | -686 | -686 | 28 | 52 | 76 | 19 | 148 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0063 | 481 | 381 | 520 | 520 | 520 | 108 | 3 | 24-04-1990 | 29-05-1998 |
| 090 P 0063 | -409 | -509 | 76 | 95 | 112 | 16 | 156 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| 090 P 0067 | -600 | -700 | 143 | 145 | 147 | 19 | 6 | 20-04-1990 | 15-04-1993 |
| 090 P 0069 | -584 | -684 | 43 | 64 | 85 | 23 | 117 | 24-04-1990 | 28-10-1998 |
| 090 P 0108 | -500 | -600 | | | | | 0 | 14-12-1992 | 14-12-1992 |
| 090 P 0108 | -870 | -1070 | | | | | 0 | 14-12-1992 | 14-12-1992 |
| 090 P 0160 | -536 | -636 | 157 | 169 | 161 | 14 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 |
| 090 P 0160 | -1165 | -1265 | 152 | 154 | 156 | 14 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 |
| 090 P 0161 | -452 | -552 | 153 | 153 | 153 | 17 | 7 | 20-04-1990 | 28-04-1993 |
| 090 P 0161 | -1165 | -1265 | 159 | 158 | 158 | 17 | 7 | 20-04-1990 | 28-04-1993 |
| 090 P 0162 | -632 | -732 | | 0 | | | 0 | 28-08-1991 | 14-12-1992 |
| 090 P 0162 | -1862 | -1962 | | 0 | | | 0 | 28-08-1991 | 14-12-1992 |
| 090 P 0163 | -786 | -886 | 162 | 180 | 195 | 13 | 144 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0164 | -600 | -700 | 149 | 152.5 | 156 | 20 | 8 | 20-04-1990 | 28-04-1993 |
| 090 P 0166 | 100 | 0 | 137 | 157.5 | 176 | 18 | 132 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0166 | -700 | -800 | 133 | 152 | 171 | 17 | 132 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0166 | -1800 | -1900 | 132 | 150 | 168 | 17 | 132 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0166 | -2800 | -2900 | 126 | 146.5 | 165 | 18 | 132 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0166 | -4300 | -4400 | 125 | 144.5 | 164 | 19 | 132 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| 090 P 0166 | -6370 | -6170 | 109 | 132.5 | 156 | 22 | 129 | 20-04-1990 | 28-12-1998 |
| Filter 090 | P 01 | 76 01 verschie | n | Jan-75 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 76 02 verschie | n | Jan-75 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 01 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 02 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 03 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 04 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 05 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 06 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| Filter 090 | P 01 | 80 07 verschie | n | Jan-77 | | | | | |
| 090 P 0181 | 1 | -150 | 84 | 110.5 | 137 | 29 | 154 | 24-04-1990 | 17-06-1998 |
| | | -250 | | | | | | | |

| MITG-TMO | Bovenkant filter l.o.v. MAP | Onderkant filter l.o.v. MAP | MAP Gemiddeld laagst gemeten | MAP Gemiddeld laagst gemeten | MAP gemiddeld | MAP hoogst gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR nemingen | Datum eerste stand | Datum laatste stand |
|------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| TMO | | | | | | | | | | |
| sandwaaier | | | | | | | | | | |
| 000 P 0181 | -1450 | -1550 | 78 | 78 | 105 | 132 | 30 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0181 | -2150 | -2250 | 74 | 74 | 100,5 | 127 | 32 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0181 | -3050 | -3150 | 72 | 72 | 98 | 124 | 32 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0181 | -4050 | -4150 | 71 | 71 | 97,5 | 124 | 32 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0181 | -5450 | -5550 | 72 | 72 | 98,5 | 125 | 33 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0181 | -6250 | -6350 | 3 | 3 | 48 | 89 | 167 | 153 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0185 | -50 | -50 | 33 | 33 | 60,5 | 88 | 67 | 128 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0185 | -650 | -750 | 30 | 30 | 57 | 84 | 71 | 128 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0185 | -1050 | -1150 | 38 | 38 | 52,5 | 87 | 73 | 128 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0185 | -2350 | -2450 | 27 | 27 | 56 | 138 | 81 | 114 | 24-04-1990 | 28-03-1997 |
| Filter 000 | 85 05 versie | n sinds 0180 | Jan-78 | | | | | | | |
| 000 P 0187 | -295 | -385 | 85 | 85 | 119,5 | 154 | 15 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0187 | -505 | -1105 | 86 | 86 | 86 | 105 | 18 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0187 | -2050 | -2150 | 84 | 84 | 83 | 102 | 12 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0187 | -4150 | -4250 | 84 | 84 | 82,5 | 101 | 12 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0187 | -5055 | -5155 | 83 | 83 | 81,5 | 100 | 12 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0187 | -5855 | -5955 | 44 | 44 | 75 | 106 | 13 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | 50 | 50 | 141 | 141 | 205 | 429 | 144 | 110 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | 699 | 699 | 73 | 73 | 96,5 | 120 | 16 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -1850 | -1950 | 83 | 83 | 86,5 | 110 | 14 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -2850 | -2950 | 83 | 83 | 85,5 | 108 | 14 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -3850 | -3950 | 81 | 81 | 85,5 | 110 | 13 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -4850 | -4950 | 86 | 86 | 86,5 | 108 | 12 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -5850 | -5950 | 86 | 86 | 86,5 | 108 | 12 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0188 | -6400 | -6500 | 77 | 77 | 91,5 | 122 | 16 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0189 | -25 | -125 | 71 | 71 | 93,5 | 128 | 18 | 158 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0189 | -625 | -725 | 72 | 72 | 100 | 128 | 18 | 157 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0189 | -1425 | -1525 | 37 | 37 | 81 | 125 | 31 | 157 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0189 | -2275 | -2375 | 48 | 48 | 82,5 | 157 | 48 | 157 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| Filter 000 | 89 05 versie | n sinds 0180 | Jan-79 | | | | | | | |
| 000 P 0190 | 419 | 319 | 578 | 578 | 578 | 578 | 0 | 1 | 24-04-1990 | 29-05-1998 |
| 000 P 0190 | -381 | -481 | 74 | 74 | 97,5 | 121 | 16 | 158 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0190 | -881 | -981 | 71 | 71 | 94,5 | 118 | 17 | 158 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 000 P 0190 | -1581 | -1681 | 48 | 48 | 82,5 | 117 | 18 | 158 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |

| NITQ-TMO | Bereikbaar filter | Onderkaart filter | NAP Gemiddeld laagst gemeten | NAP gemiddeld | NAP Hoogst gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR namingen | Datum eerste stand | Datum laatste stand |
|-----------------|----------------------------|-------------------|------------------------------|---------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 09D P 0190 5 | -3381 | -3381 | -79 | 44.5 | 163 | 71 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0190 6 | -3025 | -3125 | 50 | 81 | 112 | 56 | 156 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| Filter 09D P 01 | 90 07 vervalle n sinds 019 | Jan-79 | 479 | | | | 9 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 1 | -300 | -600 | 74 | 451 | 483 | 156 | 151 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 2 | -500 | -600 | 63 | 95 | 116 | 14 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 3 | -1500 | -1500 | 61 | 85.5 | 108 | 13 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 4 | -2500 | -2600 | 62 | 84.5 | 108 | 13 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 5 | -3300 | -3400 | 62 | 84 | 106 | 12 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 6 | -4100 | -4200 | 62 | 84.5 | 107 | 13 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 7 | -5200 | -5300 | 63 | 84 | 105 | 12 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0191 8 | -6000 | -6200 | 63 | 85.5 | 108 | 13 | 153 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 1 | -100 | -200 | 66 | 85.5 | 107 | 16 | 154 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 2 | -1300 | -1400 | 66 | 85.5 | 106 | 13 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 3 | -2300 | -2400 | 66 | 85.5 | 106 | 14 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 4 | -3700 | -3800 | 64 | 83.5 | 103 | 13 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 5 | -4700 | -4800 | 65 | 84 | 103 | 13 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 6 | -5600 | -5700 | 65 | 84 | 103 | 13 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 7 | -6700 | -6800 | 65 | 78 | 101 | 14 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0192 8 | -7800 | -7700 | 61 | 81 | 101 | 13 | 155 | 24-04-1990 | 17-05-1998 |
| 09D P 0285 1 | -7 | -537 | 297 | 330 | 363 | 45 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0285 2 | -907 | -1007 | 295 | 327.5 | 363 | 45 | 213 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0285 3 | -2528 | -2628 | 61 | 101.5 | 122 | 12 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0286 1 | -505 | -405 | -34 | 8 | 50 | 16 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0286 2 | -1625 | -1705 | -29 | -4 | 17 | 13 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0286 3 | -3695 | -3705 | -34 | -18.5 | 1 | 10 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0287 1 | -868 | -968 | 18 | 44 | 70 | 13 | 204 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0287 2 | -2413 | -2513 | 13 | 38.5 | 64 | 14 | 204 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0287 3 | -3793 | -3893 | -3 | 22 | 47 | 14 | 204 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0287 4 | -5568 | -5668 | -5 | 19.5 | 44 | 15 | 204 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0287 5 | -6668 | -6768 | -1 | -24.5 | 50 | 23 | 204 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0288 1 | -899 | -999 | -73 | -64 | -35 | 10 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0288 2 | -1543 | -1743 | -67 | -47.5 | -28 | 11 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0288 3 | -3099 | -3199 | -57 | -32.5 | -8 | 13 | 206 | 28-08-1990 | 29-03-1999 |
| 09D P 0289 1 | 253 | 150 | 268 | 319.5 | 361 | 11 | 107 | 14-04-1993 | 17-05-1998 |

| NITG-TNO | Bovenkant Filter t.o.v. NAP | Onderkant Filter t.o.v. NAP | NAP Gemiddeld laagte gemeten | NAP gemiddeld | NAP hoogte gemeten | Standaard afwijking | Aantal WAAR nemingen | Datum eerste Mand | Datum laatste stand |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| TNO aanvullend | Filter | Filter | NAP | NAP | NAP | | | | |
| 090 P 0209 | 2 | -668 | 58 | 79,5 | 101 | 43 | 110 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0270 | 1 | 700 | 603 | 723,5 | 754 | 51 | 33 | 14-04-1993 | 29-05-1998 |
| 090 P 0270 | 2 | -1100 | 69 | 87,5 | 106 | 12 | 110 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0271 | 1 | 100 | -302 | -81,5 | 139 | 23 | 119 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0271 | 2 | -1150 | 79 | 99,5 | 120 | 19 | 110 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0272 | 1 | -279 | 32 | 74 | 116 | 119 | 119 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0272 | 2 | -1029 | 29 | 56 | 83 | 81 | 110 | 14-04-1993 | 17-06-1998 |
| 090 P 0275 | 1 | -200 | 59 | 93 | 127 | 18 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 2 | -1090 | 49 | 82 | 115 | 15 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 3 | -1600 | 46 | 60 | 114 | 15 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 4 | -2000 | 47 | 81 | 115 | 15 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 5 | -4100 | 61 | 84,5 | 108 | 13 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 6 | -4900 | 60 | 83,5 | 107 | 13 | 123 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0275 | 7 | -6100 | 31 | 2,5 | 36 | 32 | 121 | 24-04-1990 | 29-11-1998 |
| 090 P 0290 | 1 | -638 | 64 | 81 | 98 | 9 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0290 | 2 | -1038 | 37 | 67,5 | 98 | 12 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0290 | 3 | -2038 | 56 | 75 | 94 | 9 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0290 | 4 | -4188 | 57 | 76 | 95 | 8 | 60 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0290 | 5 | -5388 | 54 | 74 | 94 | 9 | 60 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0290 | 6 | -6838 | 25 | 12,5 | 50 | 40 | 60 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0291 | 1 | 97 | 71 | 91,5 | 112 | 27 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0291 | 2 | -1697 | 69 | 84,5 | 120 | 27 | 62 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0291 | 3 | -3497 | 41 | 79,5 | 118 | 29 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0292 | 1 | -961 | 62 | 114 | 108 | 148 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0292 | 2 | -1761 | 50 | 107,5 | 105 | 151 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0292 | 3 | -4261 | 36 | 95,5 | 155 | 119 | 61 | 28-07-1995 | 17-06-1998 |
| 090 P 0293 | 1 | -869 | 30 | 30 | 30 | | 1 | 05-11-1996 | 05-11-1998 |
| 090 P 0293 | 2 | -2509 | 31 | 31 | 31 | | 1 | 05-11-1996 | 05-11-1998 |
| 090 P 0293 | 3 | -3699 | -14 | -14 | -14 | | 1 | 05-11-1996 | 05-11-1998 |
| 090 P 0293 | 4 | -5699 | -8 | -8 | -8 | | 1 | 05-11-1996 | 05-11-1998 |
| 090 P 0296 | 1 | | 150 | 169 | 188 | 4 | 52 | 14-09-1996 | 28-12-1998 |
| 090 P 9002 | 1 | -19 | 152 | 171 | 190 | 4 | 32 | 14-09-1996 | 28-12-1998 |
| 090 P 9002 | 2 | -190 | 151 | 170,5 | 190 | 4 | 32 | 14-09-1996 | 28-12-1998 |
| 090 P 9002 | 3 | -362 | | | | | | | |

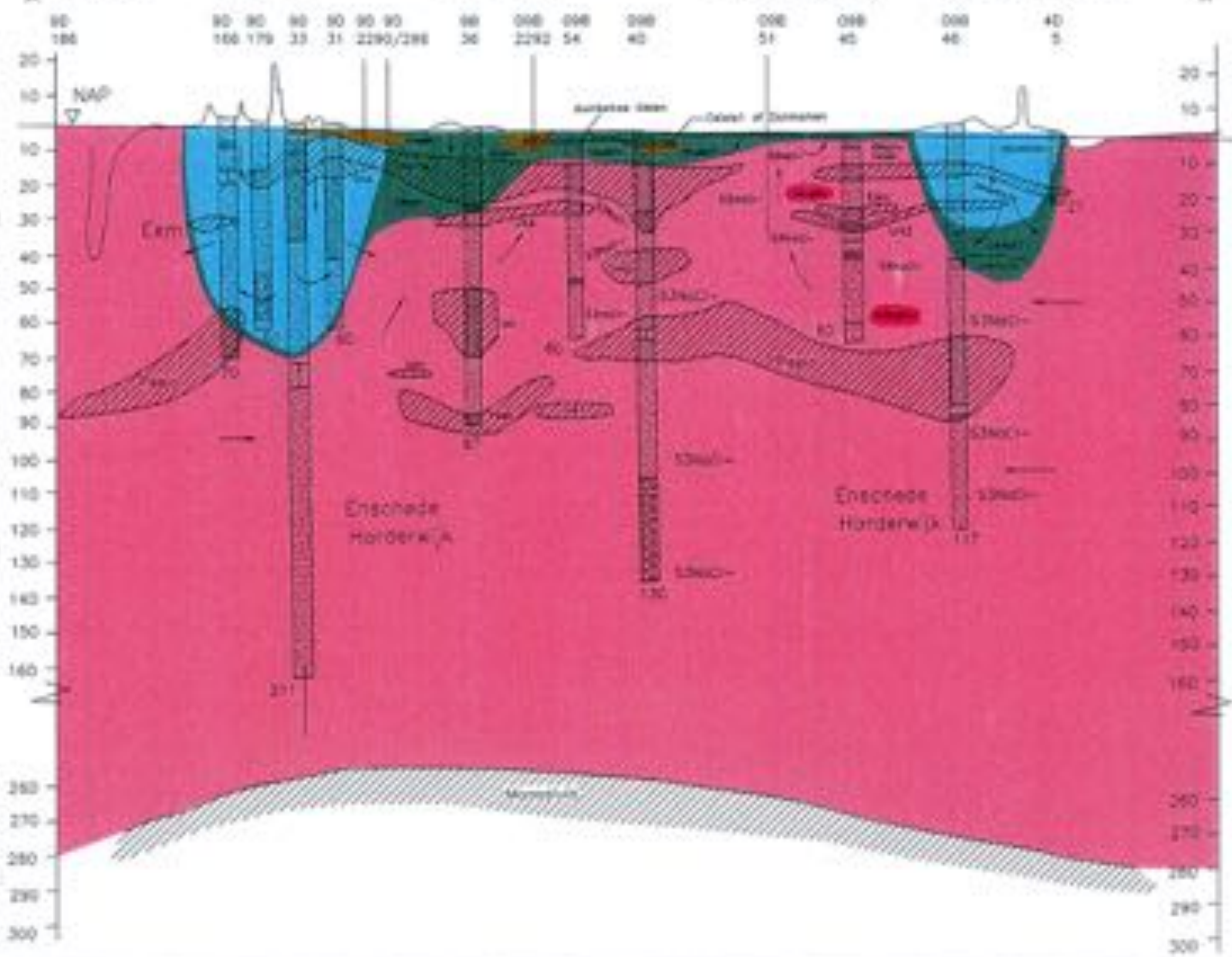
| NETQ-TNO | TNO aanduiding | Eiter | Bovenkant Eiter L.o.s NAP | Onderkant Eiter L.o.v NAP | NAP Gemiddeld laagst gemeten | NAP gemiddeld | NAP Gemiddeld hoogst gemeten | Standard afwijking | Aantal WAAR namingen | Datum eerste stand | Datum laatste stand |
|----------|----------------|-------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| | | | | | | | | | | | |
| | 09D S 0042 | 1 | | | 324 | 349,5 | 375 | 39 | 167 | 14-04-1990 | 28-03-1999 |
| | 09D S 0064 | 1 | | | | | | | 0 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E L 0001 | 1 | | | | | | | 0 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E L 0003 | 1 | -158 | -248 | -158 | -142,5 | -127 | 10 | 215 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E L 0004 | 1 | 95 | -145 | -87 | -79 | -61 | 15 | 212 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0016 | 1 | -396 | -396 | -101 | -77,5 | -64 | 13 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0015 | 2 | -2901 | -3001 | -60 | -45,5 | 7 | 14 | 212 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0018 | 1 | 913 | -913 | 12 | 33,5 | 65 | 16 | 191 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0016 | 2 | -2315 | -2415 | 14 | 42,5 | 71 | 13 | 187 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0016 | 3 | -2595 | -3018 | 22 | 46 | 70 | 11 | 177 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0017 | 1 | -294 | -364 | -61 | -25,5 | 10 | 23 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0017 | 2 | -2556 | -2956 | -42 | -31 | | 18 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |
| | 09E P 0017 | 3 | -2787 | -3807 | -39 | -20,5 | -2 | 19 | 214 | 14-04-1990 | 29-03-1999 |

BILAGE XV
Maatgevende doorsneden hydrologische systeemanalyse

Doorsnede A - A'
 met gidslagen interpretatie uit Regis
 en Stuyfzond classificatie (1977 - 1999)

Den Helder

A Marsdiep Moksloot Den Burg Polder Eierland Eierlandse Duinen A'



LEGENDE

- F3 G3 G3 G3
- G4 G4 G4
- G5 G5 G5
- G6 G6 G6
- G7 G7 G7

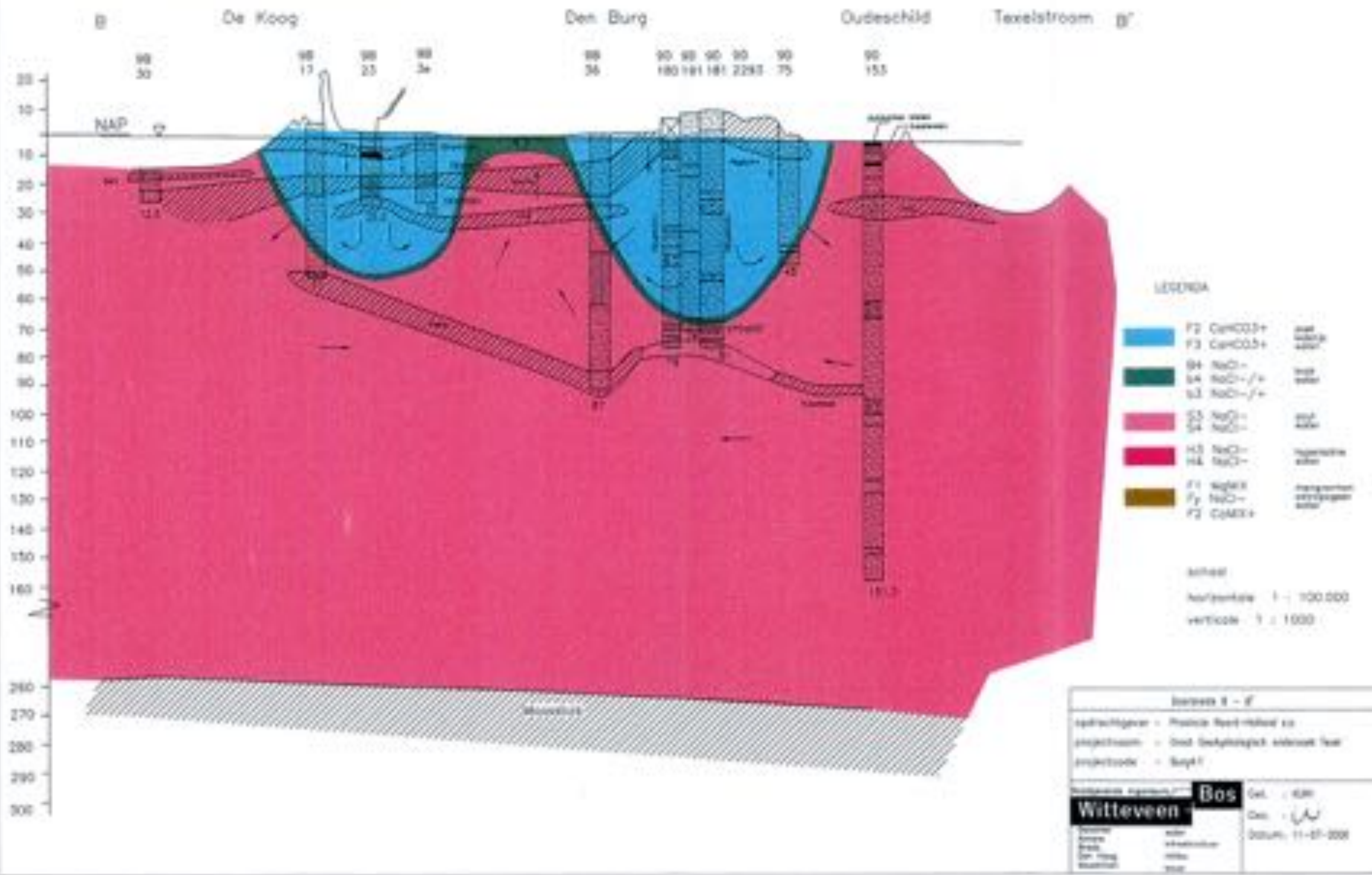
school
 horizontaal 1 : 100.000
 verticaal 1 : 1000

Doorsnede A - A'

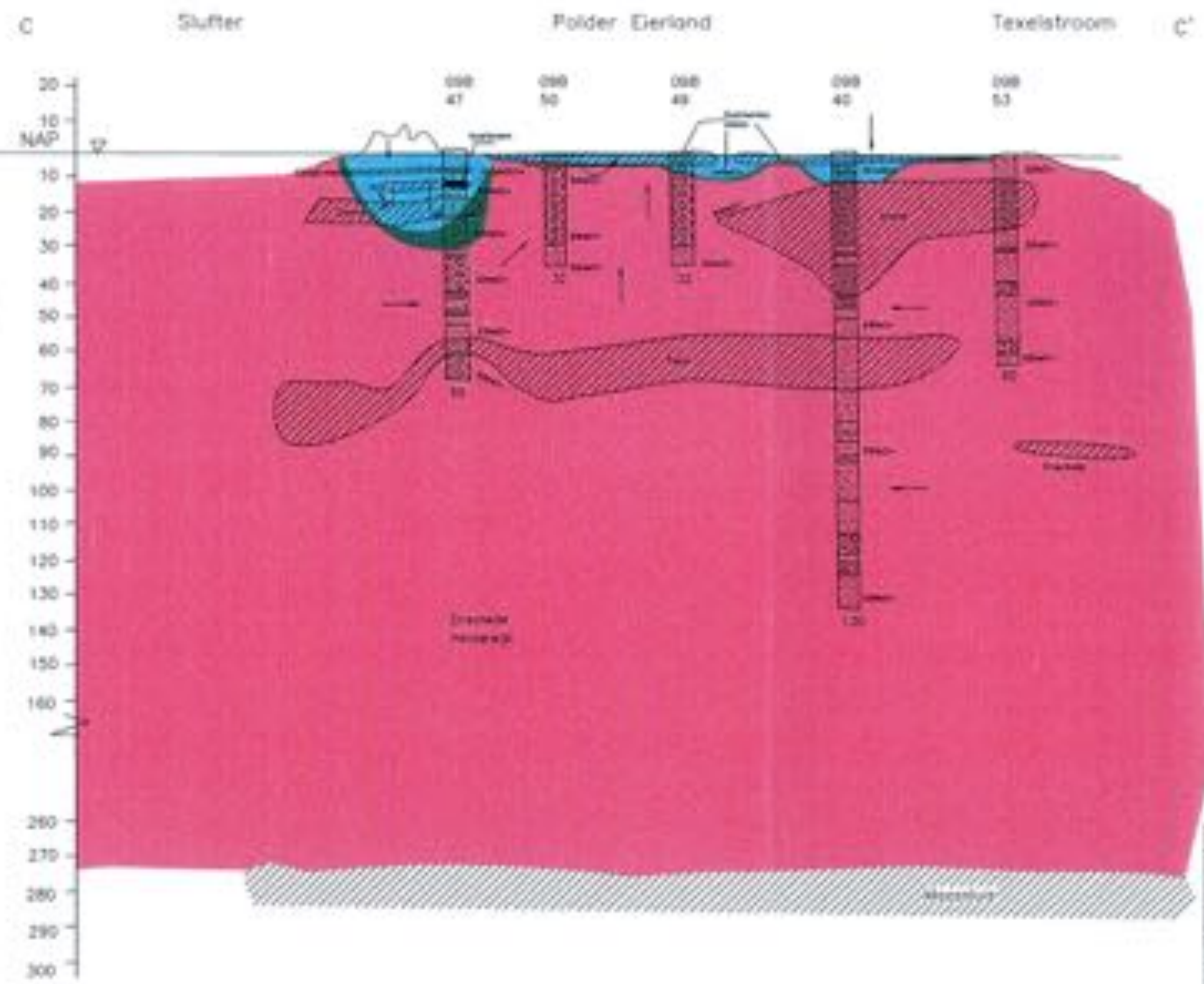
opdrachtgever - Provincie Noord-Holland L&D
 projectleider - Gert Bekker/ingeliet vanden Tol
 projectleider - Ruylt

Witteveen - Bos
 Datum: 11-07-2000

Doorsnede B - B'
 met geologische interpretatie uit Regio



Doorsnede C - C'
 met gidslogen interpretatie uit Regis



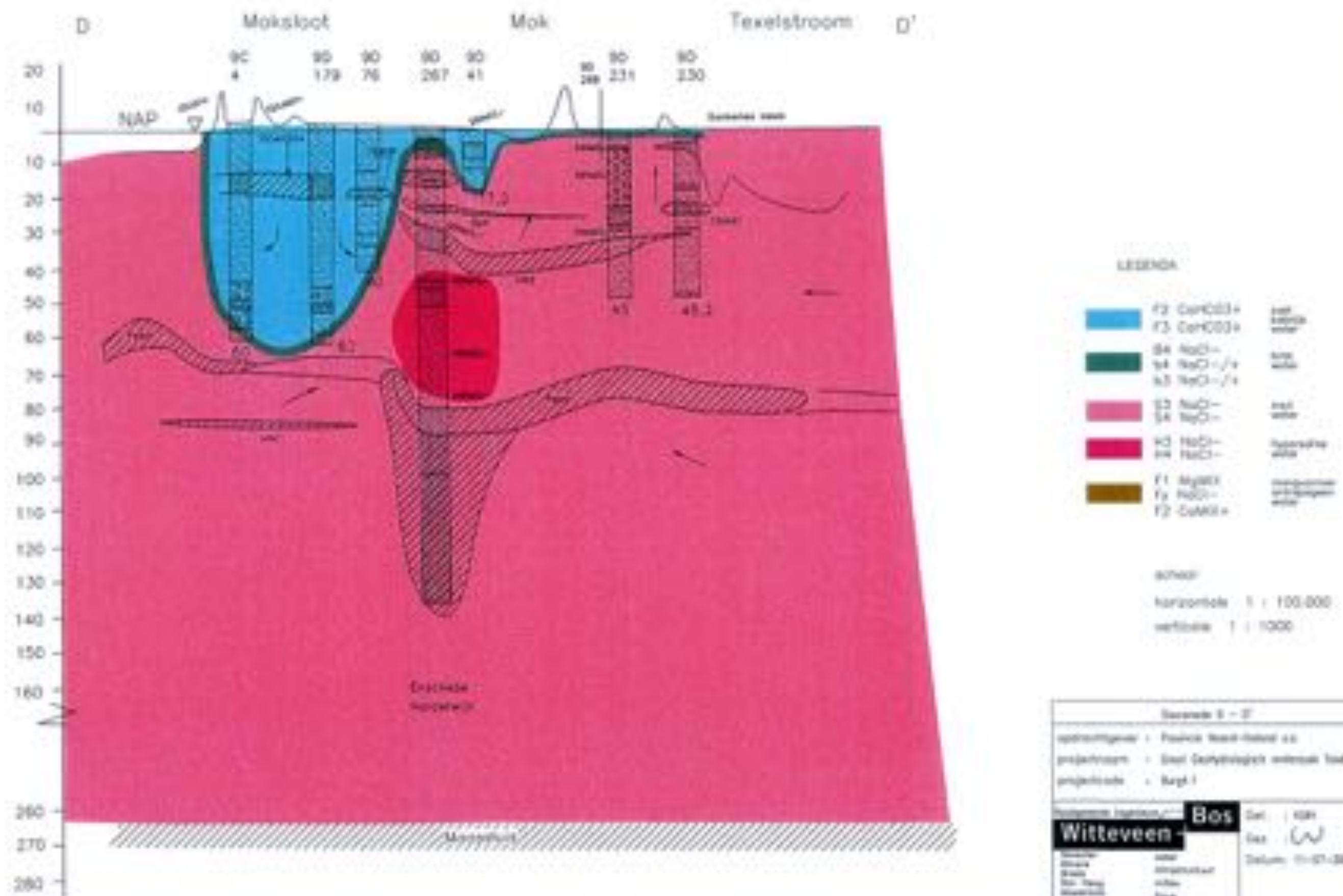
LEGENDE

| | | | |
|---------|----|-------------------|----------|
| [Blue] | 72 | CaCO ₃ | [Symbol] |
| [Blue] | 73 | CaCO ₃ | [Symbol] |
| [Green] | 82 | zand | [Symbol] |
| [Green] | 83 | zand | [Symbol] |
| [Pink] | 84 | zand | [Symbol] |
| [Red] | 85 | zand | [Symbol] |
| [Red] | 86 | zand | [Symbol] |
| [Brown] | 77 | zand | [Symbol] |
| [Brown] | 78 | zand | [Symbol] |
| [Brown] | 79 | zand | [Symbol] |

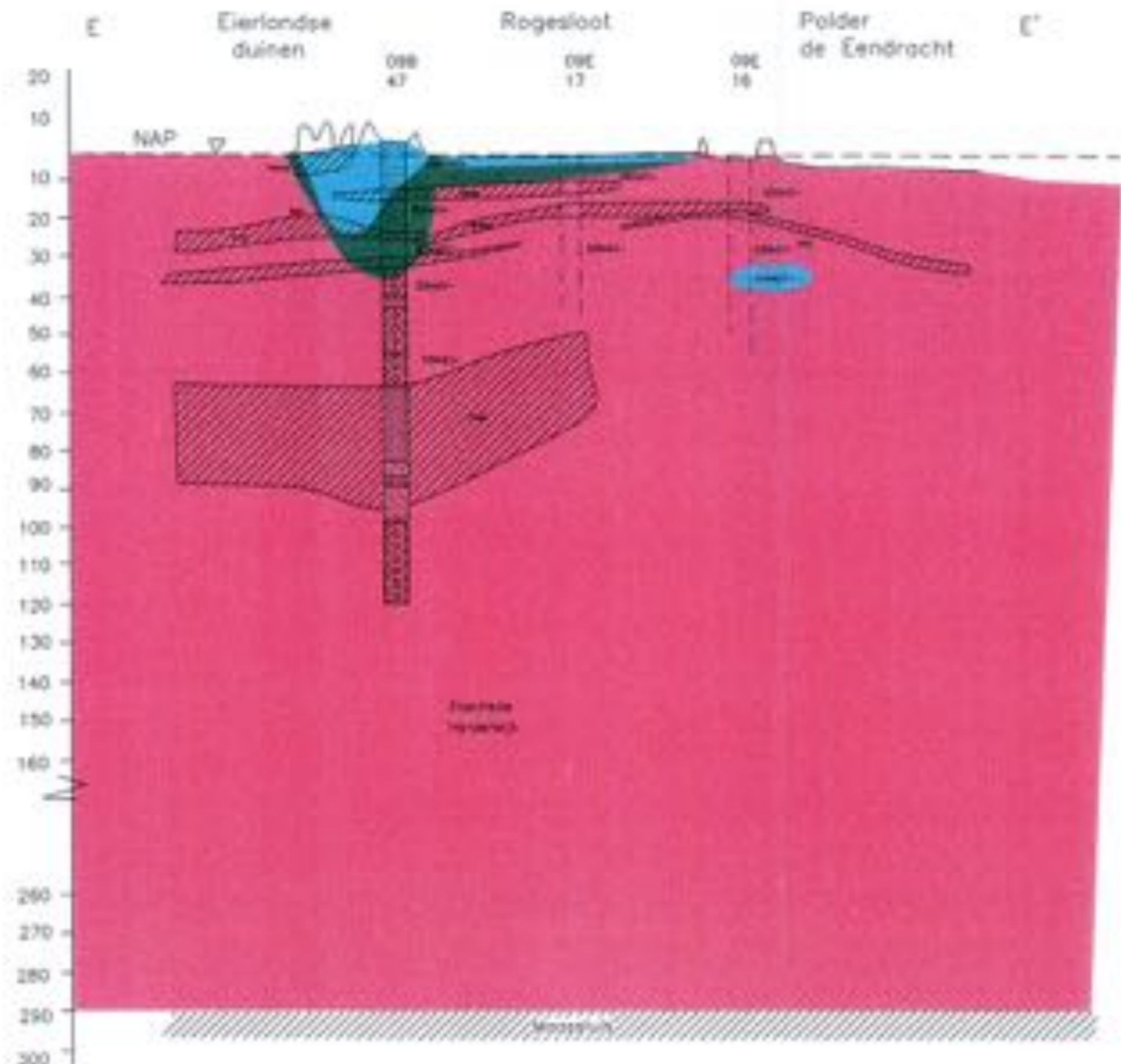
schaal
 horizontale 1 : 100.000
 verticale 1 : 1000

| | |
|------------------|-------------------------|
| Doorsnede C - C' | |
| ontwerper | Produce Noord-Nederland |
| projectleider | Dirk de Vries |
| projectant | Regis |
| ontwerper | Bos |
| getekend | 3 |
| datum | 11-07-2008 |

Doorsnede D - D'
 met gidslogen interpretatie uit Regis



Doorsnede E - E'
 Stuyfzand typering
 op basis van Stuyfzandbepaling en grondwaterkaart



LEGGENDA

| | | |
|--|----------------------|--|
| | F2 CaCO ₃ | |
| | B4 M | |
| | S2C M | |
| | S2 M | |
| | F1 M | |
| | F2 CaCO ₃ | |

school
 horizontale 1 : 100.000
 verticale 1 : 1000

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Doorsnede E - E' | |
| ontwerper | Studio West-Indië bv |
| projectnaam | Groen Dorpskernplan uitbreiden West |
| projectlocatie | Ruys 1 |
| Witteveen - Bos | loc. - 601 |
| | sch. - W |
| | datum - 11-07-2006 |

Stroomrichting hoofdwaterlopen Texel



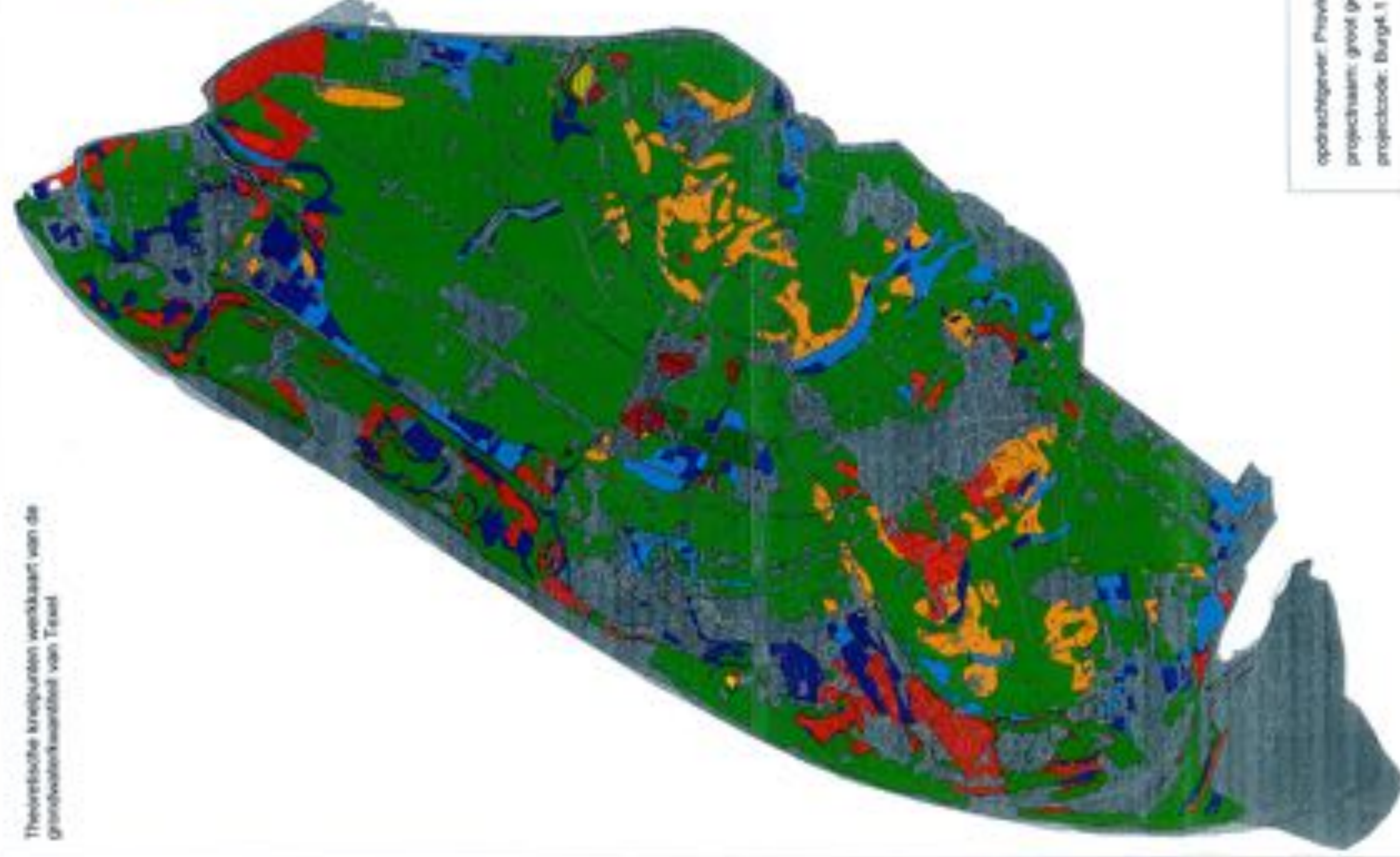
opdrachtgever: Prov. Noord-Holland
en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch
onderzoek Texel
projectcode: burg4.1

Witteveen + Bos

BIJLAGE XVII
Subdoeltypen met gewenste grondwatertrappen

| subsoorten (SR) Totaal | | | | |
|----------------------------|--------|------------------------------|---------------|---------------|
| gebied | nummer | subsoort | oppervl. (ha) | grondwaterlag |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 9.4 | brinnende pit grasland | 10.98,0 | |
| Waal en Burgendijk | 18.2 | loamrijke | 1.83,0 | |
| Waal en Burgendijk | 3.10 | bossen van het laagveen | 0.18,0 | |
| Dunen-Noord | 3.10 | bossen van het laagveen | 25.81,0 | |
| Dunen-Noord | 3.1 | permatos op vochtarm zand | 5.5,0 | |
| Dunen-Midden | 3.1 | permatos op vochtarm zand | 68.84,0 | |
| Roggestoet | 9.5 | droge schraaflanden | 4.79,0 | |
| Hogeborg, Zeshonderd | 9.5 | droge schraaflanden | 65.78,0 | |
| Ceres | 9.5 | droge schraaflanden | 3.08,0 | |
| Dunen-Noord | 9.5 | droge schraaflanden | 2.68,0 | |
| Konverskooi | 6.3 | droge, open heide | 5.7,0 | |
| Dunen-Midden | 6.3 | droge, open heide | 8.4,0 | |
| Dunen-Noord | 6.2 | dunstruweel | 9.91,0 | |
| Roggestoet | 19.1 | gras | 3,0 | |
| Konverskooi | 19.1 | gras | 0.5,0 | |
| Hogeborg, Zeshonderd | 19.1 | gras | 30.87,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 19.1 | gras | 5.17,0 | |
| Dunen-Noord | 19.1 | gras | 10.85,0 | |
| Dunen-Midden | 19.1 | Grove den-ek, ruig, arm zand | 111.17,0 | |
| Dunen-Midden | 19.2 | Grove den-ek, droog leemarm | 18.86,0 | |
| Dunen-Midden | 19.2 | Grove den-ek, vochtig | 15.4,0 | |
| Konvers | 13.4 | grove den-ek, zand out, hof | 47.34,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 4.1 | heide | 0.1,0 | |
| Waal en Burgendijk | 18.1 | heide, enig, en gras | 13,0 | |
| Konverskooi | 18.1 | heide, enig, en gras | 1.5,0 | |
| Konvers | 9.2 | kamgras, riveerschoongras | 8.62,0 | |
| Dunen-Zuid | 9.2 | kamgras, riveerschoongras | 8.75,0 | |
| Dunen-Noord | 9.2 | kamgras, riveerschoongras | 53.45,0 | |
| Dunen-Midden | 9.2 | kamgras, riveerschoongras | 29.95,0 | |
| Dunen-Zuid | 2.2 | weiden en slakken beemd | 27.18,0 | |
| Dunen-Noord | 2.2 | weiden en slakken beemd | 283.81,0 | |
| Roggestoet | 3.3 | voets op arm zand | 4,0 | |
| Hogeborg, Zeshonderd | 3.3 | voets op arm zand | 5.19,0 | |
| Dunen-Midden | 3.3 | voets op arm zand | 301.04,0 | |
| Hogeborg, Zeshonderd | 3.1 | voets op kalkrijke bodem | 1.36,0 | |
| Hogeborg, Zeshonderd | 3.4 | voets op leem zand | 1.95,0 | |
| Dunen-Zuid | 3.5 | voets van kalkrijke dun | 1,0 | |
| Konverskooi | 5.1 | natte duivaleen | 8.18,0 | |
| Dunen-Zuid | 5.1 | natte duivaleen | 104.38,0 | |
| Dunen-Noord | 5.1 | natte duivaleen | 102.57,0 | |
| Dunen-Midden | 5.1 | natte duivaleen | 150.48,0 | |
| Dunen-Zuid | 5.4 | natte hei, met kleine vennen | 90.34,0 | |
| Dunen-Midden | 5.4 | natte hei, met kleine vennen | 18,0 | |
| Waal en Burgendijk | 6.2 | natte schraaflanden | 0.82,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 6.2 | natte schraaflanden | 0.82,0 | |
| Dunen-Noord | 6.2 | natte schraaflanden | 7,0 | |
| Dunen-Midden | 6.2 | natte schraaflanden | 15.54,0 | |
| Noordenkooi | 7.8 | pot- en potterbossen | 1.85,0 | |
| Konvers | 6.1 | open dun | 7,0 | |
| Roggestoet | 6.1 | open dun | 44.99,0 | |
| Konverskooi | 6.1 | open dun | 39.46,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 6.1 | open dun | 3.61,0 | |
| Dunen-Zuid | 6.1 | open dun | 808.89,0 | |
| Dunen-Noord | 6.1 | open dun | 680.99,0 | |
| Dunen-Midden | 6.1 | open dun | 471.94,0 | |
| Roggestoet | 17.1 | moerig pttel | 13.90,0 | 0 |
| Ceres | 17.1 | moerig water | 0.1,0 | 0 |
| Dunen-Midden | 18.2 | moerige kalk vegetaties | 18.16,0 | |
| Roggestoet | 14.1 | natland | 14.7,0 | |
| Dunen-Zuid | 11.2 | vennen en plassen op zand | 3.49,0 | 0 |
| Dunen-Noord | 11.2 | vennen en plassen op zand | 4.76,0 | 0 |
| Waal en Burgendijk | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 0.75,0 | |
| Noordenkooi | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 3.1,0 | |
| Ceres | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 0.42,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 0.62,0 | |
| Dunen-Zuid | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 31.63,0 | |
| Dunen-Noord | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 22.03,0 | |
| Dunen-Midden | 7.1 | verlandig en natte ruggen | 1.05,0 | |
| Roggestoet | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 34.3,0 | |
| Konverskooi | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 8.3,0 | |
| Ceres | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 3.47,0 | |
| Podder Wassenaar en 1 Vige | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 4.27,0 | |
| Dunen-Noord | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 30.43,0 | |
| Dunen-Midden | 10.1 | vochtig schraaf grasland | 8.25,0 | |
| Waal en Burgendijk | 11.1 | water in laagveen en hie | 1.09,0 | 0 |
| Roggestoet | 15.1 | weide-voetgrasland | 73.81,0 | |
| Zeeburg | 15.2 | wintergrasland | 106,0 | |

Theoretische knooppunten verduikt van de
grondwateraanwinst van Tessel



Legenda

gebieden natuurmonumenten



natuurgebieden (NBS)



relatieve opbrengstbijdragen

bosland en grasland

1-3 v. optimale getrap
x = een getrap hoger dan gemiddeld
- x = een getrap lager dan gemiddeld



0 1 2 3 4 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Tessel
projectcode: Burght.1

Witteveen **Bos**

functiekaart Texel
bron: Hollands Kroon

legenda

| hoofdfunctie | nevenfunctie |
|---|--------------|
|  natuur | - |
|  agrarisch | natuur |
|  agrarisch | - |
|  stedelijk | - |



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

kneipuntenkaart voor chloride gehalten voor de oppervlaktewater monsterpunten met op de ondergrond de watertypologie Texel, getoetst aan de hand van de SEND parameters.

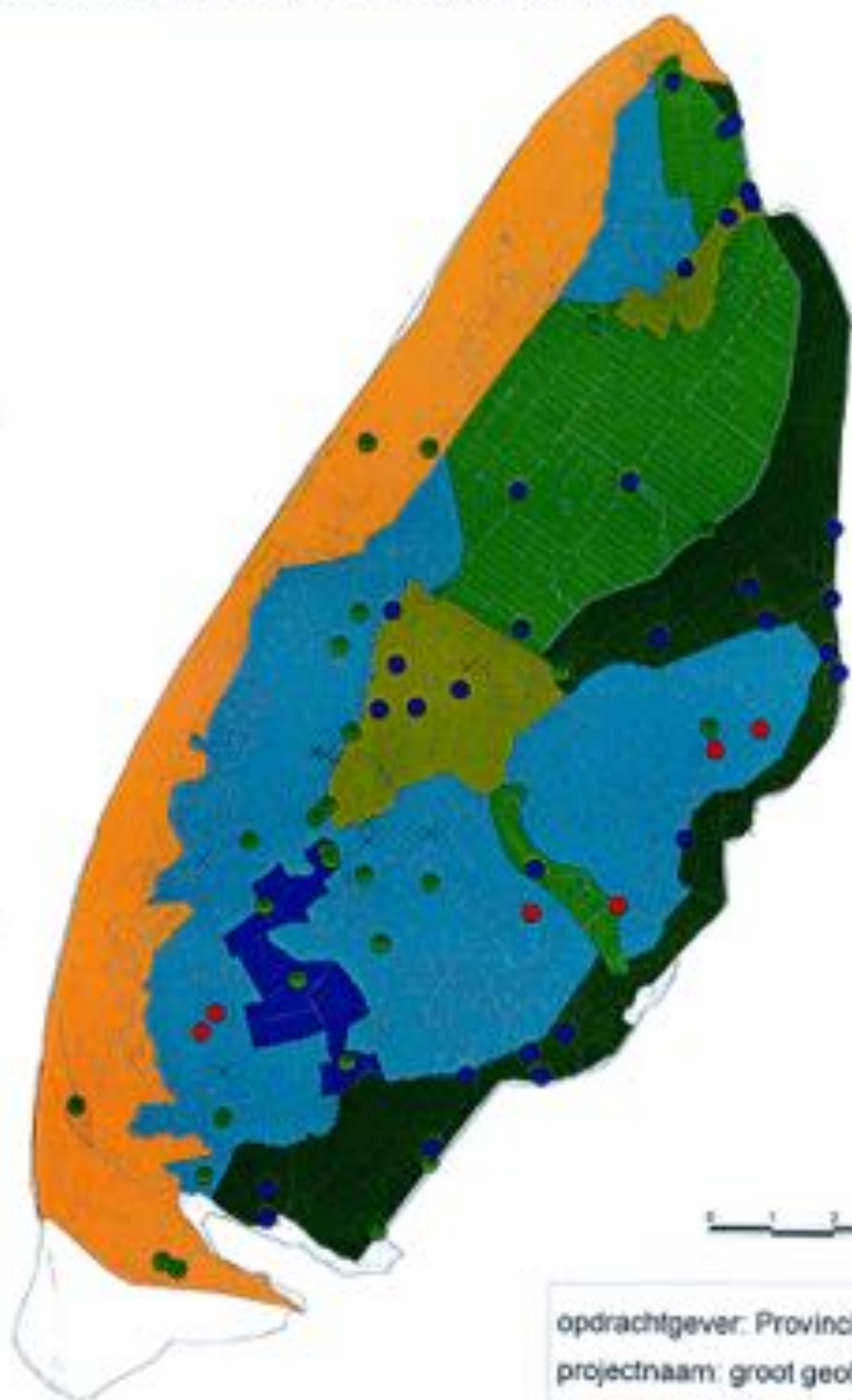
bronnen:
functiekaart Hollands Kroon
watertypenkaart Hollands Kroon
tweede waterhuishoudingsplan Noord-Holland (1996-2002)

legenda kneipunten

- ✕ chloride gehalte ontbreekt
- chloride gehalte optimaal
- chloride gehalte boven de norm
- chloride gehalte onder de norm

watertypologie

- Zilt polderwateren
- Brakke polderwateren
- Licht brakke polderwateren
- Polderwateren onder invloed van loesl
- Algemene polderwateren
- Kalkarme duinwateren






opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Bemalingseenheden, hoofdwaterlopen, gemalen en RWZI's
Bron: Uitwaterende Sluizen en Hollands Kroon



0 1 2 3 4 5 Kilometers

-  bemalingseenheid Eijerland
-  bemalingseenheid Waal en Burg / Het Noorden
-  bemalingseenheid gemeenschappelijke polders
-  bemalingseenheid Prins Hendrik polder

-  RWZI
-  molen

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burgt. 1


Witteveen + Bos

Modelschematisatie hoofdwaterlopen Texel in DUFLOW



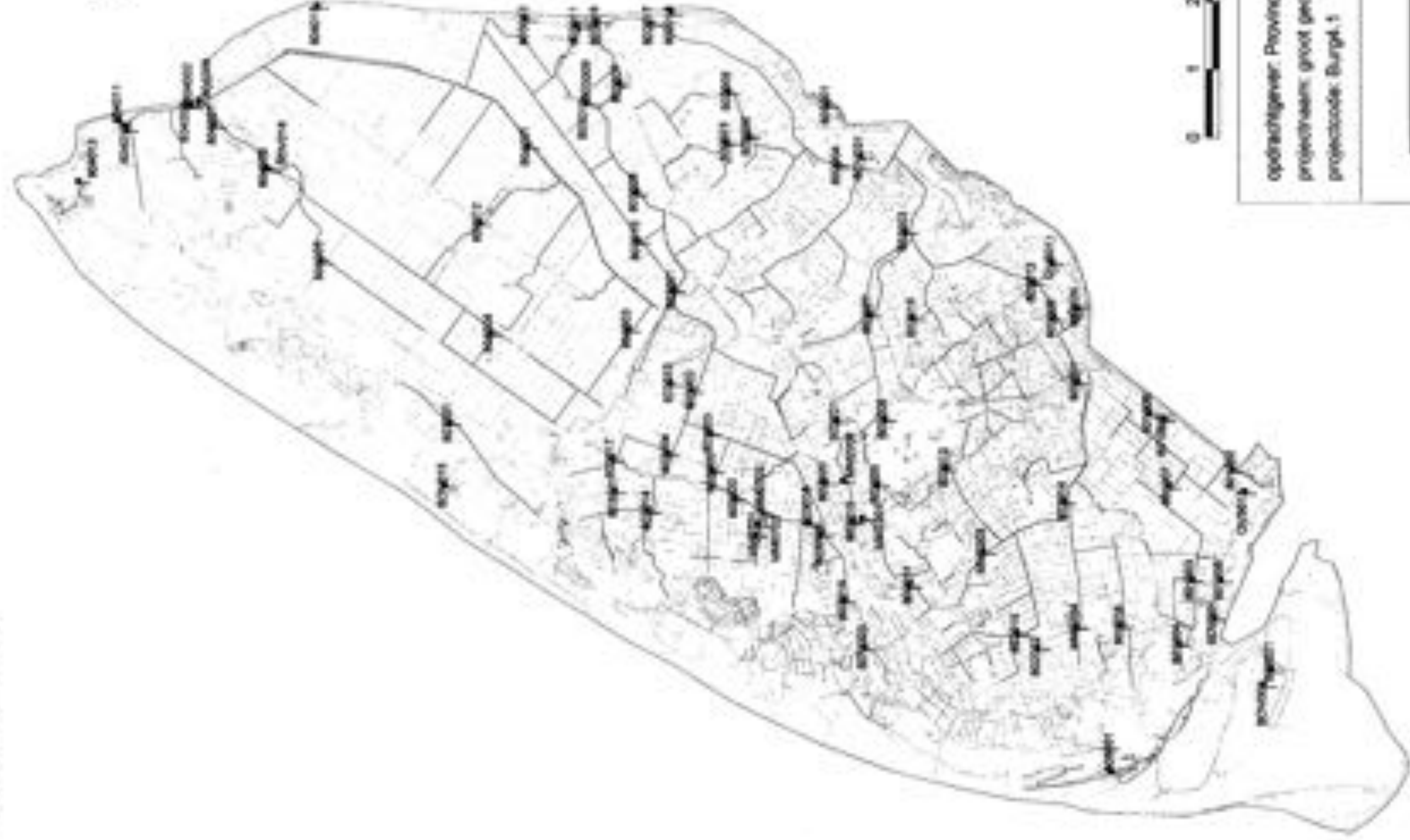
- Legenda:
- knooppunt
 - knooppunt met randvoorwaarde
 - waterloop
 - dijk

opdrachtgever: Prov. Noord-Holland
en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch
onderzoek Texel
projectcode: burg4.1

Witteveen  **Bos**

BIJLAGE XXI
Oppervlaktewatermonsterpuntenkaart

lokale oppervlaktewatermeetpunten en hoofdbestanden Tensel
bron: Uitvoerend Stadsbestuur



legenda
hoofdbestanden
lokale oppervlaktewatermeetpunt



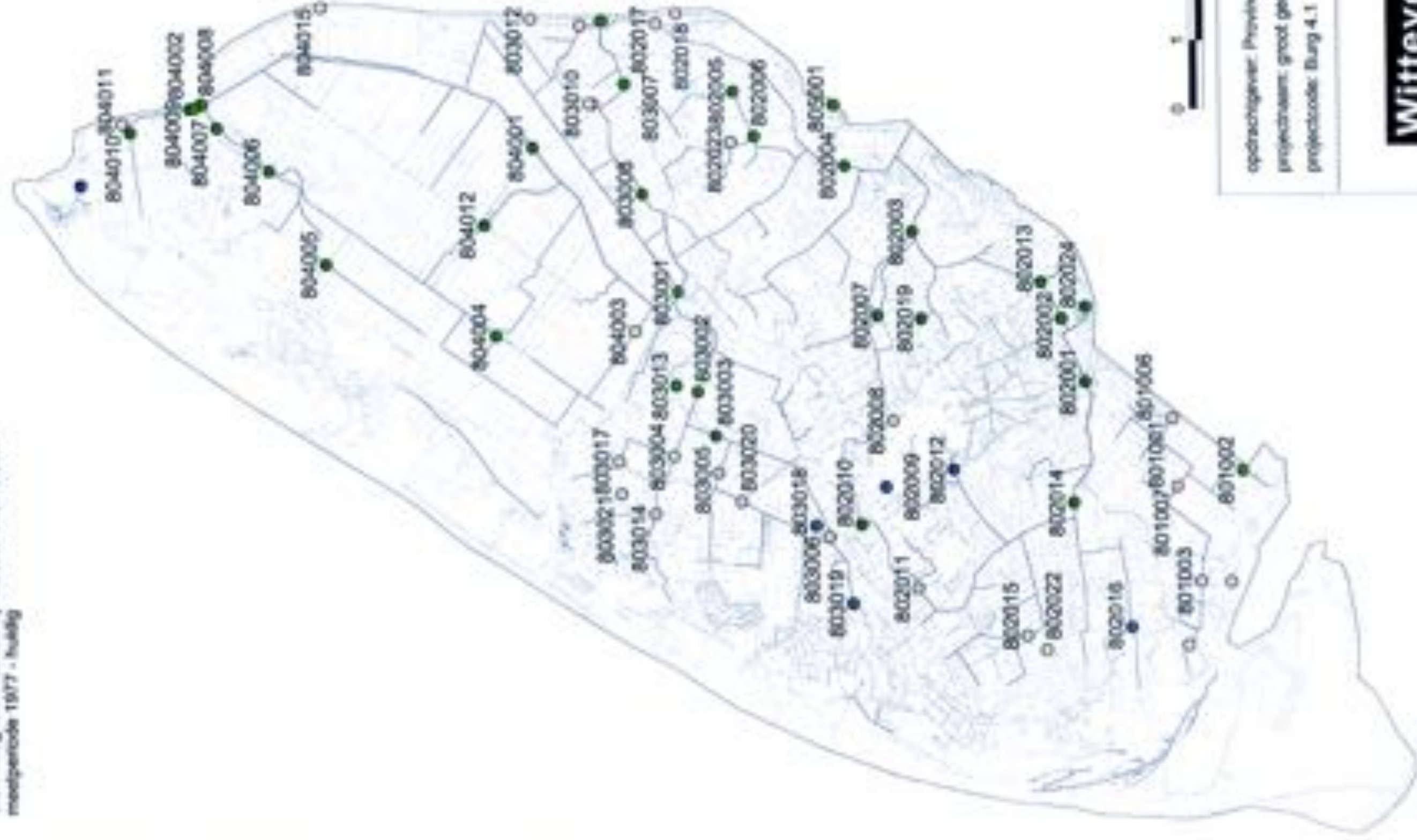
0 1 2 3 4 kilometer

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Tensel
projectcode: Burght.1

Witteveen **Bos**

gemiddelde chlooride gehalten van oppervlaktewatermonsters Texel
Een: Hoogheemraadschap Ulsterenwede Sluizen
metperiode 1977 - nuultig

chloride gehalten (mg/l)



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg 4.1

Witteveen + Bos

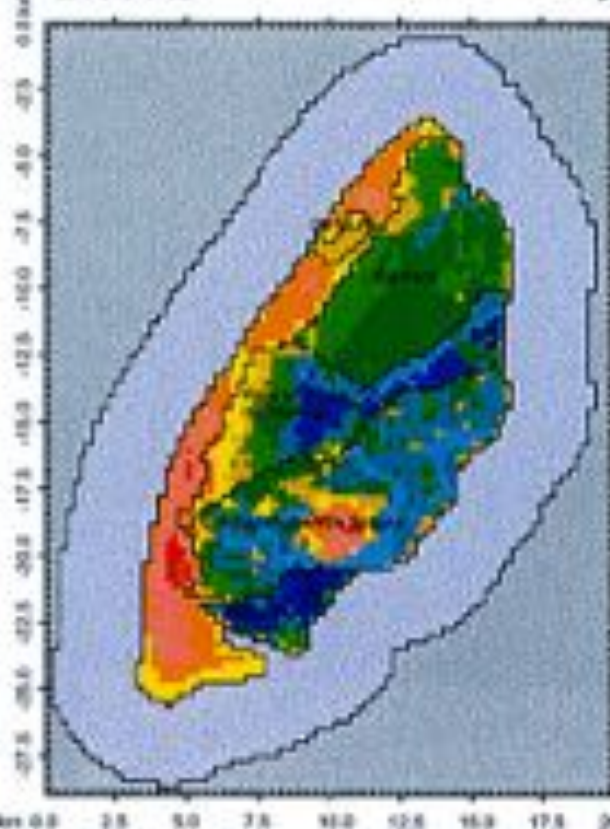
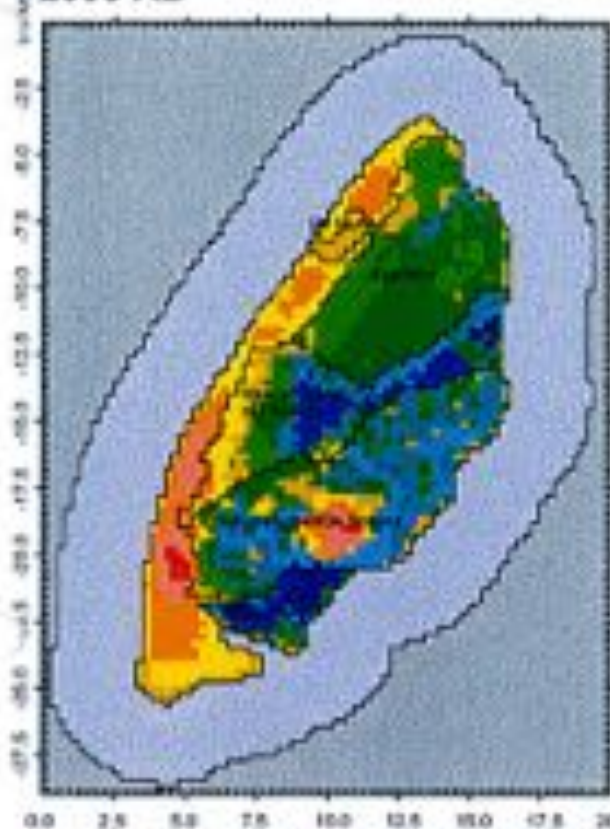
Zoetwaterstijghoogte op -0.75 m N.A.P. (in m)

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

2000 AD

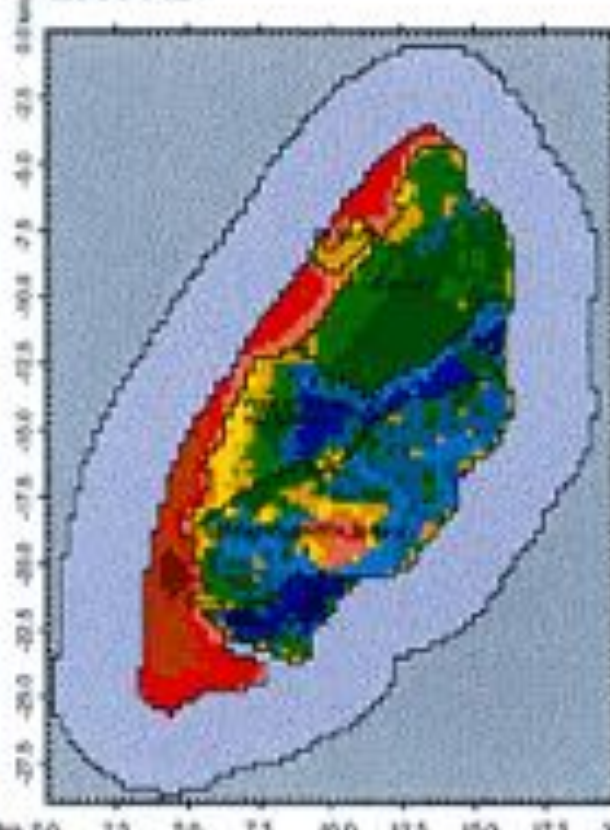
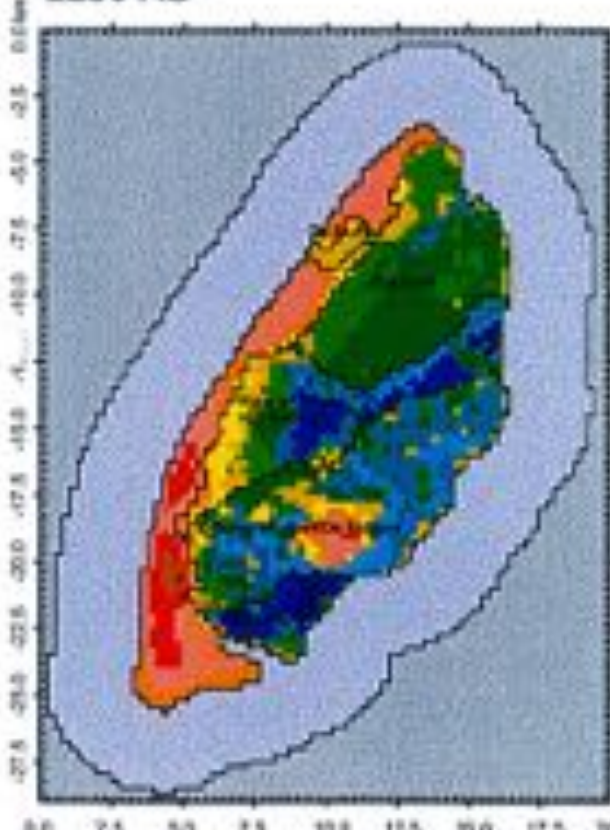
2100 AD

Verandering in
stijghoogte (m)



2250 AD

2500 AD



Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

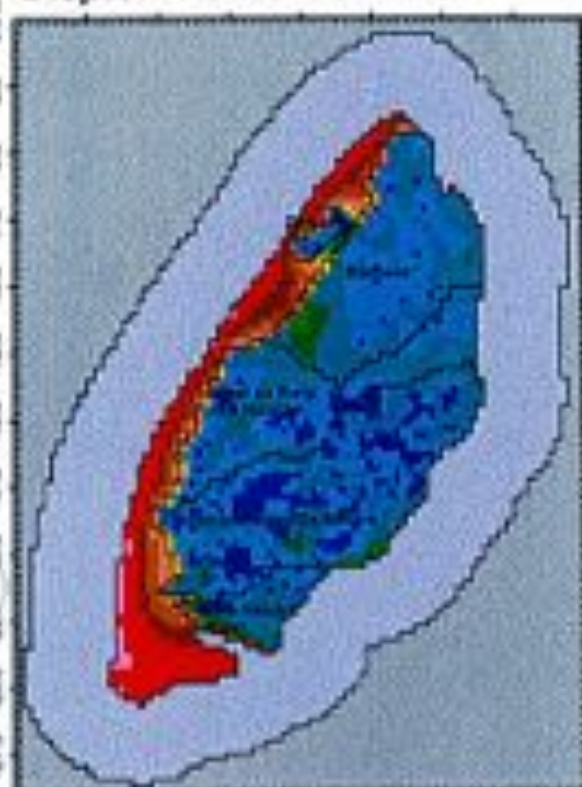
Witteveen **Bos**



International Centre for
Hydrological and Urban Studies

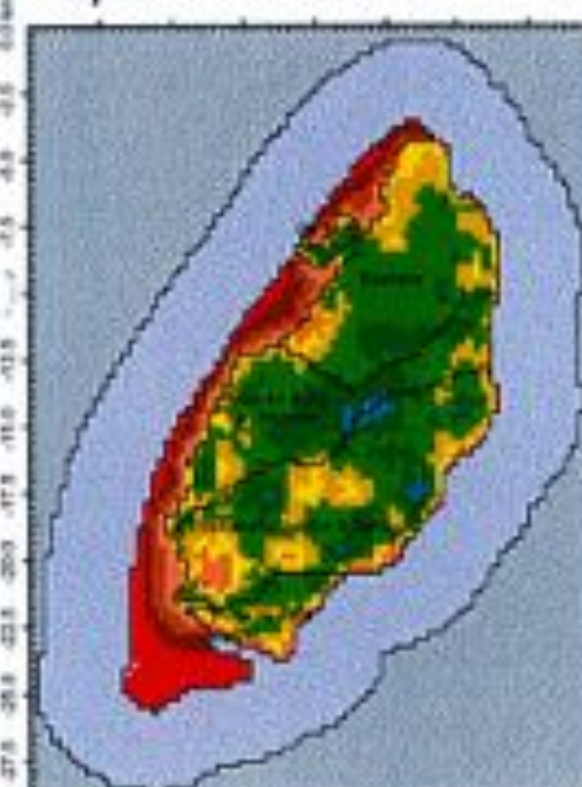
Verandering in zoetwaterstijghoogte (in m) tussen 2000 AD en 2100 AD
Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

Diepte: -1.5 tot -3 m N.A.P



0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 km

Diepte: -3 tot -7 m N.A.P



0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 km

Diepte: -7 tot -12 m N.A.P

0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 km

Diepte: -12 tot -22 m N.A.P

0.0 2.5 5.0 7.5 10.0 12.5 15.0 17.5 20.0 km

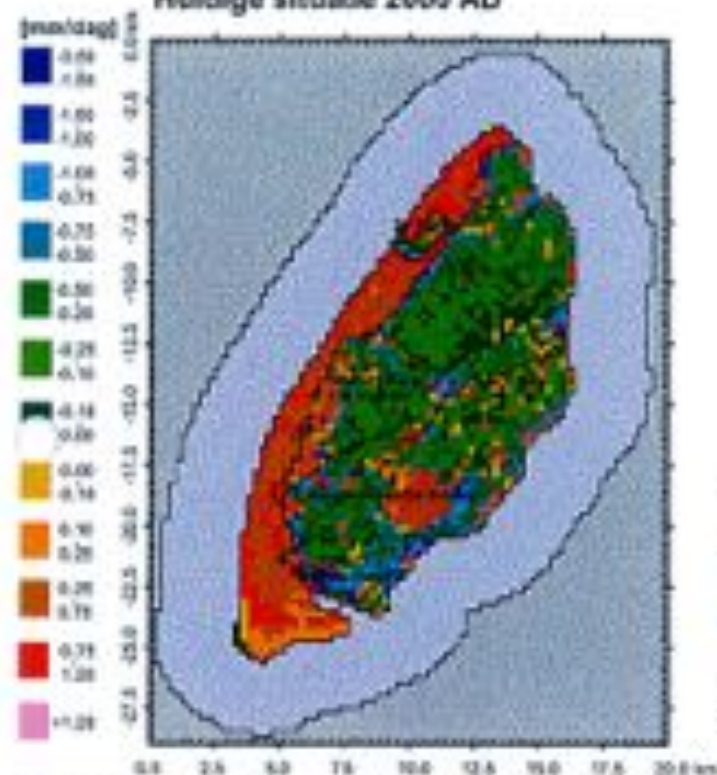
Verandering in stijghoogte (m)



Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Verandering in kwel en infiltratie (in mm per dag) tussen 2000 AD en 2100 AD
 Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw
 Kwel en infiltratie op -1.5 m N.A.P

Huidige situatie 2000 AD

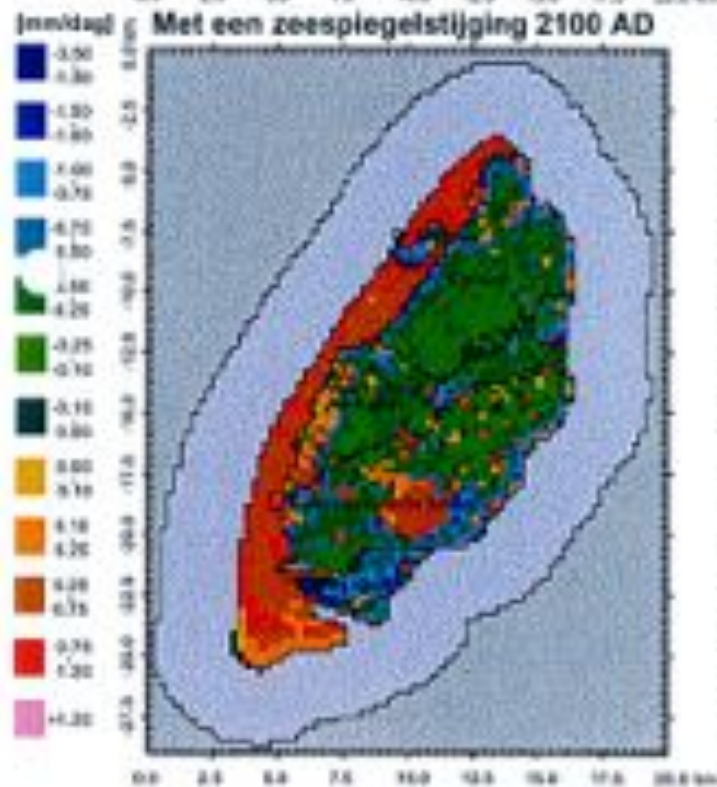


Witteveen Bos

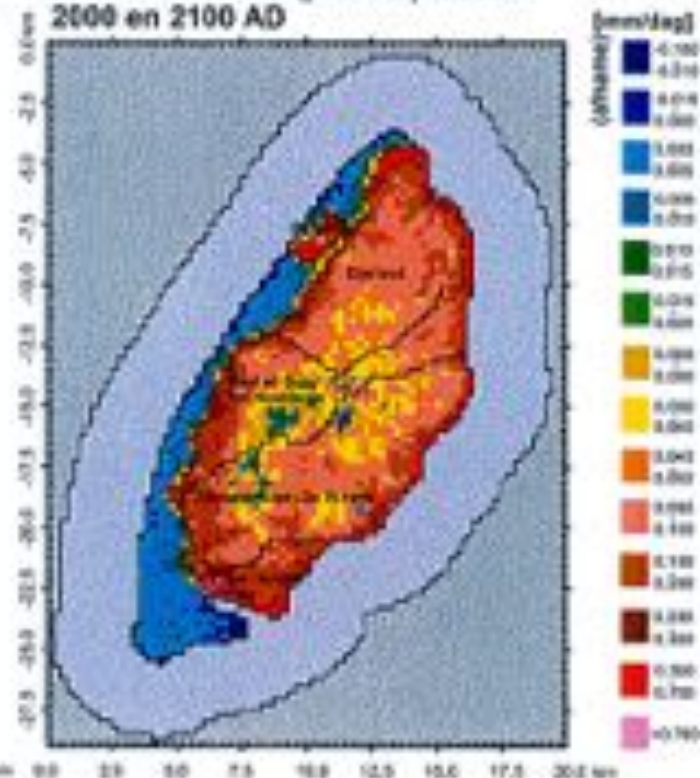


Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Met een zeespiegelstijging 2100 AD



Toename in kwel (positief) tussen
2000 en 2100 AD

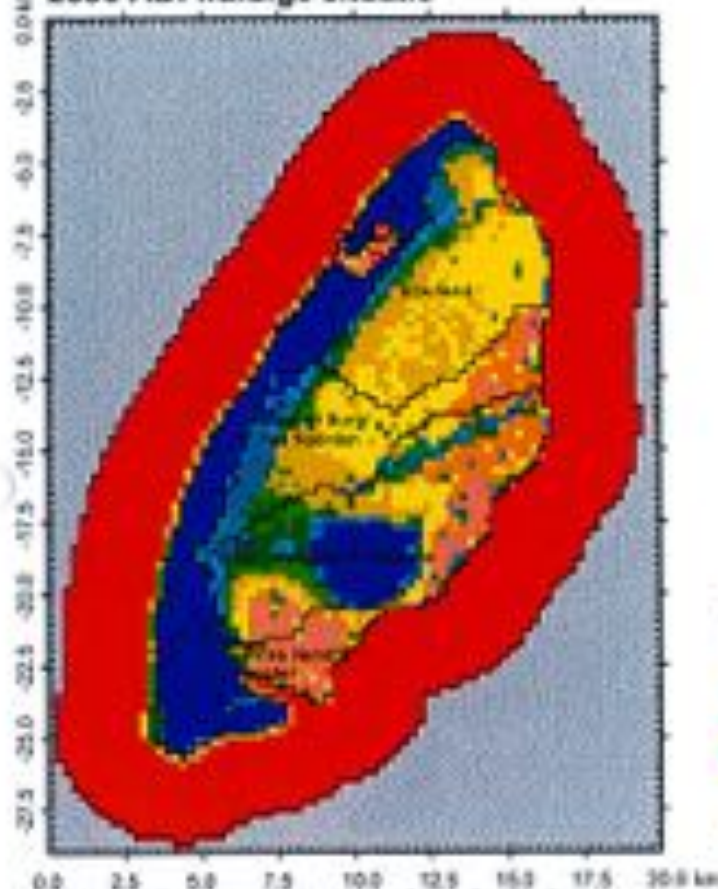


Concentratie in mg Cl⁻/l in 2000 AD en 2100 AD

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

Concentratie op -0.75 m N.A.P

2000 AD: huidige situatie



Concentratie [mg Cl⁻/l]

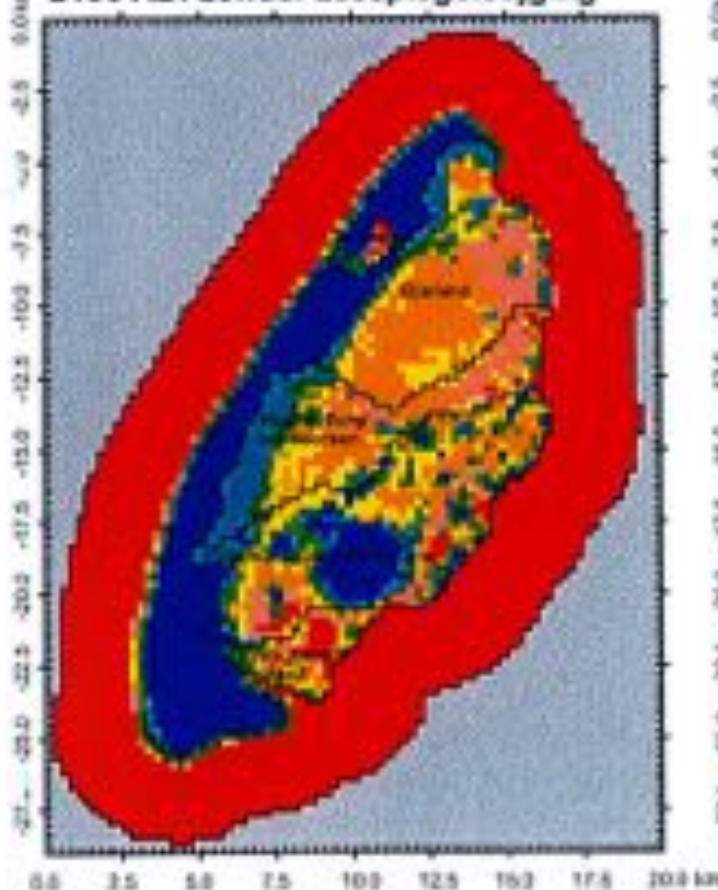


Witteveen Bos

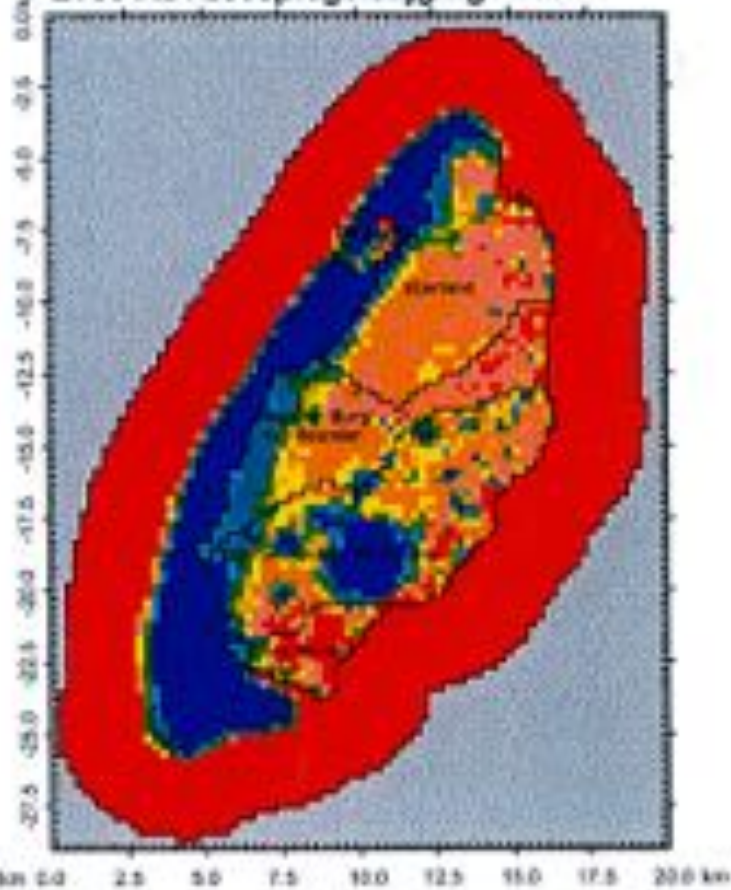


Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

2100 AD: zonder zeespiegelstijging



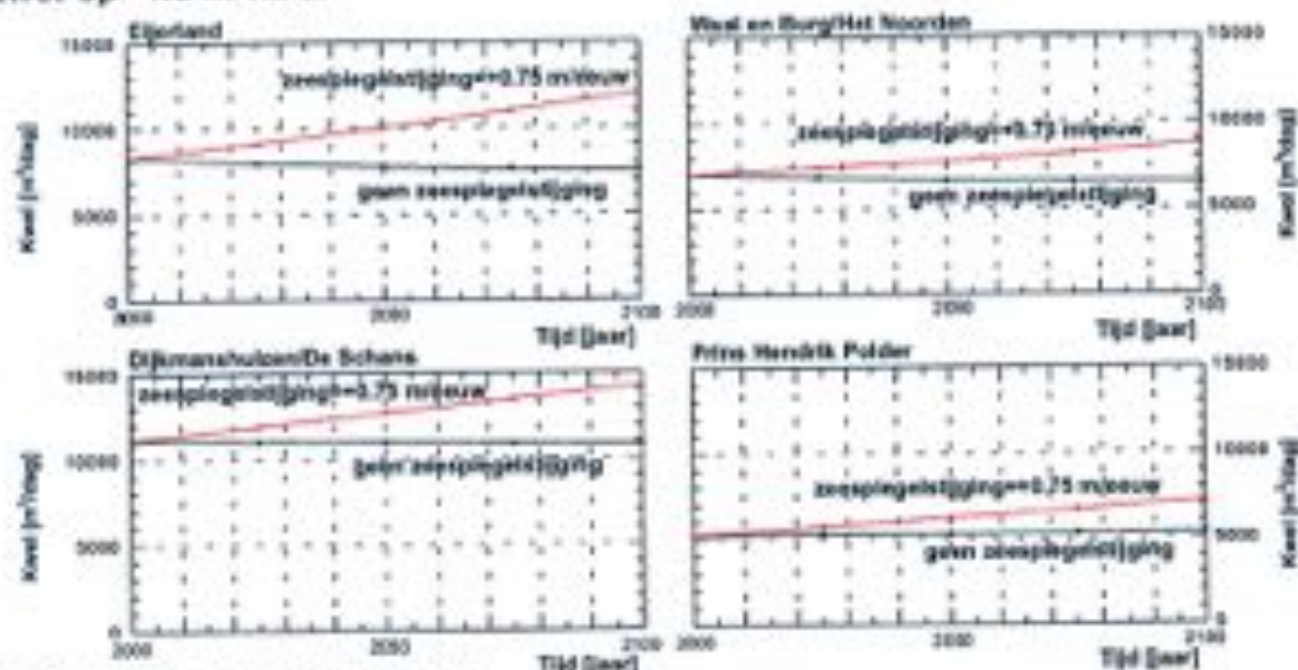
2100 AD: zeespiegelstijging=0.75 m



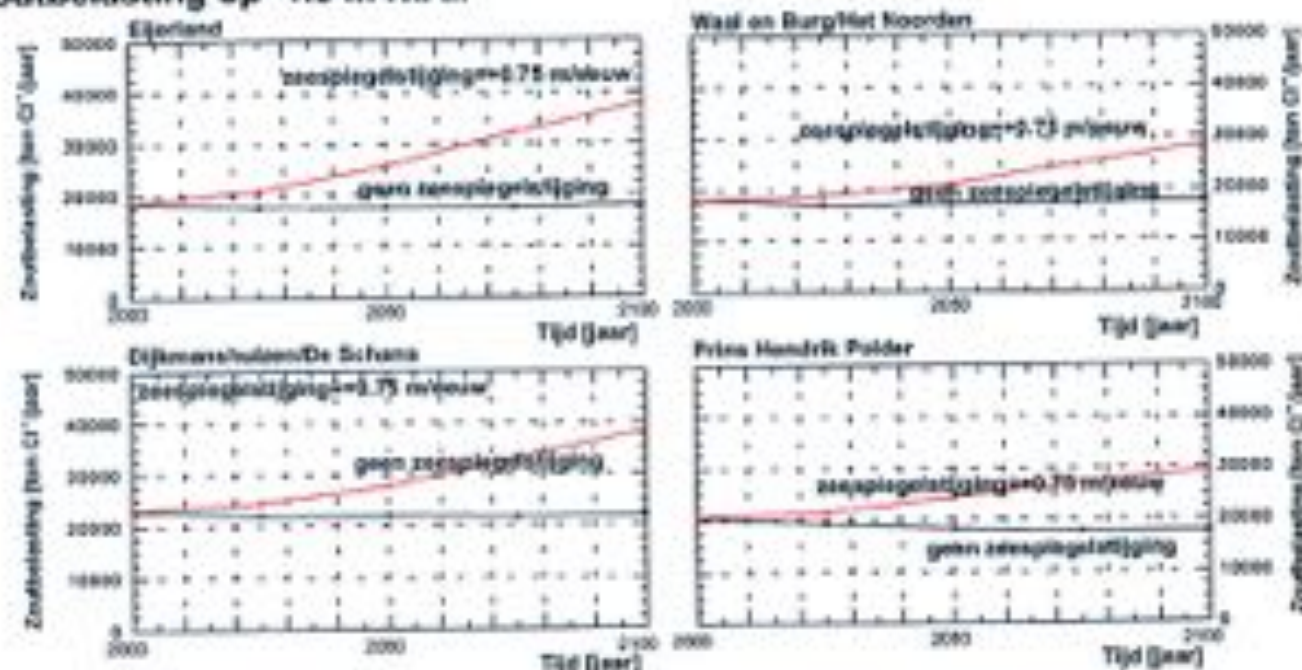
Verandering in water (m^3/dag) en stofbalans (ton $Cl^-/jaar$) tussen 2000 AD en 2100 AD

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

Kwel op -1.5 m N.A.P



Zoutbelasting op -1.5 m N.A.P



Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Witteveen Bos

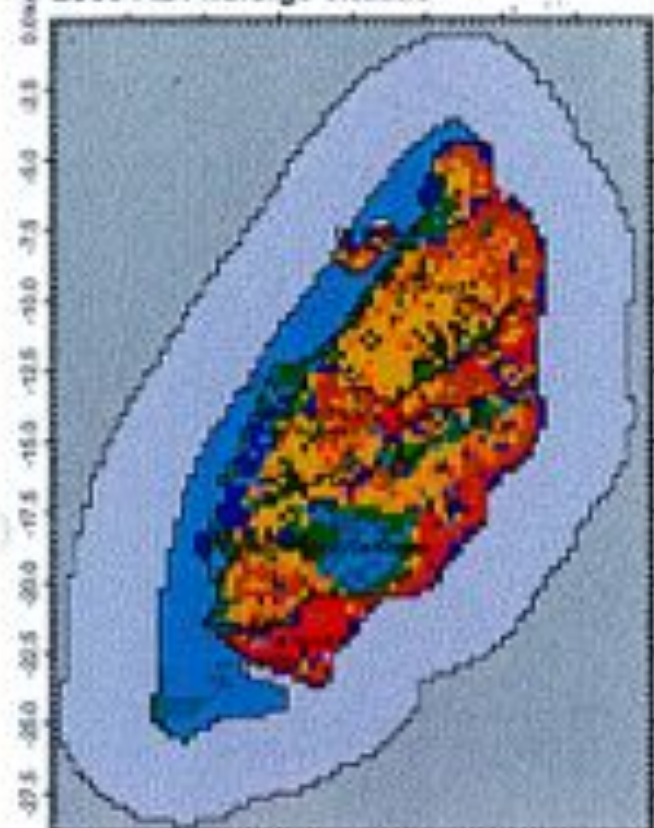
ICHU Interfacelair Centrum
Hydrologie Utrecht

Zoutbelasting in kg/ha/jaar in 2000 AD en 2100 AD

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

Zoutbelasting op -1.5 m N.A.P

2000 AD: huidige situatie



Zoutbelasting [kg/ha/jr]



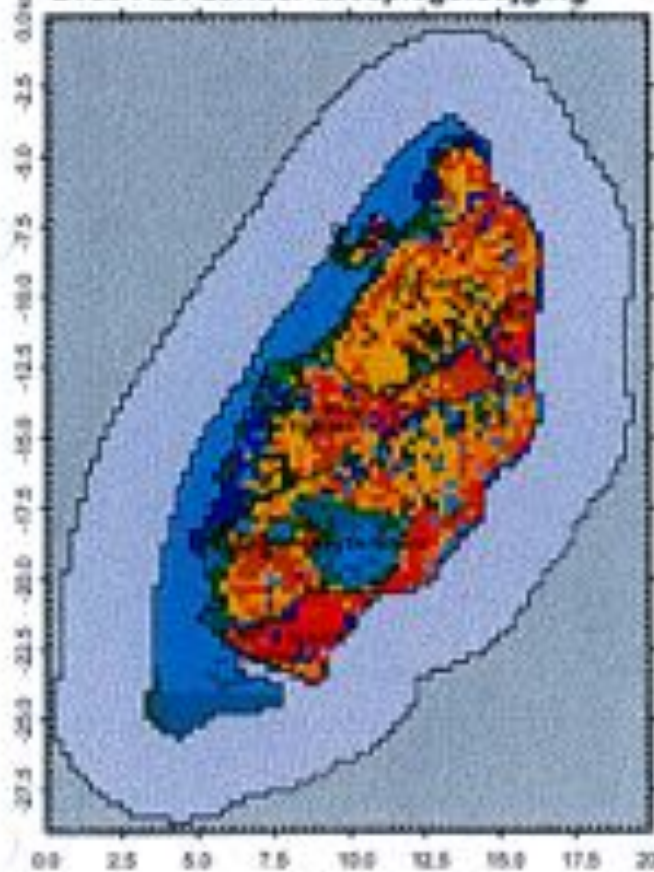
Witteveen Bos



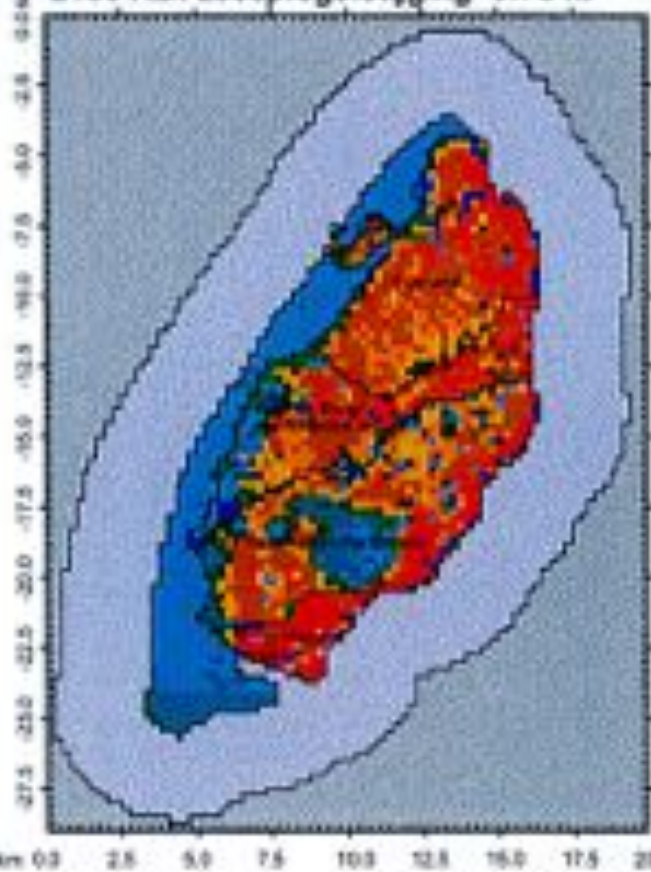
Interfacultair Centrum
Hydrologie Utrecht

Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

2100 AD: zonder zeespiegelstijging



2100 AD: zeespiegelstijging=0.75 m



Concentratie in mg Cl⁻/l in 2000 AD en 2100 AD

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

Dwarsprofiel Oost-West: over De Hooge Berg

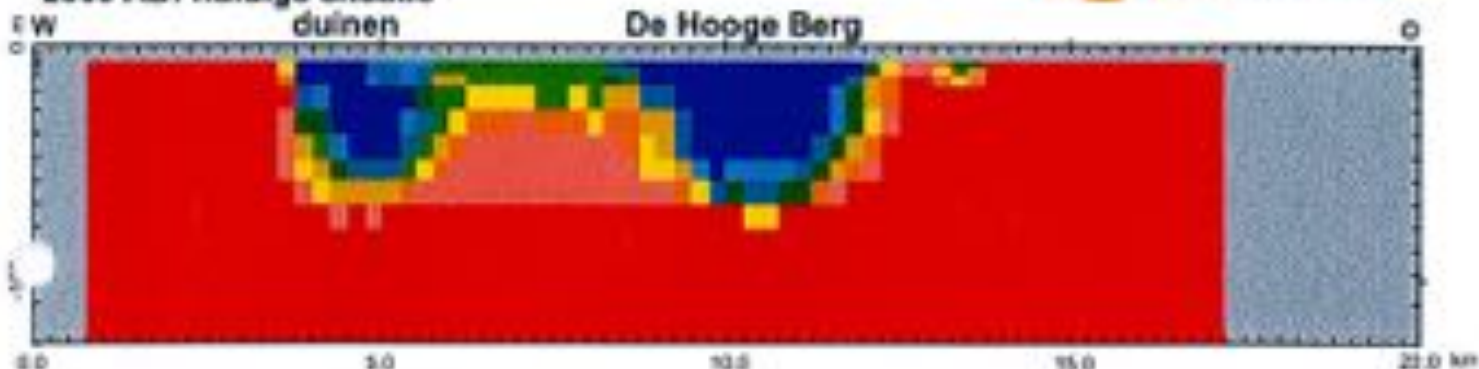
Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Witteveen Bos

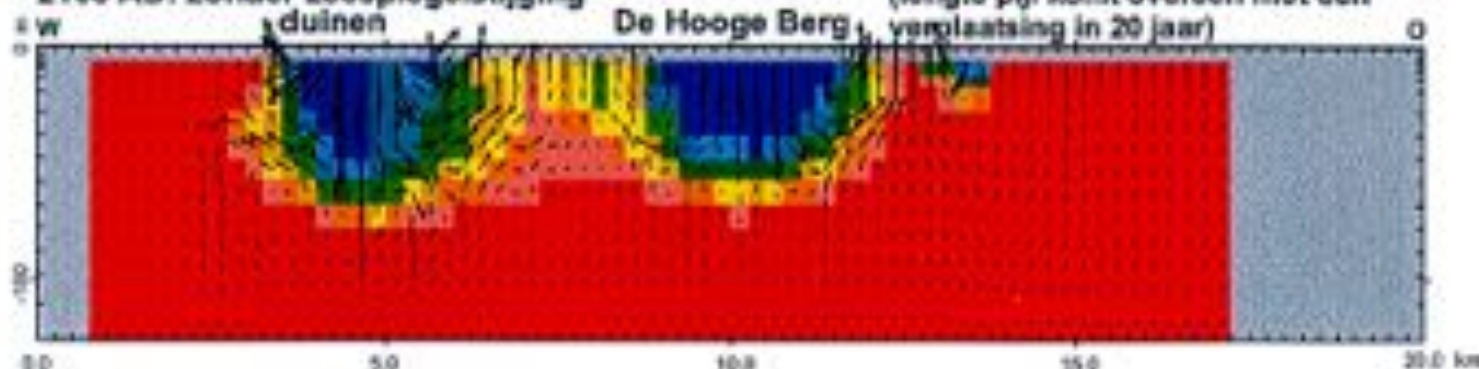


Interfacultair Centrum
Hydrologie Utrecht

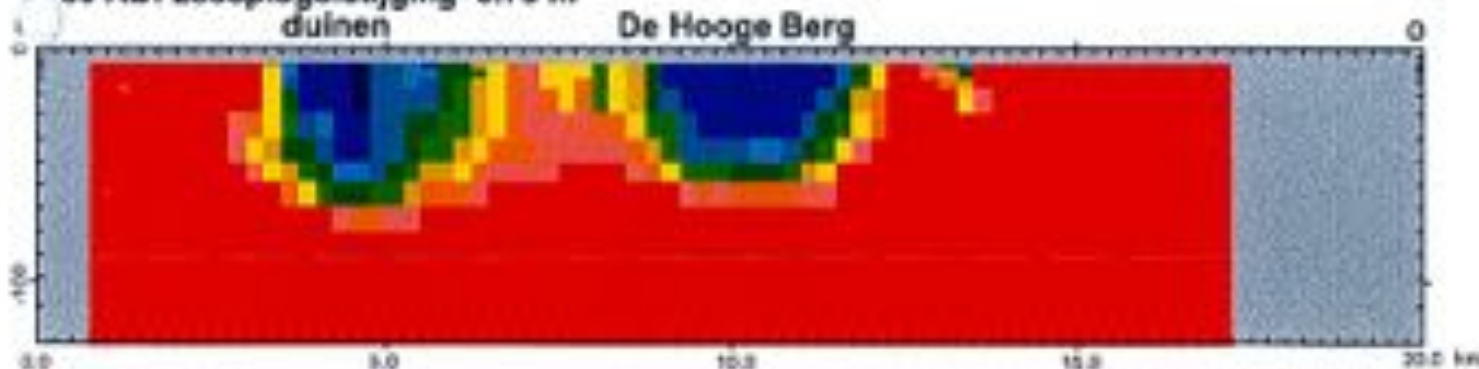
2000 AD: huidige situatie



2100 AD: zonder zeespiegelstijging



2100 AD: zeespiegelstijging=0.75 m



Concentratie [mg Cl⁻/l]



Concentratie in mg Cl⁻/l in 2000 AD en 2100 AD

Zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw

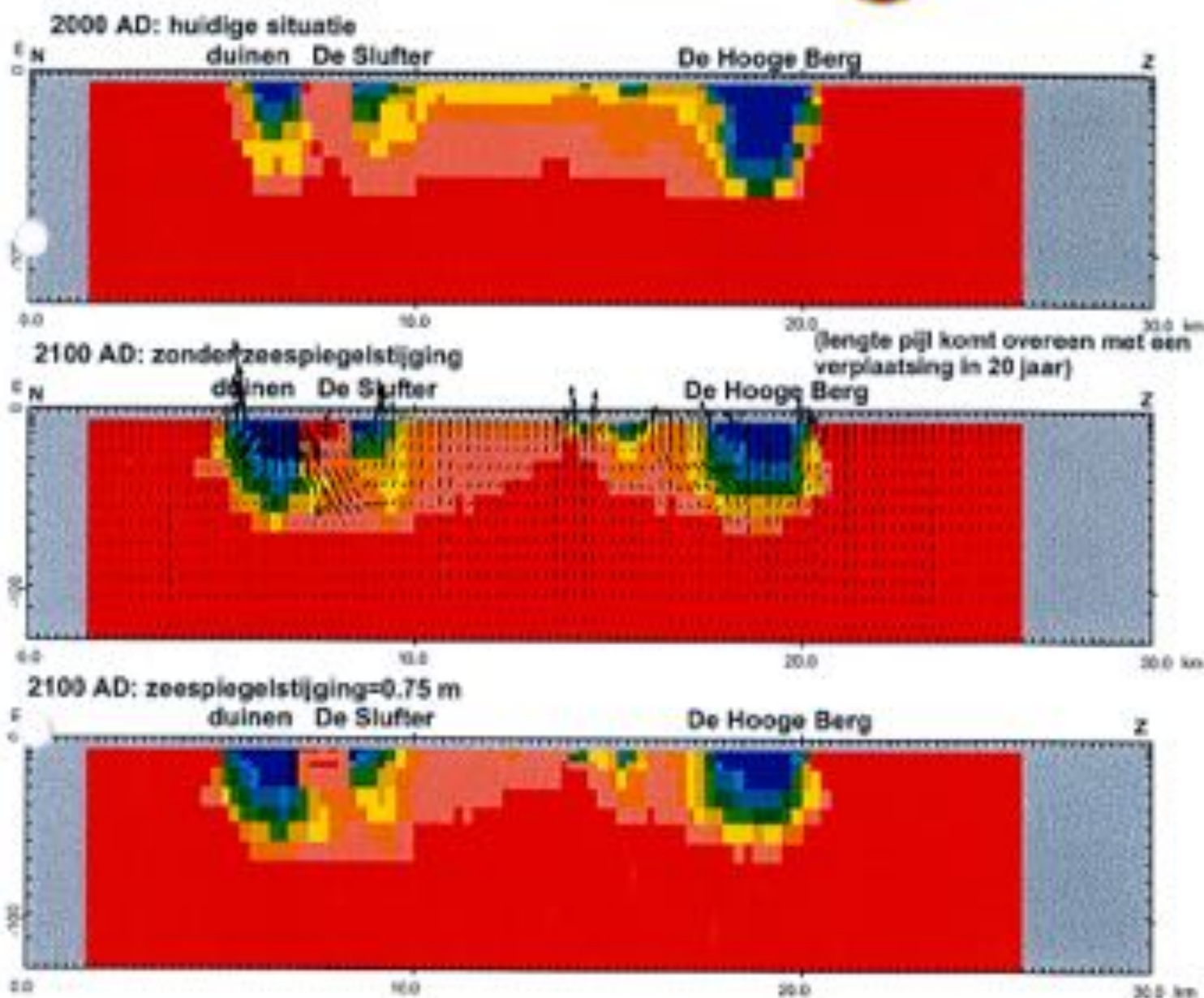
Dwarsprofiel Noord-Zuid

Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Witteveen **Bos**



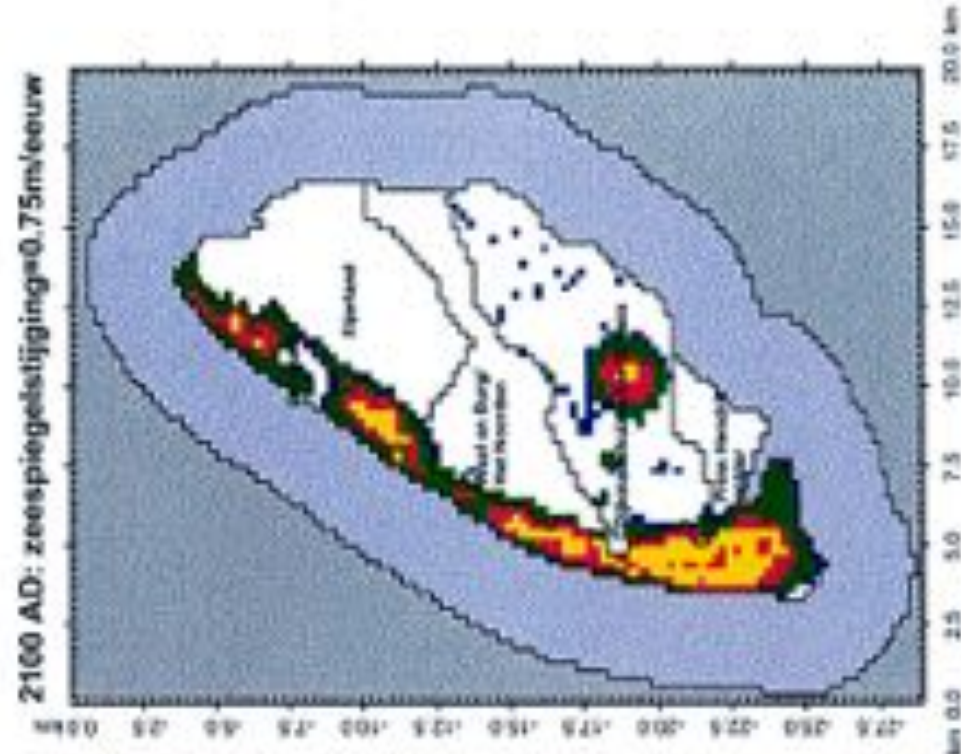
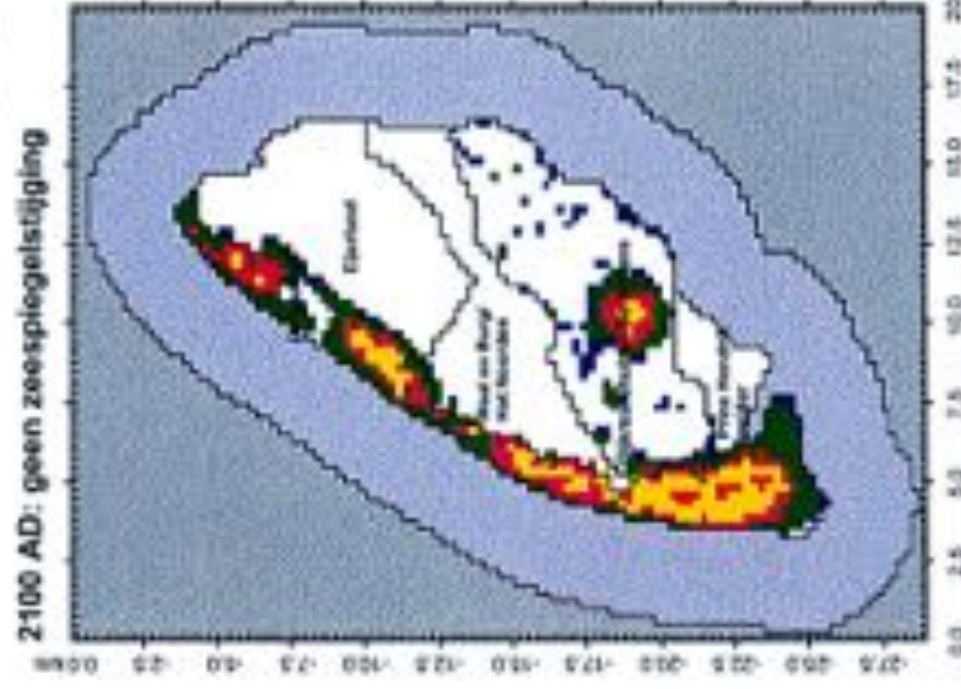
Interfacultair Centrum
Hydrologie Utrecht



Concentratie [mg Cl⁻/l]



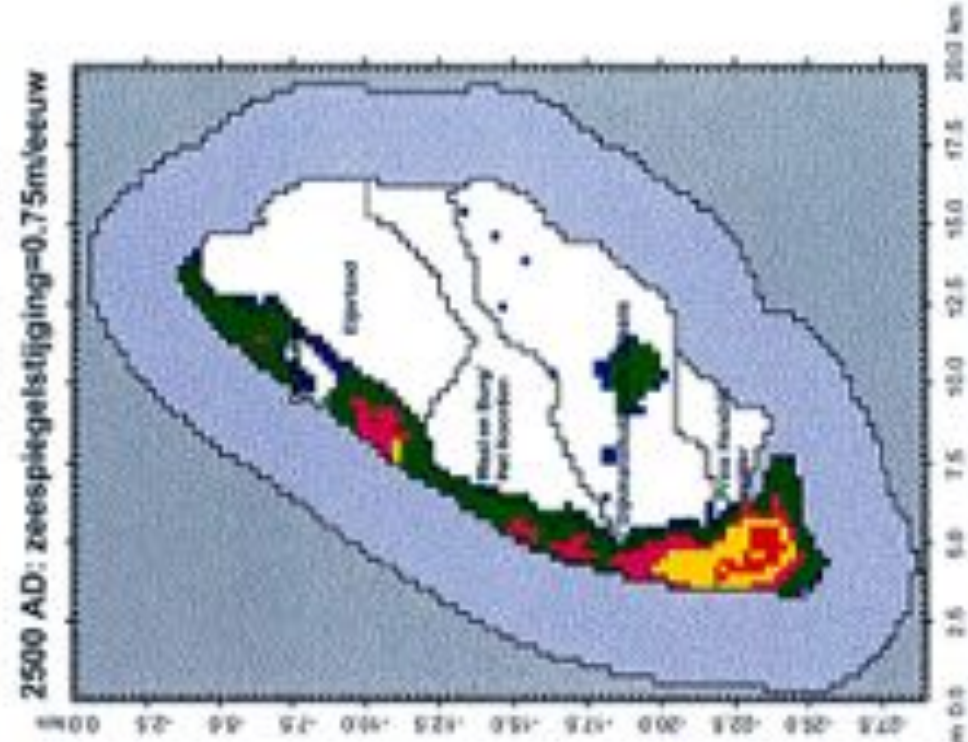
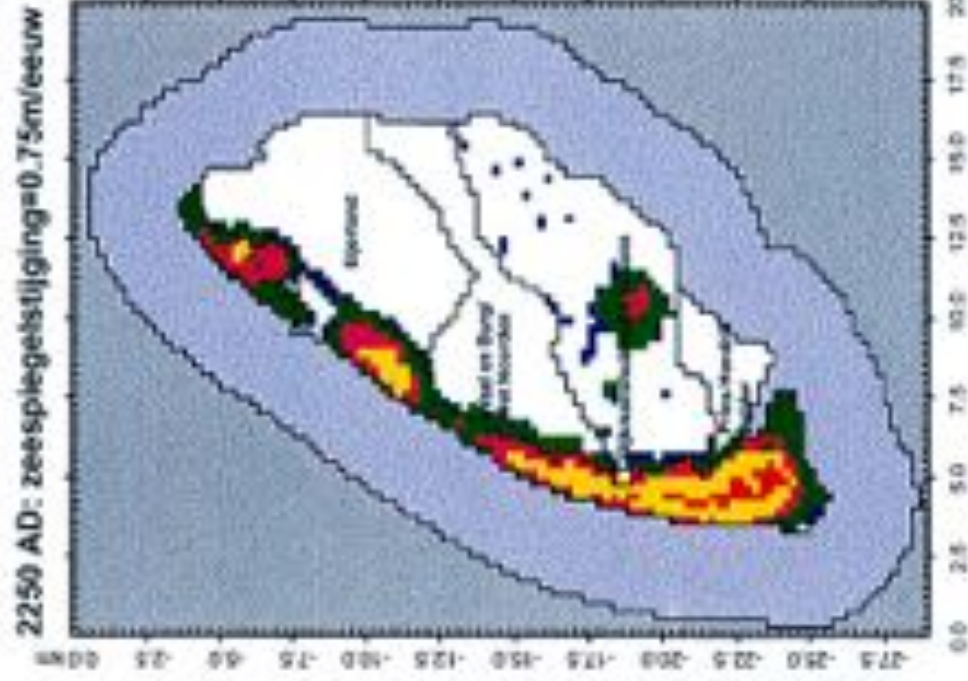
Diepte zoet-zout grensvlak (300 mg Cl/l) op 2100 AD met en zonder een zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw



Positie zoet-zout grensvlak (300 mg Cl/l):

- Diepte=0.75m
 - Diepte=9.5m
 - Diepte=27.0m
 - Diepte=37.0m
 - Diepte=47.0m
- Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

Diepte zoet-zout grensvlak (300 mg Cl⁻/l) op 2250 AD en 2500 AD met een zeespiegelstijging van 0.75 m per eeuw



Scenario 2 Verandering freatische grondwaterstanden

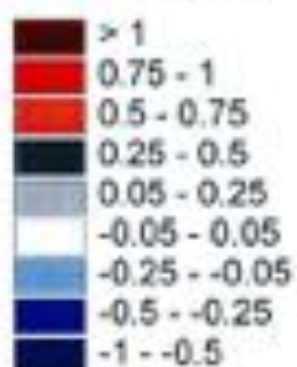
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Scenario 2

Verandering kwel

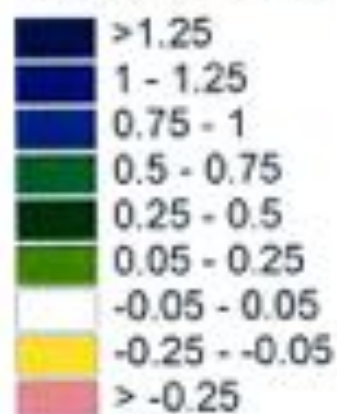
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: afname kwel
negatief: toename kwel



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Teesl
projectcode: Burg4 1

Witteveen + Bos

Scenario 2 Verandering infiltratie

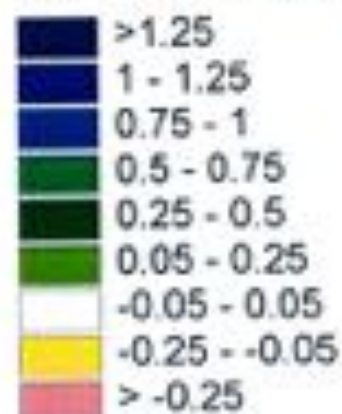
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: toename infiltratie
negatief: afname infiltratie



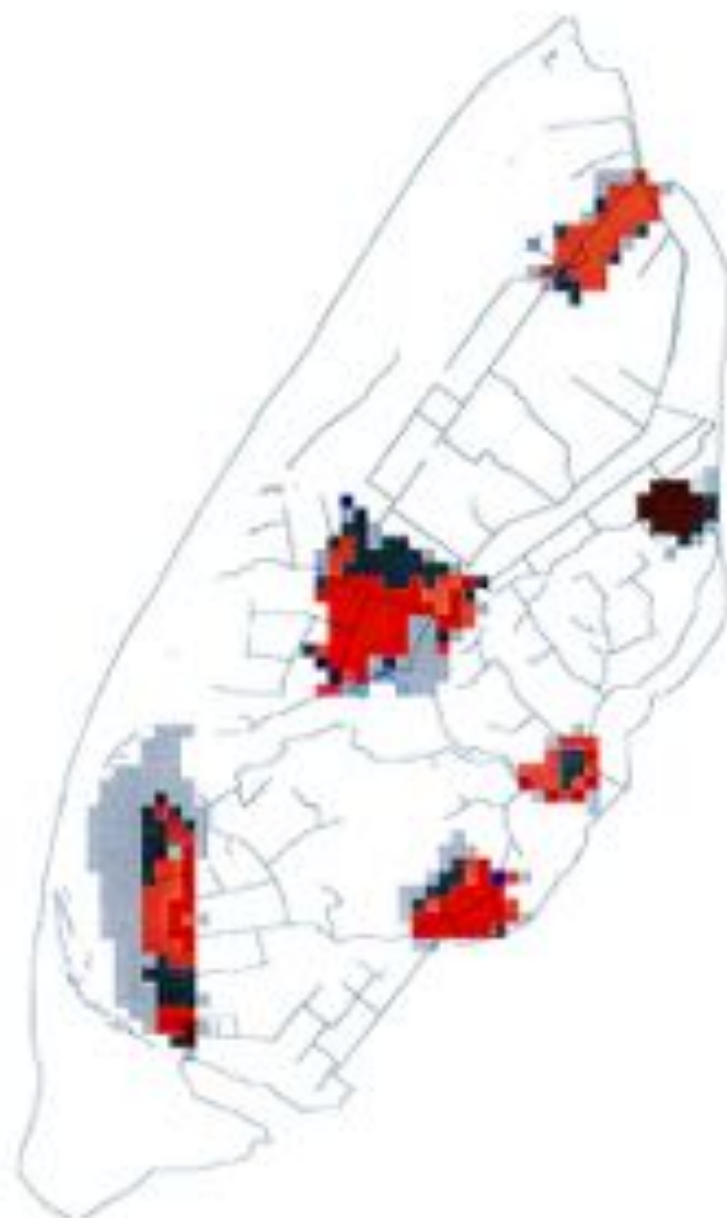
0 1 2 3 4 5 6 Kilometers


opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg1 1

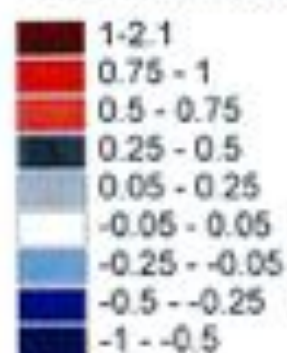
Witteveen + Bos

Scenario 3

Verandering freatische grondwaterstanden
(gemiddelde situatie, april 1994)



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

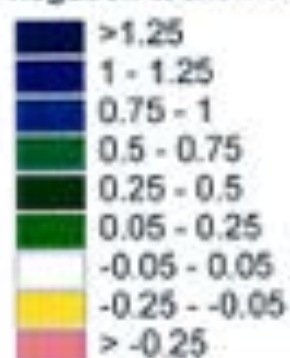
Witteveen + Bos

Scenario 3

Verandering in kwel (gemiddelde situatie, april 1994)



verschil in mm/dag
positief: afname kwel
negatief: toename kwel



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

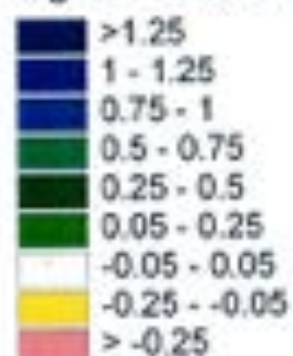
Witteveen  **Bos**

Scenario 3

Verandering infiltratie (gemiddelde situatie, april 1994)



verschil in mm/dag
positief: toename infiltratie
negatief: afname infiltratie

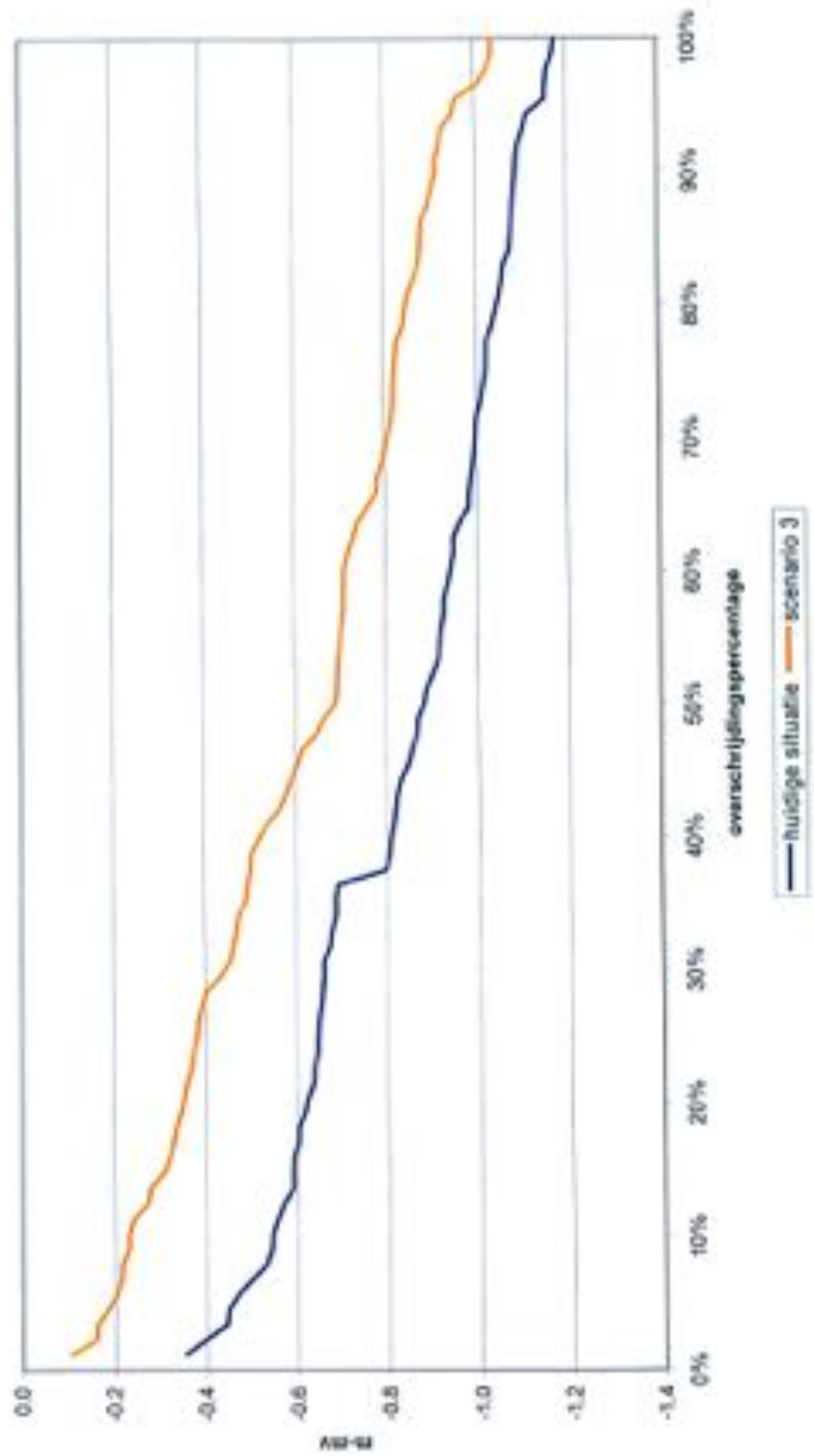


0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

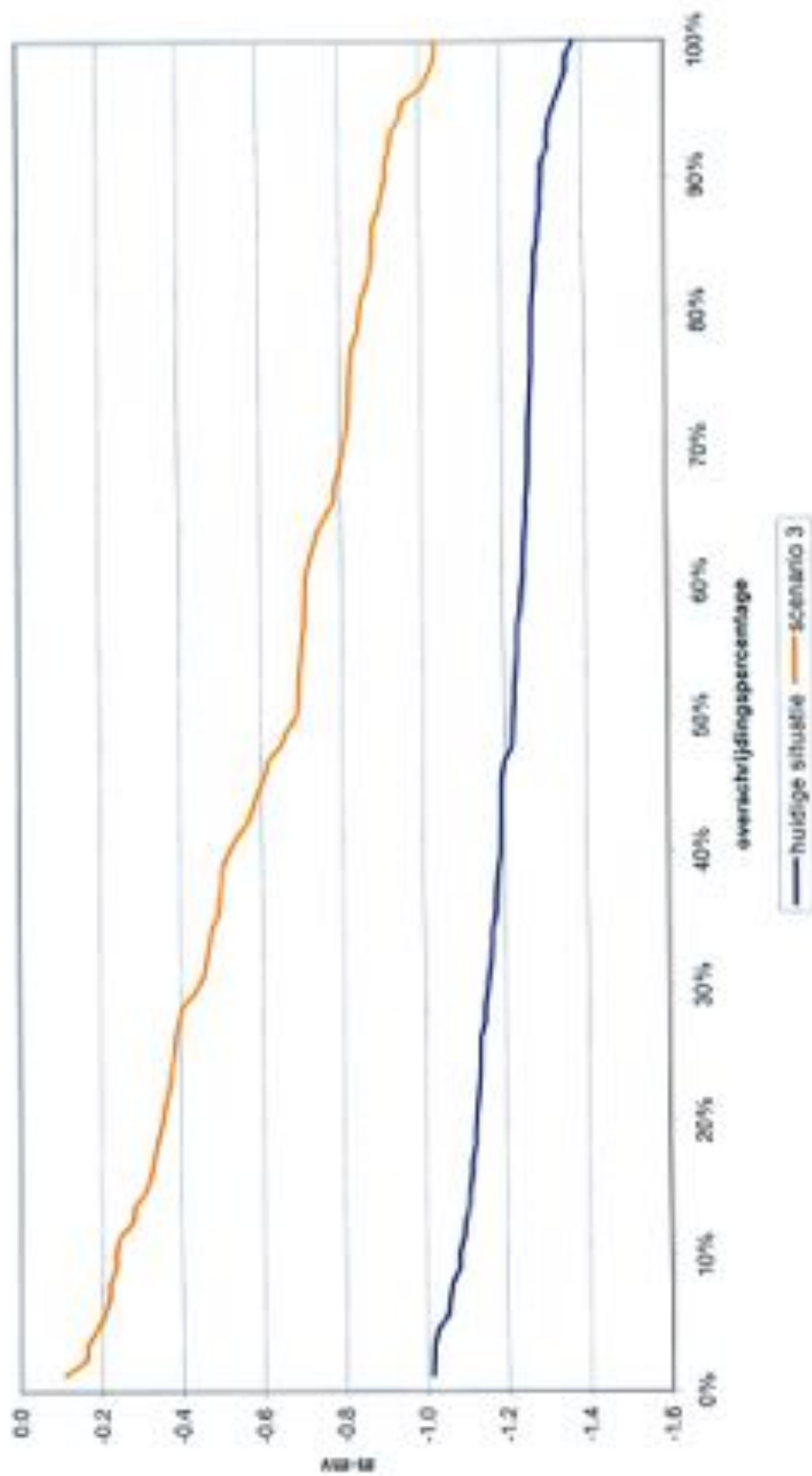
opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: groot geohydrologisch onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

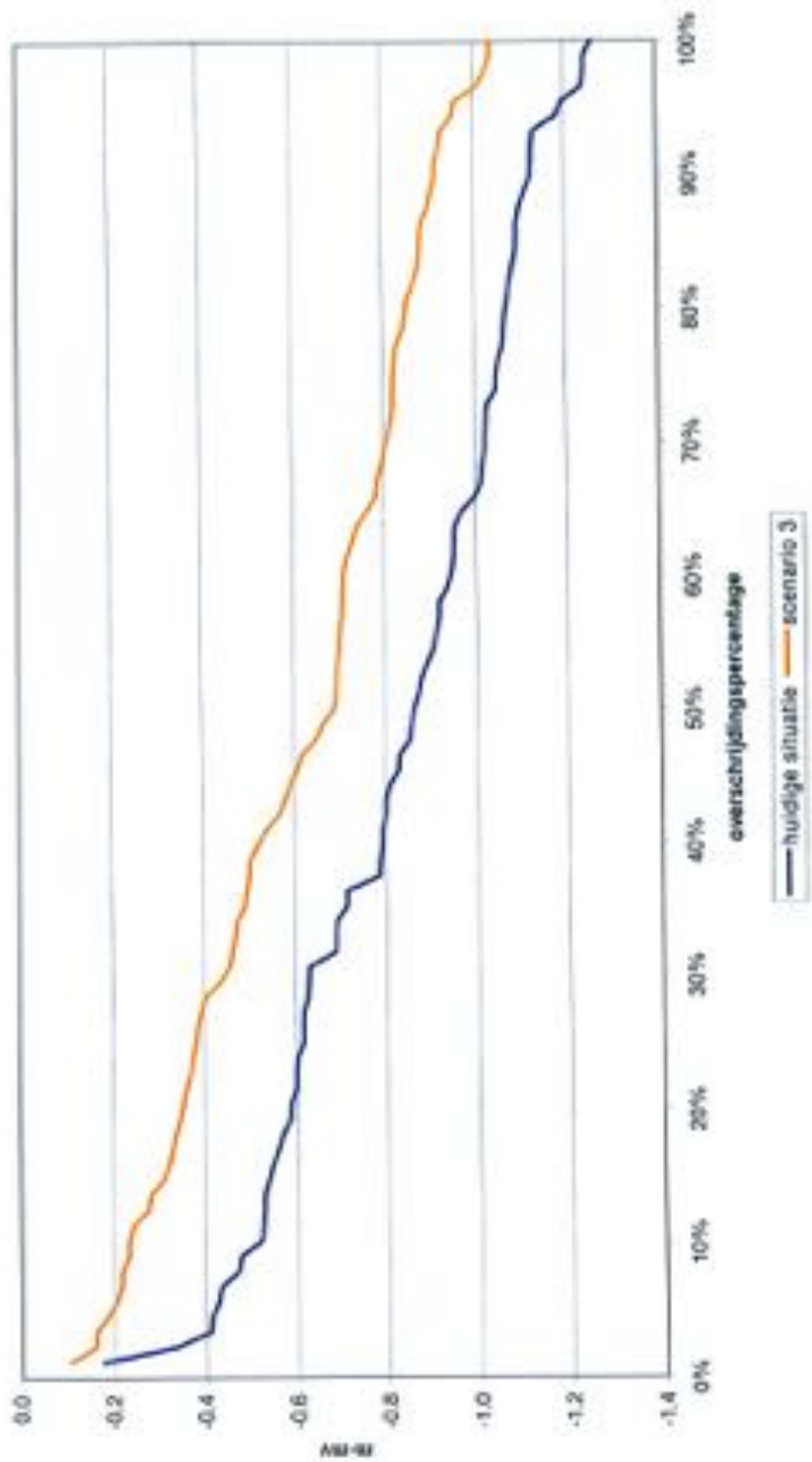
duurlijn 09E P0017 01 (Roggesloot)



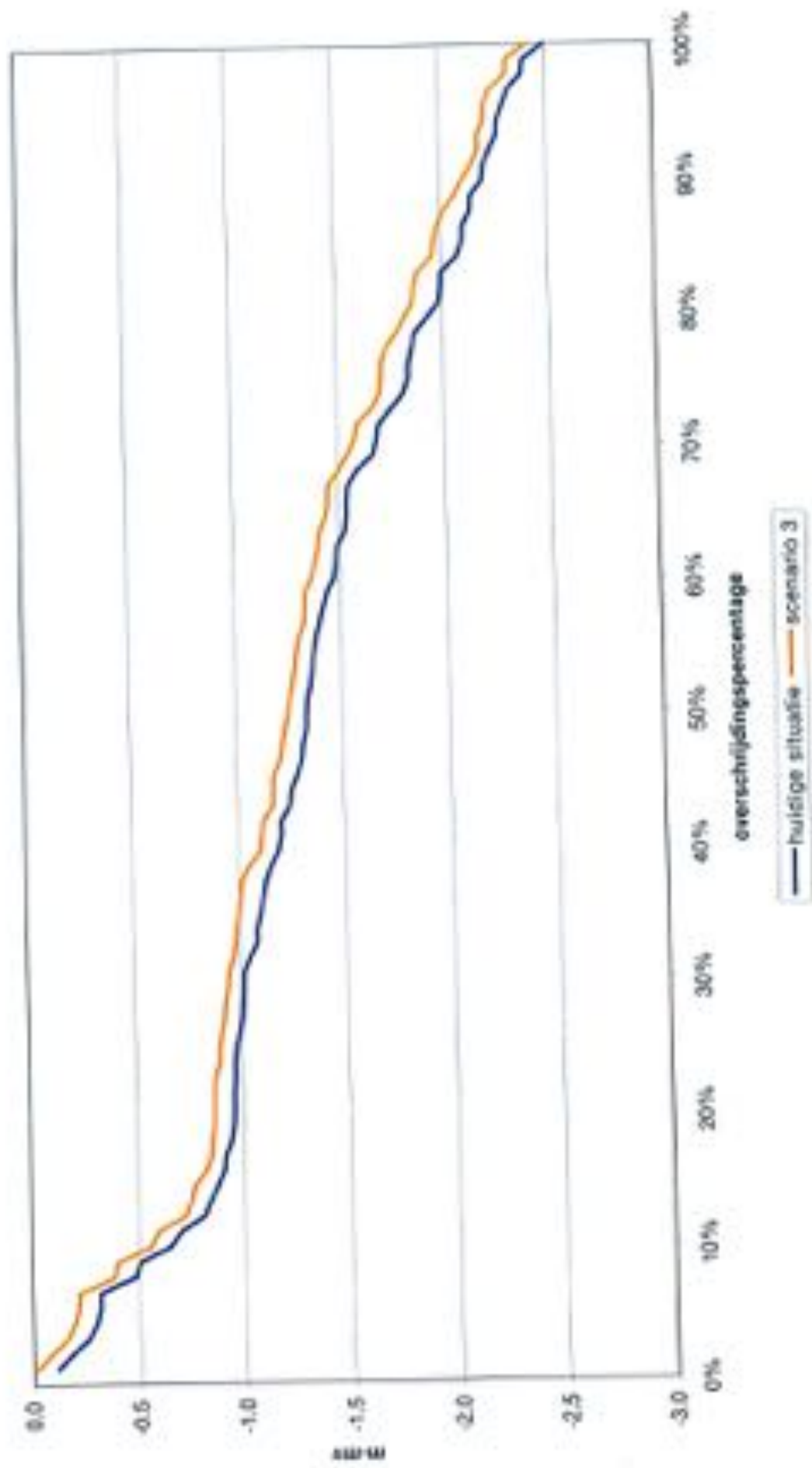
duurlijn 09B P0049 01 (Waal en Burg)



duurlijn 09B P0053 01 (Dijkmanshuizen)



duurlijn 09D P0265 01 (Duinen)



Scenario 4

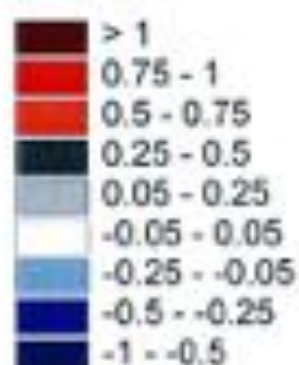
Verandering freatische grondwaterstanden

situatie natte winter

situatie droge zomer



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

Scenario 4

Verandering kwel

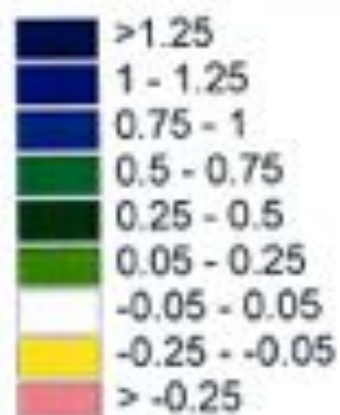
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: afname kwel
negatief: toename kwel



0 1 2 3 4 5 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

Scenario 4

Verandering infiltratie

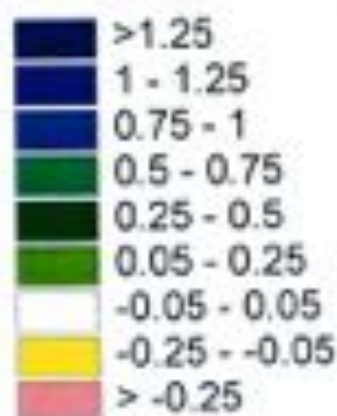
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: toename infiltratie
negatief: afname infiltratie



0 1 2 3 4 5 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

BIJLAGE XXVII
Resultaten scenario 5

Scenario 5

Verandering freatische grondwaterstanden

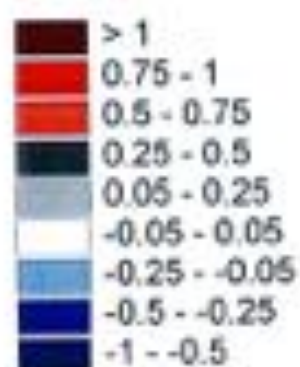
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in meters



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen  **Bos**

Scenario 5 Verandering kwel

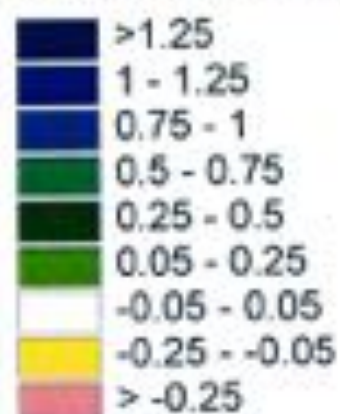
situatie natte winter



situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: afname kwel
negatief: toename kwel



0 1 2 3 4 5 6 Kilometers

opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

Scenario 5

Verandering infiltratie

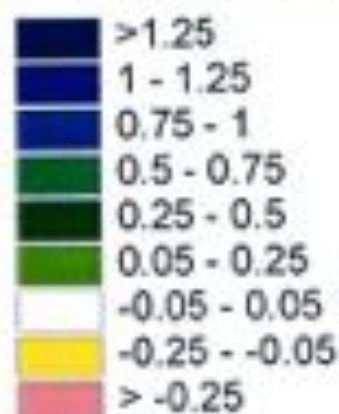
situatie natte winter




situatie droge zomer



verschil in mm/dag
positief: toename infiltratie
negatief: afname infiltratie



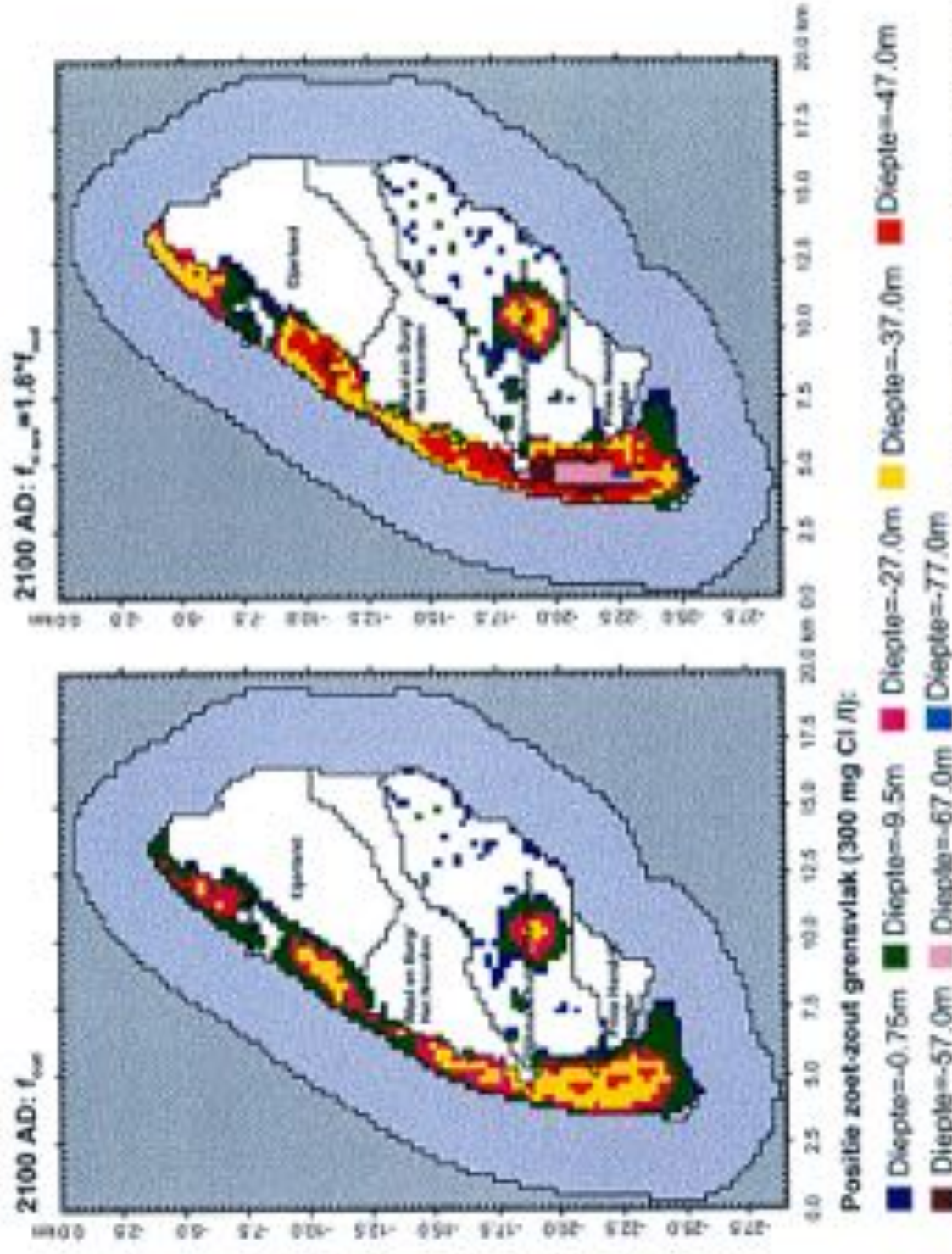
0 1 2 3 4 5 6 Kilometers



opdrachtgever: Provincie Noord-Holland en anderen
projectnaam: Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel
projectcode: Burg4.1

Witteveen + Bos

**Diepte zoet-zout grensvlak (300 mg Cl/l) op 2100 AD
toename natuurlijke grondwateraanvulling: $f_{nieuw} = 1.8 * f_{oud}$**

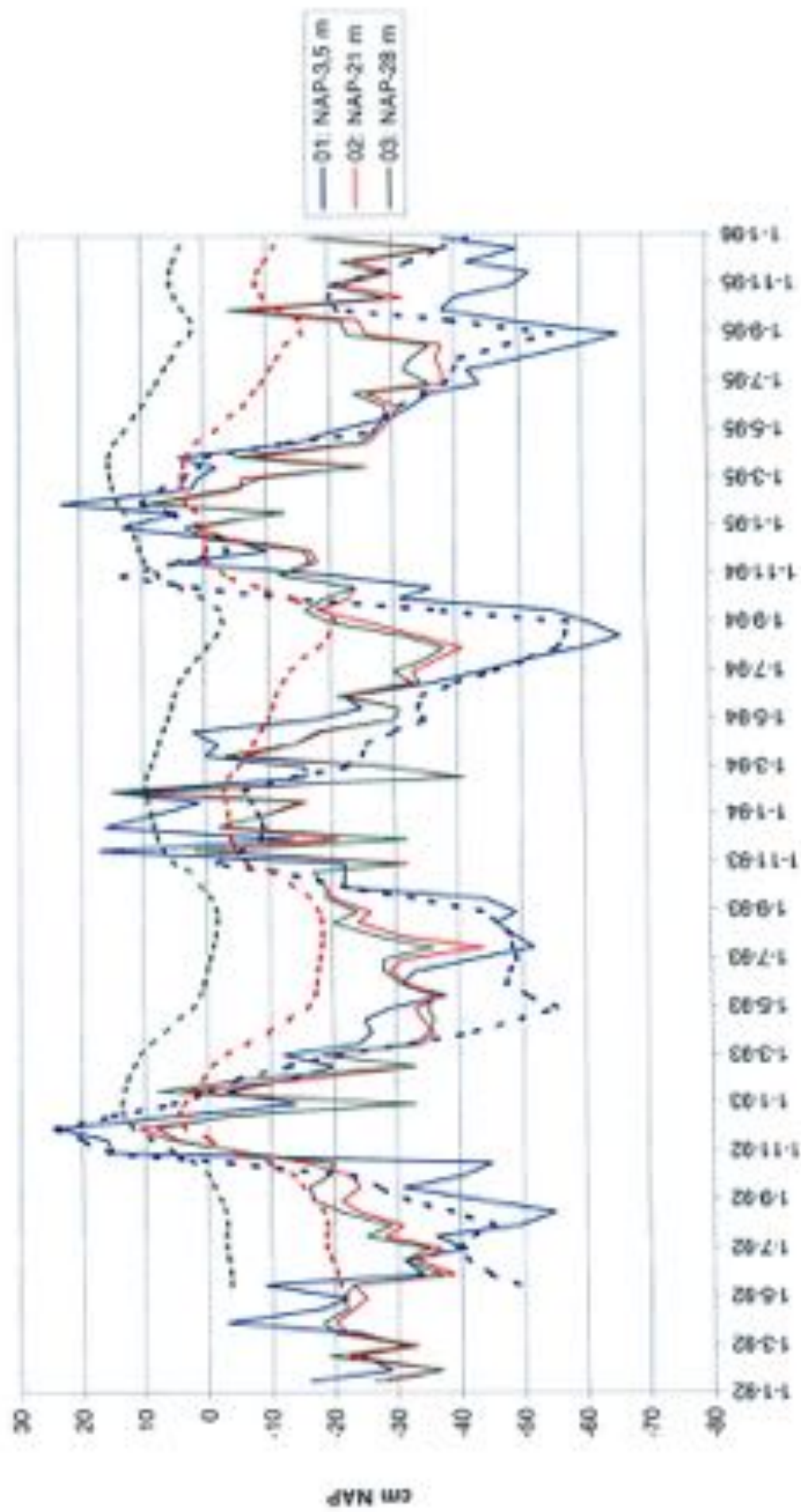


Groot Geohydrologisch Onderzoek Texel

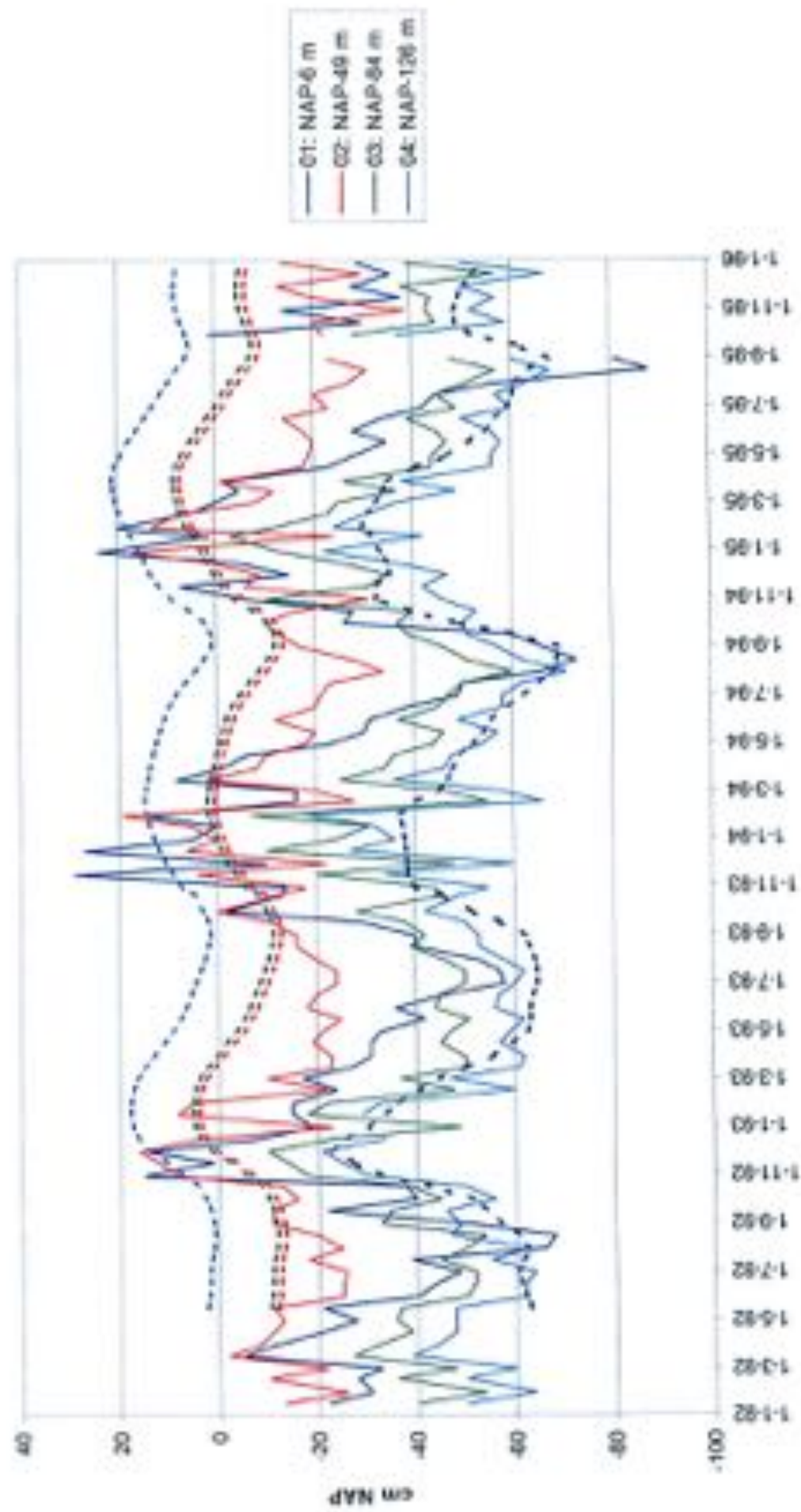
STATISTISKE TALL FOR 2019

| Land | Region | Bygd | Antall | Antall | Antall | Antall | Antall |
|------|--------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NO | NO | NO | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| NO | NO | NO | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| NO | NO | NO | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| NO | NO | NO | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| NO | NO | NO | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| NO | NO | NO | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| NO | NO | NO | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| NO | NO | NO | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| NO | NO | NO | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| NO | NO | NO | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| NO | NO | NO | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| NO | NO | NO | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| NO | NO | NO | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| NO | NO | NO | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| NO | NO | NO | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| NO | NO | NO | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| NO | NO | NO | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| NO | NO | NO | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| NO | NO | NO | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| NO | NO | NO | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| NO | NO | NO | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| NO | NO | NO | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| NO | NO | NO | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| NO | NO | NO | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| NO | NO | NO | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| NO | NO | NO | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| NO | NO | NO | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| NO | NO | NO | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| NO | NO | NO | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| NO | NO | NO | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| NO | NO | NO | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| NO | NO | NO | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| NO | NO | NO | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| NO | NO | NO | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| NO | NO | NO | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| NO | NO | NO | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| NO | NO | NO | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| NO | NO | NO | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| NO | NO | NO | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| NO | NO | NO | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| NO | NO | NO | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| NO | NO | NO | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| NO | NO | NO | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| NO | NO | NO | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| NO | NO | NO | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| NO | NO | NO | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| NO | NO | NO | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| NO | NO | NO | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| NO | NO | NO | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| NO | NO | NO | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| NO | NO | NO | 51 | 51 | 51 | 51 | 51 |
| NO | NO | NO | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 |
| NO | NO | NO | 53 | 53 | 53 | 53 | 53 |
| NO | NO | NO | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| NO | NO | NO | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 |
| NO | NO | NO | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |
| NO | NO | NO | 57 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| NO | NO | NO | 58 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| NO | NO | NO | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| NO | NO | NO | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| NO | NO | NO | 61 | 61 | 61 | 61 | 61 |
| NO | NO | NO | 62 | 62 | 62 | 62 | 62 |
| NO | NO | NO | 63 | 63 | 63 | 63 | 63 |
| NO | NO | NO | 64 | 64 | 64 | 64 | 64 |
| NO | NO | NO | 65 | 65 | 65 | 65 | 65 |
| NO | NO | NO | 66 | 66 | 66 | 66 | 66 |
| NO | NO | NO | 67 | 67 | 67 | 67 | 67 |
| NO | NO | NO | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 |
| NO | NO | NO | 69 | 69 | 69 | 69 | 69 |
| NO | NO | NO | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| NO | NO | NO | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 |
| NO | NO | NO | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| NO | NO | NO | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 |
| NO | NO | NO | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 |
| NO | NO | NO | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| NO | NO | NO | 76 | 76 | 76 | 76 | 76 |
| NO | NO | NO | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 |
| NO | NO | NO | 78 | 78 | 78 | 78 | 78 |
| NO | NO | NO | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 |
| NO | NO | NO | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| NO | NO | NO | 81 | 81 | 81 | 81 | 81 |
| NO | NO | NO | 82 | 82 | 82 | 82 | 82 |
| NO | NO | NO | 83 | 83 | 83 | 83 | 83 |
| NO | NO | NO | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 |
| NO | NO | NO | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 |
| NO | NO | NO | 86 | 86 | 86 | 86 | 86 |
| NO | NO | NO | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 |
| NO | NO | NO | 88 | 88 | 88 | 88 | 88 |
| NO | NO | NO | 89 | 89 | 89 | 89 | 89 |
| NO | NO | NO | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| NO | NO | NO | 91 | 91 | 91 | 91 | 91 |
| NO | NO | NO | 92 | 92 | 92 | 92 | 92 |
| NO | NO | NO | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 |
| NO | NO | NO | 94 | 94 | 94 | 94 | 94 |
| NO | NO | NO | 95 | 95 | 95 | 95 | 95 |
| NO | NO | NO | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| NO | NO | NO | 97 | 97 | 97 | 97 | 97 |
| NO | NO | NO | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| NO | NO | NO | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 |
| NO | NO | NO | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

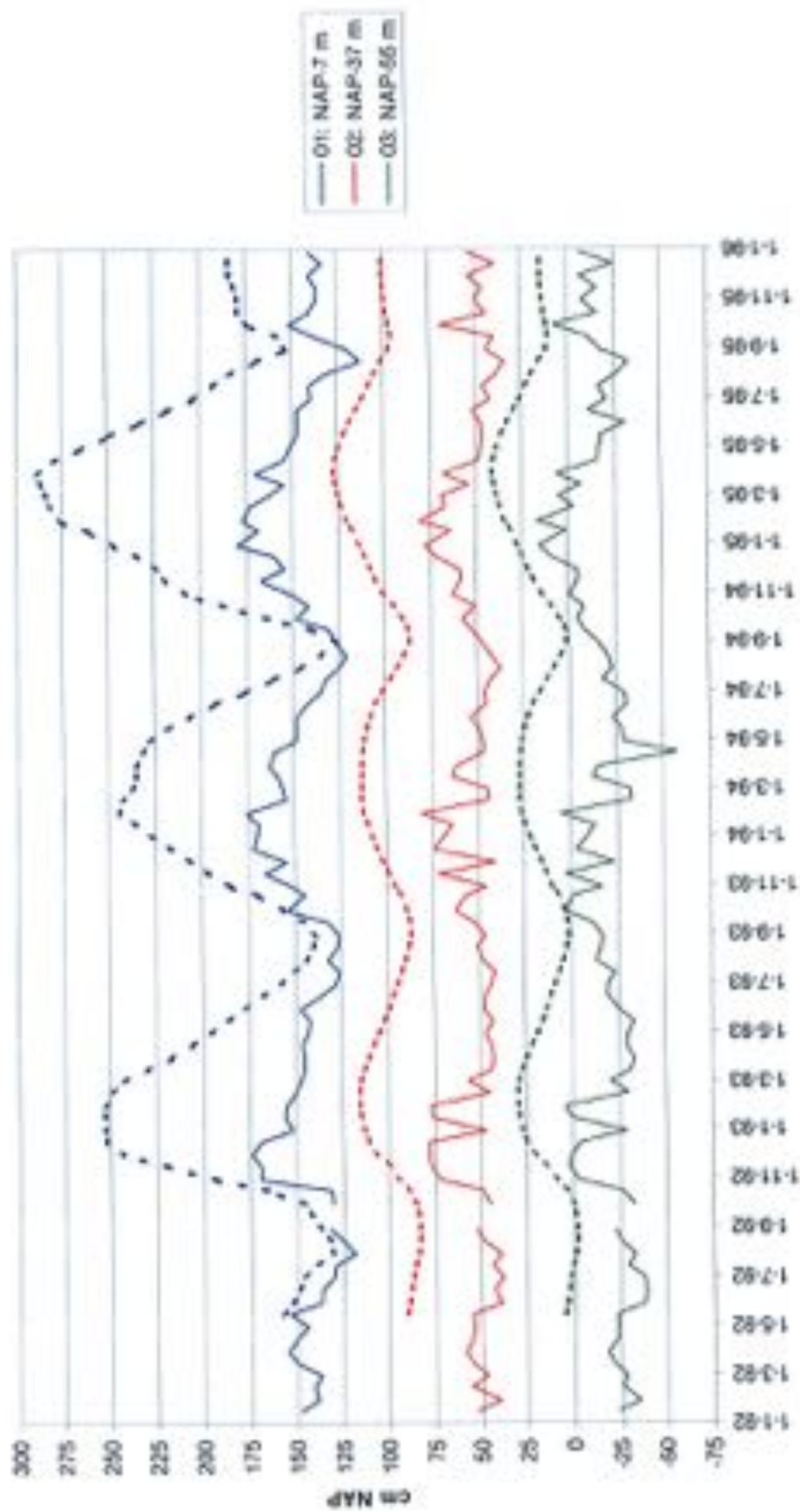
09E P0017 (ongecorrigeerd)



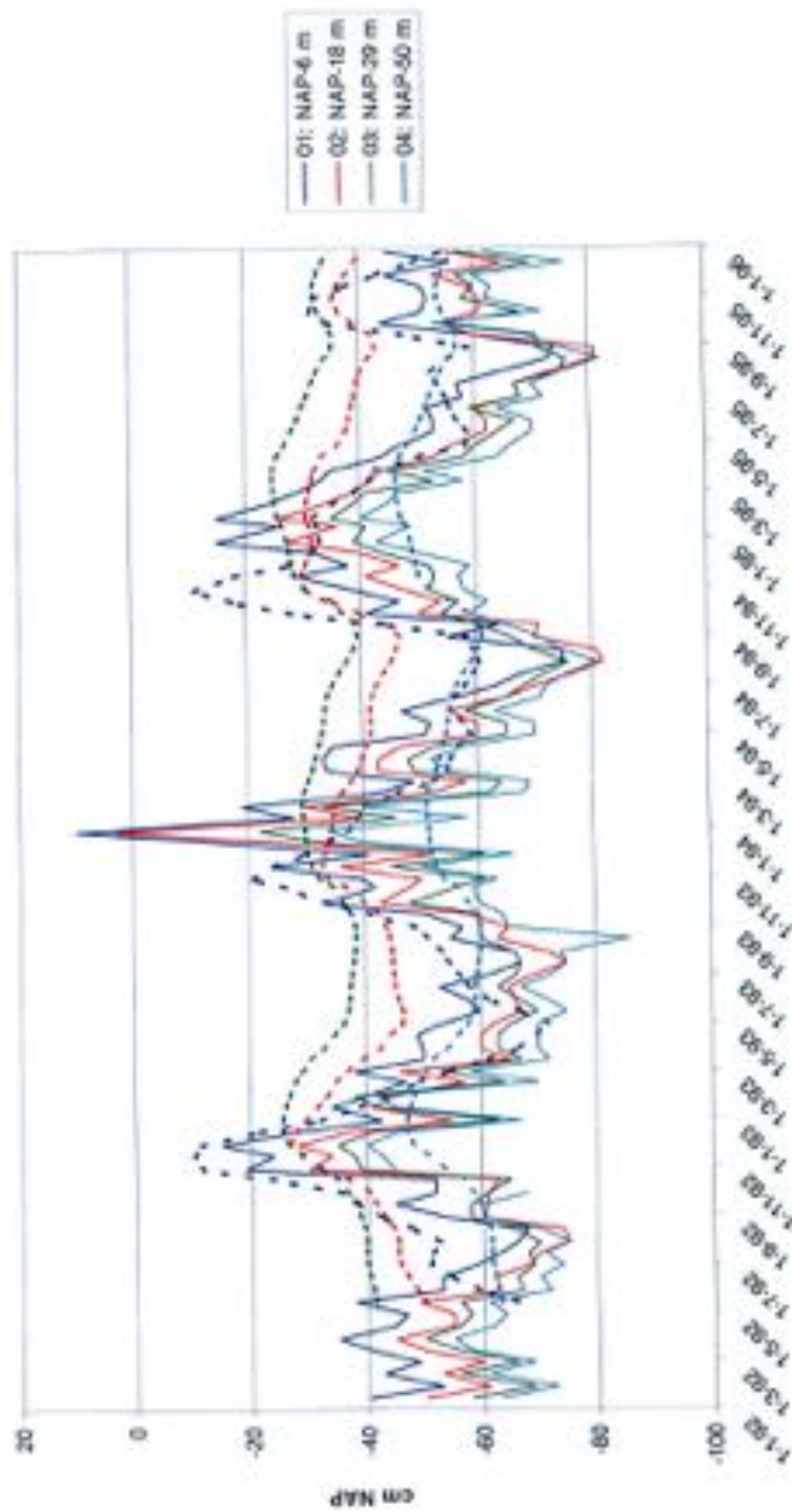
09B P0040 (ongecorrigeerd)



09B P0041 (ongecorrigeerd)

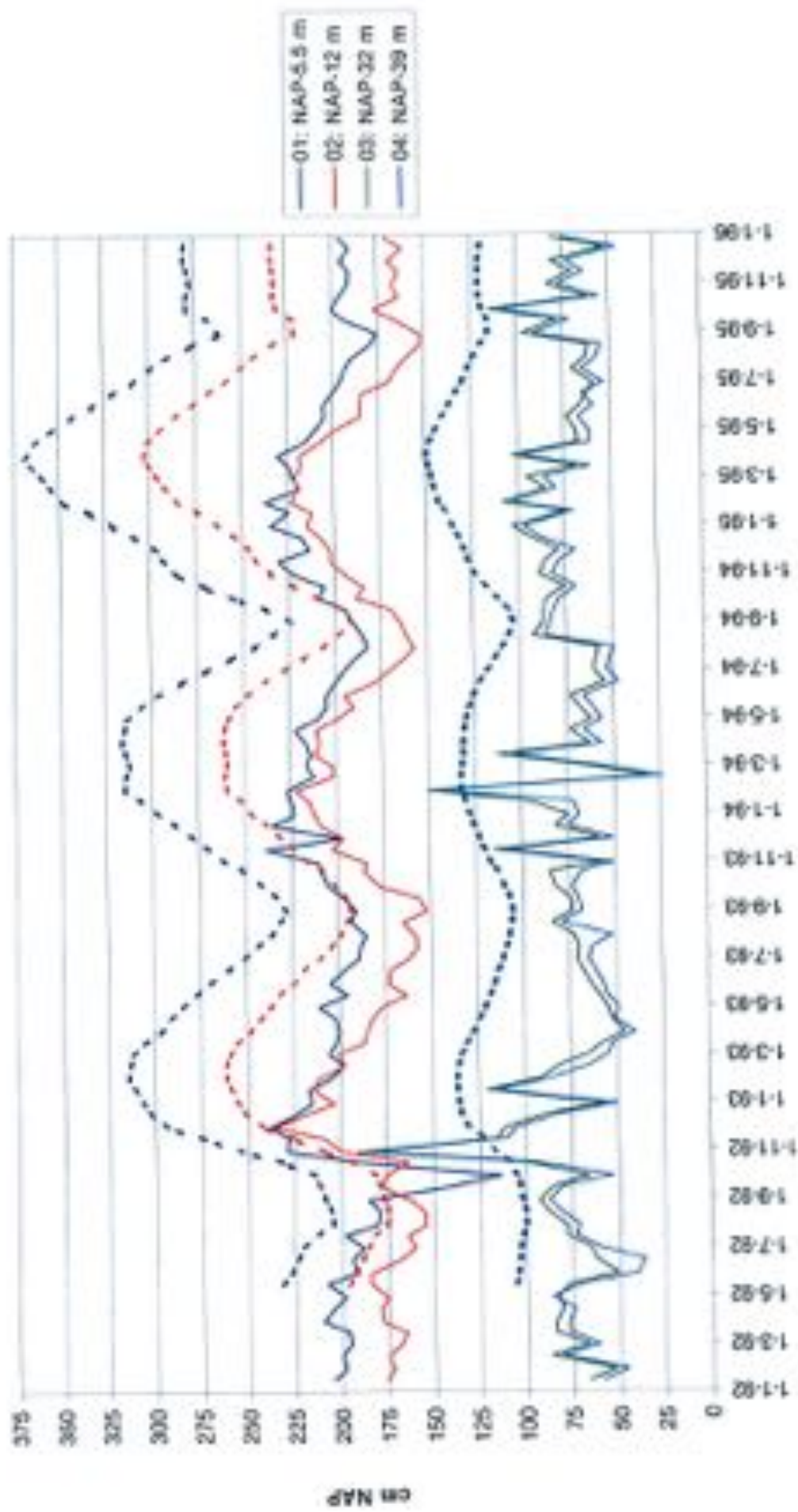


09B P0045 (ongecorrigeerd)



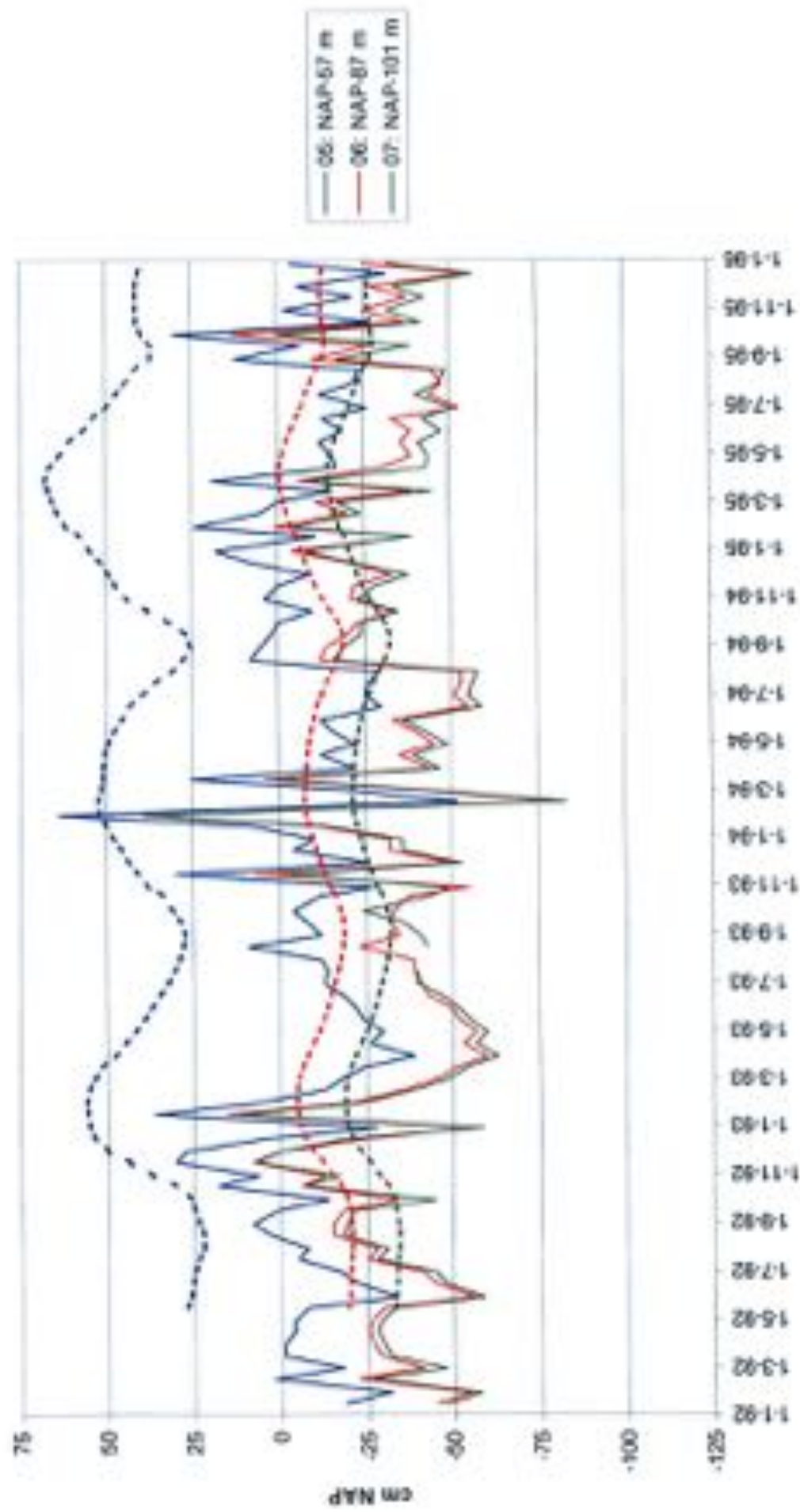
stoppelij = berekende stijghoogte

09B P0046 (ongecorrigeerd)

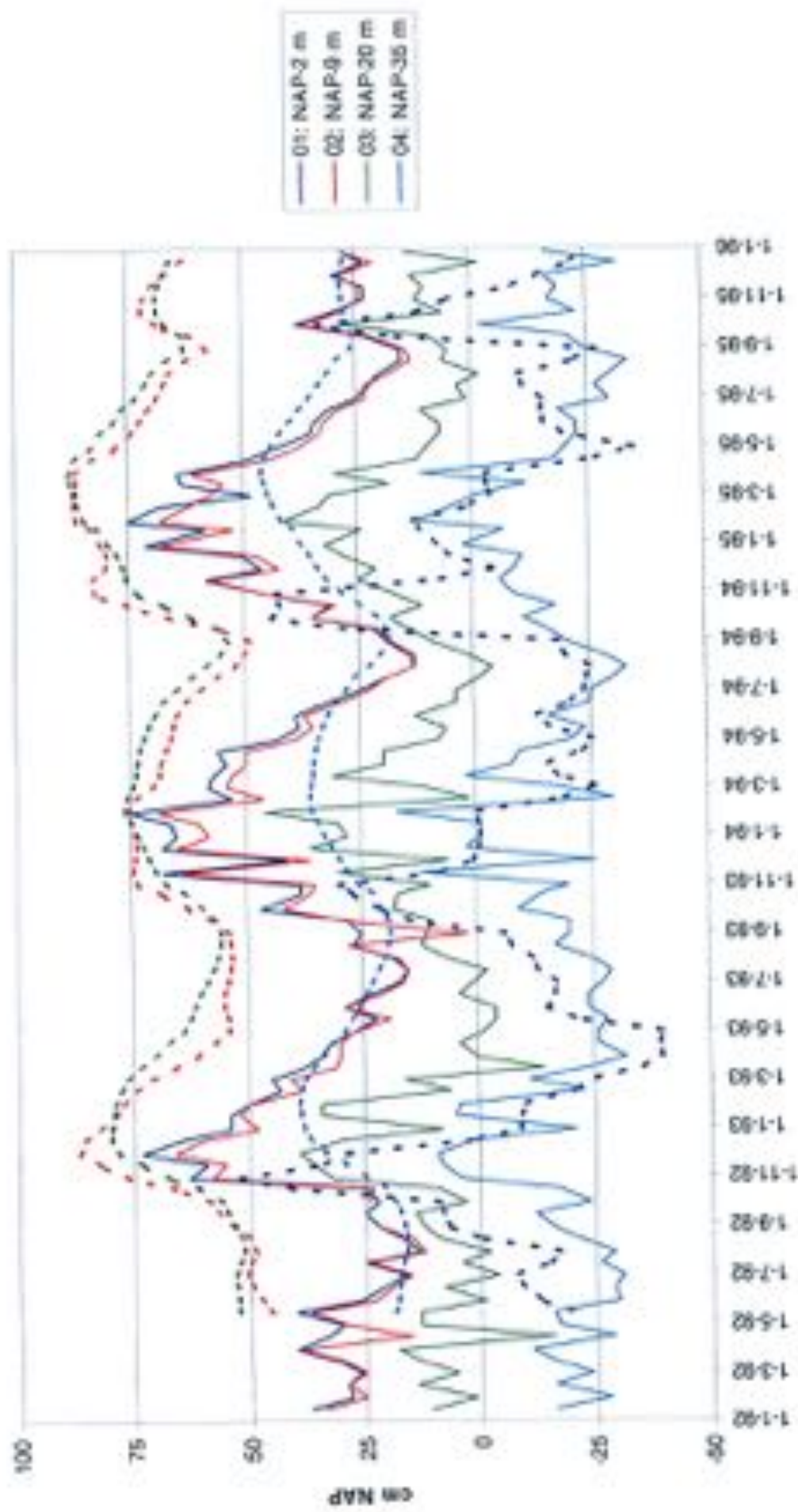


stippelij = berekende stijghoogte

09B P0046 (ongecorrigeerd)



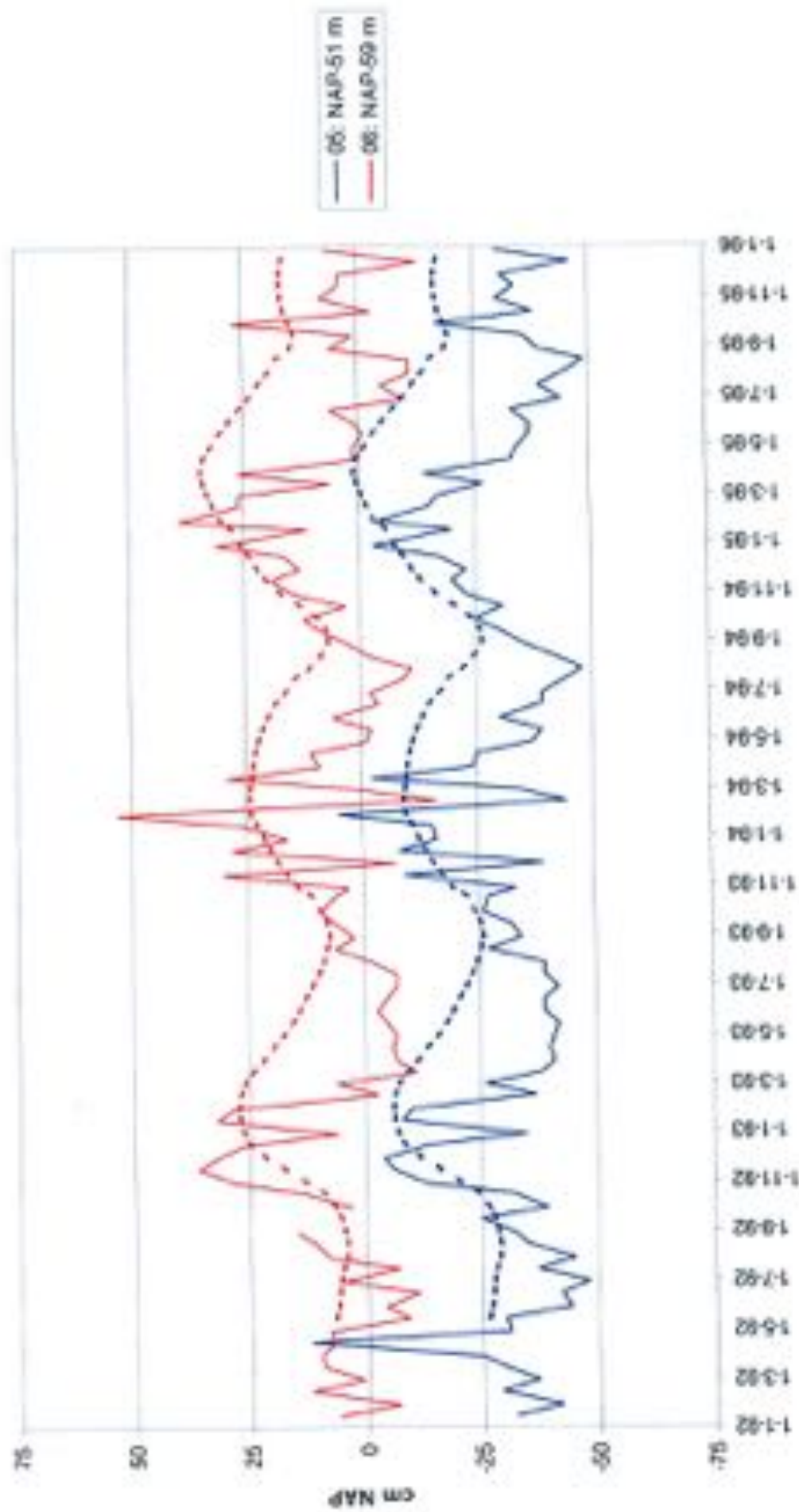
09B P0047 (ongecorrigeerd)



stippelijntje = berekende stijghoogte

Witteveen+Bos

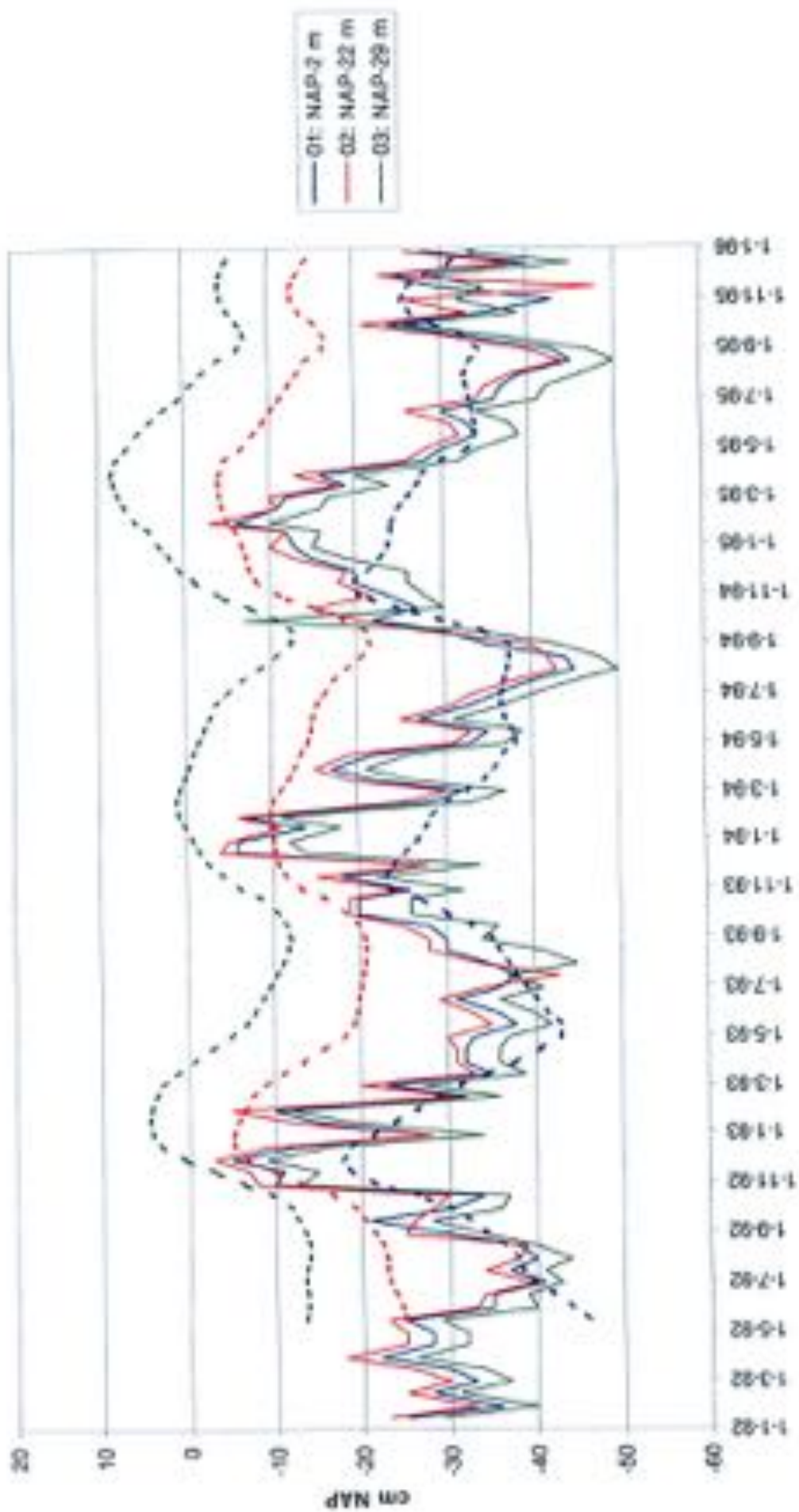
09B P0047 (ongecorrigeerd)



Witteveen+Bos

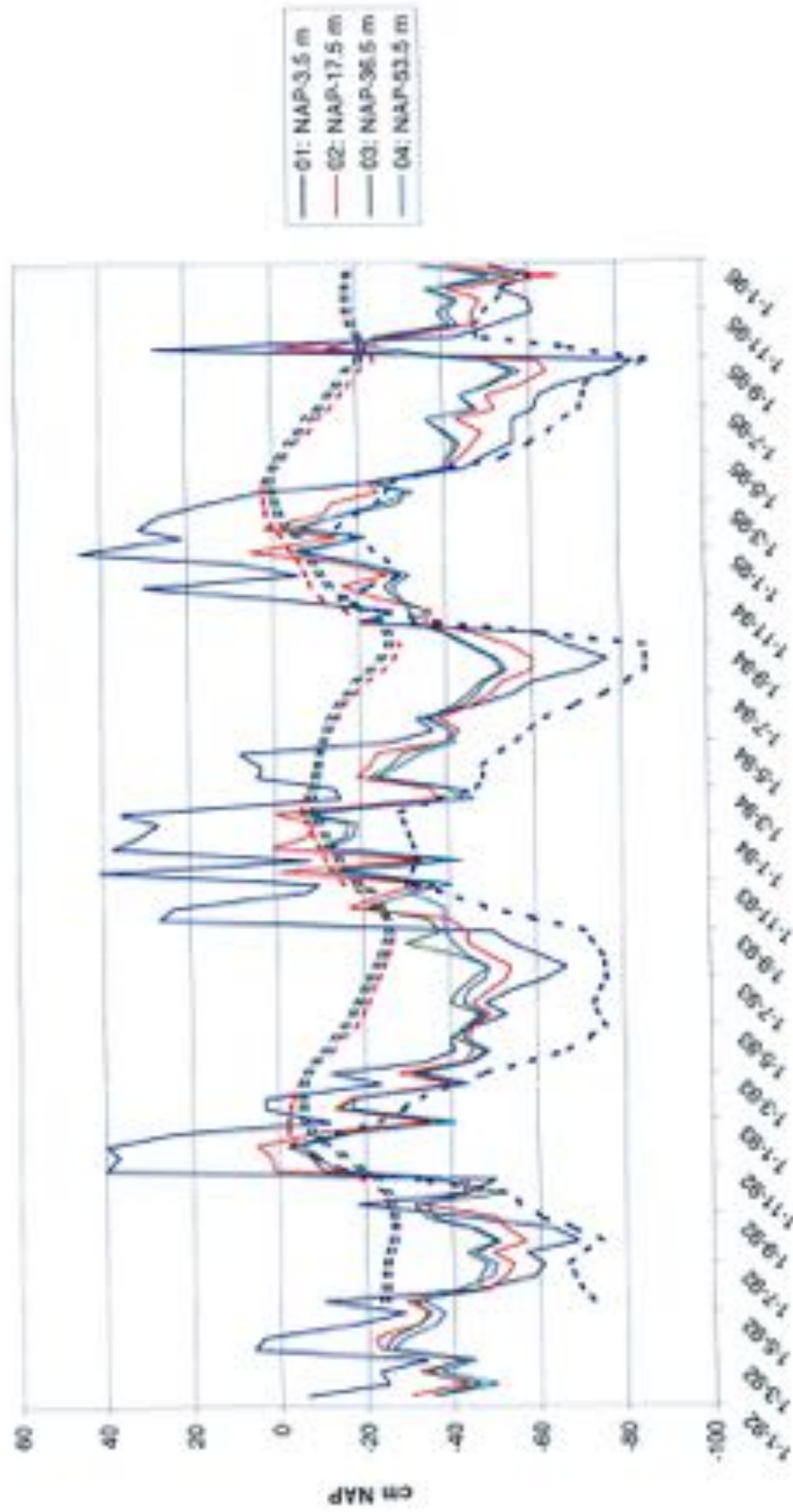
stippellijn = berekende stijghoogte

09B P0050 (ongecorrigeerd)

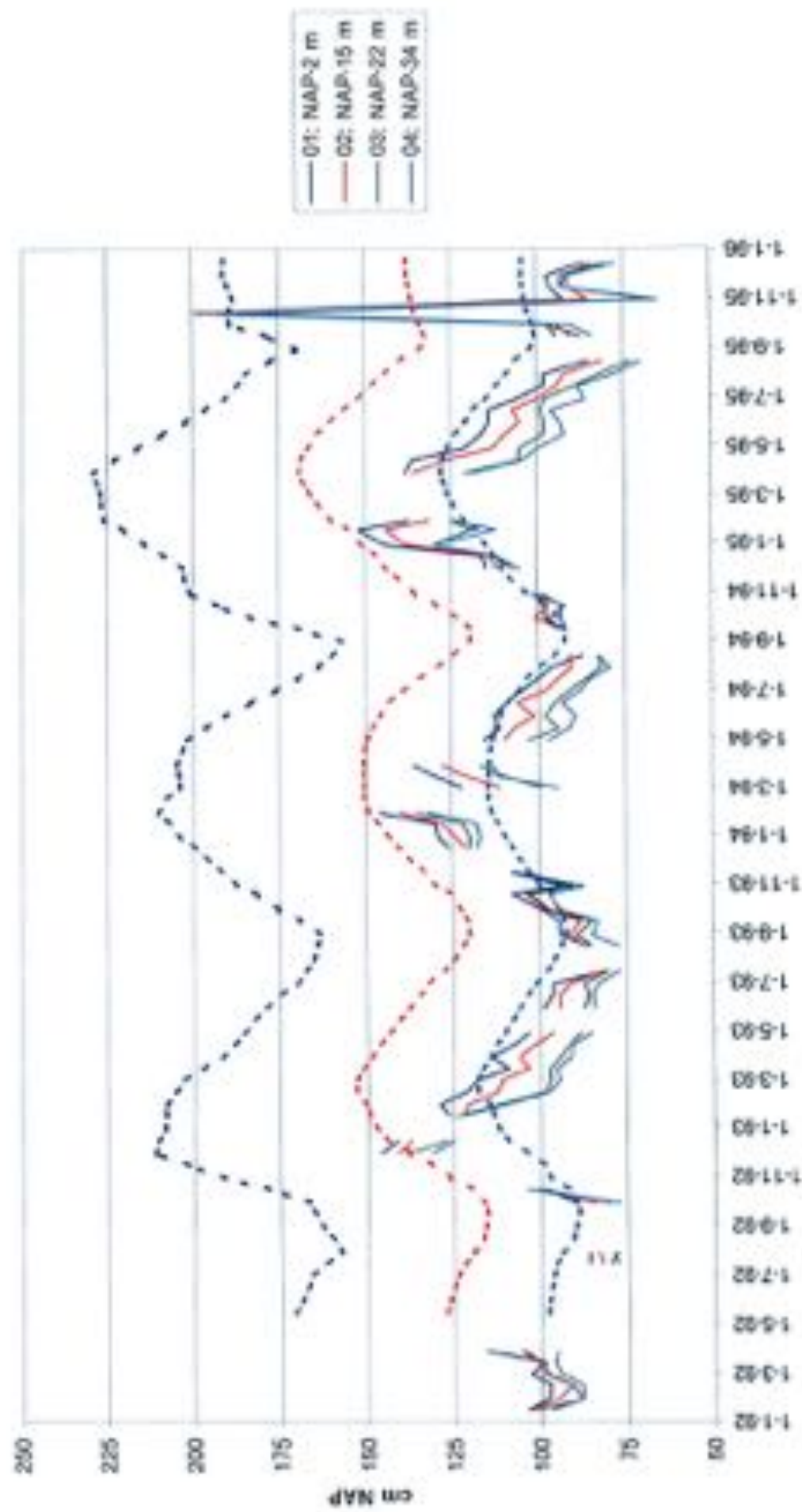


steppedijn = berekende stijghoogte

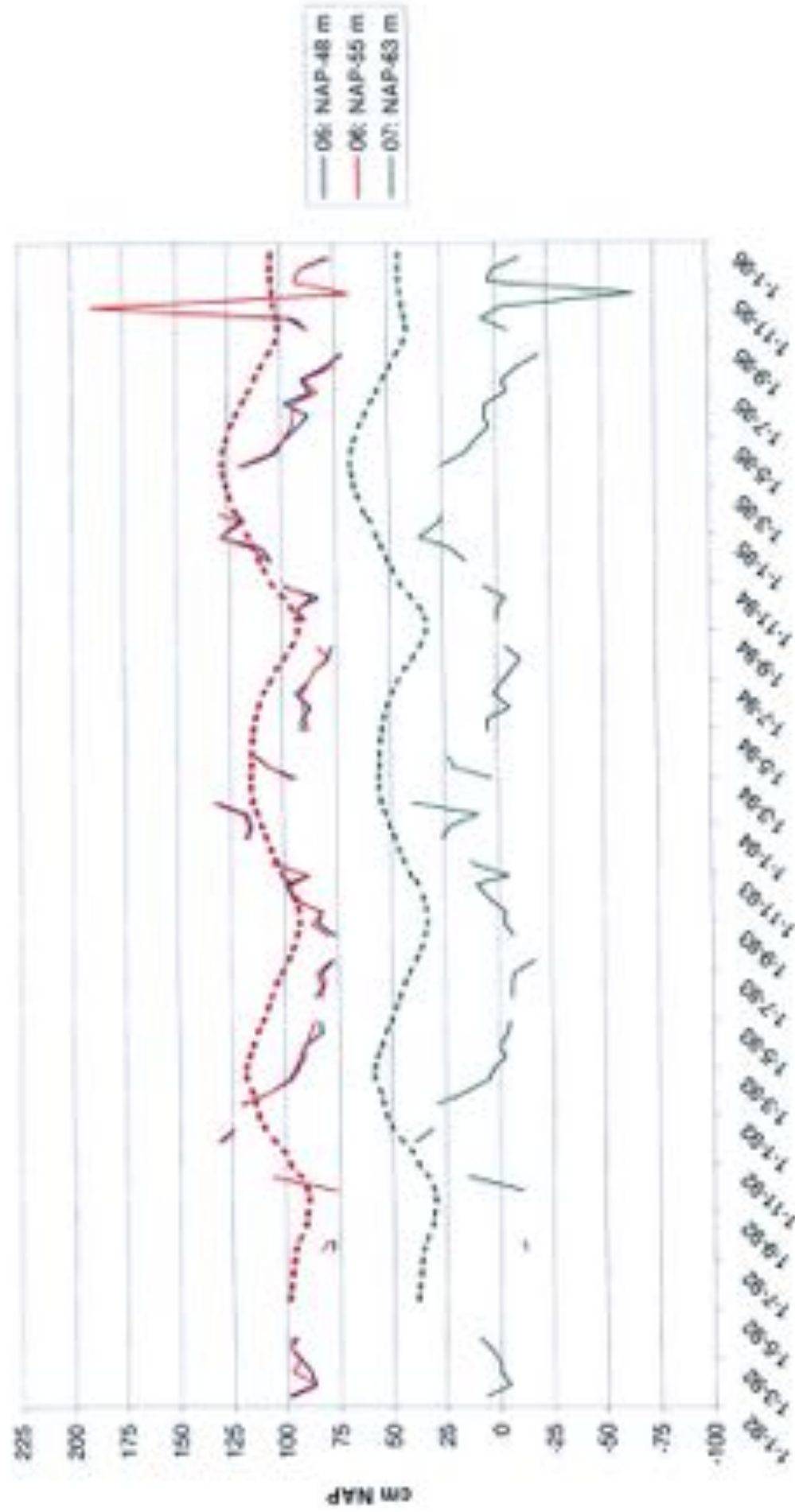
09B P0054 (ongecorrigeerd)



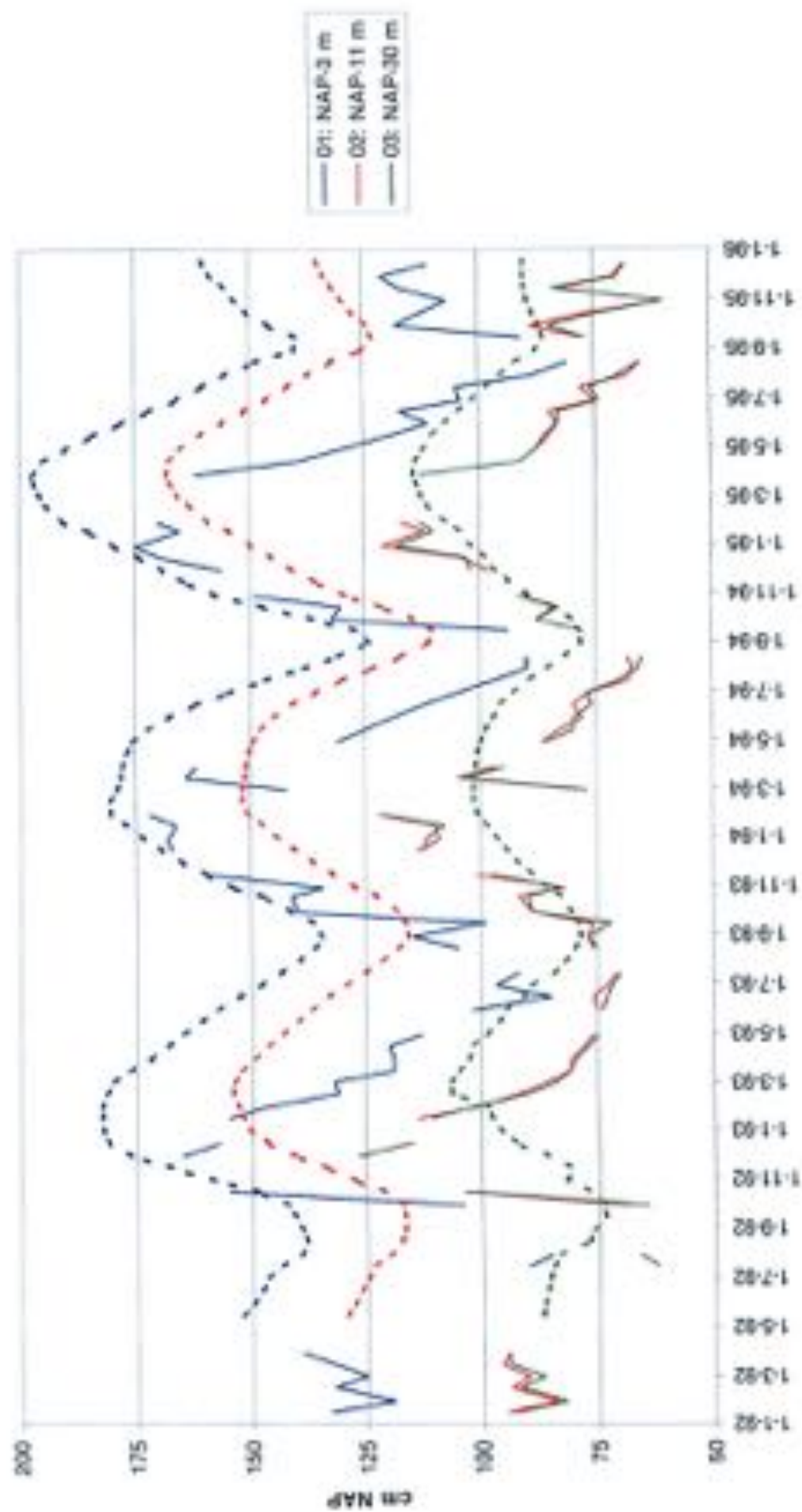
09D P0181 (ongecorrigeerd)



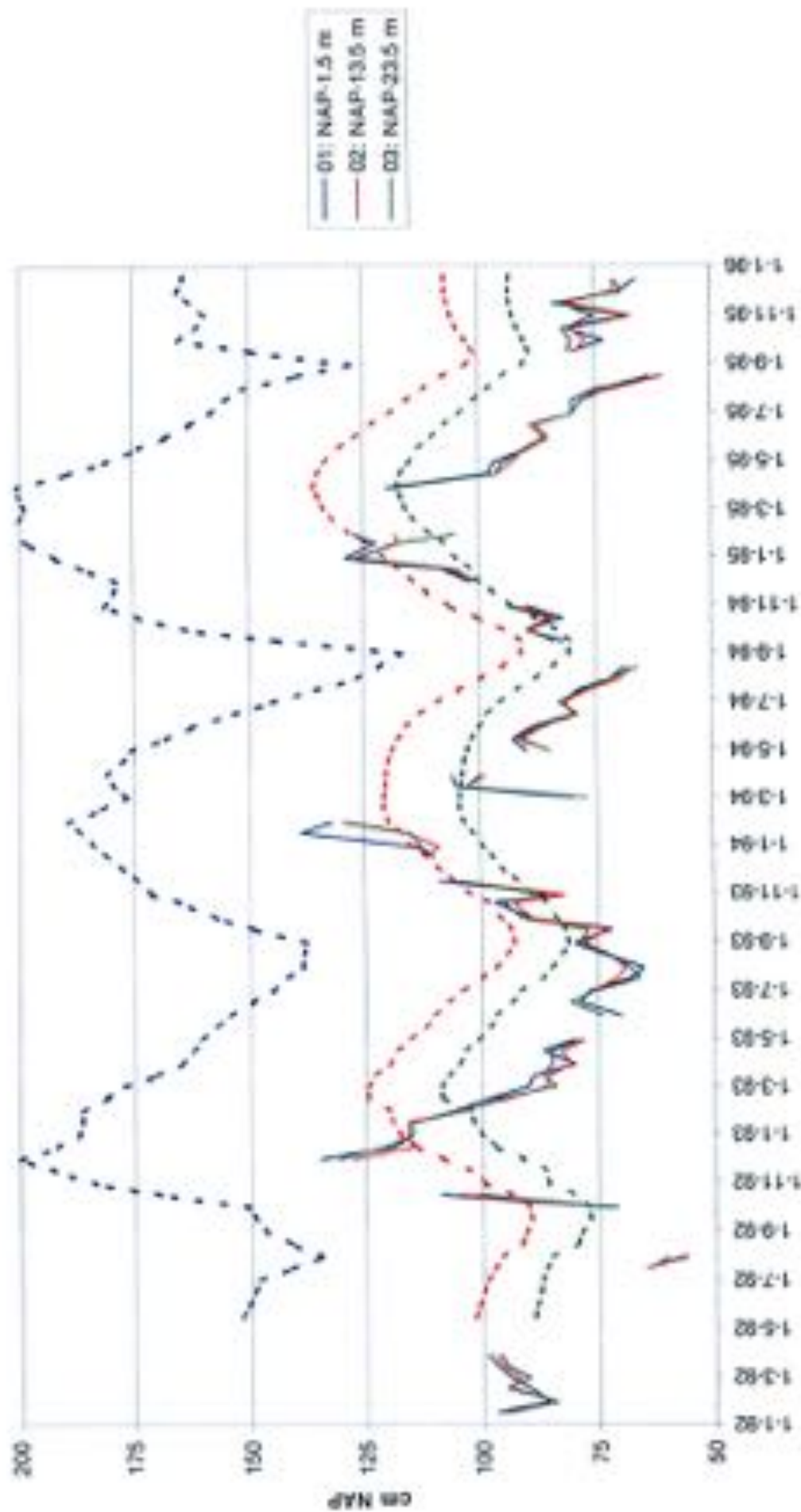
090 P0181 (ongecorrigeerd)



09D P0187 (ongecorrigeerd)



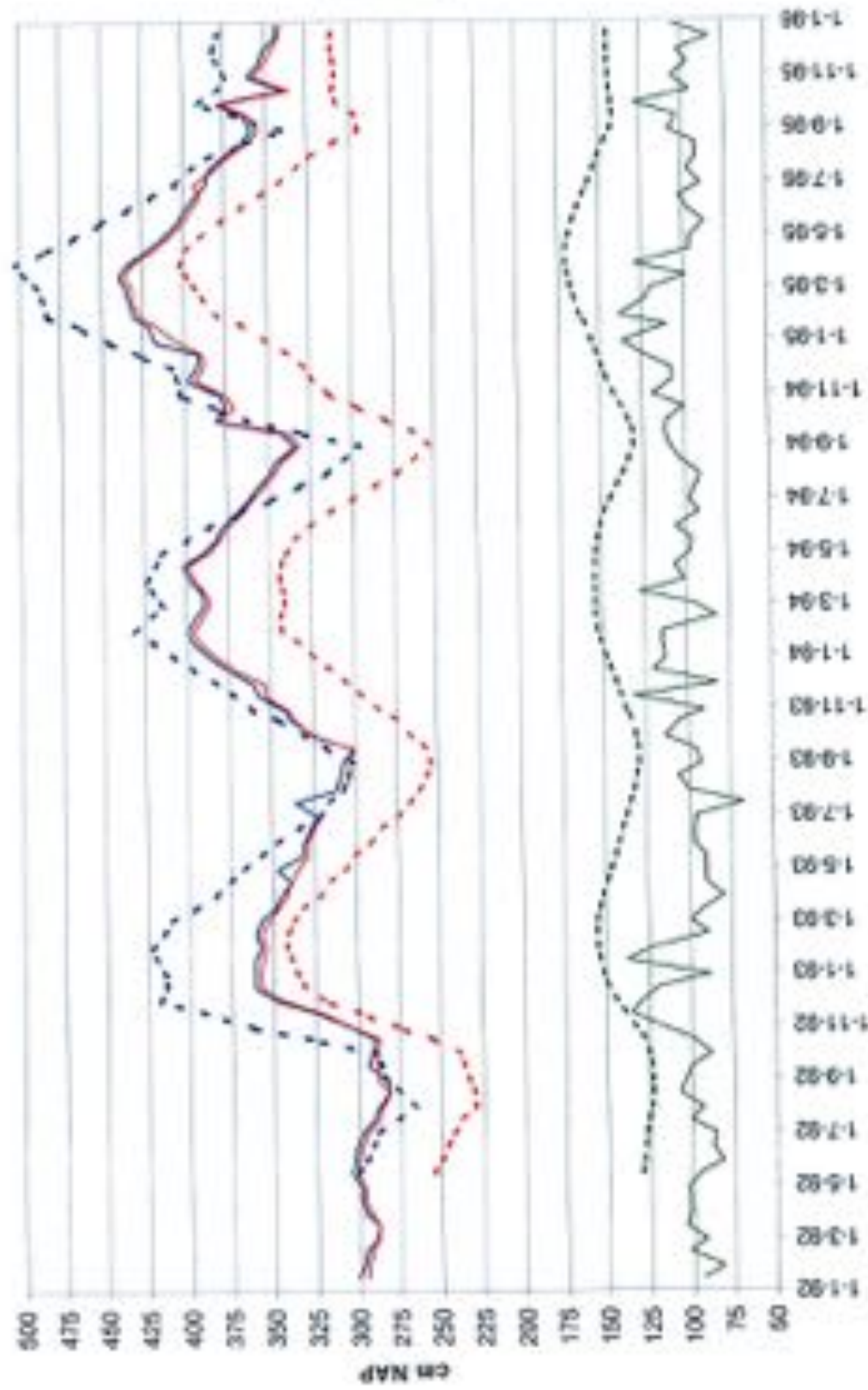
09D P0192 (ongecorrigeerd)



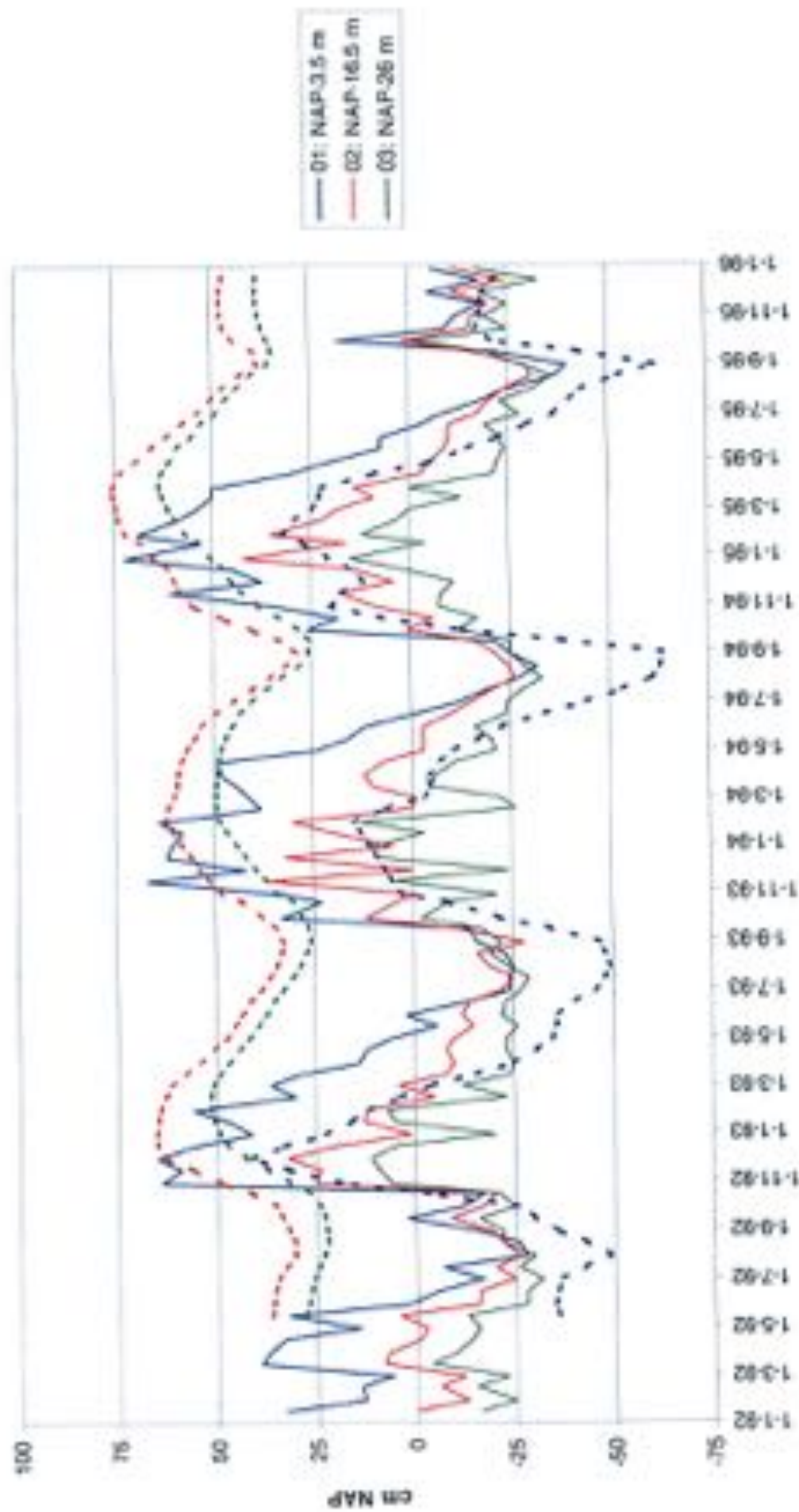
stippelijl = berekende stijfhoogte

Witaveen+Box

09D P0265 (ongecorrigeerd)



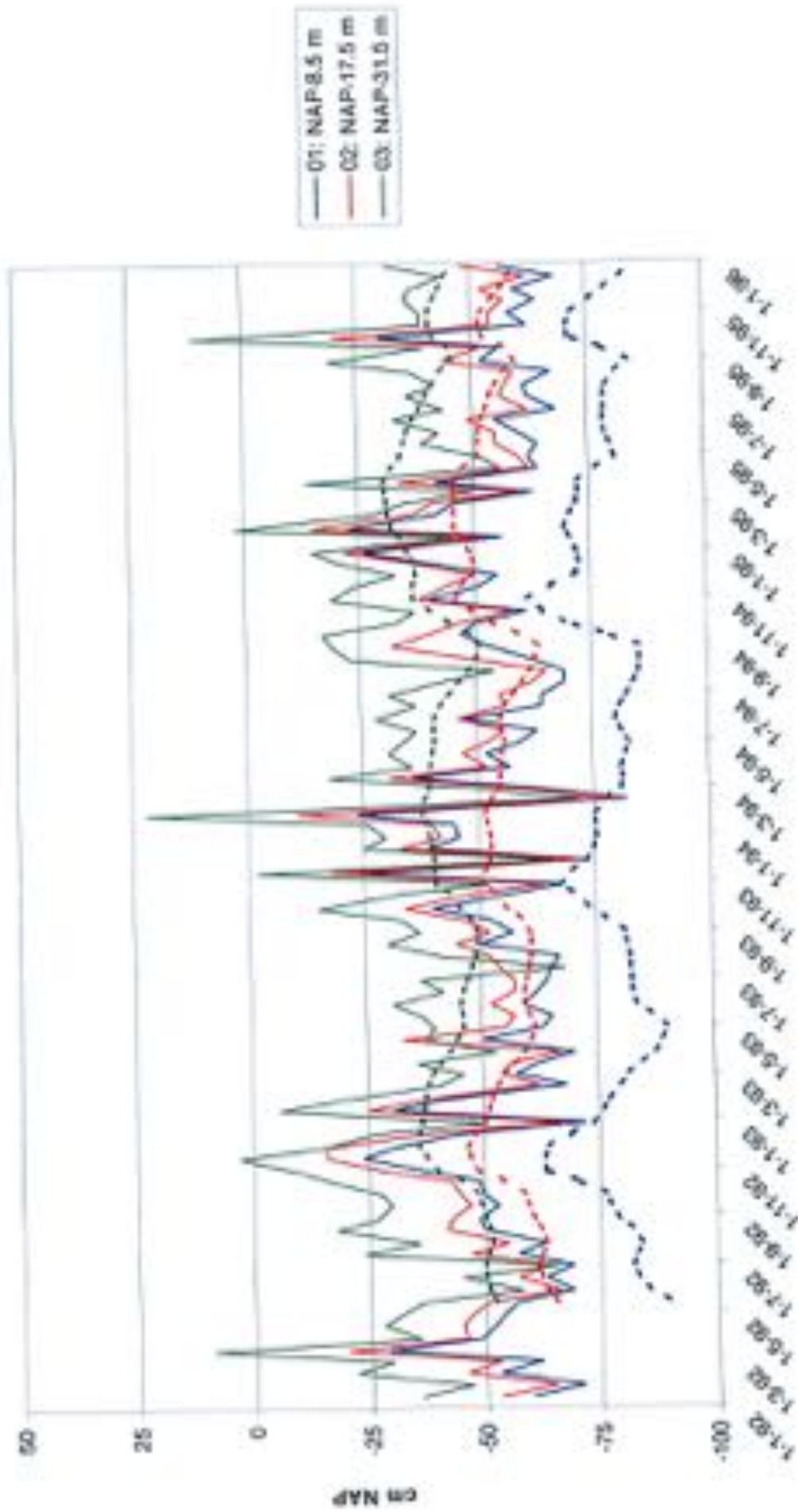
09D P0266 (ongecorrigeerd)



stappelij = berekende stijghoogte

Witteveen+Bos

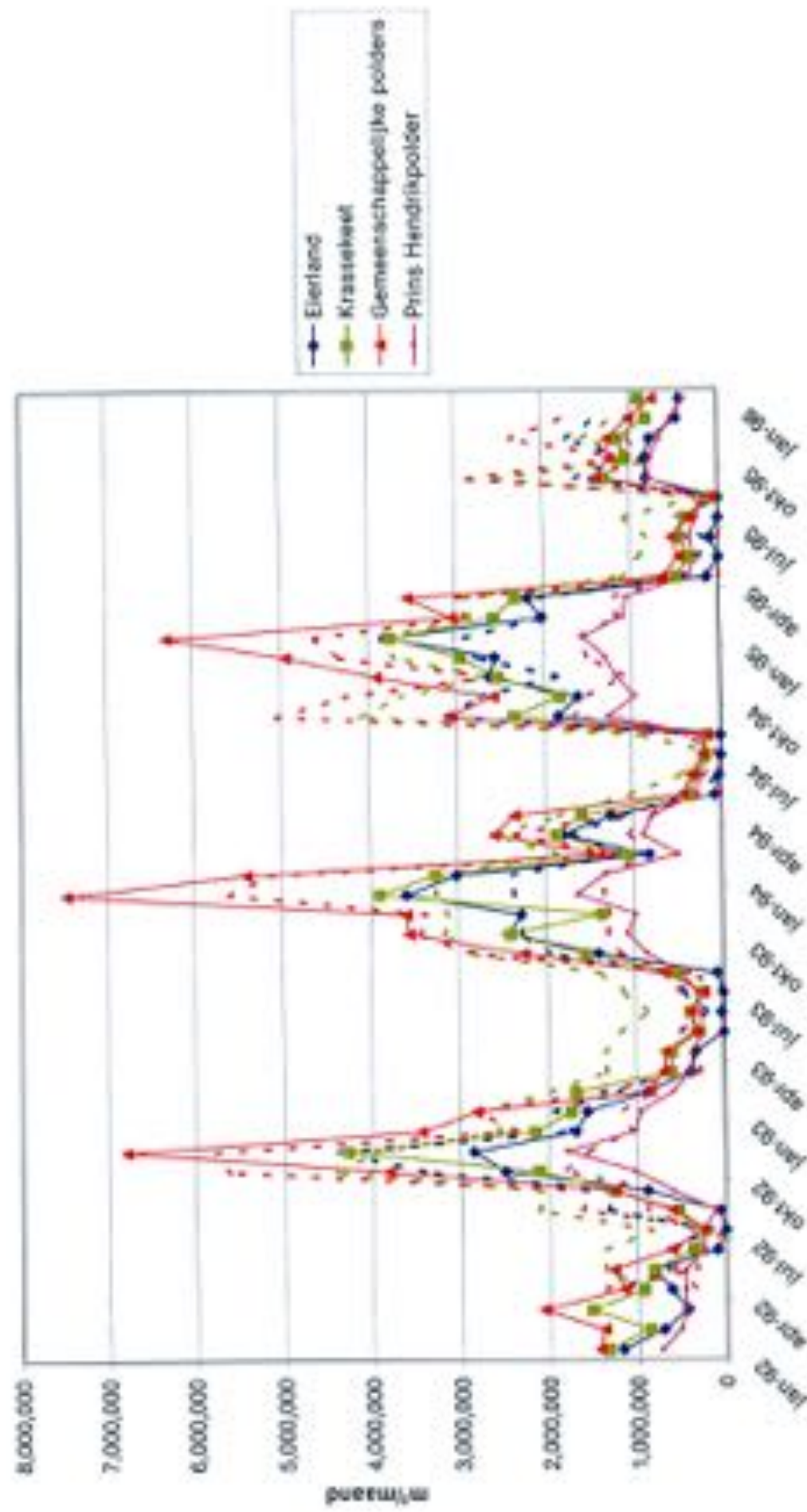
09D P0268 (ongecorrigeerd)



stippelijf = berekende stijfhoogte

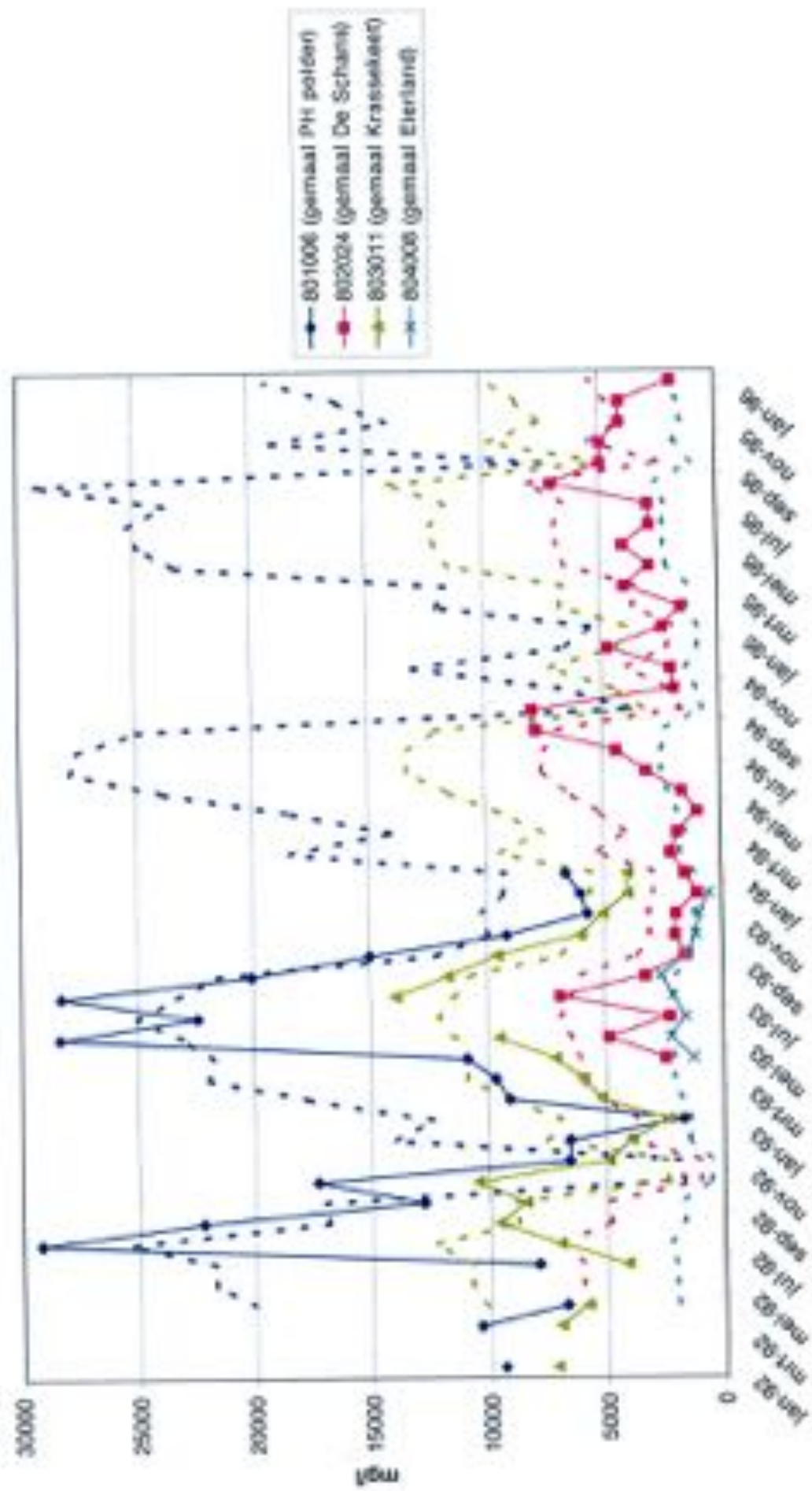
Bereende en gemeten gemaaldebieten en chloridenconcentraties

Uitgeslagen hoeveelheid per afwateringseenheid



stippelijntje = berekend afvoerdebat

chlorideconcentraties monsterpunten oppervlaktewater



chlorideconcentraties monsterpunten oppervlaktewater

