

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 2564750
F 030 2564755
info@nitg.tno.nl

TNO-rapport NITG 05-056-A

**Chloride-concentratie onderkant deklaag in
Nederland**

Datum	7 Juli 2005
Auteur(s)	Dr. ir. G.H.P. Oude Essink Ing. H. Houtman Drs. B.J.M. Goes
Aantal pagina's	17, inclusief bijlagen
Aantal bijlagen	0
Opdrachtgever	RIZA Afdeling Landelijke Zaken T. Kroon, W. Werkman
Projectnaam	Chloride-concentratie onderkant deklaag in Nederland
Projectnummer	NITG 05-056-A 005.35065

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoekopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2005 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Werkzaamheden	4
2.1	Inleiding geo-elektrische oppervlaktemetingen (VES-metingen).....	4
2.2	Bepaling chloride gehalten in dummy filters.....	4
2.3	Berekening chloride gehalten uit de analyses van geo-elektrische boorgatmetingen.....	6
2.3.1	Inleiding boorgatmeten	6
2.3.2	Bepaling van de elektrische weerstand van het grondwater	7
2.3.3	Temperatuurcorrectie van de elektrische weerstand van het grondwater	9
2.3.4	Schatting van de chlorideconcentratie van het grondwater.....	9
2.4	Samenstelling chloride puntenwolk.....	12
2.5	Inter- en extrapolatie van de verkregen chloride data op basis van de puntenwolk.....	14
3	Resultaat	16
4	Referenties	17

1 Inleiding

RIZA heeft TNO-NITG op 11 maart 2005 opdracht gegeven voor het genereren van de chloride-concentratie ter hoogte van de onderkant van de deklaag, voor geheel Nederland. Hoewel het bestand landsdekkend dient te zijn (uitgezonderd Limburg), is met name de aandacht gericht op het kustgebied en delen van centraal Nederland. Reden voor deze keuze is dat de RIZA met name geïnteresseerd is op de volgende toepassingen in deze gebieden: 1. kwantificering chloridebelasting van het oppervlaktewater; en 2. kwantificering van het chloridegehalte in de wortelzone. Juist in belangrijke kwelgebieden in de kustregio en centraal Nederland zijn relatief hoge chloride concentraties te verwachten ter plaatse van de onderkant van het topsysteem. Op plaatsen waar zogenaamde ‘wellen’ (viz. goeddoorlatende plekken in de Holocene weerstandslaag, zie bijv. Louw en Bakkum, 2004) voorkomen is een chloride concentratie opgegeven die overeenkomt met de chloride concentratie 20 m onder de onderkant van de deklaag. Hiermee is het concept van opwellen van zout grondwater ter plaatse van wellen verdisconteerd in de chloride kaart.

Wegens het beperkte budget en de aanwezige tijdsdruk is gekozen voor een snelle verbetering van de huidige beschikbare chloride kaart. Hiervoor zijn de volgende databestanden bij TNO-NITG gecombineerd:

1. chloride-monsters vanaf 1900, aanwezig in DINO,
2. VES-metingen (*‘Verticale elektrische sonderingen’*), en
3. boorgatmetingen.

Combinatie van deze drie databestanden heeft geleid tot een puntenwolk van chloride-metingen aan de onderkant van de deklaag, die een behoorlijke dichtheid heeft. Het puntenveld ter plaatse van de onderkant van de deklaag is dusdanig dicht dat het mogelijk is met behulp van inter- en extrapolatietechnieken een betrouwbaar ruimtelijk beeld te creëren. Dit heeft geresulteerd in een kaart met de huidige verdeling van zoet, brak en zout grondwater aan de onderkant van de deklaag.

Concreet is gevraagd om aan te leveren voor geheel Nederland (uitgezonderd Limburg): gridbestand (250 x 250 m) met chlorideconcentraties onderkant van de deklaag voor de huidige situatie, voor het gebied $X=0+280000m$, $Y=300000+325000m$.

Aangezien de provincie Limburg geen participant was in de REGIS studie, is er geen onderkant deklaag voor Limburg gedefinieerd. Er wordt daarom geen gridbestand met chloride onderkant deklaag voor deze provincie geleverd.

De positie van de chloride concentraties is exact gepositioneerd aan de onderkant van de deklaag, zoals gedefinieerd volgens NITG-TNO in 2002 (Linden, W. van der, A.H.M. Kremers en H.J.T. Weerts, 2002. Landelijke karakterisatie topsysteem. Eindrapport. NITG 02-112-B).

2 Werkzaamheden

2.1 Inleiding geo-elektrische oppervlaktemetingen (VES-metingen)

VES metingen (Verticale Elektrische Sondering) zijn geo-elektrische metingen die zijn uitgevoerd langs een lijn vanaf het oppervlak. De geo-elektrische methode is gebaseerd op de detectie van veranderingen van soortelijke elektrische weerstand in de ondergrond. Met behulp van een accu en twee stroomelektrodes wordt een stroom in de grond gebracht waarna het potentiaalverschil over twee potentiaalelektrodes wordt gemeten. Het potentiaalverschil, de stroomsterkte en een constante, die afhankelijk is van de gebruikte meetopstelling, leveren vervolgens, met behulp van de wet van Ohm, de schijnbare weerstand van de ondergrond. De gemeten schijnbare weerstanden zijn gemiddelden over de bovenste lagen van de ondergrond. De data (schijnbare weerstanden en elektrodeafstanden) worden vervolgens omgerekend (geïnverteerde) naar een lagenmodel van de ondergrond. De geïnterpreteerde metingen in de DINO-VES database zijn bijna allemaal verwerkt met het programma TNO-VES. De voor dit onderzoek geïnterpreteerde VES metingen zijn geïnterpreteerd met behulp van het programma Schlumbg (Hemker, 1988).

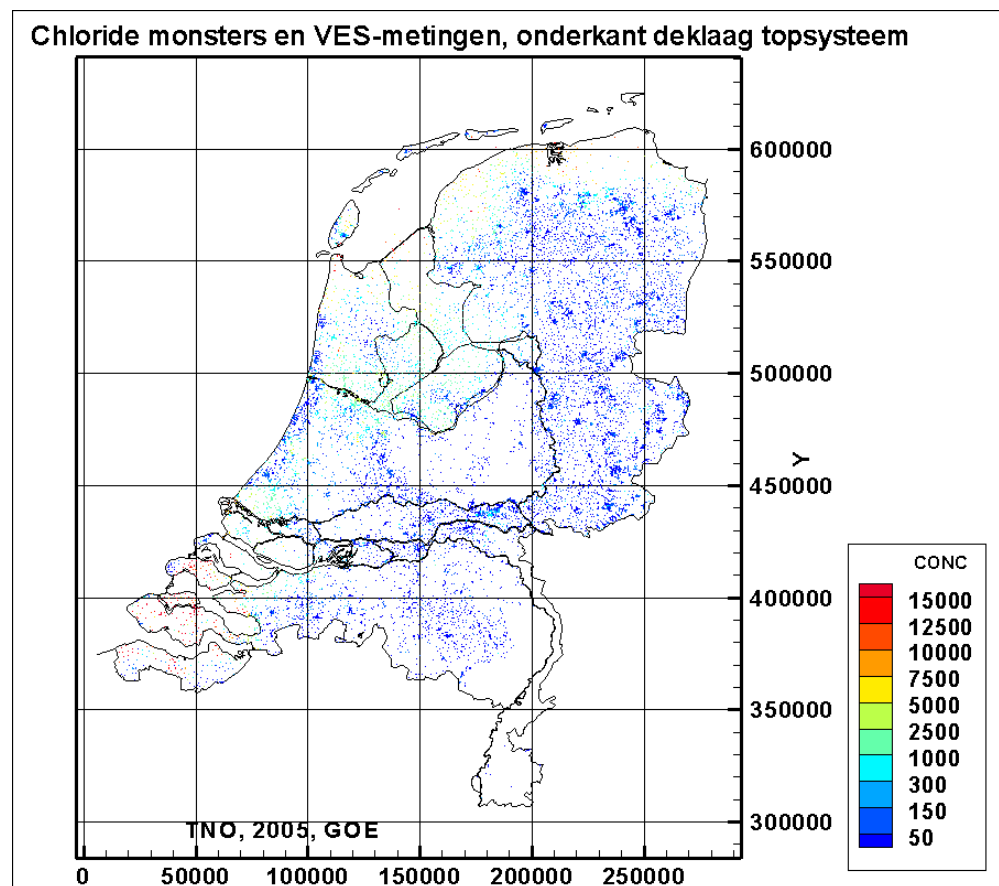
Geïnterpreteerde VES metingen geven informatie over de lithologie (zand, klei, grind) en het zoutgehalte van het grondwater van de ondergrond onder het middelpunt van de meting tot maximaal ~200 m-mv. De detecteerbaarheid van de methode neemt af met de diepte; bijvoorbeeld een 2 m dikke kleilaag binnen een zandpakket kan wel worden waargenomen op 10 m-mv maar niet meer op 30 m-mv. Een andere beperking van de geo-elektrische methode is equivalentie; verschillende lagenmodellen van de ondergrond passen op de gemeten data. Deze beperking wordt deels ondervangen door bij de interpretatie van de VES-metingen zoveel mogelijk gebruik te maken van de beschikbare geo-elektrische boorgatmetingen in het studiegebied.

Geïnterpreteerde geo-elektrische oppervlakte metingen geven veel minder harde data dan chloride monsters of elektrische boorgatmetingen omdat VES metingen niet direct in de ondergrond zijn verricht met als gevolg dat de nauwkeurigheid van de metingen beperkt is. De VES metingen zijn echter veel talrijker dan de andere metingen omdat ze relatief goedkoop zijn.

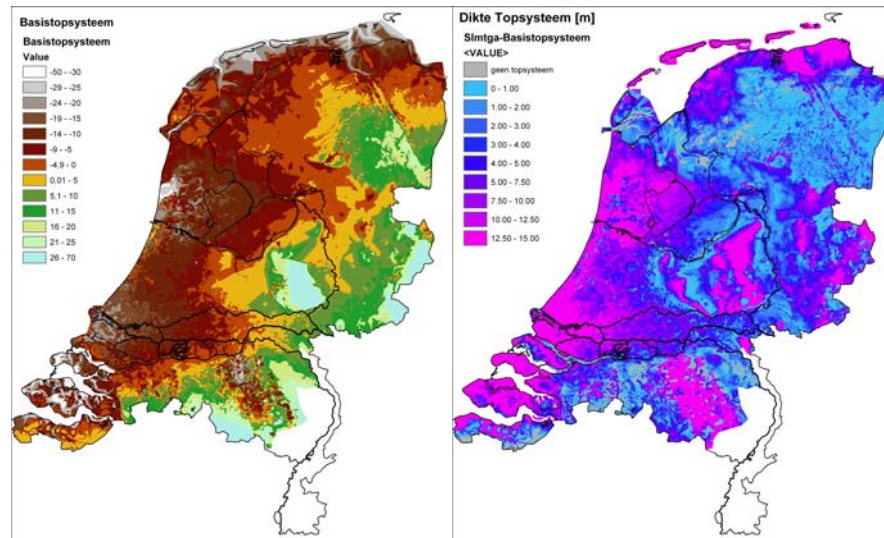
2.2 Bepaling chloride gehalten in dummy filters

Binnen TNO-NITG is bovendien programmatuur ontwikkeld om chloride-monsters en geo-elektrische (VES-)metingen te combineren. Deze zogenaamde dummy-chloride-filters zijn additionele fictieve chloride-waarden die zijn berekend aan de hand van een aantal werkelijk gemeten chloride- en VES-waarnemingen. Dummy-chloride-filters worden geplaatst op dezelfde xy-locatie als de VES-meting, maar dan zowel aan de boven- als aan de onderkant van het watervoerende pakket, waar de VES-meting zich in bevindt. Het gidslagenmodel uit REGIS II is gebruikt voor het bepalen van de positie van slechtdoorlatende lagen en watervoerende pakketten. Er is daarbij gebruik gemaakt van HCO₃ analyses en temperatuur metingen die binnen het huidige DINO databestand aanwezig zijn. Er is een procedure ontwikkeld om rekening te houden met de waarschijnlijkheid dat dichtbijgelegen metingen in een ander watervoerend pakket, dus aan de andere kant van een gidslaag/slechtdoorlatende laag, nauwelijks gecorreleerd

zullen zijn aan de te berekende dummy-chloride-filter. Verondersteld wordt dat metingen in hetzelfde watervoerend pakket, evt. zelfs op grotere afstand, meer gecorreleerd zijn. Uiteindelijk is een puntenwolk gegenereerd van tienduizenden chloride-gehalten (figuur 1), ter plaatse van de onderkant van het topsysteem (figuur 2). De chloride-monsters zijn betrouwbaarder, maar de VES-metingen talrijker. Om de grens tussen brak en zout grondwater te bepalen zijn VES-metingen over het algemeen betrouwbaar. Voor overige concentraties is de VES methodiek afhankelijk van de betrouwbaarheid van het lithologische lagenmodel ter plaatse; immers de VES meting wordt gedaan aan het oppervlak en maakt zodoende gebruik van een regionaal lagenmodel als REGIS II.



Figuur 1 – Posities gebruikte chloridewaarden (in mg Cl/l) rondom de onderkant van de deklaag: zowel chloridemonsters als VES-metingen. Een aantal hiaten zijn aanwezig in het databestand



Figuur 2 – a. Onderkant deklaag (-m N.A.P.), zoals bepaald in TNO-NITG (Linden, van der, et al.2002); b. Dikte topsysteem (meters).

VES-metingen

Verticale elektrische sonderingen zijn geo-elektrische metingen die informatie geven over de lithologie en het zoutgehalte van grondwater. In combinatie met de temperatuur en het bicarbonaat (HCO_3)-gehalte ter plaatse, en de geologische opbouw (hiervoor is REGIS gebruikt met een grote betrouwbaarheid van de positie van de deklaag) kan een VES-meting een indicatie geven van het chloride-gehalte. Honderd procent betrouwbaar is deze geëxtraheerde waarde van het chloride-gehalte weliswaar niet (hoe hoger het absolute chloride-gehalte, hoe betrouwbaarder de VES-meting), maar momenteel is het zo dat alle informatie betreffende de bepaling van de chloride-verdeling meegenomen dient te worden. Er blijken gewoonweg niet genoeg chloride-metingen te zijn om alleen daarmee een ruimtelijk beeld te verkrijgen. Het grote voordeel van VES-metingen is dat het aantal metingen een veelvoud van de meest recente chloride-monsters. Er wordt bij de gebruikte methode rekening gehouden met het feit dat de chloride-monsters veel betrouwbaarder en nauwkeuriger zijn dan de VES-metingen.

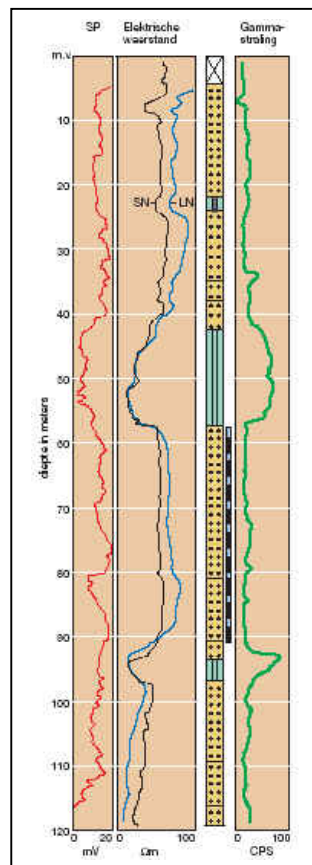
2.3 Berekening chloride gehalten uit de analyses van geo-elektrische boorgatmetingen

2.3.1 Inleiding boorgatmeten

Bij een boorgatmeting laat men een geofysische apparaat in een boorgat zakken. Het apparaat meet verschillende geofysische parameters van de ondergrond, vlak om het boorgat, als functie van de diepte. De belangrijkste geofysische parameters zijn natuurlijke gamma straling en geo-elektrische weerstand. Deze geofysische parameters kunnen geïnterpreteerd worden in hydrogeologische lagen (bijvoorbeeld: klei, zand, grind, etc; zie Figuur 3). De geo-elektrische weerstand, of de weerstand die een elektrische stroom ondervindt als hij door een medium loopt, wordt voor dit onderzoek

gebruikt. Materiaal dat veel ionen bevat geleidt de elektrische stroom goed en heeft een lage geo-elektrische weerstand; bijvoorbeeld klei of zand met brak-zout grondwater. Voorbeelden van materiaal met een hoge elektrische weerstand zijn grof zand en grind met zoet grondwater.

Het grote voordeel van geofysische boorgatmetingen, boven bijvoorbeeld geofysische metingen vanaf het oppervlak (de VES-metingen), is dat het meetapparaat vrijwel direct tegen het sediment aanzit. De meetwaarden uit boorgatmetingen zijn dus zeer betrouwbaar omdat ze zonder een uitgebreide omrekening (inversie) vrijwel direct de geofysische parameters van het sediment representeren. Bovendien is de resolutie hoog (~0.5 m) en neemt deze niet af met de diepte.



Figuur 3 - Een voorbeeld van geïnterpreteerde boorgatmeting.

2.3.2 Bepaling van de elektrische weerstand van het grondwater

Geo-elektrische boorgatmetingen (de zogenaamde Long Normal meting) geven, als de diameter van het boorgat niet te groot is, een goede indicatie van de werkelijke elektrische weerstand van de ondergrond (ρ_s) rondom het boorgat. De geo-elektrische weerstand van de verzadigde ondergrond hangt af van de geo-elektrische weerstand van het grondwater (ρ_w) en de samenstelling van het sediment. Dit betekent dus dat de geo-elektrische weerstand van het grondwater geschat kan worden op basis van het type sediment en de geo-elektrische weerstand van de ondergrond. Dit gebeurt basis van onderstaande formule (o.a. Keary and Brooks, 1991):

$$\rho_w = \rho_s / F$$

ρ_w de te berekenen elektrische weerstand van het grondwater [Ω -m]

ρ_s de elektrische weerstand van de ondergrond (inclusief grondwater), bepaald met een boorgatmeting [Ω -m]

F de formatiefactor van het sediment, bepaald op basis van de lithologische beschrijving die bij de boorgatmeting hoort

De formatiefactor van het sediment (F) is bepaald op basis van de lithologische beschrijving die bij de boorgatmeting hoort (tabel 1). Deze beschrijving is gebaseerd op de interpretatie van de boorgatmeting (met name de geo-elektrische weerstands log en de gamma log) en de boorbeschrijving. Voor het bepalen van de formatie factor is gebruik gemaakt van onderstaande tabel.

Tabel 1 Formatiefactoren van verschillende types ongeconsolideerde sediment in Nederland.

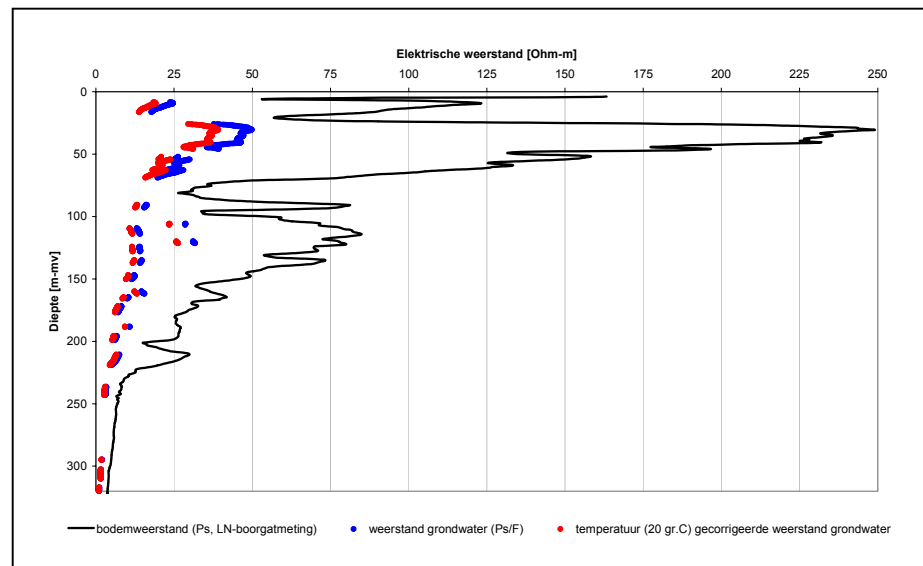
Lithologische beschrijving	Formatie factor (F)
grind met zand	7
Grof zand met grind	6
Grof zand	5
matig grof zand	4
zwak slibhoudend zand	3
matig slibhoudend zand	2.5*
sterk slibhoudend zand	2*
Klei	1-3*
Veen	~1

*schijnbare formatie factor want voor kleilig sediment varieert F met de geleidbaarheid van het grondwater

bron: o.a. Geirnaert en Vandenberghe, 1988; Overmeeren et al, 1991; TNO, 1992 (empirische waardes)

Bovenstaande formule voor de berekening van de weerstand van grondwater is echter onbetrouwbaar bij een kleilig ondergrond. De formatie factor is dan een schijnbare formatie factor omdat deze varieert met de weerstand van het grondwater (die je juist wil berekenen). Om deze reden is de elektrische weerstand van grondwater niet berekend wanneer de formatie factor lager is dan 2.5.

Figuur 4 laat een voorbeeld zien van een geo-elektrische boorgatmeting met hierin de gemeten LN weerstandwaardes (de bodemweerstand) en de met behulp van bovenstaande formule berekende grondwater weerstanden. Op dieptes waarvoor de waterweerstand niet is berekend is de formatie factor kleiner dan 2.5 (kleilig sediment).



Figuur 4 - Voorbeeld van een bodemweerstand gemeten met een boorgatmeting en berekende elektrische grondwaterweerstand (boorgatmeting 45G0166).

2.3.3 Temperatuurcorrectie van de elektrische weerstand van het grondwater

De elektrische weerstand van het grondwater (ρ_w) is ook afhankelijk van de temperatuur waarbij deze gemeten is. Voor grondwater met een constante samenstelling geldt hoe hoger de temperatuur hoe lager de elektrische weerstand. Ook in een boorgat varieert de temperatuur van het grondwater, deze neemt toe met de diepte. Voordat de berekende elektrische weerstand van het grondwater gebruikt kan worden voor de schatting van de chlorideconcentratie (zie hieronder) moet de waterweerstand worden omgerekend naar een standaardwaarde alsof hij bij een constante temperatuur is bepaald. Dit heet een temperatuurcorrectie.

Voor een snelle schatting van de temperatuur op de diepte van de onderkant van de deklaag is gebruik gemaakt van Buik *et.al.* (2004) en de temperatuurmetingen die worden gebruikt in lopende (2004 en 2005) zoet-zout karteringen van TNO in Noord Brabant en Zeeland. In het traject tussen 0 en ~15 m-mv wordt de bodemtemperatuur sterk beïnvloedt door seizoensvariaties. Deze variaties hebben slechts een kleine invloed op de berekening en worden in deze studie verder buiten beschouwing gelaten. Voor deze studie is voor dit ondiepe traject een gemiddelde temperatuur van 10.6 °C aangehouden. Vanaf 15 m-mv is een toename van de temperatuur van 2.3 graden per 100 m aangehouden.

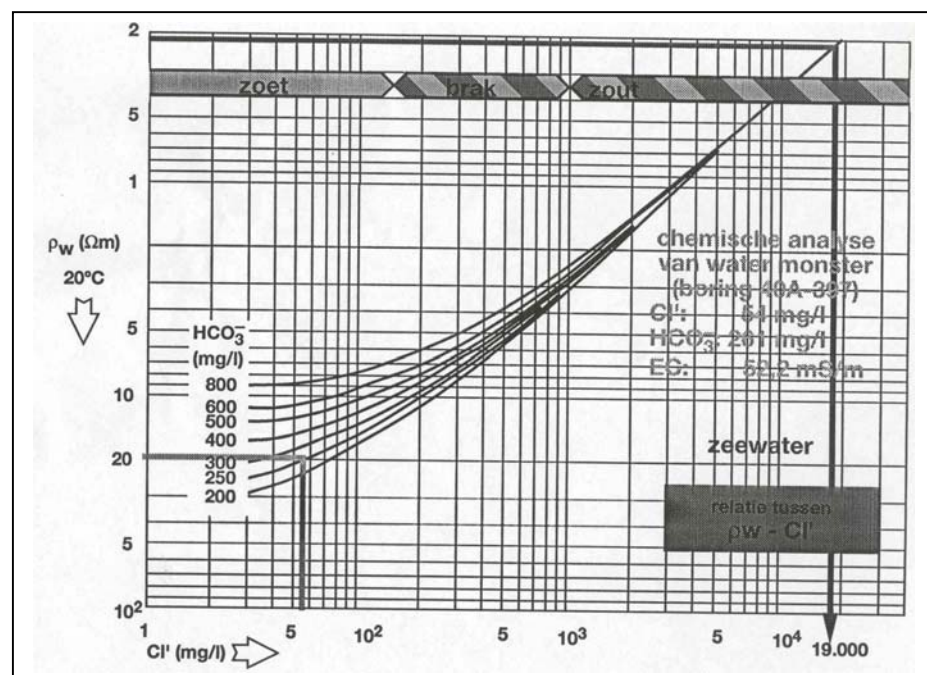
2.3.4 Schatting van de chlorideconcentratie van het grondwater

De elektrische geleidbaarheid (EC), het omgekeerde van de elektrische weerstand, van het grondwater wordt bepaald door het ionengehalte. Voor hoge geleidbaarheden van het grondwater ($EC > \sim 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$, $\rho_w < \sim 5 \Omega\text{-m}$, $Cl > \sim 1000 \text{ mg}/\text{l}$) wordt het ionen gehalte meestal bijna uitsluitend bepaald door de concentratie Na en Cl ionen. Bij lagere ionenconcentraties bepalen, naast Na en Cl, andere ionen mede de geleidbaarheid. De HCO_3 concentratie is, in verband met de aanwezigheid van onder andere $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ en $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, belangrijk voor het schatten van de chloride

concentratie bij lagere geleidbaarheden. Het chloride gehalte is geschat op basis van een empirisch bepaalde relatie tussen HCO_3 en EC (20°C) (TNO, 1992).

Cl	de te schatten chlorideconcentratie in [mg/l]
EC (20°C)	de elektrische geleidbaarheid in [mS/m]; omgerekend uit de elektrische weerstand van het grondwater ($= 1000 / \rho_w (20^\circ\text{C})$)
HCO_3	de bicarbonaat concentratie in [mg/l], geschat op basis van grondwatermonsters uit filters op dezelfde diepte als waarop de weerstand is bepaald

De empirische relatie om de chloride concentratie te berekenen is grafisch weergegeven in Figuur 5. De relatie wordt niet toegepast als: de elektrische weerstand van het water groter is dan $40 [\Omega\text{-m}]$ omdat de relatie dan niet meer geldig is (er gelden lagere grenswaardes als $\text{HCO}_3 > 200 \text{ mg/l}$).



Figuur 5 - Empirische relatie tussen de elektrische weerstand van het grondwater, de HCO_3 concentratie en de chloride concentratie (TNO, 1992).

Figuur 6 laat de geschatte chlorideconcentratie zien voor een boorgatmeting (zelfde bgm als in Figuur 4). In de figuur is duidelijk te zien dat een aantal meetpunten is weggevallen omdat niet op alle dieptes aan bovenstaande voorwaarden voor de toepasbaarheid van de formule is voldaan. Tevens is zichtbaar dat een betrouwbare schatting van de HCO_3 concentratie zeer belangrijk is omdat de invloed groot is op het berekende chloride gehalte.

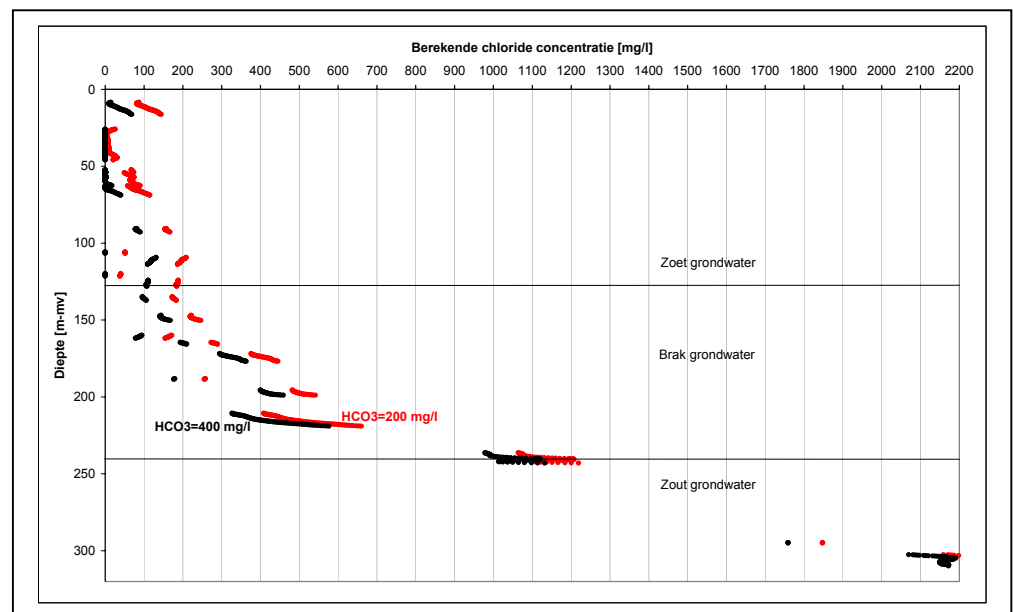
TNO heeft een xyz bestand voor heel Nederland met alle HCO_3 monsters. Hierop zijn de volgende bewerkingen uitgevoerd:

1. Selecteer per filter de meest recente HCO_3 meting en bereken diepte van het midden van de filter in m NAP
2. Bepaal de z-waarde van de onderkant van de deklaag op de filter locaties (xy)

3. Selecteer per xy locatie maximaal één monster die, binnen een marge van ± 10 m (zie onderstaande tabel), het dichtst bij de basis van de deklaag ligt

maximaal aantal meters boven basis deklaag	maximaal aantal meters onder basis deklaag	aantal HCO ₃ metingen
5	5	2221
10	5	2464
10	10	4197
15	10	4275
15	15	5659
20	15	5778

- Op basis van de geselecteerde HCO₃ metingen binnen een marge van ± 10 m is een grid kaart gemaakt voor Nederland (kriging), figuur 7. Voor Limburg is geen complete HCO₃ kaart voor de basis van de deklaag gemaakt wegens te weinig data.
- Op de locaties van de geo-elektrische boorgatmetingen is op basis van de grid kaart de HCO₃ concentratie geschat op de diepte van de basis van de deklaag.



Figuur 6 - Chloride gehalten geschat op basis van de geleidbaarheid van het grondwater en het HCO₃ gehalte (boorgatmeting 45G0166).

De digitaal beschikbare geo-elektrische boorgatmetingen waarvoor de locaties (xy) bekend zijn (ruim 2600), zijn voor het diepte traject rond de basis van de deklaag (± 5 m) op de hierboven beschreven manier voor dit onderzoek geïnterpreteerd.

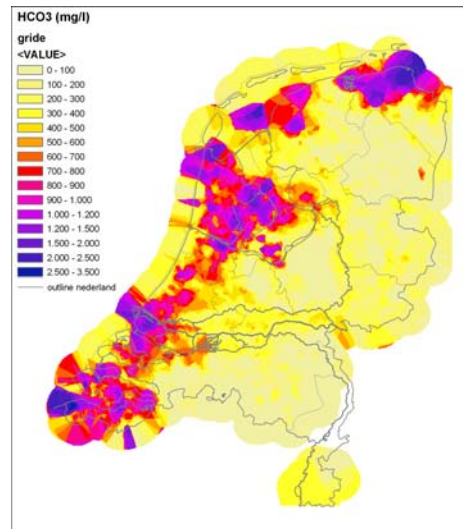
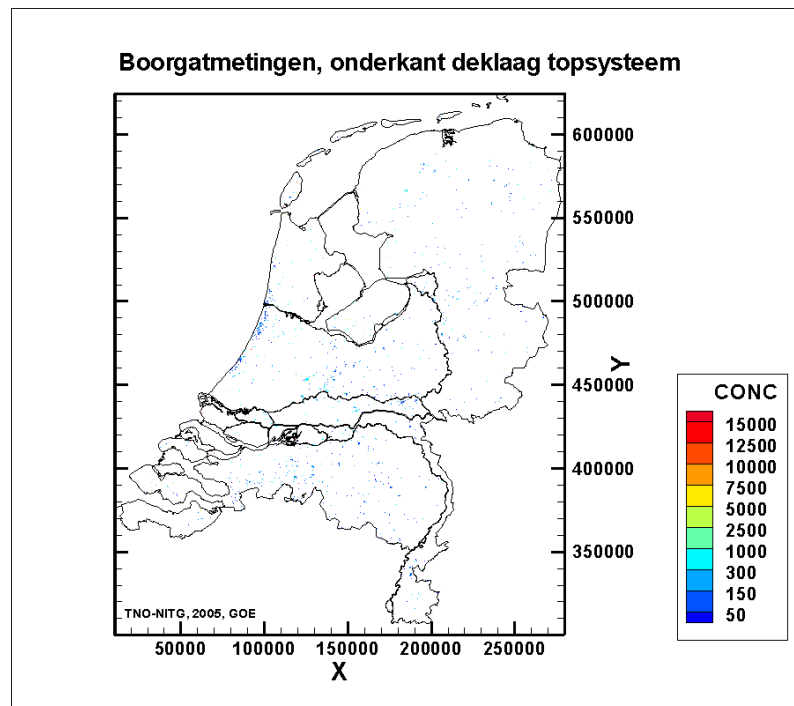


Figure 7 HCO₃- verdeling over Nederland, ter plaatse van de onderkant van de deklaag.



Figuur 8 - Posities chloride-waarden rondom de onderkant van de deklaag op basis van boorgatmetingen.

2.4 Samenstelling chloride puntenwolk

Resumerend zijn de drie databestanden, te weten chloride monsters, VES-metingen en boorgatmetingen, gecombineerd tot een chloride puntenwolk.

Wanneer op dezelfde (x-y) locatie (rondom de onderkant topsysteem, dat wil zeggen 5 meter onder en 5 meter de onderkant van het topsysteem) meerdere metingen zijn van

hetzelfde type dan is in het geval van boorgatmetingen en VES metingen de gemiddelde waarde genomen van de dubbele metingen. Wanneer de dubbele metingen monsters zijn dan is die meting geselecteerd die het dichtst bij de deklaag ligt. Wanneer er verschillende type metingen op dezelfde (x-y) locatie liggen dan is de hardste meting geselecteerd. De volgorde van harde naar zachte metingen is: monster, boorgatmeting en VES meting.

Met ArcGis is van beide bestanden een continu veld geconstrueerd met behulp van de Inverse Distance Weighted techniek. Een uniform gridafstand van 250*250m is aangemaakt.

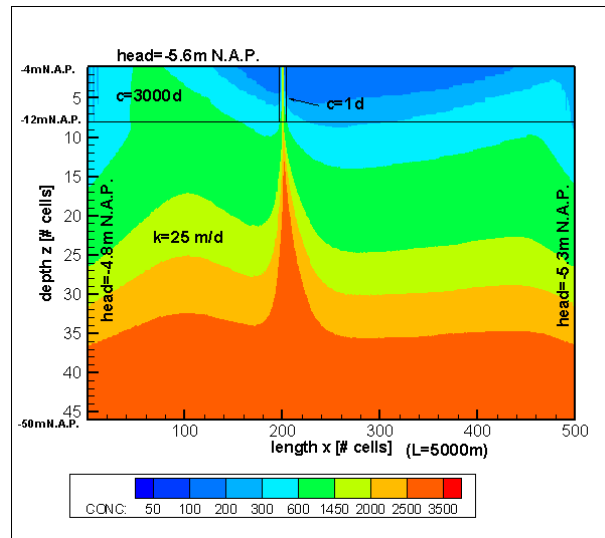
Tabel 2. Overzicht aantal chloride punten (zonder dubbele metingen op dezelfde x-y).

	kaart met chloridegehalte deklaag (± 5 m)	kaart met chloridegehalte 20 m onder deklaag (± 5 m): wellen
monsters	2648	3590
boorgatmetingen	1546	1963
VES metingen	10823	6148

2.5 Inter- en extrapolatie van de verkregen chloride data op basis van de puntenwolk.

Er is een kwaliteitscontrole uitgevoerd ter plaatse van een aantal poldergebieden: de Haarlemmermeer polder, de Polder Groot Mijdrecht, de Polder de Noordplas, de Horstermeer Polder, de Wormer, de Schermer, de Wierigermeerpolder en de Flevopolders. Hierbij is gekeken naar verschillende literatuur als ICW (1976: Midden West-Nederland), TNO-NITG (2004: studie over de Noordplas), de Witt (1980), Koppen (1985) en enkele rapporten van Stuyfzand (1986, 1988). Er zijn uit het bestand van de onderkant deklaag tevens 14 outliers verwijderd, waarvan het merendeel VES-metingen waren met een (veel) te hoge chloride concentratie.

Om tegemoet te komen aan de wens van RIZA ook rekening te houden met de wellen en de daaruit voortvloeiende andere chloride concentraties hebben wij tevens gekeken naar de positie van de wellen, voor zover momenteel bekend bij TNO-NITG. Figuur 9 laat de positie van de wellen zien, die tot nu toe zijn geïdentificeerd. Zoals te zien is blijkt het oppervlak van de wellen beperkt te zijn (~3% van het oppervlak dat onderzocht is). De veronderstelling is dat zogenaamde upconing ('opwellen') van zouter grondwater optreedt ter plaatse van deze wellen (figuur 10), en dat deze concentratie over het algemeen hoger is dan de gemiddelde concentratie ter plaatse van de onderkant deklaag. Om dit fenomeen mee te nemen in de chloridekaart is in overleg besloten met het RIZA ter plaatse van de wellen de chloride concentratie dieper in het grondwatersysteem te nemen. Er zijn twee diepten genomen, te weten 10 m (± 5 m) en 20 m (± 5 m) onder de onderkant van de deklaag. De waarden zijn op dezelfde manier berekend als de chloridekaart ter plaatse van de onderkant van de deklaag. Voor het berekenen van het chloride gehalte in de boorgatmetingen onder de deklaag is het HCO_3 gehalte van de onderkant deklaag gebruikt. Na analyse van de resulterende chloride kaarten bleek dat op 10 m onder de onderkant van de deklaag de chloride concentratie niet éénduidig hoger is dan ter plaatse van de onderkant deklaag. Er is daarom gekozen voor de resultaten van de chloride concentratie op 20 m onder de deklaag voor de wellen omdat het verkregen patroon de ideeën over upconing onder wellen ondersteunt. Opvallend bleek tijdens de analyse dat in het westelijk deel van de Haarlemmermeer polder het grondwater op diepte onder de onderkant van de deklaag zoeter is dan ter plaatse van de onderkant deklaag, hetgeen zou kunnen duiden op een laterale verschuiving van het zoete grondwater uit de zoetwaterlens onder de duinen tengevolge van het peilverschil tussen de zee met de duinen (viz. hoog peil) ten opzichte van de Haarlemmermeerpolder (viz. laag peil).



Figuur 9: Concept van upconing van grondwater ter plaatse van een wel.

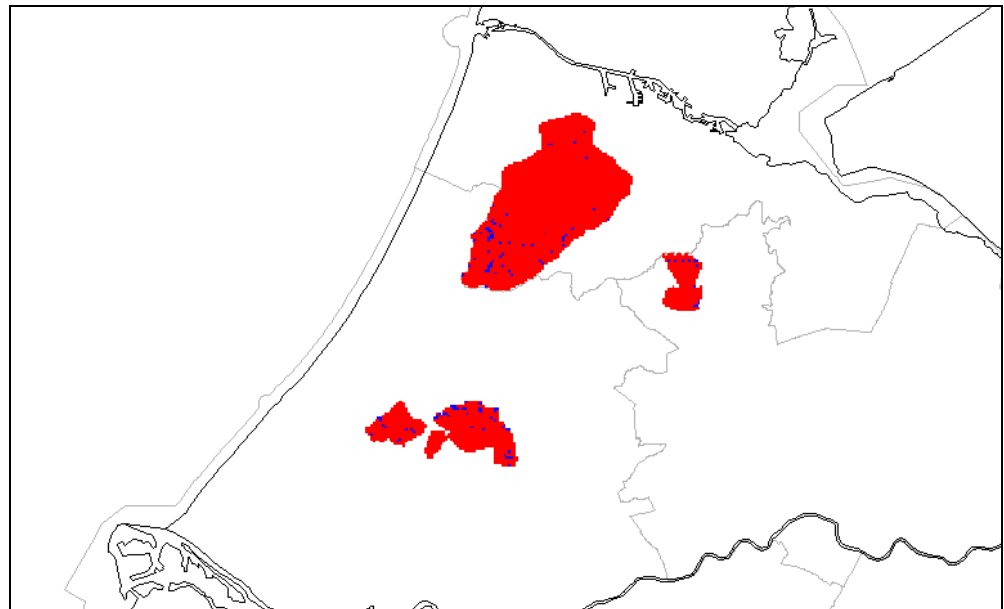


Figure 10: Positie van geïdentificeerde wellen (de blauwe punten) in onderzochte poldergebieden (viz. Haarlemmermeer polder, Groot-Mijdrecht, Polder de Noordplas, en het poldergebied ten noordwesten van Zoetermeer (de rode vlakken)). In Noord-Holland zijn een groot aantal gasbronnen geïdentificeerd, maar hier niet meegenomen in deze studie.

3 Resultaat

Figuur 11 geeft de kaart met de huidige verdeling van zoet, brak en zout grondwater aan de onderkant van de deklaag.

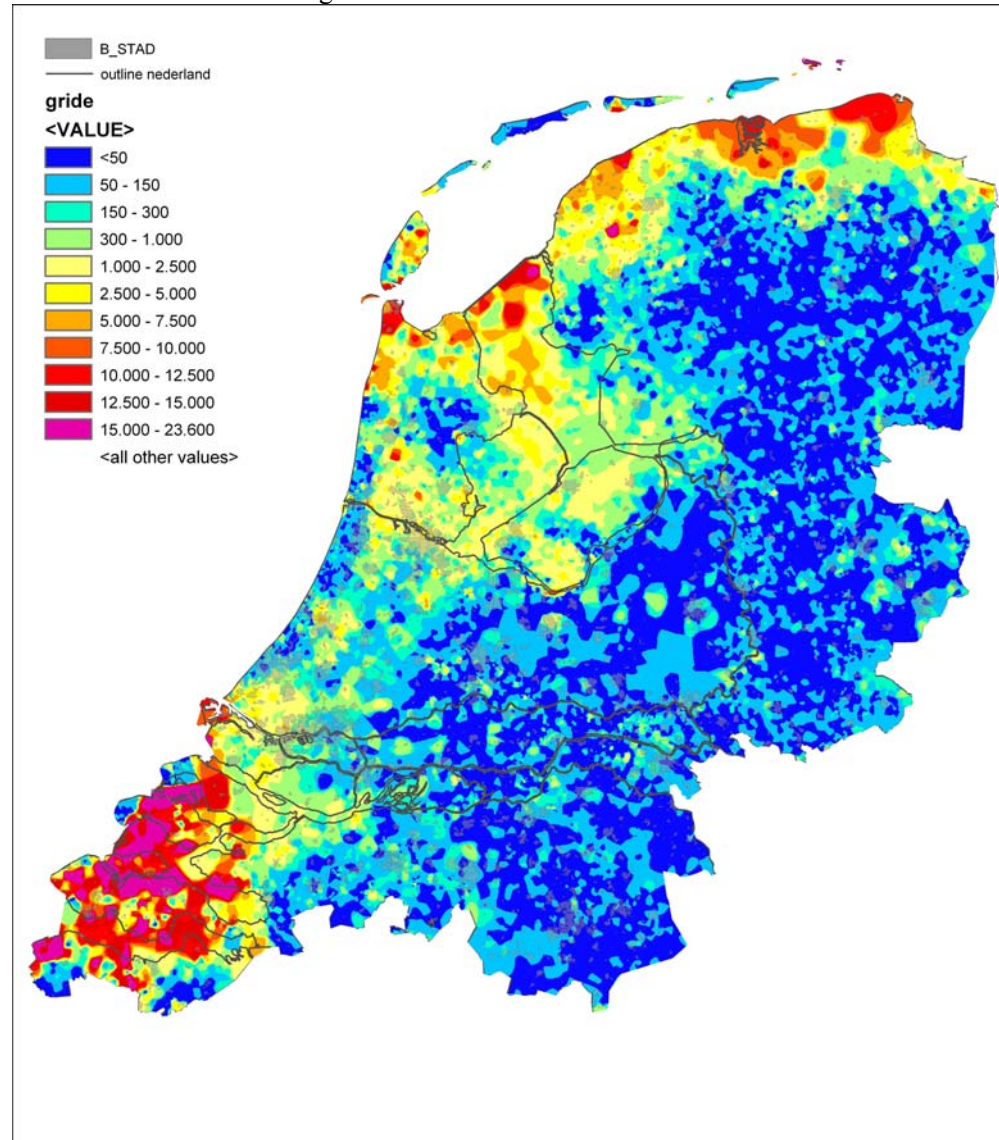


Figure 11: Chloride-kaart: chloride concentratie ter plaatse van de onderkant van de deklaag.

Digitaal is uiteindelijk aangeleverd:

1. een gridbestand huidige chloride concentratie onderkant van de deklaag op 250*250m schaal voor het gebied $X=0+280000m$, $Y=300000+325000m$,
2. een gridbestand huidige chloride concentratie 20 m onder de onderkant van de deklaag op 250*250m schaal voor het gebied $X=0+280000m$, $Y=300000+325000m$, hetgeen gebruikt moet worden om de verhoogde chloride concentratie onder de wellen te bepalen,
3. Positie wellen in het beperkte aantal polders dat geïdentificeerd is: (-9999=geen analyse; 0=geanalyseerde polder; 1=positie wellen).

4 Referenties

Buik, N., P. Stolk en G. Willemsen (2004). Analyse van temperatuurmetingen in de Nederlandse ondergrond. p. 13-22, Stromingen 10-4.

Geirnaert, W. and J. Vandenberghe (1988). Applied geophysics for groundwater exploration and geological mapping. Instituut voor Aardwetenschappen, VU Amsterdam.

Hemker, C. (1988). Schlumberger and Wenner Analysis V2.01 (computerprogramma). Vrije Universiteit, Amsterdam.

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen (1976). Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland, Werkgroep Midden West-Nederland, ICW Regionale Studies 9, 101 p.

Keary, P. and Brooks, M. (1991). An introduction to geophysical exploration, second edition. Blackwell Science.

Koppen, P.C., van (1985). Geohydrologisch Onderzoek van de Polder Groot-Mijdrecht, M.Sc. thesis Technische Universteit Delft, 94 p.

Linden, W. van der, A.H.M. Kremers en H.J.T. Weerts (2002). Landelijke karakterisatie topsysteem. Eindrapport. NITG 02-112-B.

Louw, P. de en R. Bakkum (2004). Nutriënten- en chloridebelasting in Polder de Noordplas; Wellen verzilten oppervlaktewater, TNO-NITG InFormatie, 6-11, oktober 2004. http://www.nitg.tno.nl/ned/pubrels/infor_matie/110402.pdf

Louw, P. de, P., R. Bakkum, H. Folkerts, en H. van Hardeveld (2004). Het effect van waterbeheer op de chloride- en nuriëntenbelasting van het oppervlaktewater in Polder de Noordplas, rapportnummer NITG 04-241-B.

Overmeeren, R.A. van, M.H. Mulder and J.A.C. Meekes (1991). Computer aided analysis and interpretation of geophysical data. TNO Institute of Applied Geoscience.

Stuyfzand, P.J. (1986). Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Zandvoort en Wijk aan Zee (kaartbladen 24F en 25A), KIWA SWE-86.016, 203 p.

Stuyfzand, P.J. (1988). Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Noordwijk en Zandvoort aan Zee (kaartbladen 24H en 25C), KIWA SWE-87.007, 343 p.

TNO (1992). Inleiding in geofysisch boorgatmeten, een praktische cursus voor grondwater onderzoek.

Witt, H. (1980). Het chloridegehalte van het grondwater in Noord-Holland benoorden het IJ en het Noordzeekanaal, Werkgroep Noord-Holland X, Nota ICW 1173, Wageningen, 25 p.