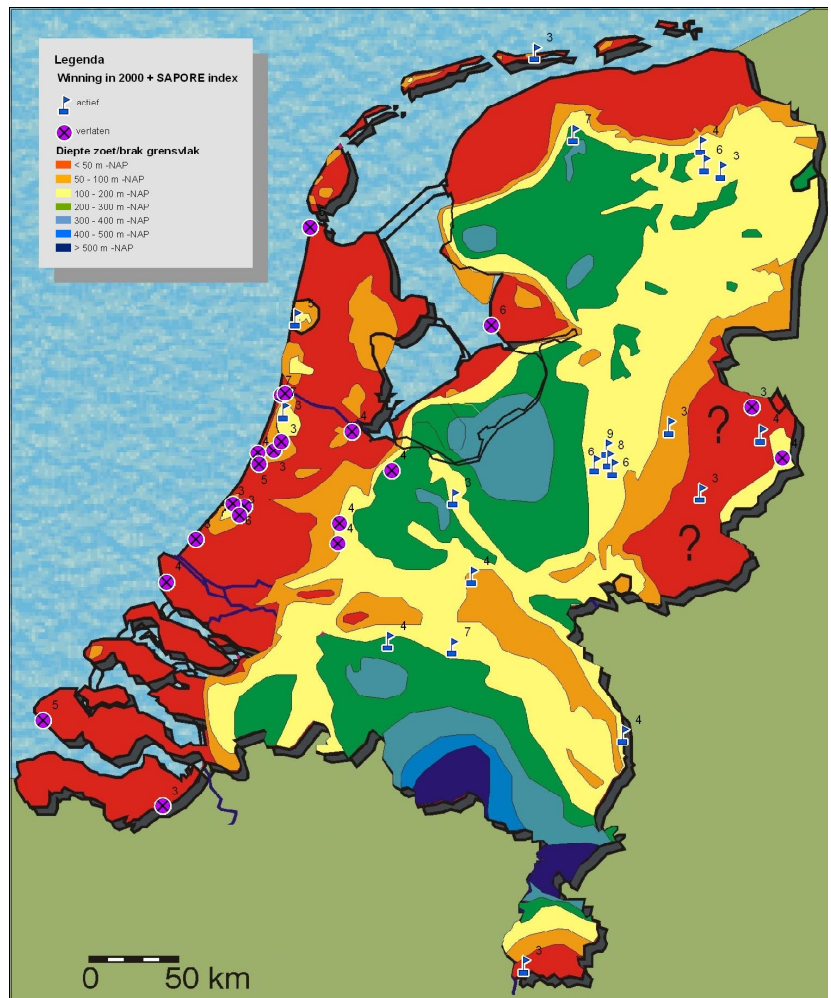


# Verziltingsrisico van de Nederlandse Puttenvelden voor de Drinkwatervoorziening door Brakwateropkegeling



**BTO 2002.153**  
december 2002

# Verziltingsrisico van de Nederlandse Puttenvelden voor de Drinkwatervoorziening door Brakwateropkegeling

© 2002 Kiwa N.V.  
Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag  
worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een  
geautomatiseerd  
gegevensbestand, of  
openbaar gemaakt, in enige  
vorm of op enige wijze,  
hetzij elektronisch,  
mechanisch, door  
fotokopieën, opnamen, of  
enig andere manier, zonder  
voorafgaande schriftelijke  
toestemming van de  
uitgever.

**Opdrachtgever**  
College van Opdrachtgevers

**Projectnummer**  
11.1450.400

**Kiwa N.V.**  
Water Research  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511  
Fax 030 60 61 165  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Verziltingsrisico van de Nederlandse Puttenvelden  
voor de Drinkwatervoorziening door  
Brakwateropkegeling

**Projectnummer**

11.1450.400

**Projectmanager**

ir. J.W. Kooiman

**Auteur**

dr. Pieter J. Stuyfzand

# Samenvatting

Verziltning door brakwateropkegeling vormt nog immer een bedreiging voor diverse puttenvelden in Nederland, waar grondwater onttrokken wordt ten behoeve van de drinkwatervoorziening. In dit rapport is middels een desk-studie een schatting gemaakt van de omvang van dit verziltingsprobleem, door analyse van gegevens over de waterwinplaatsen in Nederland uit diverse databases (waaronder REWAB). Daartoe is een nieuwe verziltingsrisico-index ontwikkeld: SAPORE, het acronym voor SALinization POtential for water REsources, met als eigen betekenis 'smaak' (in italiaans). Zout geeft immers een typische smaak aan water.

Uit deze studie blijkt dat van de 200 nog actieve winplaatsen, met deze maat, 43 een verhoogd verziltingsrisico kennen, en dat 16 van de 102 vóór 1992 verlaten winningen waarschijnlijk aan (ernstige) verziltning door brakwateropkegeling hebben geleden. Deze 43 in 2000 nog actieve winningen pompten in 1992 samen jaarlijks ca. 150 Mm<sup>3</sup> aan grondwater voor de drinkwatervoorziening op. Hun verlies zou de regionale drinkwatervoorziening zeker in gevaar brengen.

De omvang van het verziltingsprobleem is derhalve voldoende groot om te zoeken naar een duurzame remedie. Die is gevonden in de zoethouder, een door Kiwa ontworpen concept. Deze potentiële oplossing bestaat uit het onttrekken van een kleine deelstroom brak grondwater onder de bestaande verziltende winning. De brakke deelstroom wordt separaat ontzout met omgekeerde osmose, waarbij het membraanconcentraat teruggeïnjecteerd wordt in een diepere aquifer die van nature nog zouter grondwater bevat. Het ontzoute membraanfiltraat wordt gebruikt als bron van drinkwater.

Nader onderzoek naar de bruikbaarheid van de zoethouder lijkt derhalve zeer zinvol.





# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1 Aanleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Verzilting	5
1.2 De Zoethouder	5
1.3 Onderdeel BTO-project zoethouder	6
<b>2 Bronnen van informatie</b>	<b>7</b>
2.1 Databestanden	7
2.2 Specifieke rapporten en publicaties	7
2.3 Waterwingebieden in Nederland en hun kwetsbaarheid	9
<b>3 Werkwijze</b>	<b>13</b>
3.1 SWIM-14.XLS	13
3.2 Berekening van de index SAPORE	13
<b>4 Resultaten</b>	<b>17</b>
4.1 Presentatie	17
4.2 Onzekerheden	17
<b>5 Aanbevelingen voor nader onderzoek</b>	<b>21</b>
<b>6 Literatuur</b>	<b>23</b>

## BIJLAGEN:

<b>I</b>	<b>Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Reijnders et al. (1983)</b>	<b>25</b>
<b>II</b>	<b>Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Van Beek et al. (1990)</b>	<b>27</b>
<b>III</b>	<b>Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Peters &amp; Meijer (1993)</b>	<b>30</b>
<b>IV</b>	<b>Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Beekman &amp; Laeven (1996)</b>	<b>32</b>
<b>V</b>	<b>De SWIM-14 bijdrage van Stuyfzand (1996): Salinization of drinking water in the Netherlands: anamnesis, diagnosis and remediation.</b>	<b>35</b>

<b>VI</b>	<b>De H2O-artikelen van Stuyfzand &amp; Stuurman (1995,1996): Elf verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland: delen 1 en 2</b>	<b>47</b>
<b>VII</b>	<b>Algemene achtergrondinformatie over de Nederlandse waterwingebieden voor de drinkwatervoorziening: hun indeling in hoofdtypen met nadere indeling van freatisch grondwater en grondwater uit kalksteen op basis van hun kwetsbaarheid in 8 subtypen.</b>	<b>57</b>
<b>VIII</b>	<b>Fragment van het EXCEL-bestand SWIM-14.XLS, met de meest relevante gegevens van alle onderzochte 380 winplaatsen en de resultaten m.b.t. SAPORE en subindices</b>	<b>65</b>

# 1 Aanleiding

## 1.1 Verzilting

In veel puttenvelden, waar grondwater wordt gewonnen voor de Nederlandse drinkwatervoorziening, vertoont het opgepompte water een stijging van o.a. de natrium en chloride concentratie (Van Beek et al., 1990; Stuyfzand, 1996; Beekman & Laeven, 1996; Van Beek et al., 2002).

Voor deze NaCl-stijging zijn diverse oorzaken aan te wijzen (Stuyfzand & Stuurman, 1995-1996). De belangrijkste bestaan uit toenemende invloeden van:

- (1) de landbouw (overbemesting);
- (2) infiltrerende waterlopen als gevolg van meer winningen langs Rijn oevers en meer kunstmatige infiltratie. De relevante oppervlaktewateren zijn relatief (!) zout door lozing van steenzout en rioolwater;
- (3) lokale zoutbronnen (zoals wegeenzout, lekkende rioleringen e.d.); en
- (4) de opkegeling van brak of zout grondwater.

Bij de eerste 3 oorzaken spreken we van het continentale verziltingstype (komend van boven) dat doorgaans mild van aard is. Qua zoutlast is het hanteerbaar, problematischer zijn echter de met het zout geassocieerde verontreinigingen (nitraat, hardheid, pesticiden en andere organische microverontreinigingen). Brakwateropkegeling is een maritieme verziltingsvorm (komend van onder), die qua zoutlast zó problematisch worden kan, dat de winning gesloten moet worden. Tot het jaar 1992 zijn om die reden al 17 puttenvelden in Nederland gesloten (Stuyfzand, 1996). Dat leidde tot verlies aan wincapaciteit van in totaal ca. 10 Mm<sup>3</sup>/j. In de periode 1992-2002 zijn nog 26 winningen gesloten, waarvan er 4 (tevens) met duidelijke verzilting te kampen hadden (totale verlies door die 4: 4.5 Mm<sup>3</sup>/j). Maar de omvang van het maritieme verziltingsprobleem is nog veel groter geweest. Door dit type verzilting moesten 9 duinwaterwinningen in de periode 1940-1978 overschakelen op kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater. Dat leidde tot een reductie van de winning van duingrondwater met ca. 40 Mm<sup>3</sup>/j.

## 1.2 De Zoethouder

Een duurzame remedie van verzilting door brakwateropkegeling is de zoethouder, een door Kiwa ontworpen concept (Kiwa, 2001). Deze potentiële oplossing bestaat uit het onttrekken van een kleine deelstroom brak grondwater onder de bestaande verziltende winning. De brakke deelstroom wordt separaat ontzout met omgekeerde osmose, waarbij het membraanconcentraat teruggeïnjecteerd wordt in een diepere aquifer die van nature nog zouter grondwater bevat. Het ontzoute membraanfiltraat wordt gebruikt als bron van drinkwater.

### **1.3 Onderdeel BTO-project zoethouder**

Voorliggend onderzoek maakt deel uit van het BTO-onderzoek 2002-2006 'De zoethouder'. Het betreft het onderdeel 'vaststellen van risicogebieden (winningen in Nederland met risico op verzilting) op basis van de hydrologische en hydrochemische gesteldheid'. Dit door analyse van bestaande ruw-watergegevens en de bodemgesteldheid van puttenvelden in Nederland.

## 2 Bronnen van informatie

### 2.1 Databestanden

Gegevens over de kwaliteit van het ruwe en/of reine water van de Nederlandse pompstations, waterwinningen of waterleidingbedrijven zijn vooral te vinden in:

- REWAB: het actuele digitale databestand van de VEWIN, beheerd door Kiwa, met jaarlijkse aanlevering van gegevens door waterleidingbedrijven sinds 1992. REWAB staat voor REgistratie opgaven van WAleidingBedrijven.
- VEWIS: een digitaal databestand met cijfers van de jaren 1970, 1974, 1978, 1982, 1986, 1989 en 1992-1994 (Beekman & Laeven, 1996). Dit bestand lijkt verloren gegaan!
- Niet-centraal opgeslagen digitale en niet-digitale databestanden bij diverse Kiwa-medewerkers, zoals ing. Ad Vogelaar, ir. Cees van Beek, drs. Hein van Lieferloo en dr. Pieter Stuyfzand.
- RIVM-databestanden van vooral jaarlijkse metingen van het reine water. Daarnaast zijn er jaren met bijzonder (thematisch) onderzoek zoals naar bijzondere sporelementen of organische microverontreinigingen (deels digitaal aanwezig). Sedert 1969 worden de gegevens systematisch digitaal opgeslagen. Voor informatie: Ans Versteegh en Jan Mühlischlegel.

### 2.2 Specifieke rapporten en publicaties

Resultaten van onderzoek naar chloride-concentraties in het ruwe of reine water van Nederlandse waterwinningen, waaronder pompstations, zijn te vinden in:

- Reijnders et al (1983). Zij presenteren single-value kaarten van Nederland met daarop (a) hoofdbestanddelen van drinkwater (incl. lithium) in 1980 en (b) trends in die parameters tijdens de periode 1969-1980. De gegevens waren destijds gedigitaliseerd, de auteurs geven geen data-listing. De relevante Cl-uitwerkingen zijn als Bijlage 1 opgenomen in dit rapport;
- Van Beek et al. (1990). Er worden single-value kaarten van Nederland gegeven met daarop trends in de hoofdbestanddelen van zowel ruw als rein water tijdens de periode 1970-1986. Daarnaast bevat hun rapport Box-Whisker plots van de jaargemiddelden voor 7 typen grondwaterwinningen. De gegevens waren destijds gedigitaliseerd, de auteurs geven geen data-listing. Alleen de jaren 1970, 1974, 1978, 1982 en 1986 zijn beschouwd, bovendien met uitsluiting van die winningen die oppervlaktewater, kunstmatig infiltraat of oeverinfiltraat onttrokken en die meerdere watervoerende pakketten aftapten. De relevante Cl-resultaten staan in Bijlage 2 van dit rapport;
- Peters & Meijer (1993). Zij tonen single-value kaarten van Nederland met daarop: (a) de grootte der onttrekkingen, (b) ligging van het 150 mg chloride grensvlak, (c) kwetsbare winningen door een geringe afstand tussen de putfilters en het zoet/brak-grensvlak (150 mg Cl-/L), (d) de winningen waar sprake is – volgens Van Beek et al., 1990 – van een significante chloride stijging, en (e) de 17 winningen waar de kans groot is dat de geconstateerde

chloridetoename veroorzaakt wordt door brakwateropkegeling (upconing). Gedigitaliseerde gegevens die zijn teruggevonden, hebben betrekking op de pompstations: hun X- en Y-coördinaten, type winning, diepteligging watervoerend pakket, en diepteligging 150 mg chloride grensvlak. De belangrijkste resultaten staan in Bijlage 3 van dit rapport;

- Beekman & Laeven, 1996. Zij presenteren single-value kaarten van Nederland met daarop (a) de ligging van de winningen met hydrologische type-aanduiding incl. code voor de weerstand van het beschermingbiedende slecht-doorlatende pakket; (b) dito met hydrochemische type-aanduiding (redox milieu, alkaliteitsklasse en dominant anion), (c) dito met de dominante vormen van landgebruik, en (d) concentratieklassen voor enkele hoofdbestanddelen van ruw en rein water (incl. Al, As, Ni en Zn) in 1994. Trends in diverse kwaliteitsparameters tijdens de periode 1970-1992 worden besproken en in tabellen per hoofdtype weergegeven. Winningen die oppervlaktewater, kunstmatig infiltraat of oeverinfiltraat onttrokken en die meerdere watervoerende pakketten aftapten, zijn evenals in het onderzoek van van Beek et al. (1990) uitgesloten. De gegevens waren destijds gedigitaliseerd, delen daarvan zijn teruggevonden. De relevante Cl-uitwerkingen zijn als Bijlage 4 opgenomen in dit rapport; en
- Stuyfzand, 1996. Er worden single-value kaarten van Nederland gepresenteerd met daarop: (a) de ligging van alle vóór 1992 verlaten pompstations ingedeeld naar onttrekkingsgrootte, (b) dito van de in 1992 nog actieve pompstations, (c) de chloride-concentraties tijdens de start van elke winning, (d) de chloride-concentraties in 1992 of in het laatste jaar van winning, (e) de verziltingssnelheid, en (f) de verziltingsschaal (zie Tabel 3.1). Alle data zijn digitaal in een EXCEL-bestand aanwezig: alle actuele en gesloten winplaatsen anno 1992 (jaar start, jaar einde, jaar waarin overgeschakeld werd van oppervlakte- op grondwaterwinning, zelfde gegevens als in digitale erfenis van Peters & Meijer (1993) doch uitgebreid, hydrologische type winning (3 varianten), maaiveldshoogte en onttrekking 1992), de concentraties van Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ba, F en EOCl in 1992, de concentraties van B, Br, I, Li, tritium en <sup>226</sup>Ra in de periode 1978-1983, en de verziltingsschaal (zie Tabel 3 in Bijlage 5). De hele publicatie is, vanwege het daarop voortborduren in dit rapport, als Bijlage 5 opgenomen;
- Daarnaast geven Stuyfzand & Stuurman (1995, 1996) een overzicht van de 11 verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland, met een indeling in 3 hoofdtypen. Zij presenteren ook een recept voor identificatie van de zoutbron middels natuurlijke tracers in water. Beide artikelen (resp. deel 1 en 2) zijn als Bijlage 6 opgenomen in dit rapport.

### 2.3 Waterwingebieden in Nederland en hun kwetsbaarheid

Bijlage 7 biedt enige algemene achtergrondinformatie over de Nederlandse waterwingebieden voor de drinkwatervoorziening, hun indeling in hoofdtypen en nadere indeling van freatisch grondwater en grondwater uit kalksteen in 8 subtypen op basis van hun kwetsbaarheid (voor verontreinigingen vanaf maaiveld!). Het betreft een fragment uit Stuyfzand & Van de Velde (2002).

De indeling in hoofdtypen (ABIKOU), die van belang is voor inschatting van het verziltingsrisico door brakwateropkegeling, is als volgt:

A	=	freatisch grondwater
B	=	(semi)spanningswater
I	=	kunstmatig infiltraat
K	=	grondwater uit kalksteen
O	=	oppervlaktewater uit spaarbekkens
U	=	oeverinfiltraat.

In Fig.2.1 is de ligging weergegeven van de in 1992 nog actieve winplaatsen in Nederland, met onderscheid op basis van hoofdtype en winningscapaciteit.

In Fig.2.2 is de ligging weergegeven van de in 1992 nog actieve en de vóór 1992 verlaten winplaatsen in Nederland, met onderscheid op basis van het hoofdtype. Het valt op dat er relatief veel waterwinningen verlaten zijn in het rivierengebied, in Hollands kustduinstrook en in Zuid-Limburg.



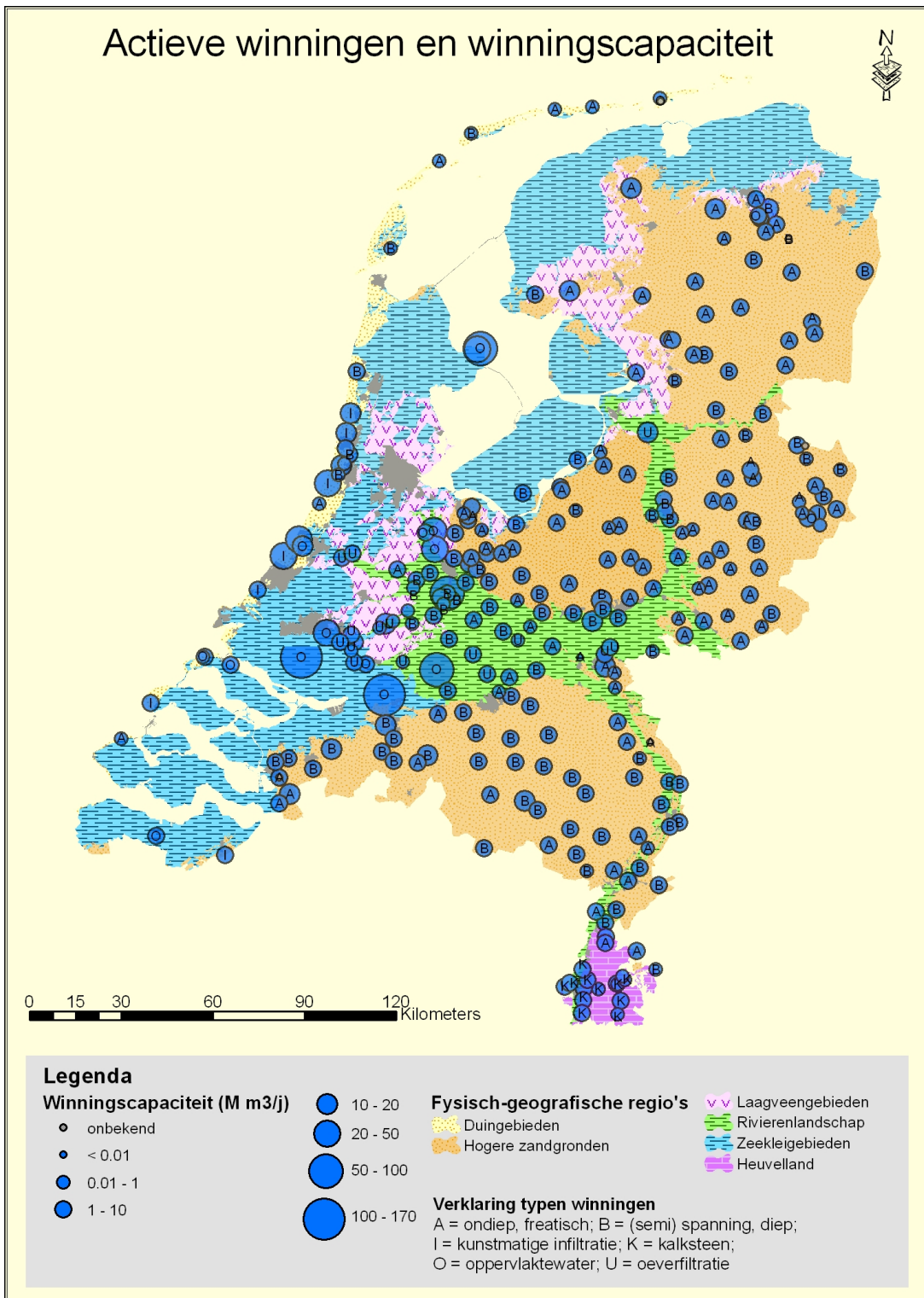


FIG. 2.1 Ligging van de in 1992 nog actieve winplaatsen in Nederland, met onderscheid op basis van hoofdtype (ABIKOU) en winningscapaciteit.

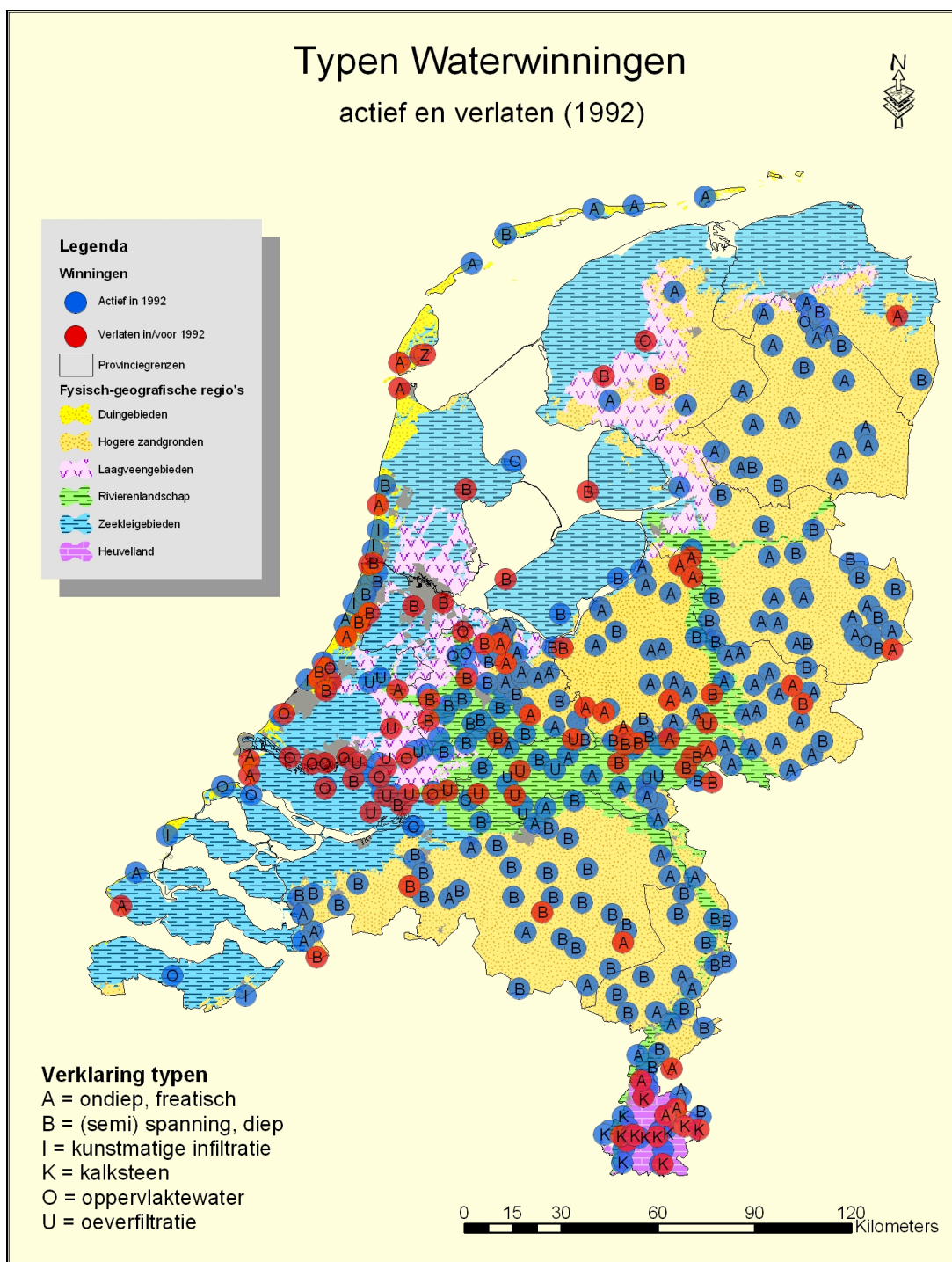


FIG. 2.2 Ligging van de in 1992 nog actieve en de vóór 1992 verlaten winplaatsen in Nederland, met onderscheid op basis van het hoofdtype.



## 3 Werkwijze

### 3.1 SWIM-14.XLS

Dit EXCEL-bestand, dat de basis vormde van de bijdrage van Stuyfzand (1996; zie Bijlage 5) aan de 14e Salt Water Intrusion Meeting (SWIM-14), is gekozen als uitgangspunt voor verdere data-aanvulling en gegevensbewerking.

Het bestand van 365 winningen is geactualiseerd naar de situatie anno 2002, door er 31 toe te voegen (deels nieuwe in periode 1992-2002, deels onderverdeling van bestaande winningen), en door het sluiten van meerdere winningen in de periode 1992-2002 te verwerken. Er zijn diverse andere gegevens toegevoegd:

- De 110 kwetsbare type A- en K-winningen zijn nader onderverdeeld, conform Van Beek et al. (2002), in 8 subtypen (zie Bijlage 7);
- De wintypen A, B, I, K, O en U (zie vorige paragraaf) zijn elk onderverdeeld in 2 subtypen op basis van meer en minder bescherming tegen microbiologische besmetting;
- Het percentage landbouwareaal in het intrekgebied van vele kwetsbare type A- en K-winningen (data verkregen van van Beek);
- De gemiddelde REWAB-kwaliteitsgegevens van het ruwe water in 2000 (alle hoofdbestanddelen plus Al, As, Ba, Br, Ni, Zn, AOX en EOX), alsmede de minimum, gemiddelde en maximum chloride concentraties;
- De methaan-analyses van het ruwe water, voor zover deze in de studie van Stuyfzand et al. (1994) zijn gebruikt;
- De aanwezigheid van een statistisch significante trend in het chlorideverloop van 1970-1986, volgens Van Beek et al. (1990);
- Dito van 1970-1992, volgens Beekman & Laeven (1996);
- Enkele gemiddelde niveaus (periode 1992-2000 uit REWAB) voor microbiologische parameters van het ruwe water: koloniegetallen bij 22 en 37 °C, Coli-bacteriën, thermotolerante Coli-bacteriën, Aeromonaden en sulfiet-reducerende Clostridia. Daarnaast de somparameter MICROS (MICRObiologische Score; Stuyfzand & Medema, 2002).
- gelegen is, anders <25m. Dit conform Peters & Meijer (1993);

De naam van de database is na bovenstaande aanvullingen en toevoeging van de index SAPORE omgedoopt in PS-SAPORE (PS staat voor PompStations; voor SAPORE zie onderstaande).

### 3.2 Berekening van de index SAPORE

Een nieuwe index is bedacht om aan de hand van de in het bestand PS-SAPORE.XLS aanwezige gegevens het verziltingsrisico door brakwateropkegeling voor grondwaterwinningen te kwantificeren. Deze index is gedoopt SAPORE, het acronym voor SALinization POtential for water RESources, met als eigen betekenis 'smaak' (in italiaans). Zout geeft immers een typische smaak aan water.

Het betreft een index op basis van het ongewogen gemiddelde van maximaal 7 subindices, waarvan elke subindex een waarde kan aannemen tussen -2 en +3 (zie Tabel 3.1):

$$\text{SAPORE} = 2,646 (\text{MAX} + \text{TREND} + \text{POS} + \text{SAL}_{\text{MAR}} + \text{SAL}_{\text{CONT}} + \text{BEX} + \text{SAL}_{\text{RISK}}) / \sqrt{N}$$

met:

- MAX = MAXimale chloride concentratie in 2000 (REWAB-database) is kritiek. MAX wijst op een maritieme verziltingsbron (hoger dan omliggende continentaal verzilte winplaatsen, meestal >100 mg Cl/L). Waarde = 3 als Cl > 300; 2 als 200-300; 1 als 100-200 mg/L. Anders (Cl < 100 mg/L) waarde = 0;
- TREND = er is sprake van een significant positieve trend in de chlorideconcentratie in de periode 1970-1992 (of als die ontbreekt, dan in de periode 1970-1986). Waarde = 1 als ja (stijgend); -1 als dalend; 0 als geen trend;
- POS = positie van het zoet/brak-grensvlak (150 mg Cl/L) is kritisch dicht bij onderzijde pompfilters (een verfijning van de aanpak van Peters & Meijer, 1993). Waarde = 2 als afstand <10 m indien grensvlak gelegen is binnen de aquifer waaruit onttrokken wordt (anders <12.5 m); 1 als afstand 10-20 m indien grensvlak gelegen is binnen de aquifer waaruit onttrokken wordt (anders 12.5-25 m); -1 als afstand >50 m; anders 0 (indien afstand 20-50 m bij grensvlakpositie binnen de aquifer waaruit onttrokken wordt, of 25-50 m bij grensvlakpositie onder bepompte watervoerende laag);
- SAL<sub>MAR</sub> = er is in 1992 sprake van maritieme verzilting volgens de criteria van Stuyfzand (1996); zie onderstaande Tabel 3.2. Waarde = 2 als ja, anders 0;
- SAL<sub>CONT</sub> = er is in 1992 sprake van continentale verzilting volgens de criteria van Stuyfzand (1996); zie onderstaande Tabel 3.2. Waarde = -2 als ja, anders 0;
- BEX = kationuitwisseling wijst op verdringing van relatief zoet water door relatief zout water. Waarde = 1 als ja, anders 0. Voor BEX is de index van Stuyfzand (1986, 1993) genomen (<0 duidend op verzilting), en als deze door gebrek aan gegevens niet te berekenen valt is de Na/Cl-verhouding genomen (<0,5 als verzilting);
- SAL<sub>RISK</sub> = een relatief snelle chloridetoename in de periode 1992-2000 (>8 mg/L of >20%), voor wintypen A, B en K indien zij in de periode tot 1992 geen continentaal verziltingstype scoorden (Tabel 3 in Bijlage 5). Waarde = 1 indien ja, anders 0;
- N = aantal in beschouwing genomen subindices. Door afwezigheid van gegevens komt het vrij veel voor dat niet alle 7 subindices te bepalen zijn.

De factor 2,646, zijnde  $\sqrt{7}$ , is nodig om het gemiddelde maximum van SAPORE (voor N = 1-7) op 10 te krijgen. Vermenigvuldiging met  $\sqrt{7}$  (= wortel van het maximale aantal subindices) en deling door  $\sqrt{N}$  (= wortel van het actuele aantal subindices) maakt de parameter SAPORE aanzienlijk minder afhankelijk van het aantal gemeten parameters (subindices). De mogelijke waarden van de 7 subindices zijn in Tabel 3.1 weergegeven.

Er zijn diverse opties van SAPORE beproefd. Voorliggende versie resulteerde in de meeste overeenkomst tussen het berekende verziltingsrisico en het uit praktijkgegevens blijken optreden van actuele verzilting.

TABEL 3.1 Beknopte toelichting op de 7 subindices van SAPORE, met hun mogelijke waarden.

Code in SAPORE	Betekenis subindex	-2	-1	0	+1	+2	+3
MAX	MAXimale Cl-concentratie kritiek			<100	100-200	200-300	>300
TREND	TREND in Cl-concentratie aanwezig		DAALT	GEEN	STIJGT		
POS	POSitie zoet/brak-grensvlak kritisch		>50 m	20#-50 m	10-20#	<10# m	
SAL <sub>MAR</sub>	Verziltingstype is marietiem			NEE		JA	
SAL <sub>CONT</sub>	Verziltingstype is continentaal	JA		NEE			
BEX	Base Exchange index → verzilting			NEE	JA		
SAL <sub>RISK</sub>	snelle Cl-stijging in 1992-2000			NEE	JA		

# = getal afhankelijk van positie zoet/brak-grensvlak: als binnen gepompte watervoerend pakket 10 en 20, indien eronder resp. 12.5 en 25 m.

TABEL 3.2 De verziltingsschaal voor drinkwater, met haar criteria (naar Stuyfzand, 1996).

Schaal-nrs 3 en 5 indiceren marietieme verzilting, 2 en 4 indiceren continentale verzilting.

Nr	Beschrijving	Status	ΔCl-	vCl	ΔH	Continental of Marietiem			
						type	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> /Cl	<sup>3</sup> H
	schaal – nr	Pompstation	\$	##	@@	PS	mg N/L	mg/L	Bq/L
-	ongedefinieerd	act./gesloten	{ ? of	? of	? of	? of	? of	? of	? }
-1	geen verzilting	gesloten	<20	-	-	alle	-	-	-
0	geen verzilt, geen risico	actief	<20	<1	-	alle	-	-	-
1	geen verzilt., wel risico	actief	<20	{ >1 of	<20 }	alle	-	-	-
2	continentale verzilting	actief	≥20	-	-	{ I, O, U of	{ ≥5 of	≥0.5 of	≥4 }
3	marietieme verzilting	actief	≥20	-	-	{ A, B, K en	{ <5 en	<0.5 en	<4 }
4	cont. verzilting, PS †	gesloten	≥20	-	-	{ I, O, U of	{ ≥5 of	≥0.5 of	≥4 }
5	marietiem verzilt, PS †	gesloten	≥20	-	-	{ A, B, K en	{ <5 en	<0.5 en	<4 }

\$ = als actief:  $Cl_{1992} - Cl_{START}$ ; als gesloten:  $Cl_{SLUITINGSJAAR} - Cl_{START}$ ; ## = als actief:  $\Delta Cl / (1992 - \text{startjaar})$ ; als gesloten:  $\Delta Cl / (1992 - \text{sluitingsjaar})$ ; @@ = verticale afstand tussen onderkant putfilter en zoet/brak-grensvlak (150 mg Cl/L).



## 4 Resultaten

### 4.1 Presentatie

De resultaten van berekening van SAPORE en de afzonderlijke subindices staan in Bijlage 8, gesorteerd op aflopende waarde (dus aflopende kans/risico op maritieme verzilting).

In onderstaande Tabel 4.1 staan alle in 2000 nog actieve winningen met een SAPORE > 2, en in Tabel 2 de vóór 1992 verlaten winningen met een SAPORE > 2. Waarden > 2 worden als signalering gezien van een verhoogd risico op maritieme verzilting.

Van de in 2000 nog actieve winningen vertonen er, met deze maat, 43 een verhoogd risico en 16 van de 102 vóór 1992 verlaten winningen. Deze 43 in 2000 nog actieve winningen pompten in 1992 samen (met weglating van Monster en St. Janssteen, waar kunstmatig geïnfilteerd wordt) jaarlijks ca. 150 Mm<sup>3</sup> aan grondwater voor de drinkwatervoorziening op. Hun verlies zou de regionale drinkwatervoorziening zeker in gevaar brengen.

In Fig.4.1 zijn de 41 in 2000 nog actieve winplaatsen met verhoogd risico op verzilting (Monster en St. Janssteen weggelaten) weergegeven, samen met de 16 vóór 1992 verlaten winplaatsen met verhoogd risico.

### 4.2 Onzekerheden

Als grenswaarde is op praktische gronden “ >2 ” gekozen, omdat die waarde de duidelijkere gevallen, waarvan uit detailonderzoek bekend is dat zich daar verzilting voordoet, doet bovendrijven, terwijl positieve getallen tussen 0 en 2 veel twijfelachtige gevallen opleveren

De resultaten laten de grove lijnen zien. Scores >5 hebben vrijwel zeker met brakwateropkegeling te maken, en wel in zeer bedreigende mate. Scores lager dan 2 sluiten niet uit dat enkele putten van een winplaats, met name die in diepere watervoerende pakketten en met een geringe bijdrage aan de totale waterlevering, hier ook last van hebben. De bedreiging is navenant kleiner.

Een voorbeeld van zo'n situatie is die op het puttenveld Kievietsweg te Ridderkerk, nota bene één van de 2 proeflocaties voor de zoethouder!. SAPORE scoort hier slechts een 1,0, terwijl bekend is dat de putten in de diepste aquifer last hebben van brakwateropkegeling. De winning als geheel staat echter te boek als een oeverfiltraatwinning, wat automatisch een zeer lage score oplevert.



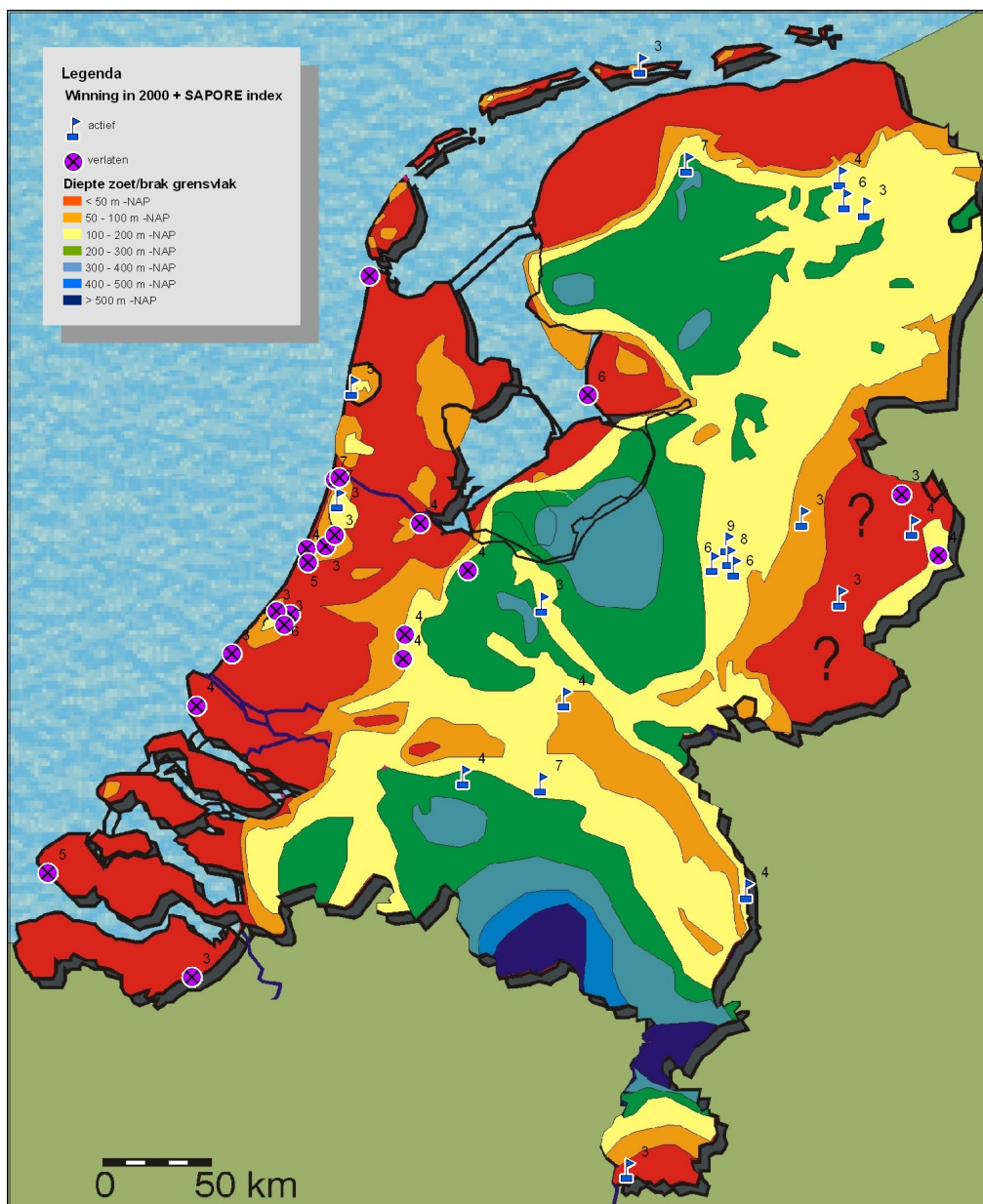


Fig. 4.1 De 41 anno 2000 nog actieve winplaatsen in Nederland met verhoogd risico op maritieme verzilting (door brakwateropkegeling; SAPORE>2). Tevens aangegeven zijn de 16 vóór 1992 verlaten winplaatsen die ook een verhoogd risico hadden (en wellicht mede daarom zijn opgegeven). Achtergrond is de diepteligging van het zoet/brak-grensvlak (300 mg Cl/L) in m-NAP.

Tabél 4.1. De 43 anno 2000 nog actieve puttenvelden met verhoogd risico op brakwateropkegeling (marieme verzilting), op basis van SAPORE > 2.

LOC. Nr	WLB 1992	POMPSTATION	Provinc	Start	END	TYPE	CI start	CI 1992	CI 2000	CI	BEX 2000	Na/Cl mg/L	Cl-min 2000	Cl-max 2000	MAX	TREND 70-86	TREND 70-92	POS	SAL MAR	SAL CONT	BEX	SAL RISK	SAPORE RE	Praktijk INFO
9-8	WMO	DIEPENVEEN	Ovy	1934		B	40	185	215	-1.83	0.41	9	710	3	0	0	2	1	0	1	0	1	1	9.0 JA, LIT.1
10-1	DEV	CEINTUURBAAN (DEVENTER)	Ovy	1893		B	22	132	160	-0.87	0.44	18	290	2	0	0	2	1	0	1	0	1	1	8.0 JA, LIT.1
3-6	WLF	NOORDBERGUM: MIX (Jhr.v.s. Gravesande)	Fri	1925		A	31	88	115	-0.25	0.42	100	130	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	7.0 JA, LIT.4
85-1	RNH	NULAND: MIX	NBr	1887		B	18	88	121	0.42	0.60	44	300	3	0	1	0	1	0	1	0	0	0	7.0
10-2	DEV	ZUTHPENSEWEG (DEVENTER)	Ovy	1954		B	59	108	135	0.29	0.59	26	195	1	0	0	2	1	0	1	0	0	1	6.0 JA, LIT.1
17-2	WMG	TWELLO	Gid	1979		B	28	52	63	0.94	0.84	17	161	1	0	0	2	1	0	1	0	0	1	6.0
1-2A	GWG	DE PUNT	Gro	1930		A	45	97	-0.20	0.51	0.21	21	425	3	0	0	0	1	1	1	0	1	1	5.9
32-4	PWN	BERGEN: MIX	NHo	1885		B	31	75	89	0.33	0.55	56	99	0	0	0	2	1	0	0	0	1	1	5.0 JA, LIT.3
1-1	GWG	HAREN	Gro	1912		A	31	71	86	-0.36	0.43	30	180	1	0	0	-1	1	0	1	0	1	1	4.0
9-17	WMO	WEERSELO	Ovy	1966		A	27	41	42	0.19	0.40	38	50	0	1	1	2	0	0	1	0	1	0	4.0
14-2	WOT	LOSSER: MIX	Ovy	1932	1997	A	12	30	26	0.51	0.42	22	33	0	1	1	2	0	0	1	0	1	0	4.0
82-9	WNWB	GENDEREN	NBr	1962		B	5	27	20	0.97	1.10	13	32	0	1	0	2	1	0	1	0	0	0	4.0
94-3	WML	HANIK-ARCEN	Lim	1976		B	15	43	76	-0.16	0.38	69	87	0	1	1	-1	1	0	1	0	1	1	4.0
17-17	WMG	VAN VERSCHUER (LIENDEN)	Gid	1941		A	19	44							1	1	0	1	0	1	0	1	4.0	
49-2	EWR	LANGVELD	ZHo	1919	1995	A	29	114							0	0	1	1	0	1	0	1	4.0 JA, LIT.2	
2-3	WAPROG	DE GROEVE	Gro	1965		A	20	42	43	0.41	0.64	24	69	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	3.0 JA, LIT.5
3-4	WLF	BUREN (AMELAND)	Fri	1961		A	59	77	86	1.41	0.61	79	88	0	0	0	2	0	0	1	0	0	1	3.0
9-11	WMO	NIJVERDAL	Ovy	1954		A	11	17	17	0.21	0.65	8	67	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	3.0
15-3	WOG	NOORDUKERVELD	Gid	1982		B	22	24	30	0.24	0.43	21	35	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	3.0
29-23	WMN	HOOGEWEG (AMERSFOORT)	Utr	1913		A	9	240	93.65	0.91	0.77	47.3	140	1	1	1	-1	1	0	0	0	0	0	3.0
94-25	WML	DE DOMMEL (RUCKHOLT)	Lim	1973	2001	K	20	26	25	0.49	0.28	24	26	0	0	0	2	0	0	1	0	1	0	3.0
9-15	WMO	VASSERHEIDE	Ovy	1976	1988	B	18	22							1	0	2	0	0	0	0	0	0	2.6
40-2	WLZK	BLOEMENDAAL MIX	NHo	1904	2002	B	31	62							1	0	-1	1	0	1	0	0	0	2.6 JA, LIT.3
63-1	WDM	MONSTER: MIX	ZHo	1887	1994	I	86	77							0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.6 NEE, KIO
77-7	DELTAN	ST. JANSTEEN	Zee	1937	1998	I	20	34							0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.6 NEE, KIO
3-1	WLF	VLIJLAND	Fri	1952		A	37	80	96	-0.17	0.47	92	105	1	1	1	1	1	0	-1	1	0	0	2.0
3-3	WLF	HOLLUM (AMELAND)	Fri	1961		A	57	51	52	0.71	0.57	49	54	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
9-5	WMO	BRUCHT	Ovy	1958		B	21	32	36	0.27	0.50	21	61	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2.0
9-14	WMO	MANDERVEEN	Ovy	1962		B	12	20	22	0.36	0.59	17	28	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2.0
15-5	WOG	RUURLO	Gid	1955		A	43	50	46	0.86	0.56	43	46	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
15-14	WOG	DR. VAN HEEK: MONTFERLAND	Gid	1961		A	22	25	20	0.51	0.70	10	31	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
15-20	WOG	TOLKAMER (LOBITH)	Gid	1944		B	8	6	6	0.78	1.10	5	6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
15-30	WOG	CORLE (WINTERSWIJK)	Gid	1926		B	16	35	41	0.49	0.56	30	46	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
17-5	WMG	DE HAERE	Gid	1966		A	11	16	13	0.16	0.59	11	15	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
17-8	WMG	PUTTEN	Gid	1959		A	15	18	17	0.31	0.65	14	21	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
17-18	WMG	DRUTEN	Gid	1953		A	16	92	120	-0.34	0.39	45	292	2	0	0	1	0	0	-1	1	0	0	2.0
51-8	WZHO	DE LAAK (LEXMOND)	ZHo	1936		B	7	37	26.7	1.66	1.06	18.7	36.3	0	1	1	-1	1	0	0	0	0	0	2.0
82-1	WNWB	ALTENA (WOUW)	NBr	1968		B	18	18	19	0.85	0.84	16	21	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
82-14	WNWB	BORTELDONK: MIX	NBr	1887		B	21	17	18	0.45	0.67	14	20	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
94-7	WML	GRUBBENVORST	Lim	1962		B	80	52	30	0.47	0.73	20	53	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
94-17	WML	PEY-ECHT: MIX	Lim	1951		B	10	8	8	0.52	0.83	6	10	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
94-19	WML	SUSTEREN: MIX	Lim	1966		B	8	7	3	0.36	1.30	2.5	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2.0
94-28	WML	ROOBBORN	Lim	1952		K	15	23	22	0.21	0.31	21	23	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2.0

Tabel 4.2. De 16 vóór 1992 verlaten puttenvelden met verhoogd risico op brakwateropkegeling (maritieme verzilting, op basis van SAPORE >2.

LOC. Nr	WLB	POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	BEX	SAL	SAPO	N	PRAKTIJK
1992	1992					SWIM	start	1992		70-86	70-92		MAR	RISK			RE		INFO
38-1	WLZK	SVHB: MIX	NHo	1899	1990	B	54	152		1		2	1		0		6.6	4	JA, LIT.3
39-1	WLZK	COENSTRAAT	NHo	1916	1988	B	34	280		1		2	1		0		6.6	4	JA, LIT.3
-	GWVS	PAPELAAN	ZHo	1909	1970	B	51	424				2	1		0		6.1	3	
-	URK	URK	Fle	1924	1949	B	245	598				2	1		0		6.1	3	
32-3	PWN	HUISDUINEN	NHo	1856	1981	A	71	107				1	1		0		4.6	3	
-	DELTA	BIGGERKERKE	Zee	1883	1980	A	54	183				1	1		0		4.6	3	
-	GWVH	VOORHOUT	ZHo	1929	1956	A	40	373				1	1		0		4.6	3	JA, LIT.6
53-2	11GEM	WOERDEN	ZHo	1906	1979	B	41	112				1	0		0		3.7	2	
-	GBB	BRIELLE	ZHo	1924	1968	A	37	199				1	0		0		3.7	2	
-	WMIN	OUDEWATER	Utr	1911	1970	B	23	43				1	0		0		3.7	2	
-	-	S-GRAVELAND	Utr	1911	1945	B	25	53				1	0		0		3.7	2	
-	-	WATERGRAAFSMEER	NHo	1900	1920	B	350	496				1	0		0		3.7	2	
44-1	GWV	HILLEGOM	ZHo	1925	1982	B	28	191				0	1		0		3.1	3	JA, LIT.2
-	PWN	BENNEBROEK	NHo	1933	1948	B	55	87				0	1		0		3.1	3	JA, LIT.2
-	GWV	HAZELAAN	ZHo	1928	1969	B	21	45				0	1		0		3.1	3	
-	DV	VOORBURG	ZHo	1898	1960	B	75	231				0	1		0		3.1	3	JA, LIT.6

## 5 Aanbevelingen voor nader onderzoek

### *Aanbevolen wordt om:*

- alle winplaatsen nogmaals te screenen op verziltingsrisico na aanvulling van de database PS-SAPORE.XLS (zie specificaties onder). Dat levert een betere diagnose op.
- winplaatsen te selecteren als pilot voor de zoethouder. Bij die keuze dienen ook de inmiddels verlaten winplaatsen in beschouwing te worden genomen.
- de overige kwaliteitsveranderingen van het ruwe water in kaart te brengen, wanneer sprake is van brakwateropkegeling. Te denken valt aan opharding van water, verhoging van de concentraties ijzer, mangaan en ammonium, en toename van het corrosievermogen.

### *Uitbreiding van de database PS-SAPORE.XLS met:*

- gegevens van clusters winputten uit diverse watervoerende lagen (b.v. ondiep, middeldiep en diep) of ruimtelijk duidelijk gescheiden puttenvelden.
- ontbrekende gegevens over o.a. de positie van het watervoerende pakket, de diepteligging van het zoet/brak-grensvlak, start en beëindiging van de winning, de waterproductiehoeveelheden anno 2000, ontbrekende waterkwaliteitsparameters.
- de chloride-gradient in de overgangszone van zoet naar brak (of zout) grondwater, voor elke winplaats.
- het uit detailonderzoek blijkend voorkomen van verzilting door brakwateropkegeling, op elke winplaats (incl. zich onderscheidende onderdelen daarvan).
- gegevens van de sedert 1992 verlaten en in gebruik genomen winplaatsen.



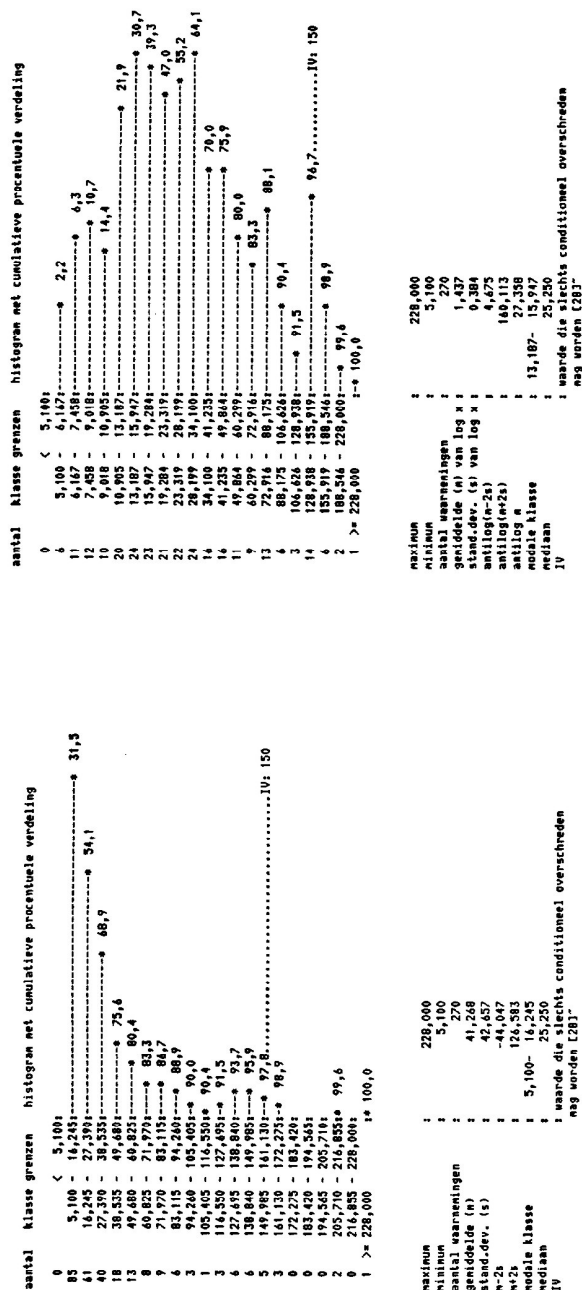
## 6 Literatuur

- BEEKMAN, W. & M.P. LAEVEN 1996. Van grondwater naar drinkwater; een toekomstschets t.b.v. prioriteitsstelling zuiverings- en voorspellingsonderzoek. Kiwa-rapport SWE 96.010, 50p.
- Kiwa, 2001. Het 'brakwater-concept als zoethouder'. H2O 2001-11, 10-11.
- PETERS, J.H. & J.A. MEIJER 1993. Will upconing be a problem in the Netherlands? Water Supply 11, 157-163.
- REIJNDERS, H.F.R., J.J. VAN STADEN & N.W. NAGTEGAAL 1983. Voorkomen en trend van enige chemische bestanddelen in uitgaand water van drinkwaterpompostations in Nederland. RIVM-rapport 218108001, 71p.
- STUYFZAND, P.J. 1986b. Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing. H2O 19, 562-568.
- STUYFZAND, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Ph.D Thesis Vrije Univ. Amsterdam, published by KIWA, ISBN 90-74741-01-0, 366 p.
- STUYFZAND, P.J. 1996. Salinization of drinking water in the Netherlands: anamnesis, diagnosis and remediation. SGU Rapportur och Meddelander 87, Proc. 14th SWIM, 17-21 June 1996, Malmö, Geol. Survey Sweden, Uppsala, 168-177.
- STUYFZAND, P.J., F. LÜERS & G.K. REIJNEN 1994. Geohydrochemische aspecten van methaan in grondwater in Nederland. H2O 27, 500-510.
- STUYFZAND, P.J. & R.J. STUURMAN 1995. Elf verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland: deel 1. H2O 28, 722-725.
- STUYFZAND, P.J. & R.J. STUURMAN 1996. Elf verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland: deel 2. H2O 29, 374-377.
- STUYFZAND, P.J. & R. VAN DER VELDE 2002. ADAGIO MOLTO 21: Modelling long-term effects of the policy against atmospheric acidification, on drinking water quality, production and distribution. Rapport Witteveen+Bos/Kiwa Water Research aan Min. VROM/DGM, directie Klimaatverandering en Industrie.
- VAN BEEK, C.G.E.M., J.G.R. BEEMSTER, L. BERNHARDI, J.W.N.M. KAPPELHOF, C. VINK 2002. Vermesting en grondwaterwinning; invloed van meststoffen uit de landbouw op de kwaliteit van grondwater opgepompt door waterleidingbedrijven. Kiwa rapport KOA 01-116.
- VAN BEEK, C.G.E.M., F.A.M. HETTINGA & P.K. BAGGELAAR 1990. Onderzoek naar trendmatige veranderingen in de kwaliteit van het grondwater onttrokken door de Nederlandse waterleidingbedrijven. Kiwa-rapport SWE 90.013, 48p.

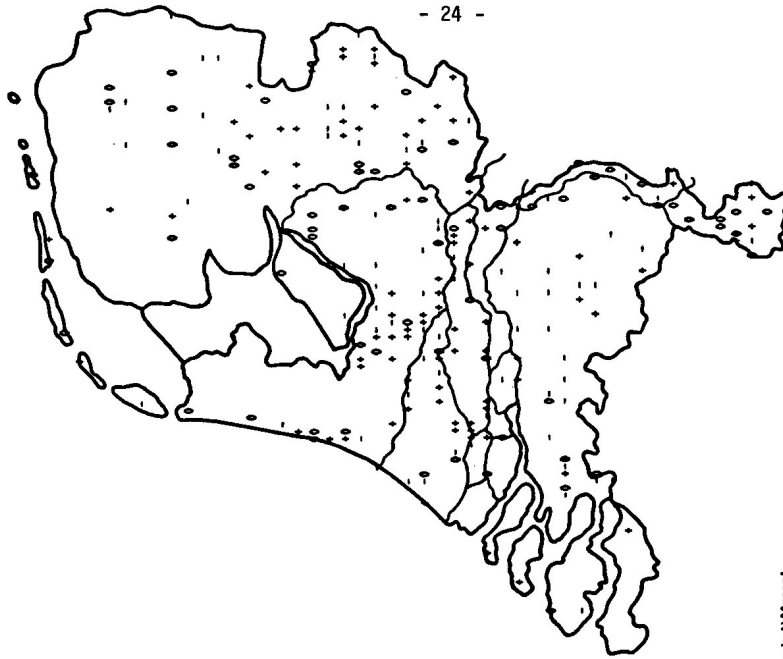


# I Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Reijnders et al. (1983)

- 23 -

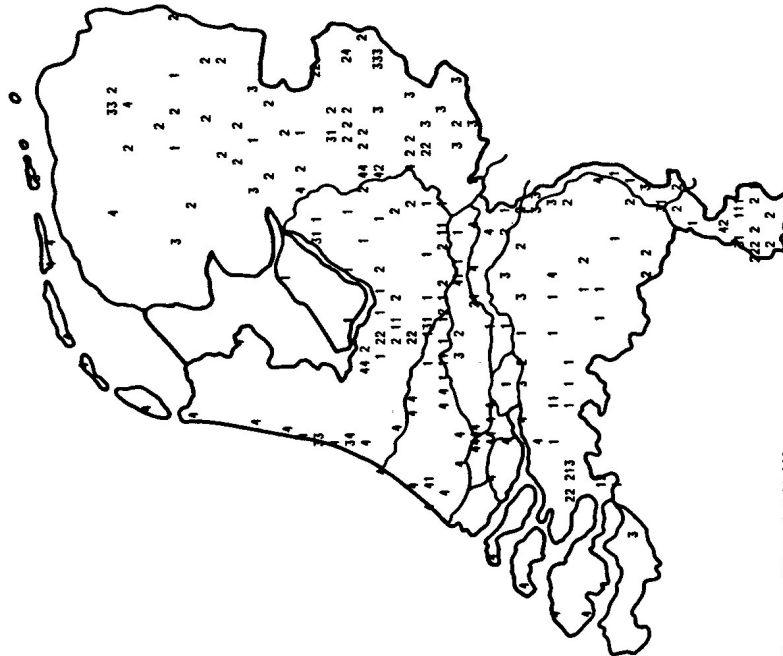






0 : indifferent  
 + : stijgend  
 - : dalend

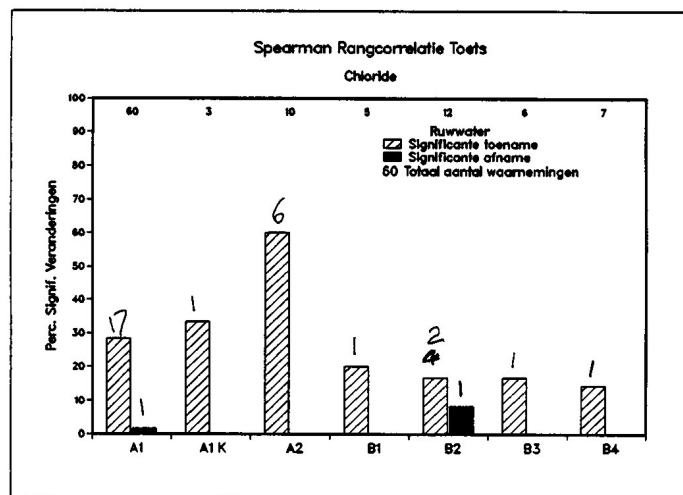
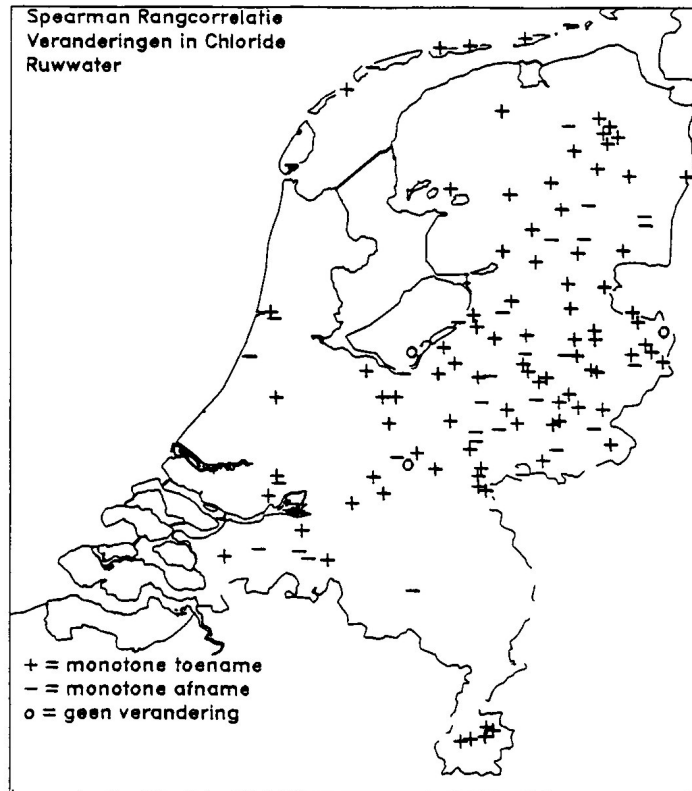
Figuur 7d  
 Geografische verdeling van de tendens in het gehalte aan chloride in uitgaand water van pompstations in Nederland in de periode van 1969-05-01 tot 1980-05-01.



bovengrens klasse 1 = 16.000  
 bovengrens klasse 2 = 32.000  
 bovengrens klasse 3 = 48.000  
 klasse 4 > 48.000

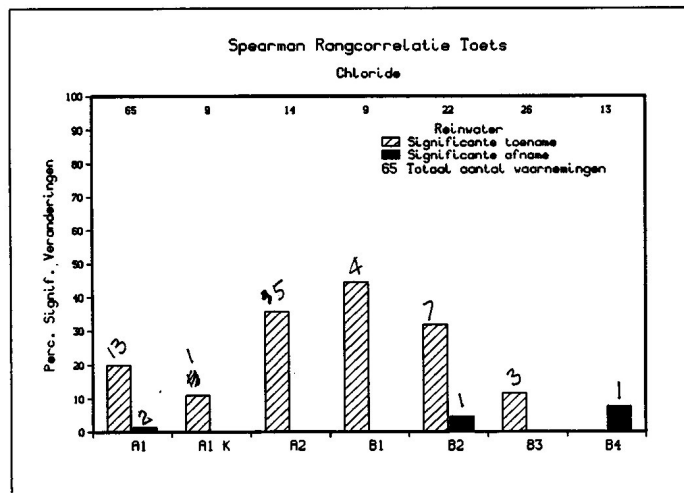
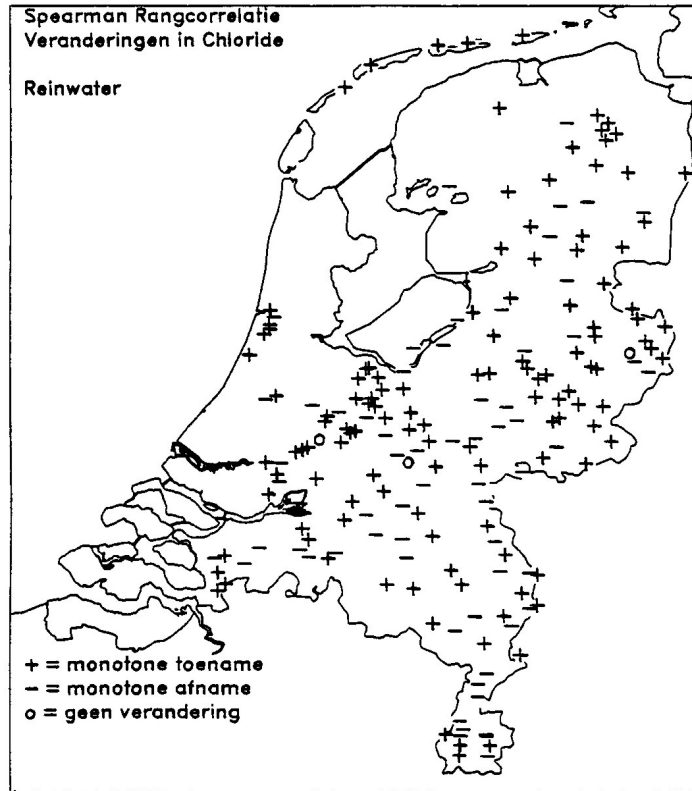
Figuur 7c  
 Geografische verdeling van het gehalte aan chloride (ng/l) in uitgaand water van pompstations in Nederland in de periode van 1980-05-01 tot 1981-05-01.

## **II Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Van Beek et al. (1990)**



603

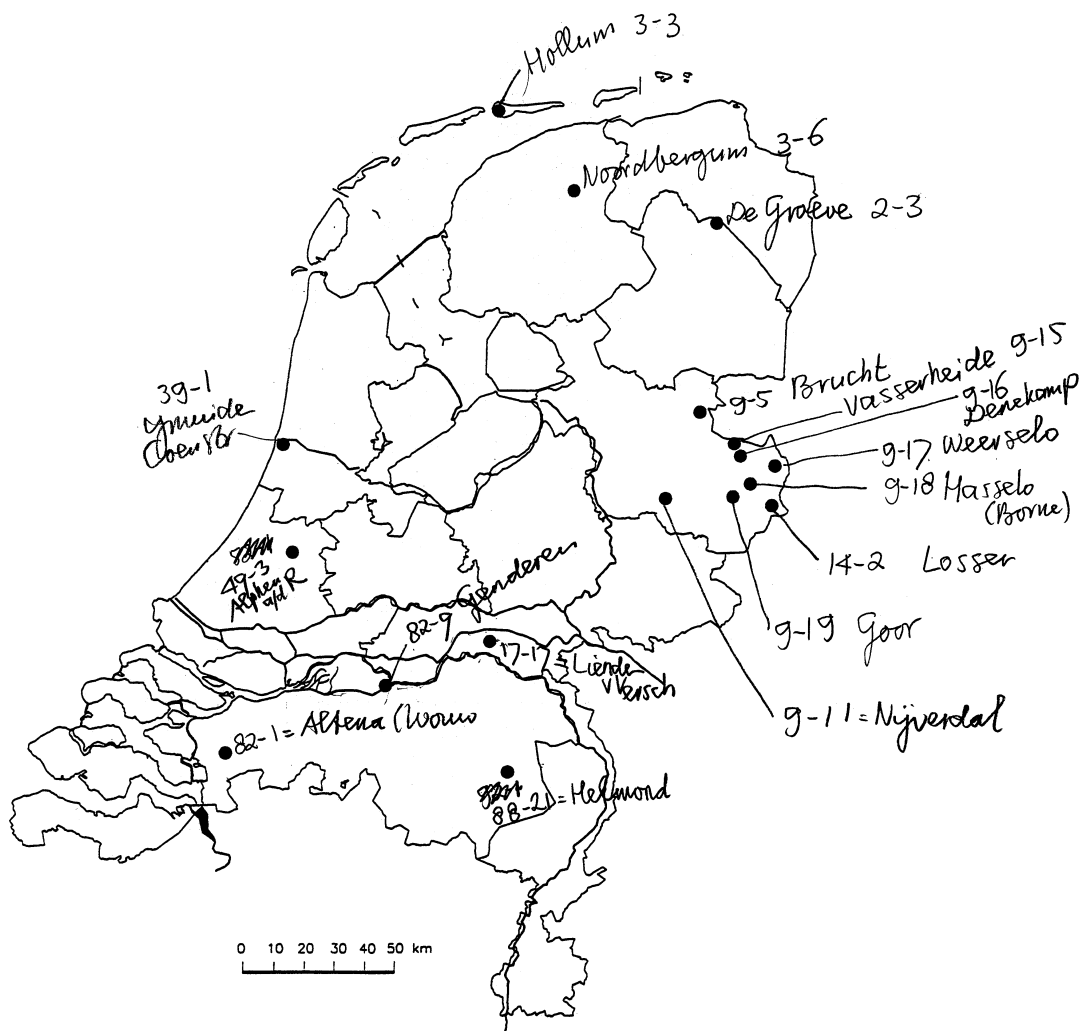
29 pos  
2 neg



158

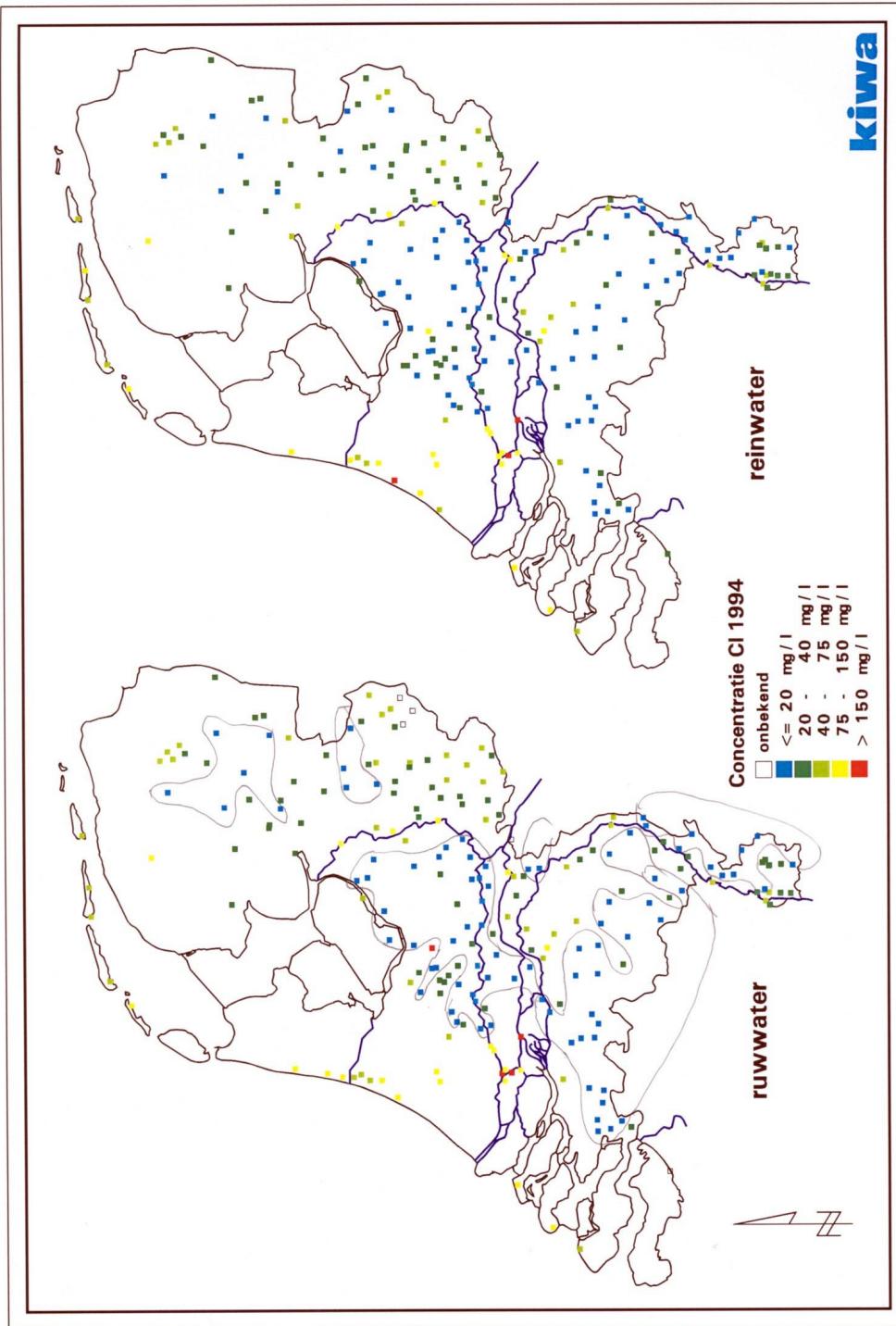
pos = 32  
neg = 4

### III Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Peters & Meijer (1993)





## **IV Belangrijkste chlorideresultaten uit het rapport van Beekman & Laeven (1996)**



Tekening: 6 Chlorideconcentratie in ruw- en reinwater in 1994.



Tabel 7 Aantoonbare trend per wintype voor 6 hoofdparameters in het reinwater

REINWATER		totH			pH			HCO <sub>3</sub>	
wintype	aantal <sup>1</sup>	pos	neg	p <sup>2</sup>	pos	neg	pos	neg	
A1	64	32	1	23	11	14	40	6	
A2	15	7	3	3	7	1	5	4	
A <sub>meng</sub>	14	9	1	5	1	3	5	1	
B1	12	9	2	4	2	2	5	3	
B2	28	14	2	8	6	4	15	3	
B3	29	5	2	5	3	11	9	4	
B4	23	5	7	3	3	3	4	8	
B <sub>meng</sub>	7	3	0	0	2	0	3	0	
C	14	2	1	10	3	1	1	3	
D	8	0	1	5	0	0	0	1	
K <sub>diep</sub>	4	2	0	4	0	2	1	0	
K <sub>free</sub>	10	7	0	10	0	6	8	0	
		Cl			NO <sub>3</sub>			SO <sub>4</sub>	
wintype	aantal	pos	neg	p <sup>3</sup>	pos	neg	p <sup>4</sup>	pos	neg
A1	64	23	8	1	22	1	10/2	39	3
A2	15	4	1	1	0	1	0	6	2
A <sub>meng</sub>	14	1	2	0	2	0	1/0	4	1
B1	12	7	0	0	6	0	3/0	9	1
B2	28	15	3	2	4	0	1/0	9	2
B3	29	4	9	0	3	0	0	3	1
B4	23	2	9	1	0	0	0	3	2
B <sub>meng</sub>	7	2	0	0	0	0	0	3	0
C	14	3	1	3	1	0	0	3	0
D	8	0	0	2	0	1	0	1	1
K <sub>diep</sub>	4	1	0	0	0	0	0	2	0
K <sub>free</sub>	10	4	1	0	6	0	7/5	7	0

<sup>1</sup> aantal winningen

<sup>2</sup> > 2 en stijgend of > 2,5 (mmol/l)

<sup>3</sup> > 75 en stijgend of > 150 (mg/l)

<sup>4</sup> > 12,5 en stijgend of > 25 / > 25 en stijgend of > 50 (mg NO<sub>3</sub>/l)

Uit de tabellen 6 en 7 blijkt voor alle parameters, met uitzondering van de pH, een vergelijkbaar beeld tussen ruw- en reinwater: in veel A1 winningen is sprake van één dominant proces, die verband houdt met het bodembeheer in het intrekgebied. In diepere winningen speelt de belasting aan maaiveld vaak geen rol, maar wordt de trend beïnvloed door verschuivingen van de grenzen van hydrosomen. Afhankelijk van het aangetrokken waterlichaam zal zich een trend manifesteren.

Niet alleen het voorkomen van een trend op A1-winningen, maar ook de grootte van de trend blijkt in het ruw- en het reinwater voor alle parameters ongeveer gelijk. In tabel 8 is de jaarlijkse (gelineariseerde) verandering in de parameterwaarde weergegeven. Het verschil tussen de [SO<sub>4</sub>] verandering in ruw- en reinwater wordt veroorzaakt door de kleinere deelverzameling

**V De SWIM-14 bijdrage van Stuyfzand (1996):  
Salinization of drinking water in the  
Netherlands: anamnesis, diagnosis and  
remediation.**

## Salinization of drinking water in the Netherlands: anamnesis, diagnosis and remediation

Pieter Jan Stuyfzand

Kiwa Ltd, Research and Consultancy Division, Groningehaven 7, P.O. Box 1072,  
3430 BB Nieuwegein, The Netherlands.

**ABSTRACT:** Recent and ancient data on all 365 pumping stations which existed in the period 1853-1996 (most of them well fields), are combined in order to reconstruct historical trends in drinking water supply in the Netherlands. These trends include geographical, hydrological and hydrochemical information. The purpose is to: (a) get a better definition of the salinization problem (size, location, trends), (b) identify stations with salinization phenomena and classify their origin as either continental (related to agriculture, evaporation, bank infiltration, artificial recharge, local pollution or sea spray) or maritime (recent North Sea intrusion or upconing of ancient North Sea water), and (c) give a list of remedial or preventive measures for both types of salinization.

A rapid screening method is proposed and used (Table 3) to assign the salinization cause and scale to each pumping station. The following parameters are required for each pumping station: type of water resource and state (closed or active),  $\text{Cl}^-$  concentration at start of operation and in 1992 (or year of close down), and the most recent concentrations of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $^3\text{H}$ , and  $\delta^{18}\text{O}$  only in dubious cases of Rhine bank infiltrate.

It is shown that 61 pumping stations (17%) of a total of 365 pumping stations are classified as salinized due to continental causes, and that 33 stations (9%) salinized for maritime reasons. From a total of 102 abandoned stations, 42 (41%) closed with salinization phenomena, of which 17 (5%) suffered from maritime salinization and were probably closed for that reason. Salinization is therefore a wide-spread problem in the Netherlands, which in about 50% of its cases is due to either continental or maritime reasons. The most susceptible areas are situated along the coast (intrusion and artificial recharge) and in the fluvial plain (bank infiltration and upconing).

### Introduction

There is a definite increasing trend for the  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  concentrations of drinking water in the Netherlands (derived from data in Van Beek et al., 1990) and about 17 well fields are likely to salinize due to upconing of brackish groundwater (Peters & Meijer, 1993). This salinization is worrying for the following reasons: it may affect the potability of water (maximum permissible concentrations resp. 120 and 150 mg/l in the EU), it surely increases corrosion of pumping wells and the distribution network, reduces the effectiveness of detergents (and thereby raises their consumption) and lowers the diuretic activity on the consumer whose blood-pressure will rise too.

The centralized monitoring of raw and purified water for public drinking water supply is considered a task for both the government (mainly for national health protection) and the drinking water supply companies (mainly for safeguarding their water resources).

Data are therefore collected by both: the RIVM (the governmental institute for public health and environmental protection) and VEWIN (Netherlands' Waterworks Association). Both institutes suffer from the same problem: data prior to the mid 1980s are not readily available as digital data files, they scatter around in annual reports and 'fugitive sources', like unpublished project reports, governmental agency file documents, memoranda, old hand-written data files etc.

It was therefore a challenge to dive into this 'data-grave-yard', in order to (a) get a better anamnesis of the problem, (b) combine data for identification (the diagnosis) of the causes of salinization, using some of the tracers discussed during the previous SWIM (Stuyfzand & Stuurman, 1994), and (c) assign the right remediation (and prevention) for the different types of salinization. The various sources of data that were consulted, are listed in the references.

### Anamnesis: historical developments in water supply and salinization

A centralized public drinking water supply started in the Netherlands in 1853 with the pumping of phreatic dune groundwater (Leefflang, 1974). The hygienic advantages (reduction of cholera epidemics) and better taste of groundwater gradually conduced to the national change over from surface to groundwater as the main source of drinking water. The increasing population and water consumption per capita raised the water demands from 70 Mm<sup>3</sup>/y in 1900 to 335 Mm<sup>3</sup>/y in 1950 to 1,250 Mm<sup>3</sup>/y in 1992 (VEWIN, 1895-1996). This necessitated an expansion of water abstraction sites (pumping stations, in case of groundwater well fields).

The 1,250 Mm<sup>3</sup> of drinking water prepared in 1992, is composed of 7 types of water resources (Table 1), in decreasing order:

- 440 Mm<sup>3</sup> of (semi)confined groundwater from sandy aquifers (type B),
- 335 Mm<sup>3</sup> of phreatic groundwater from sandy aquifers (type A),
- 232 Mm<sup>3</sup> of directly purified surface water, mainly from the rivers Rhine and Meuse (type O),
- 161 Mm<sup>3</sup> of artificially recharged river Rhine and Meuse water (type I),
- 55 Mm<sup>3</sup> of Rhine bank infiltrate (type U), and
- 27 Mm<sup>3</sup> of groundwater from Cretaceous limestone (type K).

This water was abstracted in 1992 on 262 pumping stations (Fig.1). Further details on the characteristics of the 7 types of pumping stations (water resources) are given in Tables 1 and 2.

A very important facet is the record on the close-down of pumping stations, because it constitutes a sensor of environmental problems. The location, type and size of abandoned pumping stations are shown in Fig.1, their distribution over the various types in Table 1 and the development in the course of time in Fig.2. In 1992 a cumulative total of 102 abandoned pumping stations was reached, with the highest closure rate for pumping stations using (semi)confined groundwater, and the lowest for those using recharged surface water. The highest percentage of closed stations (the lowest persistence) is observed for stations that used Rhine bank infiltrate.

TABLE 1. General characteristics of the 7 types of water resources for public drinking water supply in the Netherlands, anno 1992.

Type:	A	B	I	K	O	U
Diagnostic features	phreatic groundwater	(semi) confined groundwater	artificial recharge and recovery	ground-water from limestone	surface water	Rhine bank infiltrate
First year of operation of first station <sup>†</sup>	1853	1893	1940	1904	1881	1890
No. of active pumping stations	103	104	9	15	16	15
No. of closed pumping stations	31	34	1	8	13	15
Percentage of closed stations*	23	25	10	35	45	50
Mean closure rate** (N/y)	0.22	0.34	0.02	0.09	0.11	0.15
Mean raw water production (Mm <sup>3</sup> /y)	3.3	4.2	17.9	1.8	38.8	3.6
Amount of drinking water produced (Mm <sup>3</sup> /y)	335	440	161	27	232 <sup>†</sup>	55
Percentage of total amount of drinking water	27	35	13	2	19 <sup>†</sup>	4
Mean number of wells/collection points	13	16	94	6	1	14
Mean surface Level = SL (m+MSL <sup>°</sup> )	18.1	13.1	8.6	76.0	2.1	1.8
Mean abstraction level (m-SL)	32-65	63-125	8-30	23-74	0	28-69
Mean depth to brackish water <sup>**</sup> (m-SL)	166	194	62	170	-	128
Age spectrum (y)	2-200	20-25,000	0.1-0.3	2-200	0-1	1-50

\* = 100\*closed/(active + closed); \*\* = closed/(1993-first year); ° = Mean Sea Level; \*\* = 150 mg Cl/l interface;  
<sup>†</sup> = excluding the amount of surface water which is (a) pretreated for artificial recharge and industrial water supply (246 Mm<sup>3</sup>/y, 9 stations), and (b) posttreated elsewhere (148 Mm<sup>3</sup>/y, 2 stations); <sup>‡</sup> = still active.

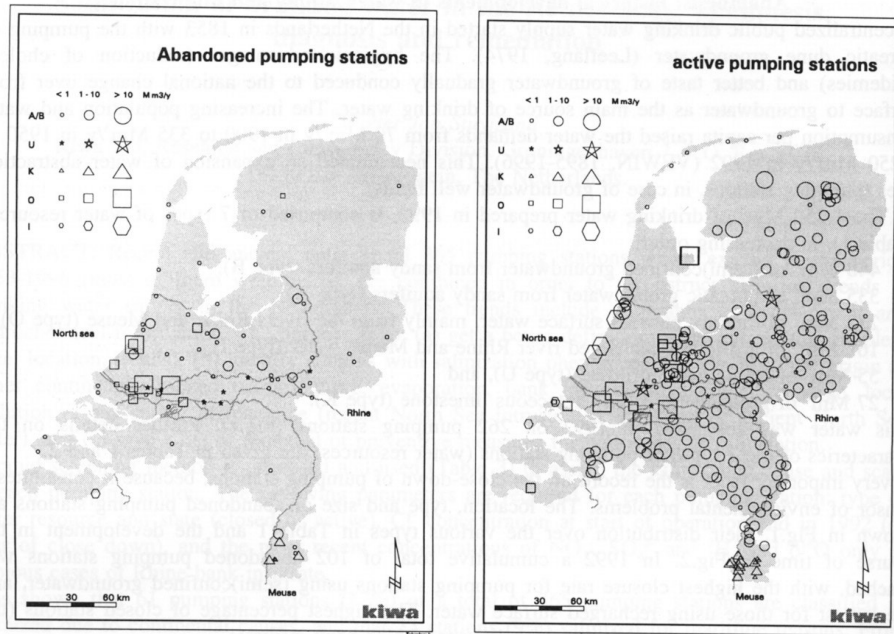


FIG. 1 The active and abandoned (closed) pumping stations for public drinking water supply in the Netherlands in 1992, with indication of type (A/B, I, K, O, U; see Table 1) and annual production.

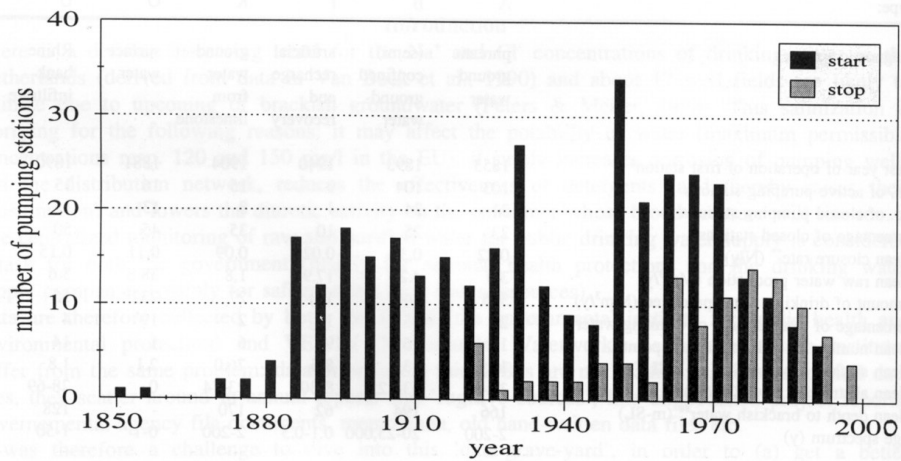


FIG. 2 Historical development of the total number of resp. new and closed pumping stations during 5-years periods from 1850 till 1995.

Reasons for close down were not always registered, but are clearly related to clogging, too serious environmental damage (like subsidence), salinization and other water quality problems, like 'anoxia' (too high methane, colour and ammonia), nitrate and micropollutants (mainly pesticides).

The size of the salinization problem is depicted in Figs.3-5, and quantified in Tables 2 and 4. It can be concluded from the chloride increase ( $\Delta\text{Cl}^-$ ) and salinization rate ( $v_{\text{Cl}^-}$ ) in Table 2 (regarding all active pumping stations), that on average:

(a) all types except for type O show some salinization, (b) type O (surface water) does not show any salinization (most of them started after 1955 when the salinization of surface water already had reached a high level), and (c) the types I and U exhibit most salinization of all (due to the change over from autochthonous groundwater to saltier surface water in case of I, and due to a strong salinization of river Rhine water in the period 1900-1975 in case of U).

The data in Table 4 show that 26% of a total of 365 pumping stations suffers or suffered from serious salinization (>20 mg Cl<sup>-</sup>/l increase since the first production year), and that at least about 5% had to be closed due to salinization (salinization scale 5). The spatial distribution of the salinization process in Fig.5 shows that the most seriously affected areas are located along the North Sea coast (intrusion and artificial recharge) and along branches of the rivers Rhine and Meuse (bank infiltration and upconing). Typical salinization rates for pumping stations range in between 1 and 5 mg Cl<sup>-</sup>/l/y, in only 2 out of 94 cases higher rates were observed (Fig.5). The salinization rates of 'bad' individual pumping wells normally is substantially higher (5-50 mg Cl<sup>-</sup>/l/y), and in individual piezometers rates as high as 500 mg Cl<sup>-</sup>/l/y are not rare in coastal aquifers.

TABLE 2. Chemical characteristics of the 7 types of water resources for public drinking water supply in the Netherlands, anno 1992.

Type:	unit	A	B	I	K	O	U
Diagnostic features		phreatic ground-water	(semi) confined ground-water	artificial recharge and recovery	ground-water from limestone	surface water	Rhine bank infiltrate
No of active pumping stations		103	102	9	15	14	15
Cl <sup>-</sup>	mg/l	33	29	114	31	98	116
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	38	14	76	68	65	47
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg N/l	1.72	0.11	1.32	2.89	3.00	0.26
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	166	217	189	355	158	244
B *	µg/l	24	56	170	20	105	76
Ba	µg/l	34	31	26	73	56	95
EOCl	µg/l	0.13	0.14	0.25	0.11	0.25	0.37
F	µg/l	83	102	239	151	223	130
I #	µg/l	5	7	12	5	8	20
Li #	µg/l	6	5	11	-	-	7
<sup>3</sup> H **	Bq/l	2.43	0.95	6.93	2.29	7.43	6.07
<sup>226</sup> Ra **	mBq/l	1.8	1.8	1.3	9.0	0.6	1.8
Cl <sup>-</sup> , start	mg/l	22	20	41 <sup>‡</sup>	15	102	49
$\Delta\text{Cl}^-$	mg/l	11	9	73	14	-15	67
$v_{\text{Cl}^-} = \Delta\text{Cl}^-/\Delta t$	mg/l/y	0.21	0.18	0.88	0.48	-0.81	0.87

$\Delta\text{Cl}^- = \text{Cl}^-_{1992} - \text{Cl}^-_{\text{start}}$ ;  $v_{\text{Cl}^-}$  = salinization rate =  $\Delta\text{Cl}^-/(1993 - \text{start year})$ .

\*\* = total iodine in drinking water in 1978 (based on data in Reijnders et al., 1980); \* = in drinking water in 1984 (unpubl. results from RIVM, obtained from A.J. van den Eshof); \*\* = in drinking water in period 1981-1984 (based on data in Glastra et al., 1989); ‡ = at the start, prior to the introduction of artificial recharge.

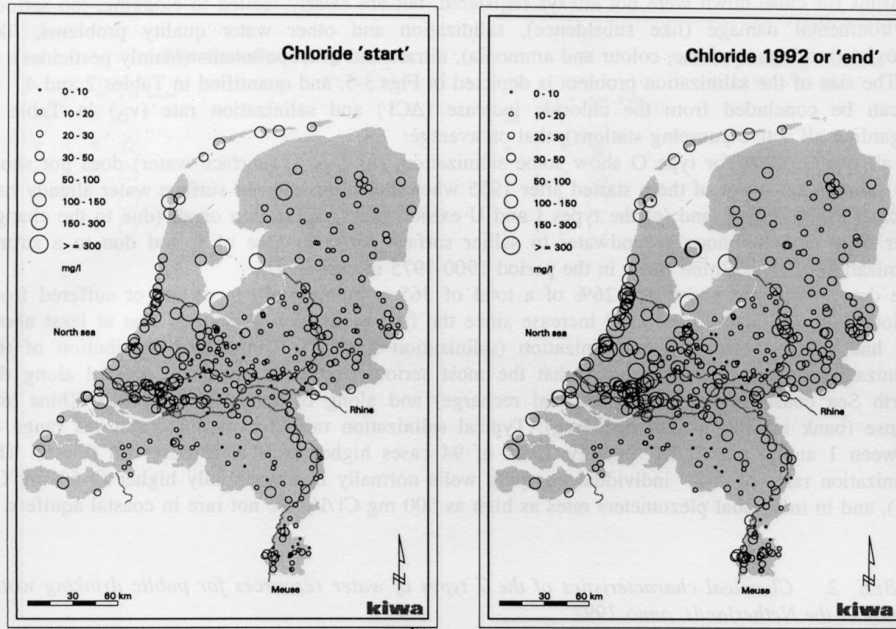


FIG. 3. Areal distribution of the chloride concentration of raw water from pumping stations in the Netherlands, at their start (first year of operation) and in 1992 (or for the closed stations, in the year of closure).

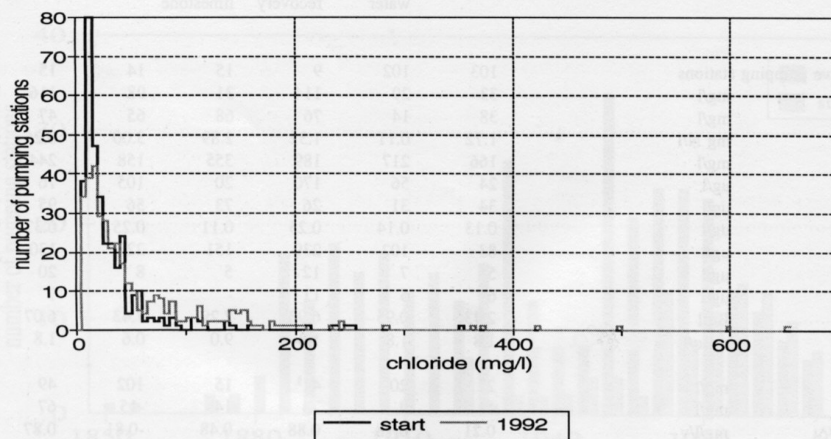


FIG. 4. Histogram showing the frequency distribution of the chloride concentration of raw water from all pumping stations, at their start (first year of operation) and in 1992 (or for the closed stations, in the year of closure).

### Diagnosis: looking for the causes

**METHODS:** In this survey of the raw water produced by 365 pumping stations in the period 1853-1992, salinization is defined as a net rise in chlorinity superior to 20 mg Cl/l in 1992 (or in the year of close-down) since the pumping station became active. Stuyfzand & Stuurman (1994) recognized 11 sources of salinization of groundwater in the Netherlands, and recommended several tracers for identifying them. In the case of water abstracted for drinking water preparation, 2 main groups of salinization are discerned for simplicity:

- the continental salinization type, which is related to either agriculture, evaporation, bank infiltration, artificial recharge, local pollution sources and sea spray; and
- the maritime salinization type, which is related to direct North Sea intrusion, and ancient North Sea water (which transgressed during the Holocene or was trapped during sedimentation of marine, fine-grained deposits during the Holocene and Lower Pleistocene and Upper Tertiary).

The criteria for both types of salinization are given in Table 3: the continental type was assigned in any case to surface water (O), artificially recharged surface water (I) and Rhine bank infiltrate (U). Pumping stations were a priori classified as such on the basis of their water resource and previous research, including  $^{18}\text{O}$  isotopic data for difficult cases of Rhine bank infiltrate (Stuyfzand, 1989; Stuyfzand, 1993). The continental type was also assigned in case of the other types of pumping stations (the true groundwater stations: A, B or K), on the condition that in 1992 either nitrate was  $\geq 5$  mg N/l, or the  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  ratio was  $\geq 0.5$  (on mg/l-basis), or tritium was  $\geq 4$  Bq/l ( $= \geq 34$  TU). In all other cases the maritime salinization type was assigned.

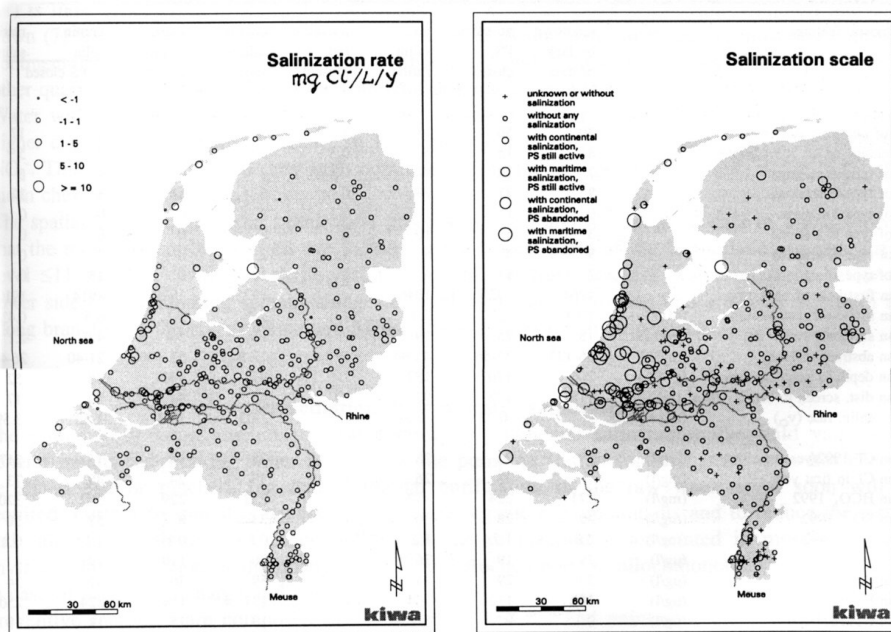


FIG. 5. Salinization rate and scale for pumping stations of raw water for drinking water supply in the Netherlands. The salinization rate ( $v_{Cl}$ ) is defined as  $\Delta\text{Cl}/\Delta t$  (see foot notes in Table 3), the salinization scale is fully explained in Table 3 (scales - and -1 combined into '+ sign').



TABLE 3. The salinization scale for drinking water, with its criteria.

description of scale No	state of pumping station (PS)	$\Delta\text{Cl}^{\dagger}$ mg/l	$v\text{Cl}^{\#}$ mg Cl/l/y	$\Delta\text{H}^{\#}$ m	Continental or Maritime			
					types of PS	$\text{NO}_3$ mg N/l	$\text{SO}_4/\text{Cl}^3\text{H}$ mg/l	$\text{Bq/l}$
- undefined	act./closed	{? or	? or	? or	? or	? or	? or	{? or ?}
-1 no salinization	closed	<20	-	-	all	-	-	-
0 no salinization, no risk	active	<20	<1	-	all	-	-	-
1 no saliniz., risk present	active	<20	{>1 or	<20}	all	-	-	-
2 continental salinization	active	$\geq 20$	-	-	{I,O,U or	{ $\geq 5$ or	$\geq 0.5$ or $\geq 4$ }	
3 maritime salinization	active	$\geq 20$	-	-	{A,B,K and	{<5 and	<0.5 and <4}}	
4 cont. saliniz., PS closed	closed	$\geq 20$	-	-	{I,O,U or	{ $\geq 5$ or	$\geq 0.5$ or $\geq 4$ }	
5 marit. saliniz., PS closed	closed	$\geq 20$	-	-	{A,B,K and	{<5 and	<0.5 and <4}}	

$\dagger$  = if active:  $\text{Cl}^{\dagger}_{1992} - \text{Cl}^{\dagger}_{\text{start}}$ , if closed:  $\text{Cl}^{\dagger}_{\text{closure year}} - \text{Cl}^{\dagger}_{\text{start}}$ ;  $\#$  = if active:  $\Delta\text{Cl}/(1992 - \text{start year})$ , if closed:  $\Delta\text{Cl}/(1992 - \text{closure year})$ ;  $\#$  = vertical distance between lower side of well screen and the brackish water interface (150 mg Cl/l).

TABLE 4. Survey of the salinization scale of raw water for public drinking water supply in the Netherlands, with the mean characteristics of each group.

Salinization scale:	-	-1	0	1	2	3	4	5
Diagnostic features	unknown by lack of data	no salin, PS closed	no salinization	no salin, risk present	contin. salinization	marit. salinization	contin. salin. PS closed	marit. salin.
No. of pumping stations	30	56	184	1	36	16	25	17
Percentage of all 365 stations	8	15	50	0.3	10	4	7	5
No of type A stations	7	22	82	0	8	6	4	5
No of type B stations	9	21	79	0	6	10	1	12
No of type I stations	0	1	1	0	8	0	0	0
No of type K stations	3	8	10	0	2	0	0	0
No of type O stations	9	3	8	1	2	0	7	0
No of type U stations	2	1	4	0	10	0	13	0
Mean first year of operation	1964	1925	1946	-	1921	1929	1914	1910
Mean raw water production (Mm <sup>3</sup> /y)	10.9	0.7	5.1	-	7.4	5.1	6.5	0.43
Mean surface Level = SL (m+MSL <sup>*</sup> )	18	25	19	-	11	5.4	4.0	2.1
Mean abstraction level (m-SL)	66-123	35-56	45-94	-	22-54	53-100	21-40	26-40
Mean depth to brackish water <sup>**</sup> (m-SL)	206	170	187	-	97	140	88	52
Mean dist. screen to brack. water <sup>†</sup> (m)	118	123	92	-	45	41	29	17
Mean salin. rate ( $v_{\text{Cl}}$ ) (mg Cl/l/y)	-	-0.03	-0.01	-	1.03	1.07	1.52	3.59
Mean Cl <sup>-</sup> 1992/year of closure (mg/l)	50	36	28	-	98	84	132	217
Mean Cl <sup>-</sup> in first year (mg/l)	-	38	26	-	35	24	49	73
Mean HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1992 (mg/l)	221	224	192	-	232	229	302	320
Mean SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 1992 (mg/l)	49	28	30	-	33	8	52	30
Mean NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 1992 (mg/l)	2.0	1.7	1.2	-	0.8	0.1	1.1	0.2
Mean B 1984 (μg/l)	79	19	36	-	76	110	191	-
Mean Ba 1992 (μg/l)	59	29	34	-	59	36	57	34
Mean F 1992 (μg/l)	160	122	104	-	137	114	224	250
Mean I 1978 (μg/l)	9	9	5	-	13	25	18	18
Mean Li <sup>+</sup> 1978 (μg/l)	-	7	5	-	8	11	11	7
Mean <sup>226</sup> Rn 1981-84 (mBq/l)	4.4	2.5	1.9	-	3.0	1.8	2.3	0.6
Mean <sup>3</sup> H 1981-84 (Bq/l)	1.4	3.2	1.9	-	5.8	0.5	2.4	0.7

\* = 100\*closed/(active + closed); \*\* = closed/(1993-first year); \* = Mean Sea Level; # = 150 mg Cl/l interface; † = from lower side of well screen to the fresh-brackish water interface (150 mg Cl/l).

The philosophy behind the fences posed by nitrate, sulphate/chloride-ratio and tritium is, that actual and ancient North Sea groundwaters normally do not contain nitrate and tritium, and normally have a  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  ratio  $\leq 0.14$  on mg/l-basis (Stuyfzand, 1993; Stuyfzand & Stuurman, 1994). And in addition, low levels of these quality parameters for groundwater generally point at a negligible contribution of shallow fresh groundwater to the mixture pumped.

Obviously, the criteria used for classifying a pumping station as salinized and the further ranking of it according to Table 3 may seem rather subjective. However, the results were verified for many cases where detailed field investigations had been carried out in the past, and the rapid screening method (the salinization scale) proved to work very well. Certainly there are some cases with both a continental and a maritime salinization process, like in case of several stations pumping both Rhine bank infiltrate and very deep autochthonous groundwater. In those cases the salinization type is to be considered as the dominant one.

**RESULTS:** The results of classifying all pumping stations according to their salinization scale (incl. their salinization type) are depicted in Fig.5. Additional mean characteristics for each salinization scale, viz. number and type of pumping stations, hydrological and hydrochemical data, are presented in Table 4.

The data in Table 4 show that 61 pumping stations (17%) of a total of 365 pumping stations are classified as salinized due to continental causes, and that 33 stations (9%) salinized for maritime reasons. From a total of 102 abandoned stations, 42 (41%) closed with salinization phenomena, of which 17 (5%) suffered from maritime salinization and were probably closed for that reason. Salinization is therefore a wide-spread problem in the Netherlands, which in about 50% of its cases is due to either continental or maritime reasons. Station type B (pumping (semi)confined groundwater) is most susceptible to maritime salinization (67% of all cases with scale 3 and 5) and close down (71%), probably for that reason. Station type U (Rhine bank infiltrate) is most susceptible to continental salinization (38% of all cases with scale 2 and 4) and close down (52%), probably for other quality reasons than salinization ('anoxia' and micropollutants).

Water with continental salinization shows, as compared to water without salinization, on average higher concentration levels of  $\text{HCO}_3^-$ , B, Ba, E, OCl, F, and especially I and Li, but lower levels of  $\text{NO}_3^-$ . This is explained by a very high contribution of station types I and U (see Table 2 for their mean chemical composition).

The spatial distribution of the salinization process in Fig.5 and hydrological data in Table 4 reveal that the most susceptible stations are located in the lowest parts of the Netherlands (mean surface level  $\leq 11$  m+MSL) with the shallowest position of the fresh-brackish water interface below the lower side of the pumping screen: along the North Sea coast (intrusion and artificial recharge) and along branches of the rivers Rhine and Meuse (bank infiltration and upconing).

#### **Remediation: how to lower salinization**

The pumping of large amounts of water showing continental salinization (the mild variety), in general means for drinking water supply that the pumping station (or well field) does not need to be abandoned or pinched, but that additional purification of the raw water is or soon will be required. Further treatment is necessary to remove organic micropollutants and to reduce the nitrate and calcium (or aluminium) concentrations, as the salinization is associated in most cases with environmental pollution or the change-over from autochthonous to allochthonous groundwater (like in case of artificial recharge and bank infiltration).

Preventive measures are composed of sanitation of land-use and point sources of pollution within the contributing area of the well field or fluvial basin.

The pumping of small amounts of water showing maritime salinization (the more severe variety), normally implies that the well field has to be closed or rigorously pinched, unless desalination techniques become economically feasible. Preventive measures consist of extensifying the well field (increasing the distance between wells), horizontal in stead of vertical wells, translocation of

hazardous wells to less susceptible areas within the concession (outside the upconing area or one aquifer higher), and artificial recharge (for instance just below the pumping well, one aquifer deeper).

In looking for new well fields, a low chance on salinization seems to be associated with the following hydrological conditions: (1) a high initial distance in between the fresh-salt water interface and the lower side of the pumping screen; (2) the presence of an aquitard in between the well screen and the initial fresh-salt water interface; (3) the absence of an aquitard with high vertical flow resistance and a large areal extent in between the well screen and groundwater table; (4) no restrictions in lateral flow due to other well fields upgradient or the presence of vertical semi-pervious boundaries (like glacial basins filled with varve clays, and faults); (5) position in the infiltrating parts of the groundwater flow domain; (6) no other human interferences (afforestation, urbanisation, intensive drainage, land reclamation); and (7) no other natural interferences (coastal erosion).

The mixing of fresh and salt groundwater should be prevented as much as possible, as this means a serious loss of potable water. This can be achieved to some degree, by pumping as continuously as possible. Strong fluctuations in the pumping rate may create the alternation of upconing and gravitational subsidence of the brackish upconing. In a frequently changing flow domain this contributes to the mixing of fresh and brackish water.

#### Concluding remarks

Pumping stations for drinking water supply constitute a powerful monitoring system for environmental pollution, including salinization. It requires, however, that ancient historical data be retrieved from dusty paper-archives which were loaded in the pre-floppydisk-age. Data on the close-down, changes in water resources (from surface to groundwater, from autochthonous to allochthonous groundwater, etc.), changes in pumping depth, pumping rate and analytical methods need consideration as well for obtaining the right interpretations.

In this desk study attention focused mainly on chloride, but some other chemical parameters clearly show interesting distribution patterns: relatively high  $^{226}\text{Ra}$  levels are mainly restricted to the limestone areas in the south (Table 2), and tritium activity was in the 1980s highest in surface water and groundwater derived from surface water (Table 2; contribution of nuclear power plants).

#### Acknowledgements

The Netherlands' Waterworks Association (VEWIN) financed this study. Carla Gommer and Frans Lüers (both Kiwa) assisted in resp. preparing the maps and statistical elaboration.

#### References

- GLASTRA, P., R. VAN ZANTEN, R.M.S. DROST & F.C.M. MATTERN 1989. Onderzoek naar de radioactiviteit van drinkwater over de periode 1981-1984. RIVM-rapport 248201001, Bilthoven, 30p.
- FONDS, A.W. 1989. De som van adsorbeerbare organische halogeenverbindingen (AOX) in het Nederlandse drinkwater. RIVM-rapport 218108007, 17p.
- LEEFLANG, K.W.H. 1974. Ons drinkwater in de stroom van de tijd. VEWIN, Rijswijk, 228p.
- PETERS, J.H. & J.A. MEIJER 1993. Will upconing be a problem in the Netherlands? Water Supply 11, 157-163.
- REIJNDERS, H.F.R., J. STOLTENKAMP & M.J. STOLTENKAMP-WOUTERSE 1980. Het totaal jodium, jodide en organisch-jodiumgehalte in drinkwater in Nederland in 1978. RIVM-rapport 87/80LMC, Bilthoven, 12p.

- REIJNDERS, H.F.R., J.J. VAN STADEN & N.W. NAGTEGAAL 1983. Voorkomen en trend van enige chemische bestanddelen in uitgaand water van drinkwaterpompstations in Nederland. RIVM-rapport 218108001, 71p.
- STUYFZAND, P.J. 1989. Hydrology and water quality aspects of Rhine bank ground water in The Netherlands. *J. Hydrol.* 106, 341-363.
- STUYFZAND, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. KIWA Publication, also Ph.D Thesis Vrije Univ. Amsterdam, ISBN 90-74741-01-0, 366 p.
- STUYFZAND, P.J. 1994. The impact of land reclamation on groundwater quality and future drinking water supply in The Netherlands. *Water Sci & Technol.* 31, 47-57.
- STUYFZAND, P.J. & J.W. KOOIMAN 1996. Elimination of pollutants during artificial recharge and bank infiltration: a comparison. In 'Artificial recharge of groundwater' (A.L. Kivimäki & T. Suokko, eds), Proc. Int. Symp., Helsinki, June 3-5 1996, NHP-report 38, 223-231.
- STUYFZAND, P.J. & R.J. STUURMAN 1994. Recognition and genesis of various brackish to hypersaline groundwaters in The Netherlands. Proc. 13th Salt Water Intrusion Meeting, June 1994 Cagliari, Italy, in press; also Kiwa-rapport SWI-95.133, 12p.
- VAN BEEK, C.G.E.M., F.A.M. HETTINGA & P.K. BAGGELAAR 1990. Onderzoek naar trendmatige veranderingen in de kwaliteit van het grondwater onttrokken door de Nederlandse waterleidingbedrijven. Kiwa-rapport SWE 90.013, 48p.
- VAN DUIJVENBOODEN, W. & G.T. BUSZ 1978. Overzicht van de grondwaterwinplaatsen voor de openbare drinkwatervoorziening op basis van een classificatie van de geëxploiteerde watervoevende pakketten. RID-rapport hy.h-78/01, 25p.
- VEENENDAAL, G., C.G.E.M. VAN BEEK & L.M. PUIJKER 1986. Het voorkomen van organische stoffen in het grondwater onttrokken door de Nederlandse waterleidingbedrijven. KIWA-Meded. 97, 99p en KIWA-rapport SWO-86.267 (de analyseresultaten).
- VERSTEEGH, J.F.M. & F.J. WETSTEYN 1994. De kwaliteit van het drinkwater in Nederland, in 1992. RIVM-rapport 731011002, VROM-rapport 1994/58, 60p.
- VERWEIJ, W., T. VAN DER VELDE-KOERTS, J.L.M. DE BOER & W. MENNES 1994. Zeldzame aarden in drinkwater en drinkwaterbronnen. RIVM-rapport 734301003, 58p.
- VEWIN, 1895-1996. Statistische overzichten van de waterleiding in Nederland, met uitkomsten van het fysisch en chemisch onderzoek. Jaarrapporten 1895-1939 (elk jaar), 1943, 1949, 1952, 1957, 1966, 1968, 1973, 1981, 1986, 1992.
- VOGELAAR, A.J. 1993. Indeling van winplaatsen voor onderzoek naar sporenelementen. Kiwa-rapport SWI 92.162, 15p.



**VI De H<sub>2</sub>O-artikelen van Stuyfzand &  
Stuurman (1995,1996): Elf verschillende  
bronnen van verzilting van grondwater in  
Nederland: delen 1 en 2**

# Elf verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland

## 1. Inleiding

Peters & Meijer [1993] tonen aan dat 17 van de circa 250 grondwaterwinningen in Nederland kandidaat zijn voor sluiting op korte termijn, louter door verzilting. Uit de gegevens in Van Beek *et al.* [1990] valt op te maken dat er in 32 van de onderzochte 158 grondwaterwinningen sprake is van een significante stijging van de chlorideconcentraties in de periode 1970-1986 (tegenover een significante daling in slechts 4 winningen). Betrekken we dit aantal op de circa 250 grondwaterwinningen die Nederland telt, dan komen



P. J. STUYFZAND  
Kiwa NV Onderzoek en Advies



R. J. STUURMAN  
TNO Grondwater en  
Geo-energie

we op zo'n 50 winningen met een stijgende chlorideconcentratie. Al leidt zo'n toename zeker niet in alle gevallen tot overschrijding van de drinkwaternorm ( $< 150 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ) en niet tot sluiting, zij maakt het water wel een stuk corrosiever voor het waterleidingnet, verhoogt het wasmiddelengebruik (via een meestal parallelle hardheidstoename) en verlaagt de diuretische werking voor de consument bij wie ook de bloeddruk iets oploopt. Kennis van de herkomst, ruimtelijke verspreiding en chemische samenstelling van de verschillende watersoorten is nodig om twee vragen te kunnen beantwoorden:

(1) als de chlorideconcentratie van het opgepompte grondwater of oppervlaktewater stijgt, wat is daarvan dan de hoofdoorzaak en welke tegenmaatregelen zijn adequaat? Stedelijk afvalwater, Rijnoverfiltraat, opkegeling van diep zout water of laterale toestroming van Noordzeewater vereisen immers totaal verschillende maatregelen; en

(2) tot welk niveau kan het grond- of oppervlaktewater eigenlijk verzilten? Of met andere woorden, kunnen we realistische maximum waarden toekennen aan de parameters in de volgende eenvoudige formule voor twee mengende watersoorten, een zoete en zoutere:

$$Cl_{MIX} = (1-S) Cl_F + S Cl_S \quad (1)$$

waarin:  $Cl_{MIX}$  = chlorideconcentratie in mengsel [ $\text{mg/l}$ ];  $Cl_F$  = dito in zoete

## Samenvatting

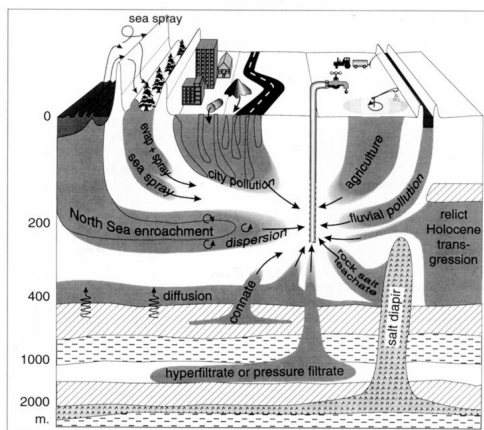
Verzilting is nog immer een gevreesde vijand van grondwaterwinningen voor de drinkwatervoorziening, ook al is de meeste aandacht tegenwoordig verschoven naar andere bedreigingen als bestrijdingsmiddelen, nitraat en de verzuring. Dat een verdroogd en bemalen Nederland wel moet verzilten is niet nieuw, maar wel dat er zo vele bronnen van verzilting mogelijk zijn. Het gevaar komt niet alleen van beneden, waar droogmakerijen, afwateringssystemen en grondwaterpompstations de stroming geactiveerd of versterkt hebben van (semi)stagnante, brakke tot zoute grondwatervoorkomens. Het komt in toenemende mate ook van boven, waar onplezierige veranderingen in het landgebruik en in de oppervlaktewaterkwaliteit zijn opgetreden. Die verzilting is weliswaar veel milder van aard (het water wordt hoogstens zoet-brak, d.w.z.  $150\text{-}300 \text{ mg Cl}^-/\text{l}$ ), maar doorgaans van grotere omvang binnen het intrekgebied van een puttenveld. Waar het ruwe water nu een stijgende chlorideconcentratie vertoont (in Nederland geschat op 20% van alle grondwaterwinplaatsen), dient de juiste bron van verzilting opgespoord te worden om het uiteindelijke verziltingsniveau te kunnen voorspellen en vervolgens de ernst en de te nemen maatregelen vast te stellen. Er zijn in Nederland maar liefst 11 verschillende bronnen van verzilting, in alfabetische volgorde: hyperfiltratie (het residu daarvan), indringing van Noordzeewater langs de kust, infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, landbouwkundige activiteiten, lokale bodemverontreiniging, menging (diffusie en dispersie), sedimentatie (opsluiting samen met sediment tijdens afzetting), transgressies van de zee, uitloging van steenzout, verdamping en verstuiving van zeezout. Voor de drinkwatervoorziening zijn al deze bronnen van belang, waarschijnlijk met uitzondering van hyperfiltratie en de uitloging van steenzout. Hoe deze bronnen zich chemisch onderscheiden en aan de hand van enkele tracers te herkennen zijn, komt in deel 2 aan de orde.

watersoort [ $\text{mg/l}$ ];  $Cl_S$  = dito in zoutere watersoort [ $\text{mg/l}$ ];  $S$  = fractie van zoute watercomponent [-].

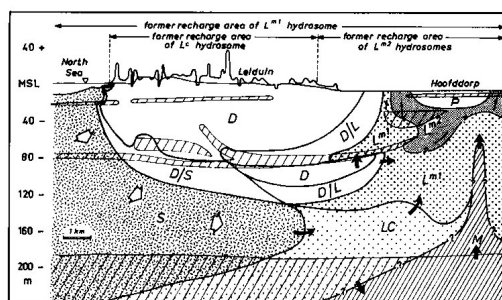
In deze bijdrage bespreken we alle 11 verziltingsbronnen in Nederland met indicatie van hun voorkomen en relatieve omvang. In deel 2 dat in een volgend nummer in dit blad verschijnt, besteden we aandacht aan de chemische samenstelling en herkenning van de verschillende verziltingsbronnen.

## 2. Elf verziltingsbronnen in Nederland

De volgende 11 bronnen van verzilting worden relevant geacht voor het grondwater in Nederland (afb. 1), in alfabetische volgorde: hyperfiltratie, indringing van Noordzeewater langs de kust, infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, landbouwkundige activiteiten, lokale bodemverontreiniging, menging, sedimentatie (opsluiting samen met sediment tijdens afzetting), transgressies van de zee, uitloging van steenzout, ver-



Afb. 1 - Een fictief schema van de Nederlandse ondergrond, met de 11 belangrijkste bedreigingen van de grondwaterkwaliteit met zout, in geval van winning voor de drinkwatervoorziening.



Afb. 2 - De positie van verschillende zoete, brakke en zoute grondwaterlichamen in de boenste 240 m langs een dwarsdoorsnede oter de kustduinen bij Zandvoort (zie afb. 5). Het overgebleven, Holocene transgressiewater (L) is onderverdeeld in 3 typen: het kust-type (LC), oude moerastype (L<sup>m1</sup>) en jonge moerastype (L<sup>m2</sup>). Het voedingsgebied is voor deze 3 typen aangegeven. D = zoet duinwater (bevat ook geneste waterlichamen bestaande uit polderwater en kunstmatig gefiltreerd Rijnwater, niet afgebeeld); M = connaat Maasslus-water; P = Polderwater; S = (actueel) Noordzeewater; D/L = mengsel van D en L. Naar Stuyfzand [1993].

damping en verstuiving van zeezout. De positie van de diverse relatief zoute grondwateren is geschematiseerd in afbeelding 1 en weergegeven voor twee werkelijke dwarsdoorsneden: sectie I over west-Nederland (afb. 2), en sectie II over zuid-Nederland (afb. 3).

#### Hyperfiltratie

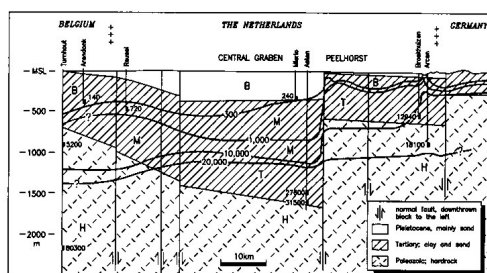
Gecompecteerde kleilagen en schalies kunnen zich gedragen als selectieve, semi-permeabele, geologische membranen, die water en ongeladen deeltjes in oplossing doorlaten, maar geladen ionen in verschillende mate tegenhouden. Aan de stroomopwaartse zijde van het membraan blijft daarbij een geconcentreerde oplossing achter [De Sitter, 1947; White, 1965; Kharaka & Berry, 1974; Graf, 1982]. Deze hyperfiltratie of omgekeerde osmose wordt door genoemde auteurs verantwoordelijk gesteld voor afwijkende zoutconcentraties en merkwaardige ionverhoudingen in diepe brijnen (water-voorkomens met extreem zoutgehalte, totaal opgeloste stoffen > 100.000 mg/l). Volgens Cherry [1979] speelt hyperfiltratie in sedimentatiebekkens pas bij diepten groter dan 500-1.000 m. Hyperfiltratie kan derhalve ook in Nederland bijdragen aan de chemische samenstelling van diepe brijnen. Maar, ondubbelzinnig bewijs ontbreekt tot op heden. Het is opmerkelijk dat een aanverwant proces met tegengestelde effecten kan optreden waar water uit compacterende sedimenten wordt geperst: de uitgereste vloeistof kan hogere ionconcentraties ontwikkelen dan het oorspronkelijke poriewater, waarbij de achterblijvende vloeistof natuurlijk zoutdepletie vertoont [Appelo & Postma, 1993]. Om het geheel

nog moeilijker te maken, kleimineralen kunnen tijdens diepe begraving onder hoge temperatuur en druk een deel van hun structureel gebonden water verliezen, waardoor de ontvangende vloeistof verdund wordt en gaat lijken op een hyperfiltraat [Land & Macpherson, 1992]. Het is dus geen eenvoudige opgave om genoemde processen afzonderlijk aan te tonen, voor Nederland moet een en ander nog bewezen worden.

**Indringing van Noordzeewater langs de kust**  
Droogmakerijen, zetting, verbeterde afwatering, grondwaterwinning en laterale dichtheidsgradiënten dragen bij aan de laterale, directe intrusie van Noordzeewater langs de kust. Het Noordzee stromingsstelsel reikt maximaal 30 km landinwaarts. Dit systeem vervoert nog steeds overgebleven Holocene transgressiewateren naar hun exfiltratie in de diepe polders. De huidige positie van het intrusief front langs de westkust bevindt zich op 1,5-6 km landinwaarts (afb. 2). Dit front vertegenwoordigt circa 1000 jaar oud Noordzeewater en ruikt op met een snelheid van 5-30 m/j [Stuyfzand, 1993].

#### Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen

Vrijwel al het oppervlaktewater in Nederland is deze eeuw of eerder verontreinigd geraakt met zout door rioolzuiverings-effluent en industriële lozingen, de afvoer van brak tot zout kwelwater uit de droogmakerijen en polders, en, in geval van de Rijn die zowat half Nederland doorspoelt, onder andere de lozing van zoutafval van de kalimijnen in NO-Frankrijk. Aldus verzilt oppervlaktewater voedt in toenemende mate [Stuyfzand, 1989, 1994]



Afb. 3 - Ruimtelijke verbreiding van enkele zoete, brakke, zoute en hypersaliene watersoorten in de boenste 2000 m van de ondergrond langs dwarsdoorsnede II over Zuid-Nederland (zie afb. 5), met de positie van vier isohalinen (in mg Cl/l). Naar Stuurman (in voorbereiding). B = zoet water van Brabants dekanalandschap; H = hypersalient water door oplossing van steenzout; M = menging van B met T; T = connaat (ingesloten) zout water uit Tertiaire afzettingen.

onze Pleistocene en Holocene watervoerende pakketten, via hetzij overfiltratie hetzij kunstmatige infiltratie.

#### Landbouw

Landbouwkundige activiteiten met een zout-verhogend effect zijn vooral: beregning en irrigatie (de zogenaamde 'irrigation-return-flow'), de toediening van drijf- en kunstmest, en bij gelegenheid zoutadditie aan grasland voor vee. De algemene volgorde van toenemende chlorideconcentraties door deze activiteiten is op basis van gegevens in Van Beek [1987] en Stuurman (in voorbereiding), voor Zuid-Nederland, met tussen haakjes het gemiddelde chloride-niveau in mg/l: geen landbouw (heide (7), bos (16)) < grasland voor vee met weinig tot matige drijfmestgiftigen (25) < graan, suikerbieten en groenten (35) < maïs (51).

#### Lokale bodemverontreiniging

Lokale bronnen van bodemverontreiniging waar zout bij betrokken is, bestaan uit vuilstorten, pekkel voor gladheidsbestrijding van wegen en paden, lekkende riolerings, huistuinen, industriële storthopen en morsingen, etc. Stedelijke gebieden herbergen meestal zo veel zoutbronnen, dat de grondwatervoeding ter plaatse verhoogde concentraties van onder andere Na<sup>+</sup> en Cl<sup>-</sup> vertoont. Hettinga & Stuyfzand [1989] namen in de stad Ede (provincie Gelderland) gemiddelde chlorideconcentraties waar van 60 mg/l, wat ongeveer 50 mg/l boven de regionale achtergrond ligt.

Wegenzout voor gladheidspreventie bestaat normaliter uit een mengsel van NaCl met zand, met verwaarloosbare



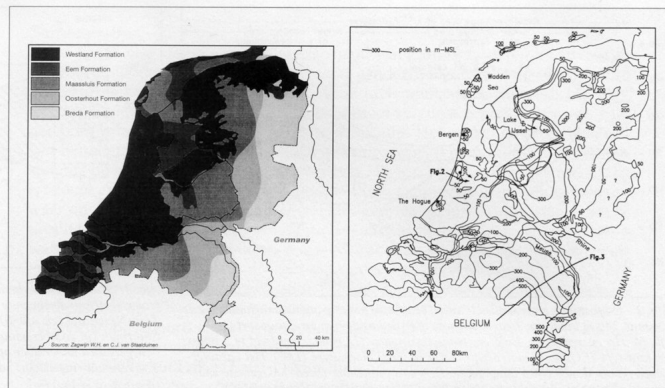
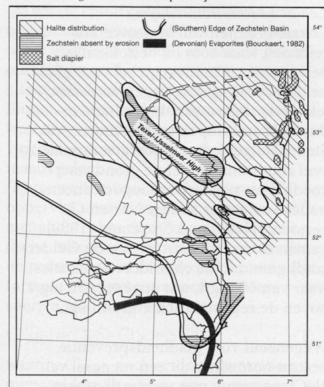
bijmenging van andere elementen [Howard & Beck, 1993].

#### Menging

Waar zoet en zout water mengen, wordt het volume aan brak of desondanks nog steeds zout water vergroot. Dat kan via diffusie (vooral in stagnante zones) en/of dispersie (in niet-stagnante zones). Menging door diffusie is niet alleen van belang op grote diepte [Ranganathan & Hanor, 1987], maar ook in en in de omgeving van ondiepe kleilagen zoals in het IJsselmeergebied [Volker, 1961]. Met een diffusiecoëfficiënt van  $4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{d}$  voor chloride bij  $10^\circ\text{C}$  in een poreus medium, wordt 50% menging tussen twee aangrenzende watertypen op 10 en 20 m afstand van hun oorspronkelijke grensvlak bereikt na resp. 7.500 en 30.000 j [Stuyfzand, 1993].

Menging door dispersie is effectiever tijdens verdringing van een zoet of zout waterlichaam, dan tijdens stationaire parallelle stroming van zoet en zout water. Dat is te wijten aan een 10-1000 maal hogere longitudinale dispersiviteit (in zand 0,1-1 m) in vergelijking met de transversale dispersiviteit (in zand 0,001-0,01 m). Niettemin kan parallelle stroming toch nog een significante mengzone opleveren, die in kustduinen een dikte bereikt van 30 m na 2 km stroming [Stuyfzand & Bruggeman, 1994]. Deze transversale dispersie kan echter de effecten in zich dragen van longitudinale dispersie door afwisselende episodische van expansie en inkringing van de zoetwaterlens.

Afb. 4 - Ruimtelijke verdeling van evaporieten (voornamelijk haliet, gips, anhydriet en dolomiet) in de Zechstein Formatie (Perm) in Nederland en omgeving [naar Adrichem Boogaert & Burgers, 1983], met de verdeling van evaporieten uit het Carboon voor Brabant volgens Bouckaert [1982].



Afb. 5 - Links: Ruimtelijke verdeling van de mariene transgressies tijdens het Kwartair en Tertiair, die ook tot afzetting van nog aanwezige (peri)mariene sedimenten hebben geleid. Rechts: positie van het huidige zoet-brakwater grensvlak (300 mg Cl-/l) in Nederland.

#### Sedimentatie (syngene met sediment)

De afzetting van fijnkorrelige mariene en perimariene sedimenten in een sedimentatiebekken kan leiden tot (tijdelijke) conservering van het oorspronkelijke poriewater en aldus connaat (letterlijk 'tezamen ontstaan') zout grondwater voortbrengen. Compactie, diffusie en diagenese (vroege stadium van metamorfose) zullen ongetwijfeld wel leiden tot enige waterverplaatsing en significante kwaliteitsveranderingen. Diepe begraving leidt tot lange reactietijden, hoge temperaturen en hoge druk. Die omstandigheden leiden in het algemeen tot verlaging van de magnesiumconcentraties in de bovenste zone (<500 m, waarschijnlijk door de vorming van dolomiet en chloriet), en Ca-verrijking in de diepere zones, volgens Land & Macpherson [1992] door albitisatie van plagioklaas = proces waarbij een calcium-aluminium-silicaat wordt omgezet in een natrium-aluminiumsilicaat.

In de zone van actieve grondwater-circulatie (de bovenste 1000 m) komt connaat zout water uitsluitend in zeer ondoorlatende dikke kleilagen voor, zoals de Holocene Bergen klei (bij Alkmaar), en kleilagen in afzettingen uit het Tertiair en Beneden-Pleistoceen. Connaat Maassluiswater in afbeelding 2, is een voorbeeld.

#### Transgressies van de zee

De Noordzee heeft Nederland frequent overstroomd gedurende de hele geologische wordingsgeschiedenis. Tijdens deze transgressieperioden werden (peri)mariene sedimenten afgezet, wat leidde tot de insluiting (syndimentatie) van zeewater (zie ad 'Sedimentatie'), terwijl

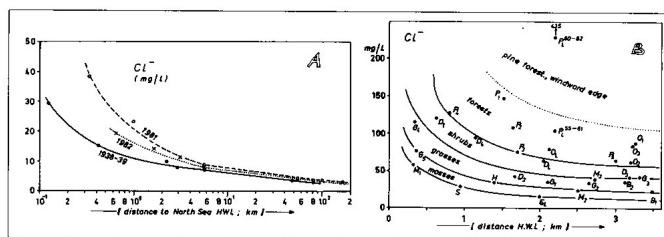
(verdund) zeewater de oudere sedimenten invadeerde vooral door dichtheidsstroming. Van der Molen [1989] en Gieske [1991] berekenden dat deze dichtheidsstroming tijdens het Holoceen een diepte van 200-450 m bereikte binnen 40-400 jaar, althans in gebieden zonder slecht-doorlatende lagen met hoge weerstand!

In afbeelding 5 zijn die mariene transgressies tijdens het Tertiair en Kwartair in kaart gebracht, die ook tot afzetting van nog aanwezige (peri)mariene sedimenten hebben geleid. Uit de bijna landsdekkende verbreiding met grote nadruk op west- en noord-Nederland, kan worden geconcludeerd dat deze transgressies naar alle waarschijnlijkheid het allergrootste aandeel moeten hebben in de aanwezigheid van brak en zout water in de bovenste km van actief circulerend grondwater.

In west-Nederland kunnen verschillende soorten Holoceen transgressiewater in kaart worden gebracht (afb. 2), voornamelijk op basis van hun chloriniteit (lager waar dicht bij riviermondingen en waar goed beschermd tegen de open zee door een gesloten strandwal met duinen) en alkaliteit (hoger waar infiltrerend (verdund) zeewater diep anoxische wadafzettingen achter de strandwallen moest passeren).

#### Uitloging van steenzout

Steenzout bestaat voornamelijk uit haliet (NaCl) en in zeldzamere gevallen uit sylviet (KCl), carnalliet ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) en verschillende sporemineralen [Stewart, 1963]. Het makkelijk oplosbare gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en anhydriet ( $\text{CaSO}_4$ ) en



Afb. 6 - Gemiddelde chlorideconcentratie in 'bulk' regenwater in het open veld (A) en in het bovenste (0,3-3 m) grondwater in kustduinen (B), beide als functie van de afstand tot de gemiddelde Hoog Water Lijn (HWL) van de Noordzee. In het grondwater zien we ook een sterke invloed van de begroeiing, door verschillen in droge depositie (invoering van zout) en evapotranspiratie. Naar Stuyfsand [1993].

het moeilijker oplosbare dolomiet ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) worden in het algemeen als eerste gevormd tijdens een indampingscyclus. De ruimtelijke verbreiding van steenzout is voor Nederland weergegeven in afbeelding 4. Steenzoutvoorkomens zijn hoofdzakelijk beperkt tot de Zechstein Formatie uit het Perm op 2-3 km diepte. Alleen waar zoutdiapieren voorkomen, ligt de top op slechts 150-400 m beneden maaiveld. Het is verder van belang dat er ook evaporieten uit het Carboon voorkomen op het zogenaamde 'Brabants Massief' (ten zuiden van de Maas).

Menging door dichtheidsstroming, dispersie en diffusie worden gerekend tot de belangrijkste brijnvormende processen in sedimentatiebekkens met halietlagen [Ranganathan & Hanor, 1987]. De uitgestrekte verbreiding van Perm steenzout, de hoge ouderdom ervan (250 Mj) en de relatief langzame bodemdaling (ca.  $0,1-0,001 \text{ cm/j}$ ) maken het zeer waarschijnlijk dat oplossing van haliet uit het Perm de belangrijkste bron is van zout grondwater op grote diepte (> 1 km). De afwezigheid van haliet in centraal en noordwest-Nederland zou zelfs veroorzaakt kunnen zijn door oplossing na afzetting.

#### Verdamping

Waterverlies door directe verdamping en transpiratie leidt tot verhoging van zoutconcentraties in de achterblijvende oplossing. In infiltratiegebieden leidt dit tot een concentratiefactor gelijk aan de bruto neerslag (gemiddeld 0,8 m/j in Nederland) gedeeld door de natuurlijke grondwateraanvulling (gemiddeld ca. 0,07 tot 0,62 m/j voor zandgebieden, afhankelijk van vooral de begroeiing en grondwaterstand als oppervlakkige afvoer kan worden uitgesloten). De concentratiefactor stijgt in Nederlandse zandgebieden globaal volgens de volgende reeks [Stuyfsand, 1993]: onbegroeid terrein (1,3) < mostapijt (1,7) < heide (2,2) < hoog

opgaande grassen en kruiden (2,5) < loofbos (2,7) < dennen (5,8).

In (bijna) afgesloten sedimentatiebekkens met een hoge open-water-verdamping in verhouding tot de watertoevoer, zal verdamping de concentratie van het tijdens sedimentatie ingesloten grondwater des te meer verhogen naarmate de watertoevoer en sedimentatiesnelheid lager zijn. Dergelijke omstandigheden heersten in Nederland vooral tijdens het Perm (afb. 4).

#### Verstuiving van zeezout

Op zee en langs de Noordzeekust verstuift zeezout dat vervolgens met de overheersende windrichtingen landinwaarts geblazen wordt. De geleidelijke afzetting en uitwassing van deze zeezout-aërosolen richting binnenland leiden tot een aanzienlijke exponentiële afname van vooral de  $\text{Na}^+$ - en  $\text{Cl}^-$ -concentraties in 'bulk' neerslag (afb. 6A; opgevangen met altijd open regencollectoren) en het bovenste grondwater (afb. 6B). Een dicht en hoge begroeiing kan voor grote afwijkingen zorgen (te midden van schralere vegetatietypen) of de exponentiële afname juist versterken (wanneer gelijksoortige begroeiingstypen vergeleken worden).

### 3. Het relatieve belang van de verziltingsbronnen

#### In de ondiepe ondergrond (tot 500 m-MV)

In de bovenste 500 m van de Nederlandse ondergrond, met actieve grondwatercirculatie en grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening, zijn in principe alle 11 verziltingsbronnen mogelijk. Menging is hier voornamelijk langs de grensvlakken van watersoorten van verschillende herkomst van belang. In het Holoceen west- en noord-Nederland waar de Noordzee tijdens het Holoceen transgreedeerde (het land overspoelde) en zoet grondwater schaars is, zien we een sterk verhoogde incidentie van de indringing van Noordzeewater, transgressies, ver-

stuiving van zeezout, en infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen (kunstmatige infiltratie en oeverfiltratie). In Pleistoceen zuid- en oost-Nederland domineren in het zoete grondwater in de zandige infiltratiegebieden vooral landbouwkundige activiteiten, lokale bodemverontreiniging en verdamping. Het brakke tot zoute grondwater stamt daar voor het grootste deel van zeewater dat tijdens het vroeg-Pleistoceen en vooral Tertiair werd ingesloten in kleinrijke formaties.

Brijnen ontstaan door hyperfiltratie, waarvan het voorkomen in de Nederlandse ondergrond nog niet op overtuigende wijze is aangetoond, komen op deze diepte hoogst waarschijnlijk niet of nauwelijks voor. Steenzoutuitloosel wordt hoofdzakelijk aangetroffen in gebieden van beperkte omvang rond zoutdiapieren in het noordoosten.

#### In de diepere ondergrond

De belangrijkste verziltingsbronnen in de ondergrond tussen 500 en 1000 m diepte bestaan uit menging, mariene transgressies, sedimentatie en in mindere mate de uitloging van steenzout. Op grotere diepte neemt het aandeel van steenzoutuitloosel wellicht fors toe.

• • •

## Elf verschillende bronnen van verzilting van grondwater in Nederland (Deel 2)

Na deel 1 (H<sub>2</sub>O (28) nr. 24, p. 722-725), behandelen we in dit laatste deel de chemische samenstelling van grondwater met uiteenlopende bronnen van verzilting, het maximale niveau van verzilting in de onderscheiden gevallen, en de herkenning (diagnose) van het type verzilting via (semi)natuurlijke tracers.

### 1. Chemische samenstelling van de zoute(re) wateren

Voor enkele relatief wat zoutere tot zeer zoute grondwateren in Nederland, met



PIETER J. STUYFZAND  
Kiwa NV Onderzoek en Advies



ROELOF J. STUURMAN  
TNO Grondwater en Geo-energie

bekende herkomst, is een voorbeeld van de anorganisch chemische samenstelling weergegeven in tabel I. Het betreft, met uitzondering van de categorie 'gemengde wateren', vrijwel ongemengde watersoorten, die een eenduidige voedingsbron kennen met, waar relevant, een specifieke vorm van landgebruik. Van de 11 bronnen van verzilting ontbreekt alleen de categorie ontstaan door hyperfiltratie, omdat ons daarvan in Nederland geen bewezen voorbeelden bekend zijn. Verzilted grondwateren kunnen, op basis van hun ontstaanswijze en chemische kenmerken, in drie groepen ingedeeld worden:

#### De continentale groep: 1-5 in tabel I

Dit zijn wateren met een (zeer) geringe mate van verzilting door verdamping, landbouw, atmosferische depositie van verstuven zeezout, infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, en lokale bodemverontreiniging. Kenmerkend voor deze overigens zeer heterogene groep is meestal (!) het volgende:

- Cl<sup>-</sup> < 300 mg/l (exclusief de zoutrijkere vuilpluimen, zoals die in tabel I);
- een relatief laag zuurstof-18 gehalte ( $\delta^{18}\text{O} \leq -6\text{‰}$ ), wijzend op een regenwaterherkomst van het water;
- een hoge SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> verhouding (op mg/l-basis > 0,3), indicatief voor directe antropogene verontreiniging of oxydatie van ijzersulfiden onder andere door nitraat uit drijfmest. Door sulfaatreductie (zicht-

### Samenvatting

In deel 1 zijn elf bronnen van verzilting van Nederlands grondwater besproken. Er is daar gewezen op het belang van herkenning van de bron van verzilting om de ernst en de eventuele maatregelen te kunnen vaststellen. In dit laatste deel besteden wij aandacht aan de chemische samenstelling van grondwater met uiteenlopende vormen van verzilting en komen mede aan de hand daarvan tot een recept voor identificatie. Ook de gevolgen van en maatregelen tegen verzilting bij grondwaterwinning komen aan de orde.

Verzilted grondwateren kunnen in drie groepen ingedeeld worden:

(1) de 'continentale' groep, met een (zeer) geringe mate van verzilting door infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen, landbouw, lokale bodemverontreiniging, verdamping en atmosferische depositie van verstuven zeezout. Kenmerkend is onder andere een lage Cl<sup>-</sup> concentratie (meestal < 300 mg/l), een laag zuurstof-18 gehalte ( $\delta^{18}\text{O} \leq -6\text{‰}$ ), een hoge SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> verhouding (op mg/l-basis > 0,3) en de aanwezigheid van tritium.

(2) de 'mariene' groep, met een hoge mate van verzilting door indringing, transgressie of sedimentatie van Noordzeewater. Deze wateren zijn in het algemeen herkenbaar aan Cl<sup>-</sup> = 2.000-18.000 mg/l, een relatief hoog zuurstof-18 gehalte ( $\delta^{18}\text{O} > -6\text{‰}$ ), een lage SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> verhouding (op mg/l-basis < 0,2), afwezigheid van tritium en organische microverontreinigingen.

(3) de rest-groep, bestaande uit wateren met een zeer uiteenlopende mate van verzilting (Cl<sup>-</sup> meestal 20-130.000 mg/l) door menging (dispersie en diffusie), de uitloging van steenzout en hyperfiltratie (hier niet verder beschouwd). Kenmerkend voor steenzout-uitloosel is natuurlijk het zeer hoge zoutgehalte (het maximum ligt in Nederland rond de 200 g Cl<sup>-</sup>/l) en daarnaast de relatieve armoede aan bromide en rijkdom aan strontium.

Bij het nader onderscheiden van verziltingsbronnen binnen genoemde 3 groepen helpen de volgende (semi)natuurlijke tracers: tritium, koolstof-14, chloride, nitraat en de volgende verhoudingen: (Br<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>), ( $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}^-$ ), (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(niet-mariene)/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Voor het welslagen van de identificatie door traceronderzoek worden enkele tips gegeven en wordt een sequentiële procedure (inhoudende het vooronderzoek en indicatie van welke tracer(s) eerst) voorgesteld.

baar aan verhoogde concentraties HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) kan de oorspronkelijk hoge ratio ook drastisch verlaagd zijn (zoals in de vuilstortpluim in tabel I);

- de aanwezigheid van tritium, wijzend op een significant aandeel jong water (geïnfiltreerd na 1953).

#### De mariene groep: 7-9 in tabel I

Het betreft wateren met een hoge mate van verzilting door indringing, transgressie of sedimentatie van Noordzeewater, al dan niet vermengd vóór de infiltratie c.q. sedimentatie met rivierwater. Typische algemene kenmerken zijn, uiteraard met diverse afwijkingen:

- Cl<sup>-</sup> = 2.000-18.000 mg/l;
- een relatief hoog zuurstof-18 gehalte ( $\delta^{18}\text{O} > -6\text{‰}$ ), wijzend op een overwegende zeewater-herkomst van het water;
- een lage SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> verhouding (op mg/l-basis < 0,2), indicatief voor zeewater als voornaamste bron van beide ionen (de verhouding in oceaanwater is 0,14). In recente droogmakerijen bestaat er wel kans op hogere ratios door oxydatie van ijzersulfiden of oplossing van daaruit gevormd gips (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O);
- afwezigheid van tritium, wijzend op

water geïnfiltreerd of ingesloten vóór 1953;

- afwezigheid van organische microverontreinigingen.

#### De rest-groep: 6 en 10 in tabel I

Het gaat om wateren met een zeer uiteenlopende mate van verzilting (Cl<sup>-</sup> meestal 20-130.000 mg/l) door menging (dispersie en diffusie), de uitloging van steenzout en hyperfiltratie (hier niet verder beschouwd). Voor menging zijn vanwege het grote aantal combinaties moeilijk algemene typische kenmerken te geven. Kenmerkend voor steenzout-uitloosel is natuurlijk het zeer hoge zoutgehalte (het maximum ligt in Nederland rond de 200 g Cl<sup>-</sup>/l) en daarnaast de relatieve armoede aan bromide (afb. 1) en rijkdom aan strontium (tabel I). Zowel zoet grondwater als zout Noordzeewater zijn in staat om steenzout (NaCl) op te lossen. De intermediaire zuurstof-18 niveaus van brijnen in de Nederlandse ondergrond (afb. 1) wijzen op menging van beide oplosmiddelen. Reacties van steenzout-uitloosel met het poreuze medium, zoals kationuitwisseling, dolomitatie, albitatie van plagioklaas (zie deel 1) en de precipitatie van gips, kalk en ijzersulfiden

TABEL I – *Overzicht van de anorganisch chemische samenstelling van enkele relatief wat zoutere tot zeer zoute grondwateren in Nederland, waarvan de herkomst van water en zout met vrij grote zekerheid bekend is. De wateren zijn globaal gerangschikt, van boven naar beneden, volgens opklimmend zoutgehalte. De continentale groep = 1-5; de mariene groep = 7-9; de rest-groep = 6 en 10.*

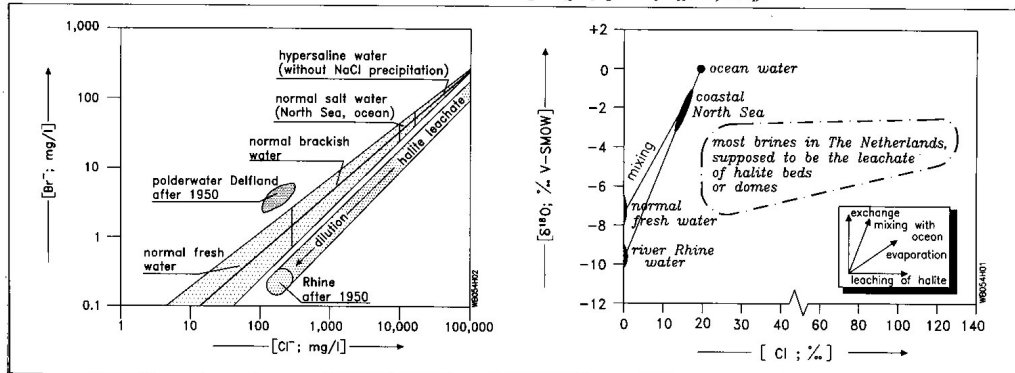
meel- punt	monster diepte	temp 20°C	EC µS/cm	pH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe	Mn	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	DOC	B	Ba	Br	F	I	Li	Sr	Zn	<sup>3</sup> H	δ <sup>18</sup> O		
eq type	m-MV	°C			mg/L													µg/l										TU	‰
<b>1. VERDAMPING: SITUATIE LANDINWAARTS (RELATIEF GERINGE BIJDRAGE VAN VERSTOVEN ZEEZOUT); achtergrond is stuifzand (5 mg Cl/l)</b>																													
Dunen	16	12	305	4.8	21	57	4	1.1	10.1	3.0	3.5	3.7	12.5	0.03	0.26	13	1.1									21	-	-	
<b>2. LANDBOUWINVLOEDEN (achtergrond is wei (Cl = 15 mg/l) of stuifzand (Cl = 5 mg/l))</b>																													
veeetst-mest	5		10.6	633	5.5	29	82	16	196	16	22.5	69	13.6	0.80	0.59	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	438	-	-	
Mais	5		10.0	850	4.7	47	96	4	294	18	54.4	88	12	0.11	0.84	7.8	14.0	5	230	91	-	370	6	9	310	330	-	-	
<b>3. VERSTUIVING VAN ZEEZOUT (regenwater na theoretische indamping 20 voor duindoorn; en 15 mg Cl/l voor degenen-plot)</b>																													
Duindoorn	3	11	692	7.4	63	51	270	35.3	33	3.3	119	6.4	0.04	0.03	0.04	8.7	7.8												
Deenen	3	9	2161	7.4	435	304	388	0.6	242	15.4	252	24.7	0.04	<0.01	0.04	13.0	17.2												
<b>4. INFILTRATIE VAN OPPERVLAKTEWATER VIA WATERLOPEN: KIO = Kunstmatige Infiltratie Oppervlaktewater; OFI = Ofverinfiltratie; Achtergrond Cl = 10-50 mg/l</b>																													
KIO-Rijn	5		12.5	815	7.7	152	67	170	19.4	90	6.2	80	11.5	0.04	<0.01	<0.05	4.5	2.3								17	460	9	105
KIO-Mass	5		11.3	573	7.7	61	60	196	11.8	35	4.9	75	8.9	0.04	<0.01	0.02	4.0	3.8								7	230	35	150
OEI-Polder	9		10.0	1200	7.2	136	69	536	<0.2	77	20	140	37.0	7.0	0.70	15.5	59.9	12.0											
OEI-Rijn	25		12.7	840	7.6	150	69	205	<0.1	84	5.5	86	11.0	1.00	0.32	0.85	5.7	1.7											
<b>5. LOCALE BODEMVERONTREINIGING: (achtergrond Cl = 5-15 mg/l)</b>																													
Stad (vele)	21	13	575	7.4	50	69	148	90	34	3	76	19.2	0.02	0.01	0.09	7.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vaalsloot	8	-	7300	7.4	1713	2	2190	0	1020	200	308	105	17.4	1.15	2.75	-	91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	-
Weggezout	14	-	340	6.2	72	23	21	17	53	2.7	7	2.6	6.4	0.82	<0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>6. MENGING: NOORDZEE- MET DUINWATER: duinwater = 30 mg Cl/l; Noordzeewater = 16.300 mg Cl/l)</b>																													
24H.190	82		12.0	27000	6.8	10865	1534	334	<0.2	5500	70	1150	613	14.9	1.57	13.0	30.0	4.6											
24H.189	68		11.0	17970	6.8	7873	1032	293	<0.5	3593	20.6	1314	222	27.2	1.30	7.5	17.4	-											
24H.450	90		11.8	2450	7.0	690	2	385	<0.1	205	12	280	27	5.5	0.36	5.4	20.0	6.1											
24H.189	63		11.0	930	7.4	243	3	313	<0.2	66	3.0	154	7.0	5.0	0.33	1.1	22.2	-											
<b>7. TRANSGRESSIE (MET INTRUSIE DOOR DICHTHEIDSSROMING) TIJDENS HOLOCEN</b>																													
19B.161	120		12.0	39320	7.1	16100	2100	315	<1	9500	310	400	995	4.7	0.39	11.0	12.2	1.9											
25C.342	23		11.3	10250	7.3	3200	3	1200	<0.2	1950	61	145	195	9.7	0.30	14.2	25.3	18.0											
<b>8. SEDIMENTATIE (SYNGENESE MET SEDIMENT): 19B.109 = Holocene Westland Formatie; 19A.259 = Pleistocene Maasvlakte Formatie</b>																													
19B.109	15		11.0	38900	7.1	14262	780	3752	<0.2	8317	256	343	1131	1.21	0.56	164	57.6	71.1											
19A.259	335		16.0	29670	7.4	11000	840	461	<0.2	6000	100	310	630	4.10	0.52	75.3	13.9	3.5											
<b>9. INDRINGING VAN NOORDZEEWATER (Kustnabij Noordzeewater met Cl = 16.300 mg/l)</b>																													
24H.259	109		11.5	40700	7.2	16300	2294	253	<1	9208	330	357	1080	6.4	0.46	6.1	10.5	4.9											
14A.014	13		12.7	43420	6.8	15964	1310	1226	<0.1	8414	231	649	884	5.5	2.08	30.8	15.9	20.0											
<b>10. UITLOGGING VAN STEENZOUT (nog niet verzadigde oplossing)</b>																													
Nieuweschans 550																													
De Lier	1750		21.5	94400	6.8	55355	230	68.1	<1	30587	132	3191	704	45.5	1.23	-	87.9	-											

leiden in het algemeen tot relatieve winst aan Ca<sup>2+</sup> en verlies van K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (tabel I). Hypersalinen grondwater uit olie- en gas-reservoirs kan hoge concentraties vertonen aan o.a. organische zuren, aromaten, cadmium, lood en kwik [Marquenie *et al.*, 1995].

**2. Tracers in het algemeen**  
*Tracers: chemische labels van water*  
 Onderscheid tussen watersoorten met verschillende herkomst is meestal mogelijk dankzij aanwezigheid van één of meerdere merkstoffen (tracers), die van nature in het water aanwezig zijn of door de mens hieraan worden toegevoegd zonder tracer-

bedoelingen. Zo'n stof moet een ten opzichte van de analysefout en andere watersoort zeer markante concentratie vertonen en zich bij bodempassage conservatief (als H<sub>2</sub>O) gedragen. Chloride, bromide, deuterium en zuurstof-18 vormen dikwijls de meest ideale tracers. Bij afwezigheid van redoxreacties kunnen sulfaat

Afb. 1 - Herkenning van enkele watersoorten door hun positie in een δ<sup>18</sup>O/Cl en Br/Cl diagram (gewijzigd naar [Stuyfzand, 1993]).



(ook geen gips en  $\text{pH} > \text{ca. } 5$ ) en nitraat, meestal in combinatie met bijvoorbeeld chloride, goede diensten bewijzen. Alleen als er chemisch evenwicht heerst dankzij voldoende langdurige doorstroming, kunnen ook de zich niet-conservatief gedragende stoffen B, F, I, K, Li, Mg, Mo, Sr en V als tracer fungeren. Een verankerde tracer als tritium (met halfwaardetijd van 12,3 jaar) kan nog uitstekend dienst doen als de ondergrondse verblijftijden minder dan enkele tientallen jaren bedragen.

Herkomstracers ontstaan vóór infiltratie (meteorisch versus marien water), door chemische reacties met het poreuze medium (juveniel versus meteorisch water, of kalksteenplateauwater versus hoogveenwater) of beide, en door fysieke fractionering (bijvoorbeeld  $^{18}\text{O}$  tijdens verdamping in moerasgebieden, of diverse ionen tijdens hyperfiltratie op grote diepte).

#### Toepassing

Het gebruik van elke tracer vergt

(a) grondig onderzoek vooraf naar alle mogelijke ruimtelijke en temporele variaties (controle van contrast), (b) controle op niet-conservatief gedrag (zelfs het  $^{18}\text{O}$  gehalte verandert bij hoge temperatuur op grote diepte), en (c) beschouwing van de positie van het (te nemen) watermonster in zowel de ruimte (met aandacht voor de geologie, geomorfologie, hydrologie, vegetatie, etc.) als de tijd (lettend op trends in milieuvervuiling, veranderingen in landgebruik, natuurlijke ontkalking, etc.). Wij stellen de volgende algemene procedure voor om obscure verziltingsbron(nen) op te sporen:

- stel vast, op basis van een hydrologische en hydrochemische systeemanalyse van het (waterwin)gebied, welke verziltingsbronnen er allemaal mogelijk zijn en waar de watermonsters genomen moeten worden voor traceronderzoek. De bemonstering dient zich niet te beperken tot bijvoorbeeld die ene pompput met verhoogd chlorideniveau (en tevens veel menging). Het is de kunst om de verziltende stroomdraad zoveel mogelijk ongemengd te bemonsteren, en daarvoor zijn korte waarnemingsfilters nodig;
  - kies dan in eerste instantie de eenvoudig/goedkoop te analyseren tracer(s), maar bewaar een deelmonster voor eventueel aanvullend onderzoek; en
  - analyseer de monsters op die tracer(s) en vervolg wanneer nodig met andere, duurdere tracers.
- Als er desondanks nog steeds twijfels zijn, bestudeer dan de hele hydrochemische vingerafdruk voor de relevante monsters, door aan de hand van een complete analyse een hydrochemische massabalans

TABEL II - Aanbevolen tracers voor identificatie van de 11 verziltingsbronnen van grondwater in Nederland, in volgorde van prioriteit en met indicatieve concentratietoecaus (bij 100% van daardoor beïnvloed water) of opmerkingen tussen haakjes. Benadrukt wordt dat eerst de ruimtelijke en temporele positie van een watermonster bestudeerd moet worden. Een hydrochemische vingerafdruk is de laatste mogelijkheid. Eenheden van de getallen tussen haakjes: hoofdbestanddelen in mg/l,  $^3\text{H}$  in TU ( $1 \text{ TU} = 0,119 \text{ Bq/l}$ ),  $^{14}\text{C}$  in pmc,  $\delta^{18}\text{O}$  in ‰V-SMOW.

Bron van verzilting	sequentiële procedure voor herkenning
<i>Continental groep</i>	Cl (< 300), $\delta^{18}\text{O}$ (6-10), $\text{SO}_4/\text{Cl}$ (> 0,3), $^3\text{H}$ (2-100)
1. Verdamping	Cl (1,3 tot 5,8 maal chloriniteit van lokale neerslag), $\delta^2\text{H}/\delta^{18}\text{O}$ [zie Mook, 1989]
2. Landbouw	Cl (20-200), $\text{NO}_3$ (10-500) of $\text{SO}_4$ (100-250), $^3\text{H}$ (1-50), $\delta^{18}\text{O}$ (-6 tot -8)
3. Verstuiving van zeezout	Cl (30-600), $\delta^{18}\text{O}$ (-6 tot -8), Br/Cl (normaal, afb. 1)
4. Infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen	Cl (50-300), $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}$ (afb. 1), Br/Cl (afb. 1), $^3\text{H}$ (50-200), $\text{SO}_4/\text{Cl}$ , F en specifieke organische microverontreinigingen [Stuyfzand, 1993]
5. Lokale bodemverontreiniging	Cl (50-500), $\text{NO}_3$ (20-200) of $\text{SO}_4$ (100-400), $^3\text{H}$ (1-50), $\delta^{18}\text{O}$ (-6 tot -8), specifieke organische microverontreinigingen
<i>Mariene groep</i>	Cl (2.000-18.000), $\delta^{18}\text{O}$ (-1 tot -6), $\text{SO}_4/\text{Cl}$ (< 0,2), $^3\text{H}$ (< 2)
7. Transgressie: Holoceen	Cl (2.000-15.000), $\text{HCO}_3$ , $^{14}\text{C}$ , $\text{NH}_4/\text{HCO}_3$ [zie Stuyfzand, 1993]
8. Sedimentatie: - Holoceen	Cl (2.000-15.000), $^{14}\text{C}$ (< 40), $^3\text{H}$ (0), Mg (90-1.000), $\text{HCO}_3$ ( $\geq [2 - 2\text{SO}_4]^{*}##$ )
- Onder Pleistoc/B-Tertiair	Cl (5.000-15.000), $^{14}\text{C}$ (0), Mg (300-700), $\text{HCO}_3$ (< $[2 - 2\text{SO}_4]^{*}##$ ), $\text{NH}_4/\text{HCO}_3$ [Stuyfzand, 1993]
9. Indringing Noordzee	Cl (14.500-17.500), Mg (1.000-1.250), $^{14}\text{C}$ (40-90?), $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}$ (afb. 1), Br/Cl (afb. 1), $^3\text{H}$ (0-40), $\text{HCO}_3$ ( $\geq [2 - 2\text{SO}_4]^{*}##$ )
<i>Restgroep</i>	geen algemene criteria voor hele groep
6. Menging	Cl (20-20.000), $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}$ (afb. 1), Br/Cl (afb. 1)
10. Uitloging van steenzout	Cl (20.000-200.000), $\delta^{18}\text{O}/\text{Cl}$ (afb. 1), Br/Cl (afb. 1), Li/Cl [zie Hahn, 1972]
11. Hyperfiltratie	???: Cl (> 5.000), $^{14}\text{C}$ (0?), verhoogd L/Br, $\text{NH}_4/\text{Na}$ en Cl/ $\text{SO}_4$ [Kharaka & Berry, 1974]

## :  $\text{SO}_4^{2-}$  = sulfaat gecorrigeerd voor een mariene bijdrage ( $\text{SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - 0,0517\text{Cl}^-$ ), met  $\text{HCO}_3^-$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{Cl}^-$  in mmol/l, en het subscript 'm' wijzend op de gemeten concentratie.

te maken. In dat geval start men met een uitgangswatersamenstelling en een set van plausibele reactievergelijkingen in de juiste volgorde. De som van alle resulterende massa-overdracht moet dan leiden tot de waargenomen chemische samenstelling van het watermonster, ook voor isotopen [Parkhurst *et al.*, 1982; Stuyfzand, 1993].

### 3. Tracers in Nederland

Goede tracers voor identificatie van de 11 verziltingsbronnen van grondwater in Nederland zijn in tabel II opgesomd. De eerst in aanmerking komende tracer staat links, de laatste, voor de moeilijke gevallen, rechts. Wij benadrukken opnieuw dat de ruimtelijke en temporele positie van de watermonsters vooraf bestudeerd moet worden. Volstaan wordt met enkele interessante kanttekeningen bij tabel II.

#### Tritium en koolstof-14 ter datering

Landbouwkundige activiteiten, de infiltratie van oppervlaktewater via waterlopen en lokale bronnen van bodemverontreiniging vormen in het algemeen recente bronnen van verzilting, die gemakkelijk te onderscheiden zijn door grondwaterdatering (via de radio-actieve isotopen  $^3\text{H}$  met  $T_{1/2} = 12,3$  jaar en  $^{14}\text{C}$  met  $T_{1/2} = 5.730$  jaar), van de veel oudere verziltingsbronnen als hyperfiltratie, uitloging van steenzout, mariene transgressies en sedimentatie. Tritium vertoont nu vooral in Maas- en in mindere mate in Rijnwater verhoogde

niveaus ten opzichte van gebiedseigen regenwater. Noordzeewater van Holocene ouderdom zal, in tegenstelling met dat van Onder Pleistocene of Tertiaire leeftijd, nog een duidelijk meetbare  $^{14}\text{C}$  activiteit bezitten. Grondwaterdatering is echter minder eenvoudig dan het lijkt, 'expert judgement' is vereist.

#### Nitraat en bestrijdingsmiddelen ten teken van recente verontreiniging

De aanwezigheid van significante hoeveelheden opgelost nitraat (> 5 mg/l) of bestrijdingsmiddelen (meestal > 0,05  $\mu\text{g/l}$ ) sluit normaliter de volgende bronnen uit: indringing van Noordzeewater langs de kust, hyperfiltratie, uitloging van steenzout, mariene transgressies en sedimentatie. De afwezigheid van nitraat en bestrijdingsmiddelen geeft echter geen herkomstindicaties, omdat zij in diverse milieus goed worden afgebroken.

#### Sterke tracerduo's

De combinatie van twee conservatieve tracers als chloride en  $^{18}\text{O}$ , of bromide en chloride wordt sterk aangeraden, omdat dit tot sterke convergentie van de bewijslast leidt. Een mooi voorbeeld is de identificatie van Rijnwater te midden van wat zouter kustduinwater (door depositie van verstoven zeezout). De chlorideniveaus zijn dan identiek, maar met  $^{18}\text{O}$  of Br wordt de herkomst onduidelijkzinnig aangetoond (afb. 1). De lage  $\delta^{18}\text{O}$  waarde van



Rijnwater houdt verband met het feit dat de Rijn het grootste deel van zijn afvoer in Zwitserland en Zuid-Duitsland ontvangt, waar de neerslag lagere <sup>18</sup>O-gehalten vertoont dan in Nederland [Mook, 1989]. De lage Br/Cl<sup>-</sup> verhouding van Rijnwater wordt veroorzaakt door het lage bromide-gehalte van steenzoutafval uit de zoutmijnen in de Elzas, dat op de zijrivier de Moesel geloosd wordt. Het koppel 'deuterium en <sup>18</sup>O' wordt onder andere geanalyseerd om open-water-verdamping aan te tonen [Mook, 1989], en het koppel bicarbonaat en voor-zeezout-gecorrigeerd-sulfaat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; zie voetnoot tabel II) werpt mogelijk licht op bijzondere processen in de diepere ondergrond [Stuyfzand, 1993]. Zo bevat connaat water uit de Formatie van Maassluis (Onder Pleistoceen) of dieper ondanks sulfaat-armoede (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = -4 tot -8 mmol/l) toch weinig bicarbonaat (200-400 mg/l). Een verhoogde jodide/chloride-verhouding zou volgens Lloyd et al. [1982] wijzen op een relatief hoge ouderdom van brak-zout grondwater. Deze ratio lijkt in ieder geval niet bruikbaar voor onderscheid tussen 5.000 en circa 2.000.000 jaar oud, connaat Noordzeewater (resp. 19B.109 en 19A.259 in tabel I). De jodideconcentratie hangt veel duidelijker af van de mate van contact met organische stof (hoog in monster 19B.109, te zien aan de extreme HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en DOC concentraties).

#### 4. Maatregelen

Voor de drinkwatervoorziening betekent het oppompen van veel 'continentaal verzilt' water, dat de winning niet gesloten of geknepen hoeft te worden maar dat het ruwe water op termijn meestal wel een aanvullende zuivering behoeft. Die verdere behandeling is dan nodig om organische microverontreinigingen te verwijderen en de concentraties nitraat en calcium te verlagen. Preventieve maatregelen bestaan uit sanering van het landgebruik en sanering van het stroomgebied van infiltrerende waterlopen. Het oppompen van weinig 'marin verzilt' water betekent al gauw, dat de winning gesloten of geknepen moet worden, tenzij ontzouting via membraanfiltratie economisch haalbaar is. Preventieve maatregelen bestaan uit diepfiltratie, ontlasting van de meest gevoelige pomputten en spreiding van de winning over een groter gebied. Menging van zoet en zout grondwater kan worden tegengegaan door een zo continu mogelijke afpomping. Sterke wisselingen in pompdebiet veroorzaken namelijk afwisselend 'upconing' en het gravitatief inzakken van brakwaterkegels, waarbij menging met het omringende zoete water optreedt.

#### 5. Slotopmerkingen

De vele mogelijke bronnen van verzilting van grondwater, elk met zijn eigen strategie van bestrijding ter bescherming van de zoetwaterreserves, roepen tot zorgvuldige kartering van de genetisch verschillende watersoorten. In de bovenste 500 m van de Nederlandse ondergrond, waar sprake is van een zeer actieve grondwatercirculatie, kan de relevante verziltingsbron relatief eenvoudig worden vastgesteld. Het is daarvoor nodig de positie van dat grondwater in zowel ruimte als tijd te beschouwen, en de beste (semi)natuurlijke tracers te analyseren.

Op grotere diepte kunnen verminkende geochemische reacties, fysische fractiënering en menging harde conclusies torpederen. Hier is nader onderzoek naar de hydrochemische effecten van deze processen vereist, met als doel het vinden van specifieke tracers. We moeten ons zolang bedienen van de nog beperkte kennis inzake deze processen, en deze combineren met de geologische wordingsgeschiedenis tot een plausibele hypothese. De elf hier besproken verziltingsbronnen spelen ook in andere delen van de wereld. Er zijn dan echter nog andere mogelijkheden, zoals cryoconcentratie in (sub)-arctische klimaten [Bein & Arad, 1992], verstuiving van ingedampt zout uit zoutpannen, bosbrandbestrijding met zeewater in bijvoorbeeld het Middellandse zeegebied en de infiltratie van zout water uit zeeviskweekvijvers. De (semi)natuurlijke tracers in tabel II zijn wellicht toepasbaar in aanverwante hydrogeologische milieus, maar hun diagnostische concentratieniveaus zullen ongetwijfeld aanpassing behoeven.

#### 6. Verantwoording

Dit artikel is een uitgebreide bewerking van een bijdrage door beide auteurs aan de 13e Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) te Villasimius (Cagliari, Italië) van 5-10 juni 1994. Het onderzoek werd gefinancierd door resp. de VEWIN en TNO-VROM-doelsubsidie.

#### Literatuur

- Appelo, C. A. J. & Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, 536 p.  
 Bein, A. & Arad, A. (1992). *Formation of saline groundwaters in the Baltic region through freezing of seawater during glacial periods*. J. Hydrol. 140, 75-87.  
 Bouckaert, J. (1982). *Staat van opzoekingen naar geothermische energie in België*. Annalen der Mijnen van België 6.  
 De Sitter, L. U. (1947). *Diagenesis of oil field brines*. Amer. Ass. Petrol. Bull. 31, 2030-2040.  
 Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.  
 Gieske, J. M. J. (1991). *De oorsprong van het brakke grondwater in het IJsselmeergebied: diffusie, dispersie of dichtheidstroming?* H<sub>2</sub>O (24) 1991, p. 188-193.  
 Graf, D. L. (1982). *Chemical osmosis, reverse chemical*

- osmosis, and the origin of subsurface brines*. Geochim. et Cosmochim. Acta 46, 1431-1448.  
 Hahn, J. (1972). *Diagenetisch bedingte Veränderungen im Chemismus intruderter Meerwässer und ihre Beziehungen zum Chemismus von Tiefengrundwässern in Nordwestdeutschland*. Geol. Jahrb. 90, 245-264.  
 Hettinga, F. A. M. & Stuyfzand, P. J. (1989). *Hydrochemie en hydrologie van het waterwingebied Edes Bos en omgeving*. Kiwa-report SWO 89.273, 83 p.  
 Howard, K. W. F. & Beck, P. J. (1993). *Hydrogeochemical implications of groundwater contamination by road de-icing chemicals*. J. Contaminant Hydrology 12 245-268.  
 Kharaka, Y. K. & Berry, F. A. F. (1974). *The influence of geological membranes on the geochemistry of subsurface waters from Miocene sediments at Kettleman North Dome in California*. Water Res. Research 10, 313-327.  
 Land, L. S. & Macpherson, G. L. (1992). *Origin of saline formation waters, Cenozoic section, Gulf of Mexico sedimentary basin*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 76, 1344-1362.  
 Lloyd, J. W., Howard, K. W. F., Pacey, N. R. & Tellam, J. H. (1982). *The value of iodide as a parameter in the chemical characterisation of groundwaters*. J. Hydrol. 57, 247-265.  
 Marquenie, J. M., Mac Gillavry, E. C. & Cofino, W. P. (1995). *Waterkwaliteitsaspecten van de diepe ondergrond*. Bodem 3, 109-110.  
 Mook, W. G. (1989). *Principles of isotope hydrology*. Colledgelectaat, Centre of Isotope Research, Univ. Groningen, 153 p.  
 Parkhurst, D. L., Plummer, L. N. & Thorstenson, D. C. (1982). *BALANCE - a computer program for calculating mass transfer for geochemical reactions in groundwater*. U.S. Geol. Surv., Water Resour. Invest. 82-14, 29 p.  
 Peters, J. H. & Meijer, J. A. (1993). *Will upconing be a problem in the Netherlands?* Water Supply 11, 157-163.  
 Ranganathan, V. & Hanor, J. S. (1987). *A numerical model for the formation of saline waters due to diffusion of dissolved NaCl in subsiding sedimentary basins with evaporites*. J. Hydrol. 92, 97-120.  
 Stewart, F. H. (1963). *Marine evaporites*. Ch. Y in 'Data of geochemistry', 6th edition, Geol. Survey Prof. Paper 440-Y.  
 Stuurman, R. J. (in voorbereiding). *Application of regional hydrological systems analysis in water resources and environmental management, in the Southern Netherlands*. Ph.D. Thesis Free Univ. of Amsterdam, in preparation.  
 Stuyfzand, P. J. (1989). *Hydrology and water quality aspects of Rhine bank ground water in The Netherlands*. J. Hydrol. 106, 341-363.  
 Stuyfzand, P. J. (1993). *Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands*. Kiwa Publication, also Ph.D. Thesis Vrije Univ. Amsterdam, ISBN 90-74741-01-0, 366 p.  
 Stuyfzand, P. J. (1994). *The impact of land reclamation on groundwater quality and future drinking water supply in The Netherlands*. Water Sci. & Technol. 31, 47-57.  
 Stuyfzand, P. J. & Bruggeman, G. A. (1994). *Analytical approximations for fresh water lenses in coastal dunes*. Proc. 13th Salt Water Intrusion Meeting, June 1994 Cagliari, Italy, in druk; tevens Kiwa-rapport SWI 95.134, 19 p.  
 Van Beek, C. G. E. M. (1987). *Land-use and the quality of groundwater*. Ch.5 in Kiwa-Meded. 99 (in Dutch).  
 Van Beek, C. G. E. M., Hettinga, F. A. M. & Baggelaar, P. K. (1990). *Onderzoek naar trendmatige veranderingen in de kwaliteit van het grondwater onttrokken door de Nederlandse waterleidingbedrijven*. Kiwa-rapport SWE 90.013, 48 p.  
 Van Der Molen, W. H. (1989). *Het zoute grondwater in West-Nederland: een geoloog van dichtheidsstromingen*. H<sub>2</sub>O (22) 1989, p. 330-331.  
 Völker, A. (1961). *Source of brackish groundwater in Pleistocene formations beneath the Dutch polderland*. Econ. Geol. 56, 1045-1057.  
 White, D. E. (1965). *Saline waters of sedimentary rocks*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 4, 342-366.





## **VII Algemene achtergrondinformatie over de Nederlandse waterwingebieden voor de drinkwatervoorziening: hun indeling in hoofdtypen met nadere indeling van freatisch grondwater en grondwater uit kalksteen op basis van hun kwetsbaarheid in 8 subtypen.**

Onderstaande informatie is ontleend aan:

STUYFZAND, P.J. & R. VAN DER VELDE 2002. ADAGIO MOLTO 21: Modelling long-term effects of the policy against atmospheric acidification, on drinking water quality, production and distribution. Rapport Witteveen+Bos/Kiwa Water Research aan Min. VROM/DGM, directie Klimaatverandering en Industrie.



### 3 WELL FIELDS IN THE NETHERLANDS AND THEIR VULNERABILITY

#### 3.1 Water resources for drinking water supply in the Netherlands

A centralized public drinking water supply started in the Netherlands in 1853 with the pumping of phreatic dune groundwater. The increasing population and water consumption per capita raised the water demands from 70 Mm<sup>3</sup>/y in 1900 to 335 Mm<sup>3</sup>/y in 1950 to 1,250 Mm<sup>3</sup>/y in 1992. The 1,250 Mm<sup>3</sup> of drinking water prepared in 1992, was composed of 7 types of water resources (Table 3), in decreasing order: 440 Mm<sup>3</sup> of (semi)confined groundwater from sandy aquifers (type B), 335 Mm<sup>3</sup> of phreatic groundwater from sandy aquifers (type A), 232 Mm<sup>3</sup> of directly purified surface water, mainly from the rivers Rhine and Meuse (type O), 161 Mm<sup>3</sup> of artificially recharged river Rhine and Meuse water (type I), 55 Mm<sup>3</sup> of Rhine bank infiltrate (type U), and 27 Mm<sup>3</sup> of groundwater from Cretaceous limestone (type K). All this water was abstracted in 1992 on 262 pumping stations. Further details on the characteristics of the 7 types of pumping stations (water resources) are given in Table 3.

#### 3.2 Towards a selection of the most vulnerable well fields

In this study the focus is directed on well fields that are vulnerable to the effects of atmospheric deposition of acidifying and eutrophying compounds, within a time-span shorter than 100-200 years. We already skipped (for reasons discussed in section 1) resource types I (artificial recharge), O (surface water from storage basins) and U (river bank infiltrate). From the remaining well field types we also skip type B, pumping (semi)confined groundwater. This groundwater derives from aquifers that are relatively well protected against pollution, for the following reasons: (a) they are covered by one or more aquitards that retard water flow and pollutants and that offer a high buffering capacity for acids and oxidants, (b) they are normally situated at greater depth, thus offering more interaction with the aquifer system (Table 3), and (c) contain much older groundwaters, thus offering a lot of delay (often >200 years) and time for reactions (Table 3).

Consequently the following well field types have been selected in this study:

Type A: pumping phreatic groundwater from relatively shallow aquifers composed of unconsolidated sands; and

Type K: pumping phreatic groundwater from relatively shallow limestone aquifers.

More characteristics of both types are highlighted in Table 3. Types A and K are further subdivided in Table 4, on the basis of the geomorphology of their recharge area and geochemistry of their aquifer system. Additional data on their pumping depth, land-use, thickness of the unsaturated zone and upper soil type are given as well. Well fields of type A and K, 110 in total (in 1999) and covering 30% of the national drinking water demand, are plotted on a landscape map in Fig.3.

TABLE 3. General characteristics of the 7 types of water resources for public drinking water supply in the Netherlands, anno 1992 (after Stuyfzand, 1996).

Resource Type:	A	B	I	K	O	U
<b>Diagnostic features</b>	<b>phreatic ground-water</b>	<b>(semi) confined ground-water</b>	<b>artificial recharge and recovery</b>	<b>ground-water from limestone</b>	<b>surface water</b>	<b>Rhine bank infiltrate</b>
First year of operation of first station	1853	1893	1940	1904	1881	1890
No. of active pumping stations	103	104	9	15	16	15
Mean raw water production (Mm <sup>3</sup> /y)	3.3	4.2	17.9	1.8	38.8	3.6
Amount of drinking water produced (Mm <sup>3</sup> /y)	335	440	161	27	232 <sup>†</sup>	55
Percentage of total amount of drinking water	27	35	13	2	19 <sup>†</sup>	4
Mean number of wells/collection points	13	16	94	6	1	14
Mean surface Level = SL (m+MSL <sup>@</sup> )	18.1	13.1	8.6	76.0	2.1	1.8
Mean abstraction level (m-SL)	32-65	63-125	8-30	23-74	0	28-69
Mean depth to brackish water <sup>##</sup> (m-SL)	166	194	62	170	-	128
Age spectrum (y)	2-200	20-25,000	0.1-0.3	2-200	0-1	1-50

@ = Mean Sea Level; ## = 150 mg Cl<sup>-</sup>/l interface;

† = excluding the amount of surface water which is (a) pretreated for artificial recharge and industrial water supply (246 Mm<sup>3</sup>/y, 9 stations), and (b) posttreated elsewhere (148 Mm<sup>3</sup>/y, 2 stations).

### 3.3 Ranking vulnerability

The term 'vulnerable' can be specified a bit more in this context, as 'susceptible to noxious, hazardous or cumbersome effects of atmospheric deposition. Then the most vulnerable of all well field types, clearly are those which: (1) receive the highest load of atmospheric deposition of acidifying and eutrophying compounds (see RIVM, 1992); (2) have the shortest travel time of water from the land surface to the pumping wells (see Table 5); and (3) lack the reactive phases mentioned in Table 4, in both their upper soil and aquifer system. In such cases the normal atmospheric pollutants (acids, acid precursors, heavy metals and organics) may reach the well field much earlier and in higher concentrations. And, in addition, the acidity is buffered then by soil and aquifer in a less desirable way: not by calcite dissolution, which yields the non-toxic calcium and hydrogencarbonate ions, but by the dissolution of aluminium hydroxides and silicate minerals, of which the mobilized aluminium is known to cause damage to biota incl. man.

In ranking the 8 well fields according to their 'atmospheric' vulnerability on the basis of the above 3 criteria, we obtain in decreasing order: southern cover sands > large ice-pushed hills > small ice-pushed hills > eastern cover sands > limestone hills > glacial till table land > shallow polders > coastal dunes.

TABLE 4. Subdivision of the well fields vulnerable to atmospheric deposition of acidifying and eutrophying compounds (strongly modified after van Beek et al., 2002).

	number of well fields in 2000	depth of well screen m-LS	Domin. Land-use #	unsaturated zone		REACTIVE PHASES in AQUIFER			
				thick-ness m	upper soil @	Silt or clay	Org. matter	Pyrite	CaCO <sub>3</sub>
<b>TYPE A: PHREATIC SANDY AQUIFERS</b>									
Coastal dunes	4	15-40	Nat	2-4	SC	+	+	+	+
Shallow polders	14	30-100	Agric	1-3	Var1	+	++	+	+/-
Glacial till table land	12	25-70	Agric	3-8	Var2	+ / ++	-	-	+ / -
Eastern cover sands	17	15-45	Agric	2-5	SP	+ / -	+ / -	+	+
Small ice-pushed hills <sup>1)</sup>	7	30-80	Agric	2-10	SP	-	- / -	+ / -	+ / -
Large ice-pushed hills	35	25-95	Nat	4-30	SP	--	--	--	--
Southern cover sands	10	5-30	Agric	2-6	SP	+ / -	- / -	+	-
<b>TYPE K: PHREATIC LIMESTONE AQUIFERS</b>									
Loess on limestones <sup>2)</sup>	11	15-100	Agric	5-30	LN	+ / ++	-	-	++

++ = very much; + = enough to be significant; - = little present or hardly reactive; -- = not present or not reactive.

1) = This 'small' type generally implies that 2 kinds of groundwater are pumped: groundwater which originated in the ice-pushed hills (poor in all reactive phases), and ditto in the adjacent low lands (containing all reactive phases to some extent).

2) = often marley limestone or marl;

#: Nat = natural vegetations + (some) pine afforestations; Agric = agriculture. For further details see Table 5.

@: SC = sand, calcareous (arenosols); SP = sand, poor (non-calcareous; carbic podzols); LN = Loess, non-calcareous (Luvisols); Var1 = varying, incl. SR (= sand, rich; gleyic podzols, gleysols), CN (=clay, non-calcareous; fluvisols), CC (=clay, calcareous; fluvisols); PN = peat, non-calcareous (histosols); Var2 = SP, SR, CN, PN

## 4. WATER QUALITIES IN VULNERABLE WELL FIELDS

### 4.1 Mean water quality of the raw water collected

Raw water quality in 2000 was calculated for the 8 types of vulnerable well fields, on the basis of mean quality data for each well field. The results are given in Table 5, together with additional well field characteristics, like the mean first year of pumping, mean annual abstraction total, mean land-use and mean groundwater age.

The best water quality is clearly produced in the following areas, showing little, if any, influences of agriculture (like significant increases in NaCl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, K, Ca, Mg, Cu, Zn, pesticides) and urbanization (like significant increases in NaCl, NO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, Cu, Pb, Zn, trihalomethanes):

- **coastal dunes:** calcareous groundwater (high in Ca, Mg and HCO<sub>3</sub>) with characteristic high sea spray inputs (Na, Cl, K, Mg, SO<sub>4</sub>). There are no inputs from agriculture and urban areas because these are virtually absent;
- **large ice-pushed hills:** oligomineral groundwater (unique in the Netherlands) with lowest total hardness, and yet a rather high pH (acidity front with Al<sup>3+</sup> still at distance). Contributions from agricultural and urban areas are small thanks to the limited extent and moderately high age of groundwater;

- **shallow polders:** calcareous groundwater (high hardness). Contributions from agricultural and urban areas are small thanks to a high age of groundwater and denitrification by abundant organic matter (Cl clearly raised). Local surface waters may contribute by their infiltration, thereby complicating Cl interpretation;

## Kwetsbare winningen en fysisch-geografische regio's

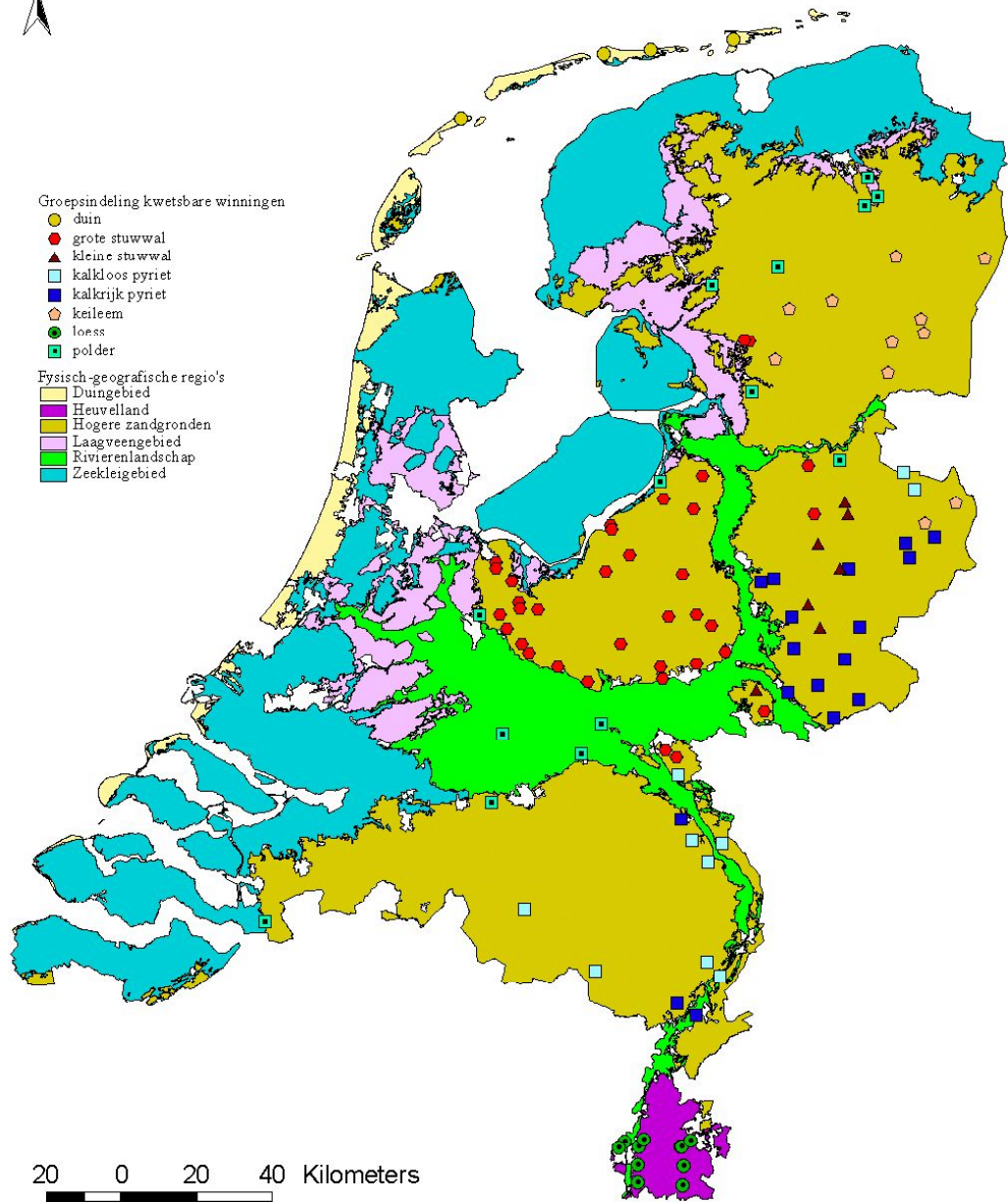


Groepsindeling kwetsbare winningen

- duin
- grote stuwwal
- ▲ kleine stuwwal
- kalkloos pyriet
- kalkrijk pyriet
- ◇ keileem
- loess
- polder

Fysisch-geografische regio's

- Dungebied
- Heuvelland
- Hogere zandgronden
- Laagveengebied
- Rivierenlandschap
- Zeekleigebied



20 0 20 40 Kilometers

**kiwa**  
Partners for progress.

*FIG. 3. Landscape map of the Netherlands, with the location of the discerned 8 types of well fields vulnerable to the atmospheric deposition of acidifying and eutrophying compounds (slightly modified after Van Beek et al., 2002).*

- **glacial till table land:** groundwater with intermediate hardness. Contributions from agricultural and urban areas are small due to a moderately high age of groundwater and denitrification by organic matter.

Lower quality groundwater is pumped from the following areas, where influences from agriculture and, to a smaller extent, urbanization can be clearly observed:

- **limestone hills:** calcareous groundwater with highest hardness of all and, consequently, the highest concentration of TDS (total dissolved solids). Contributions from agricultural areas are demonstrated by high NO<sub>3</sub> and raised Cl concentrations;
- **small ice-pushed hills:** calcareous groundwater with raised concentrations of Cl and NO<sub>3</sub> mainly from agriculture, and of SO<sub>4</sub> mainly deriving from pyrite oxidation due to raised NO<sub>3</sub> inputs and a drawdown of groundwater tables;
- **eastern cover sand area:** calcareous groundwater (very high hardness) with raised concentrations of Cl mainly from agriculture, and of HCO<sub>3</sub> and SO<sub>4</sub> mainly deriving from the oxidation of resp. organic matter and pyrite, due to raised NO<sub>3</sub> inputs and a drawdown of groundwater tables;
- **southern cover sand area:** non-calcareous groundwater (low hardness) with lowest pH, and raised concentrations of Cl, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, Al, As, Ni and Zn. Cl and NO<sub>3</sub> mainly derive from agricultural activities, Al from pH buffering in decalcified soils. SO<sub>4</sub>, As, Ni and Zn mainly derive from pyrite oxidation due to raised NO<sub>3</sub> inputs and a drawdown of groundwater tables;

TABLE 5. Mean quality of the raw water pumped at the 8 discerned vulnerable well fields, in 2000 (based on data obtained from C. van Beek, Kiwa).

Start = first year of pumping; Q-2000 = total amount pumped in 2000; Natural/agriculture/urbanized = land-use within groundwater catchment area; t50 = 50% of groundwater having a lower age than indicated.

TYPE		Coastal Dunes	Shallow Polder	Glacial till table land	Eastern cover sand	Small ice-pushed hills	Large ice-pushed hills	Southern cover sand	Limestone
Start	year	1956	1945	1961	1950	1944	1932	1962	1947
Q-2000	Mm <sup>3</sup> /a	0.15	4.89	2.36	1.61	2.47	3.55	1.69	2.89
Natural	% area	>96	27	23	23	33	77	29	?
Agriculture	% area	2	65	73	71	52	10	65	71
Urbanized	% area	<2	8	4	6	15	13	7	?
t50 (age)	year	20	110	60	20	20	50	20	30-
pH	-	7.99	7.09	6.94	7.13	6.95	7.01	6.18	7.13
Cl <sup>-</sup>	mg/L	70.4	36.8	29.7	38.8	32.6	19.9	28.8	27.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	22.0	24.0	20.6	82.4	77.0	20.5	83.0	55.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	229	219	171	291	172	70	56	346
NO <sub>3</sub> -N	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	0.31	4.75	2.46	4.45	5.57
Na <sup>+</sup>	mg/L	39.2	18.8	16.5	22.8	18.6	13.3	13.9	10.5
K <sup>+</sup>	mg/L	5.3	2.3	2.2	2.8	3.3	1.2	4.1	1.9
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	68.3	66.6	46.0	113.5	81.0	28.8	32.2	133.8
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	13.0	5.8	5.2	9.2	9.3	3.5	7.0	13.0
Tot.HH	mmol/L	2.18	1.97	1.49	3.22	2.42	0.84	1.31	3.71
Al	ug/L	2.0	2.6	8.7	2.3	12.3	8.8	39.5	28.0
As	ug/L	0.4	3.1	0.9	0.8	2.5	1.0	20.8	0.5
Ni	ug/L	3.0	1.4	0.9	1.8	6.9	3.5	22.0	1.0
Zn	ug/L	10.0	5.5	6.9	3.3	7.5	4.4	59.0	10.0

# VIII Fragment van het EXCEL-bestand SWIM-14.XLS, met de meest relevante gegevens van alle onderzochte 380 winplaatsen en de resultaten m.b.t. SAPORE en subindices

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI start	CI	CI	2000	CI-max	MAX	TREND 70-86	TREND 70-92	POS	SAL MAR	SAL CONT	BEX	RISK	SAL SAPORE	PRAKTIJK INFO
9-8	WMO	Ovy	1934		B	40	185	215	9	710	3	0	0	2	1	0	1	1	9.0	JA, LIT.1
10-1	DEV	Ovy	1893		B	22	132	160	18	290	2	0	0	2	1	0	1	1	8.0	JA, LIT.1
3-6	WLF	Fr	1925		A	31	88	115	100	130	1	1	1	1	1	0	1	1	7.0	JA, LIT.4
85-1	RNH	NBr	1887		B	18	88	121	44	300	3	0	1	0	1	0	0	1	7.0	
10-2	DEV	Ovy	1954		B	59	108	135	26	195	1	0	0	2	1	0	0	1	6.0	JA, LIT.1
17-2	WMG	Gld	1979		B	28	52	63	17	161	1	0	0	2	1	0	0	1	6.0	
1-2A	GWG	Gro	1930		A	45	97	121	21	425	3	0	0	0	1	0	0	1	5.9	
32-4	PWN	NHO	1885		B	31	75	89	56	99	0	0	0	2	1	0	0	1	5.0	JA, LIT.3
1-1	GWG	Gro	1912		A	31	71	86	30	180	1	0	0	-1	1	0	1	1	4.0	
9-17	WMO	Ovy	1966		A	27	41	42	38	50	0	1	1	2	0	0	1	0	4.0	
14-2	WOT	Ovy	1932	1997	A	12	30	26	22	33	0	1	1	2	0	0	1	0	4.0	
82-9	WNWB	NBr	1962		B	5	27	20	13	32	0	1	1	2	1	0	0	0	4.0	
94-3	WML	Lim	1976		B	15	43	76	69	87	0	1	1	-1	1	0	1	1	4.0	
17-17	WMG	Lim	1941		A	19	44					1	1	0	1	0	0	1	4.0	
49-2	EWR	Zho	1919	1995	A	29	114					0	0	1	1	0	0	1	4.0	JA, LIT.2
2-3	WAPROG	Gro	1965		A	20	42	43	24	69	0	1	1	0	1	0	0	0	3.0	JA, LIT.5
3-4	WLF	Fr	1961		A	59	77	86	79	88	0	0	0	2	0	0	0	1	3.0	
9-11	WMO	Ovy	1954		A	11	17	17	8	67	0	1	1	2	0	0	0	0	3.0	
15-3	WOG	Gld	1962		B	22	24	30	24	35	0	0	0	2	0	0	1	0	3.0	
29-23	WMN	Utr	1913		A	9	240	93.65	47.3	140	1	1	1	-1	1	0	0	0	3.0	
94-25	WML	Lim	1973	2001	K	20	26	25	24	26	0	0	0	2	0	0	1	0	3.0	
9-15	WMO	Ovy	1976	1998	B	18	22					1	0	2	0	0	0	0	2.6	
40-2	WLZK	NHO	1904	2002	B	31	62							-1	1	0			2.6	JA, LIT.3
63-1	WDM	Zho	1887	1994	I	86	77					0	0	2	0	0			2.6	NEE, KIO
77-7	DELTA	Zee	1937	1998	I	20	34					0	0	2	0	0			2.6	NEE, KIO
3-1	WLF	Fr	1952		A	37	80	96	92	105	1	1	1	1	0	-1	1	0	2.0	
3-3	WLF	Fr	1961		A	57	51	52	49	54	0	1	1	2	0	0	0	0	2.0	
9-5	WMO	Ovy	1958		B	21	32	36	21	61	0	1	1	1	0	0	0	0	2.0	
9-14	WMO	Ovy	1962		B	12	20	22	17	28	0	0	1	1	0	0	0	0	2.0	
15-5	WOG	Gld	1955		A	43	50	45	43	46	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
15-14	WOG	Gld	1961		A	22	25	20	10	31	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
15-20	WOG	Gld	1944		B	8	6	6	5	6	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
15-30	WOG	Gld	1926		B	16	35	41	30	46	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
17-5	WMG	Gld	1966		A	11	16	13	11	15	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
17-8	WMG	Gld	1959		A	15	18	17	14	21	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
17-18	WMG	Gld	1953		A	16	92	120	45	292	2	0	0	1	0	-1	1	0	2.0	EVT JA, LIT.1
51-8	WZHO	Zho	1936		B	7	37	26.7	18.7	36.3	0	1	1	-1	1	0	0	0	2.0	
82-1	WNWB	NBr	1968		B	18	18	19	16	21	0	1	0	2	0	0	0	0	2.0	
82-14	WNWB	NBr	1887		B	21	17	18	14	20	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
94-7	WML	Lim	1962		B	80	52	30	20	53	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
94-17	WML	Lim	1951		B	10	8	8	6	10	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	
94-19	WML	Lim	1966		B	8	7	3	2.5	8	0	0	0	2	0	0	0	0	2.0	



LOC	WLB	POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	CI	BEX	Na/Cl	Cl-min	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	SAL	SAL	SAPORE	PRAKTIJK
1992	1992		1992	start		SWIM	1992	2000	2000	meq/L	mg/L	2000	2000	2000	70-86	70-92		MAR	CONT	BEX	RISK		INFO	
94-28	WML	ROODBORN	Lim	1952		K	15	23	22	0.21	0.31	21	23	0	0	0	1	0	0	1	0	2.0		
34-2C	GW	W'KARSPEL RUW WATER	Nho	1932		O		77	77	-0.53	0.35	53	107	0	0	0	1	0	0	1	0	1.9	NEE, OPPW	
77-1D	DELTA	OUDDORP: PUT 1-40	Zee	1955		I		107	107	-0.15	0.48	99	115	0	0	0	1	0	0	1	0	1.9	NEE, KIO	
32-8	PWN	LAARDERHOOGT (LAREN)	Nho	1933		A	19	30							1				0	0	1		1.5	
30-4A	FDM	HARDERBROEK	Fle	1997		B		8	8	0.05	0.31	7	9	0	0	0	0	0	0	1	0	1.5		
34-2B	GW	W'KARSPEL (LOENEN)	Nho	1932		O	30	77	77	-0.47	0.36	72	83	0	0	0	1	0	0	1	0	1.5	NEE, OPPW	
15-17	WOT	KOTMANLAAN	Ovy	1977	1994	B	51	82							0	0	1	2	0	-1		1.3		
94-46	WML	RIVIEREN	Lim	1919		K		35	36	1.44	0.39	31	39	0	0	0	0	0	0	0	1	1.3		
17-20	WMG	HOOGTEVEN	Gld	1935		U	114	101	101	-0.32	0.34	40	157	0	0	1	1	0	0	0	1	1.2	NEE, LIT.1	
4-17	WMD	LENGE (ELST)	Dre	1927		B	16	21	28	0.57	0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1	
9-7	WMO	BOERHAAR: MIX	Ovy	1981		B	110	87	84	0.44	0.62	30	170	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1.1	
94-47	WML	CRAUBEEK	Lim	1919		K	9	22	23.5	0.39	0.24	21	28	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1.1	
94-49	WML	BARRIER	Lim	1934		K	12	27	28.333	0.70	0.30	22	39	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1.1	
2-4	WAPROG	Ir. A. POLSTRA, SELLINGEN: MIX	Gro	1971		B	31	38	34	0.27	0.62	33	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
4-9	WMD	ZUIDWOLDE: MIX	Dre	1969		B	22	20	22	0.71	0.74	16	32	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1.0	
9-9	WMO	EPELOSERBR: MIX	Ovy	1973		A	24	27	33	0.45	0.55	22	48	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.0	
9-16	WMO	DENEKAMP	Ovy	1959		B	29	36	32	0.46	0.69	20	46	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1.0	
9-18	WMO	HASSELO (BORNE)	Ovy	1932		A	18	39	36	0.75	0.58	33	41	0	0	1	1	2	0	-1	0	0	1.0	
9-20	WMO	HERIKERBERG	Ovy	1958		A	19	31	31	0.38	0.52	15	57	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1.0	
11-1	COGAS	WIJERDEN (ALMIELO)	Ovy	1892		A	20	38	35	0.66	0.54	24	73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
14-4	WOT	HENGEL	Ovy	1897		A	16	72	67	0.71	0.58	39	105	1	1	0	2	0	0	-1	0	0	1.0	
15-7	WOG	VORDEN (dennenwater)	Gld	1969		A	22	26	28	0.76	0.61	25	33	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1.0	
15-19	WOG	DINXPERLO	Gld	1973		A	40	39	38	0.70	0.61	36	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
17-4	WMG	ELBURG	Gld	1949		A	13	11	12	0.70	0.58	11	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
17-14	WMG	ZOLENEN: MIX	Gld	1970		B	24	15	8	0.74	0.88	5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	EVT, DIEP, LIT.1
29-8	WMN	MONTFOORT	Utr	1926		B	11	25	33.2	0.54	0.61	33.2	33.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.0	
29-11	WMN	DRIEBERGEN: MIX	Utr	1896		B	14	24	37.1	0.11	0.53	37.1	37.1	0	0	1	-1	0	0	0	0	1	1.0	
29-15	WMN	GROENEKAN (MAARTENSDIJK)	Utr	1961		B	11	26	40.1	0.06	0.50	40.1	40.1	0	0	1	-1	0	0	0	0	1	1.0	
29-21	WMN	LAREN: MIX (HILV. (OUD))	Nho	1900		B	15	54	43.533	0.39	0.71	26.3	64.3	0	0	0	-1	1	0	0	0	1	1.0	
30-1	FDM	BREMERBERG	Fle	1962		B	22	37	51.5	-0.08	0.50	31	64	0	0	0	0	-1	0	0	1	0	1.0	
51-10	WZHO	KIEVIETSWEG: MIX (voor '81: slikkerveer) RIDDERKERK	Zho	1906		U	60	157	145	-0.12	0.40	128	163	0	0	0	2	0	0	-1	1	0	1.0	ALLEEN DIEP, LIT.1
51-13	WZHO	HOOGBOOM (KAMERIK)	Zho	1931		A	106	72	74.1	1.16	0.59	66.8	84.7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1.0	ALLEEN DIEP, LIT.1
82-3	WNWB	SEPPE	Nbr	1922		B	14	16	17	0.69	0.76	16	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
88-8	WOB	LOOSBROEK	Nbr	1969		B	44	47	48.5	1.79	1.08	43	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
88-11	WOB	VEGHTEL	Nbr	1941		B	55	60	56.667	1.75	0.98	35	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
94-26	WML	WATERVAL	Lim	1962		K	14	18	18	1.13	0.49	15	20	0	0	1	-1	0	0	0	1	0	1.0	
94-43	WML	HOOGVELD	Lim	1984		A	30	14	8	0.93	0.61	6	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	
32-2A	PWN	ANDIJK RUW WATER	O			O		105	105	1.26	0.73	94	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
1-2B	GWG	DE PUNT, DR. AA	Gro	1881		O	21	30	26	0.44	0.60	23	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
2-1	WAPROG	NIETAP	Gro	1953		A	22	19	18	0.63	0.75	16	19	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0.0	
3-5	WLF	SCHIERMONNIKOOG	Fri	1950		A	44	48	49	0.73	0.53	48	51	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0	
3-5B	WLF	SCHIERMONNIKOOG-WL-PLAS	Fri	2000		O		58	58	2.22	0.87	50	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
3-9	WLF	TERWISSCHA	Fri	1960		A	13	15	14	0.40	0.66	12	15	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0.0	
4-2	WMD	NORG	Dre	1972	1994	A	18	25	24	0.72	0.79	15	25	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0.0	
4-4	WMD	ASSEN	Dre	1897		B	23	29	29	0.72	0.79	15	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
4-6	WMD	GASSELTE	Dre	1953		A	13	20	22	0.26	0.56	17	30	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0.0	
4-12	WMD	KRUIDHAARS (SLEEN)	Dre	1986		A	16	16	18	0.26	0.59	47	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
4-18A	WMD	ANNEN	Dre	1992		B		12	12	0.42	0.76	12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
9-1	WMO	HAVELTE (MEPPEL)	Ovy	1894		A	18	25	26	0.46	0.62	18	42	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0	

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI start	CI 1992	CI 2000	CI	BEX meq/L	Na/Cl mg/L	Cl-min 2000	Cl-max 2000	MAX	TREND 70-92	TREND 70-86	POS	SAL MAR	SAL CONT	BEX	SAL RISK	SAPORE	PRAKTIJK INFO
9-1A	WMO HAVELTERBERG	Ovy	1907		A	19	29	22	22	0.25	0.68	14	50	0	1	0	-1	0	0	0	0	0.0	
9-2	WMO ST. JANSKLOOSTER	Ovy	1936		A	32	41	40	40	0.31	0.53	31	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
9-3	WMO STAPHORST	Ovy	1955		B	20	38								1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
9-6	WMO ARCHEMERBERG	Ovy	1959		A	11	20	20	20	0.18	0.55	8	45	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
9-12	WMO HAMMERFLIER	Ovy	1990		B	20	22	22	22	0.33	0.59	16	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
9-13	WMO HOOGHE HEKSEL	Ovy	1933		A	12	29	21	21	0.35	0.52	10	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
9-19	WMO GOOR	Ovy	1915		B	10	55	48	48	1.12	0.69	37	67	0	1	1	0	-1	0	0	0	0.0	
9-21	WMO ENGELSCHE WERK (ZWOLLE)	Ovy	1930		U	40	95	74	74	0.39	0.59	7	120	0	1	1	2	0	-1	0	0	0.0 JA, LIT.1	
9-30a	WMO RODENMORS	Ovy	2000		B			11	11	0.67	0.91	10	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
14-3A	WOT TWENTEKANAAL (ELSBEEKWEG)	Ovy	1952		O		70	49	49	0.57	0.59	25	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
15-4	WOG OLDEN EIBERGEN: MIX	Gid	1934		A	14	41	40	40	0.49	0.58	27	49	0	0	0	2	0	-1	0	0	0.0	
15-6	WOG LOHEM	Gid	1925		A	15	34	34	34	0.83	0.59	25	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
15-9	WOG WOGOS (GORSSEL)	Gid	1975		A	25	33	31	31	0.53	0.58	30	31	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
15-10	WOG VIERAKKER (ZUTPHEN)	Gid	1889		A	114	94	97	97	1.27	0.72	51	137	1	0	0	-1	0	0	0	0	0.0 NEE, LIT.1	
15-13	WOG PLAKSLAG	Gid	1986		A	41	39	39	39	1.15	0.64	37	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
15-15	WOG DE POL (DOETINGHEM)	Gid	1938		A	18	35	32	32	0.65	0.63	16	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
15-16	WOG VARSEVELD	Gid	1986		A	45	52	52	52	0.78	0.65	45	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
15-18	WOG T LOOHHUIS (AALTEN)	Gid	1989		A	44	44	38	38	0.39	0.58	33	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
17-12	WVG KOLFF (WAARDENBURG)	Gid	1958		U	7	17	20	20	0.89	0.75	13	38	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0 NEE, LIT.1	
17-13	WVG VELDRIEL (SELLIK)	Gid	1977		U	10	17	24	24	0.68	0.50	18	33	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
17-22	WVG WEZEP (BOELE) WIJCHEN	Gid	1992		A	16	16	15	15	0.25	0.73	11	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
17-32	WVG HARDERWIJK-II	Gid	1973		A	14	12	12	12	0.20	0.69	10	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
20-4	VNB SCHALTERBERG	Gid	1982		A	8	13	12	12	0.17	0.70	7	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
20-5	VNB EDESE BOS (EDE)	Gid	1969		A	14	17	22	22	0.19	0.59	8	65	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
29-2	WVN VEENENDAAL: MIX	Utr	1930		B	10	12	12.9	12.9	0.96	1.16	12.9	12.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
29-5	WVN TULLEN 'T WAAL (SCHALKWIJK)	Utr	1963		B	8	9	9.7	9.7	0.76	1.31	9.6	9.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
29-17	WVN SOEST	Utr	1929		A	10	10	10.8	10.8	0.31	0.70	10.8	10.8	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
29-24	WVN BERG (AMERSFOORT)	Utr	1955		A	12	29	27.8	27.8	0.28	0.59	27.8	27.8	0	1	1	-1	0	0	0	0	0.0	
29-27	WVN EEMDIJK	Utr	2000		B			8.6	8.6	0.26	0.80	8.6	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
32-5B	PWN AANVOER WRK CASTR+WIIJKaZ				O			97	97	0.43	0.56	73	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
33-1	PWN BUSSUM (GRINDWEG)	NHo	1898	1993	A	14	21								0	0	0	0	0	0	0	0.0	
34-2A	GW A'DAM-RUNKANAAL (NIEUWERSLUIS)	NHo	1988		O			86	86	0.45	0.56	53	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
40-5	WLZ BENTVELD: MIX	NHo	1929	1995	B	29	34								0	0	0	0	0	0	0	0.0 JA, LIT.2	
49-1C	EWR VLEGVELD (BOEZEMW.)	Zho	1972	1996	O		140								0	0	0	0	0	0	0	0.0	
49-3	EWR HOORN	Zho	1903	2000	U	74	132								1	1	1	0	-1	0	0	0.0	
51-1	WZHO HAZERSWOUDE: MIX	Zho	1909	1995	U	75	144								0	0	2	0	-1	0	0	0.0 JA, LIT.1	
51-5B	WZHO LEKKERK: TIENDWEG	Zho	1969		U			129	129	-0.26	0.47	100.4	146.7	0	0	0	-1	0	0	0	0	0.0 NEE, LIT.1	
51-7	WZHO DE PUT (MIDDELWEG) Nw. LEKKERLAND	Zho	1964		U	137	128	105.9	105.9	0.21	0.52	40.8	133.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0 NEE, LIT.1	
51-12	WZHO RINGDIJK (ZWIJNDRECHT)	Zho	1897		U	35	165	115.6	115.6	0.59	0.59	65	155.7	0	1	1	2	0	-1	0	0	0.0 JA, LIT.1	
62-1C	DZH BRAKEL (Ard. Maas)	Zho	1976		O	66	65	46	46	0.81	0.65	23	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
70	DWL-R KRALINGEN	Zho	1977		O	55	73	42.1	42.1	0.81	0.72	38.2	49.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
70-1	DWL-R BERENPLAAT (OUD-BETERLAND)	Zho	1966		O	91	73	42.2	42.2	0.79	0.72	38.5	49.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
75-2a	DORD BAANHOEK-Grondw. (DORDRECHT)	Zho			B			23.8	23.8	1.16	1.01	20.8	27.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
75-2	DORD BAANHOEK-Opw LAGE DRUK PS (DORDRECHT)	Zho	1968		O	214	59	42.6	42.6	0.81	0.72	39.1	48.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
77-1	DELTAN OUDDORP: MIX	Zee	1934		I	36	141	93	93	0.24	0.53	82	103	0	0	0	2	0	-1	0	0	0.0	
77-1B	DELTAN OUDE NIEUW (OUDDORP)	Zee	1955		O	87	104								0	0	0	0	0	0	0	0.0	
77-1C	DELTAN SCHEELH. (HVLIET) (OUDDORP)	Zee	1972		O	252	138	75	75	0.49	0.56	41	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	CI	BEX	Na/Cl	Cl-min	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	SAL	SAL	BEX	SAL	RISK	SAPORE	PRAKTIJK	INFO
1992	1992				SWIM	start	1992	2000	2000	meq/L	mg/L	2000	2000	70-86	70-92			MAR	CONT								
77-4	DELTAAN HUYBERGEN	Nbr	1963		A	15	20	21	20	0.20	0.59	20	22	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
77-5	DELTAAN OSSENDRECHT	Nbr	1913		A	10	23	21	16	0.31	0.57	16	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
77-6	DELTAAN ORANJEZON: MIX	Zee	1891	1995	A	62	58																		0.0		
77-8B	DELTAAN BRAAKMAN UIT SPAARBEKKEN	Zee	1960		O	75	72	43	40	0.71	0.67	40	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
82-6	WNWB GLIZE	Nbr	1955		A	17	14	17	16	0.25	0.47	16	18	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0.0		
82-10B	MONDAF-DIEP (BERGEN op Z)	Nbr	1899		B	17	40	44	41	0.21	0.61	14	22	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
85-2	RNH EIMPEL	Nbr	1953		A	40	43	44	41	0.50	0.73	41	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
88-4	WOB OIRSHOT	Nbr	1983		B	8	7.5	7.5	6	1.23	2.13	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
88-5	WOB LUYKGESTEL	Nbr	1988		B	10	7.5	7.5	6	0.13	0.85	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
88-12	WOB LIESHOUT	Nbr	1988		B	14	13.5	13.5	11	1.50	1.52	11	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
88-17	WOB SOMEREN	Nbr	1980		B	9	10.5	10.5	8	1.03	1.43	8	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
88-21	WOB BAKELSE DIJK: MIX	Nbr	1899		B	14	33	36.667	8	1.21	0.93	8	70	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
89-1	NRE AALSTERWEG: MIX	Nbr	1905		B	7	9	9	6			6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
89-1A	NRE GROOTE HEIDE: MIX	Nbr	1969		B	6																		0.0			
	WML HEEL (PANHEEL)	Lim	2002		I																				0.0		
94-4	WML BERGEN	Lim	1986		A		17	17	11	0.47	0.47	11	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
94-5	WML OOSTRUM	Lim	1975		B	30	31	30	28	0.47	0.47	28	31	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0.0		
94-8	WML CALIFORNIE	Lim	1983		B	13	14	15	13	0.20	0.45	13	18	0	1	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0.0		
94-13	WML OSPEL	Lim	1968		B	10	8	6	6	1.40	2.00	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
94-23	WML HEYTRACHT	Lim	1904		K	23																			0.0		
94-24	WML HEER (VROENDAAL)	Lim	1936		K	14	23	26	23	0.67	0.32	23	29	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0.0		
94-27	WML DE LANDEUS	Lim	1931	1999	K	7	13																		0.0		
94-43A	WML BERGERWEG	Lim	1915		A	9	27																		0.0		
94-44	WML RIMBURG (LAURA)	Lim	1930	1998	B	9	11																		0.0		
94-45	WML HUNSEL	Lim	1986		B				9			9	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
94-48	WML IN DE KONING (VOERENDAAL)	Lim	1919		K	12	42	38.5	30	0.90	0.35	30	44	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0.0		
104-2	MAAST CABERG	Lim	1954		K	20	30	32	31	1.08	0.38	31	33	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	0.0		
203	WRK WRK-INLAAT	Utr	1957		O			95	68	0.42	0.55	68	124	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
203-1	WRK WRK-III	Utr	1957		O	143	149																		0.0		
203-2	WRK INLAAT, PRINSES JUL (WRK-III)	Nho	1981		O		203	97	73	0.82	0.56	73	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
204-1	WBB INNAME PETRUSPLAAT	Nbr	1973		O			35	21	0.80	0.74	21	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
204-2	WBB PETRUSPLAAT	Nbr	1973		O			61																	0.0		
2-2	WAPROG ONNEN	Gro	1934		B	24	38	45	29	0.22	0.51	29	57	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
3-2	WLF TERSCHELLING	Fri	1958		B	67	68	69	62	0.53	0.58	62	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
3-7	WLF SPANNENBURG: MIX	Fri	1941		A	26	36	27	25	0.77	0.59	25	30	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
3-8	WLF OLDEHOLTPADE	Fri	1939		A	19	28	28	25	0.35	0.60	25	30	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
4-1	WMD ZUIDLAREN	Dre	1953		A	22	30	33	28	0.30	0.59	28	37	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
4-5	WMD BELEN	Dre	1943		A	19	19	20	16	0.51	0.65	16	25	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
4-7	WMD LEGGELOO (DWINGELO)	Dre	1972		A	21	22	23	14	0.27	0.58	14	16	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
4-8	WMD RUINERWOLD	Dre	1953		A	15	16	15	16	0.50	0.67	16	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
4-11	WMD NOORDBARGERES (EMMIEN)	Dre	1939		A	25	37	36	13	0.39	0.53	13	23	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
9-10	WMO HOLTEN	Ovy	1956		A	15	35	25	8	0.65	0.68	8	59	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
14-3	WOT WEERSELOEWEG (WEG -> DEURNINGEN), ENSCHEDA	Ovy	1892		I	25	76	66	57	0.55	0.59	57	76	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
15-8	WOG HARFSEN	Gld	1967		A	33	35	31	30	0.72	0.65	30	32	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
15-11	WOG T'KLOOSTER (HENGLO)	Gld	1967		A	21	25	27	25	0.60	0.56	25	32	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-1	WMG EERBEEK	Gld	1957		A	15	15	13	7	0.30	0.68	7	19	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-3	WMG EPE	Gld	1954		A	11	12	12	11	0.18	0.72	11	15	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-6	WMG HARDERWIJK-I	Gld	1895		A	10	14	20	11	0.04	0.50	11	36	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-7	WMG SPEULD	Gld	1977		B	10	10	9	8	0.18	0.69	8	9	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-10	WMG HOLK	Gld	1970		B	9	9	8	7	0.34	0.90	7	8	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0		
17-16	WMG CULEMBORG	Gld	1911		A	12	8	9	7	1.02	2.00	7	10	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0	NEE,LIT.1	
17-19	WMG FIKKERSDRIES (ELST)	Gld	1961		B	7	8	11	7	0.29	0.64	7	27	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1.0	NEE,LIT.1	

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	CI	CI	Na/Cl	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	BEX	SAL	RISK	PRAKTIJK
1992	1992				SWIM	1992	2000	2000	2000	2000	mg/L	2000	2000	70-86	70-92		MAR	CONT	BEX	MAR	70-92	INFO
17-21	WMG DE MINTBERG (GROESBEEK)	Gid	1966		A	12	16	16	0.39	0.69	14	17	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
18-2	NIJMEG HEUMENSOORD	Gid	1915		A	9	20	20	0.51	0.70	8	49	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
20-2	VNB AMERSFOORTSEWEG (APELDOORN)	Gid	1894		A	12	18	17	0.18	0.65	8	36	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
20-3	VNB HOENDERLOO	Gid	1947		A	28	14	16	0.41	0.69	7	28	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
20-7	VNB WAGENINGSE BERG	Gid	1897		B	16	7	7	0.23	0.80	5	9	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
20-8	VNB RHEDEN: PINKENBERG	Gid	1899		A	12	9	10	0.18	0.72	8	10	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
22-1	ARNHEM LA CABINE (A'DAMSE WEG)	Gid	1909		B	10	13	15	0.19	0.59	8	31	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
22-2	ARNHEM IMMEROLOO PARK (sijmons)	Gid	1980		B	8	10	16	0.72	0.63	9	29	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
22-2	ARNHEM ARNHJHEM	Gid	1908		B	15	11	11	0.31	0.68	8	14	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
23-2	RENKUM OOSTERBEEK	Gid	1911		B	8	6	6.65	0.87	1.83	6.4	6.9	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
28-1	WNN IJSELSTEIN	Utr	1970		B	7	7	7.4	0.75	1.15	7.4	7.4	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-1	WNN WOUDENBERG	Utr	1972		B	9	9	9.6	0.94	1.42	9.6	9.6	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
29-4	WNN COTHEN	Utr	1961		B	11	13	16	0.73	0.66	16	16	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
29-6	WNN BUNNIK	Utr	1961		B	6	11	7.5	1.29	1.68	7.5	7.5	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
29-7	WNN LOPIK	Utr	1965		B	7	8	10.067	0.87	1.24	9	10.9	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
29-9	WNN LINSCHOTEN	Utr	1927		B	10	10	9.7	0.48	1.15	9.7	9.7	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
29-10	WNN DE MEERN (RIJKSSTRAATWEG	Utr			B	12	25	20.5	0.30	0.61	20.5	20.5	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-12	WNN ZEIST	Utr	1962		B	14	27	32.3	0.22	0.58	32.3	32.3	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-13	WNN BEERSCHOTEN: MIX	Utr	1927		A	10	20	22.7	0.26	0.64	22.7	22.7	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-14	WNN BILTHOVEN	Utr	1883		B	12	17	12.3	0.32	0.70	12.3	12.3	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-16	WNN SOESTDUINEN	Utr	1928		A	14	15	15.9	0.12	0.57	15.9	15.9	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-19	WNN LOOSDRECHT	Utr	1894		A	12	27	25.3	0.22	0.64	25.3	25.3	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-20	WNN BAARN: MIX	Utr	1955		B	16	13	13.3	0.25	0.62	13.3	13.3	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
29-22	WNN LJUSTRENG (RHENEN)	Utr	1973		B	11	11	11	0.23	0.73	10	12	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
30-3	FDM FLEDITE	Flie	1968		U	116	113	113.4	0.13	0.52	107.1	129.8	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
51-3	WZHO C.RODENHUIS (PROV. WEG)	Zho																				NEE,LIT,1
51-6	WZHO BERGAMBACHT	Zho	1909		B	9	9	9.1	0.93	1.40	8	13.1	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	NEE,LIT,1
82-2	WNWB HOPLEIN (VIANEN)	Nbr	1972		B	38	16	17	0.43	0.65	17	18	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1,0	
82-2	WNWB SCHIJF	Nbr	1922		B	11	14	15	0.78	0.73	14	17	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1,0	
82-11	WNWB OOSTERHOUT	Nbr	1894		B	8	17	20	0.78	0.75	18	20	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1,0	
82-13	WNWB DORST: MIX	Nbr	1901		A	14	27	25	0.36	0.64	24	26	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
84-1	TWM WAALWIJK	Nbr	1898		B	11	15	14	0.66	0.63	10	17	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
84-1	WOB GLZERBAAN: MIX	Nbr	1956		B	15	10	11.875	0.89	0.91	2.5	23	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-2	WOB VLJUMEN: MIX	Nbr	1962		B	6	7	7	0.83	2.00	6	8	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-3	WOB HAAREN	Nbr	1952		A	12	22	20.5	0.43	0.71	15	25	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-6	WOB VESSEM	Nbr	1950		B	29	47	43	0.39	0.58	40	45	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-6	WOB MACHAREN: MIX	Nbr	1984		B	17	19	23.5	0.79	0.72	20	27	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-7	WOB LITH	Nbr	1976		B	17	16	13.5	1.79	2.41	12	16	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-10	WOB SCHIJDEL	Nbr	1972		B	8	6	2.25	1.17	6.67	2.5	9	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1,0	
88-10	WOB SON	Nbr	1965		A	33	30	30.333	1.08	0.57	26	35	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-15	WOB VIERLINGSBEEK	Nbr	1949		A	12	24	28.25	0.18	0.51	15	36	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
88-16	WOB VIERDEN	Nbr	1954		B	14	20	23	1.62	1.24	10	36	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-2	WML PLASMOLEN	Lim	1966		A	37	15	14	0.50	0.74	9	16	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-6	WML BREEHEI	Lim	1950		B	10	17	17	0.70	0.71	13	23	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-11	WML BEEGDE	Lim	1968		A	28	39	38	0.37	0.53	37	39	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-16	WML REUVER	Lim	1952		A	40	34	35	0.55	0.51	34	35	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-21	WML GEULLE	Lim	1930		K	7	25	24	1.15	0.71	20	26	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-29	WML SCHIN/SCHUTTERVELD	Lim	1980		A	7	6	7	0.14	0.63	5	9	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-31	WML ASSELT-SWALMEN	Lim	1972		B	11	9	11	1.56	1.18	10	11	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-32	WML HERTEN: MIX	Lim	1899		A	11	24	21.333	0.88	0.75	2.5	47	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	
94-33	WML TEGELEN	Lim	1931		B	14	8	7	0.38	0.81	6	7	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1,0	

## Verziltingsrisico puttenvelden door Brakwateropkegeling

© Kiwa N.V.

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	CI	Na/Cl	Cl-min	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	SAL	SAL	SAPORE	PRAKTIJK	INFO
1992	1992				SWIM	start	1992	2000	2000	mg/L	2000	2000		70-92	70-92		MAR	CONT	BEX	RISK			
94-34	WML	GRAAF HORNEL: MIX	1929		B	56	14	10	12	1.50	8	12	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.0		
94-42	WML	GROTE HEIDE: MIX	1889		B	12	8	9	10	0.68	7	10	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.0		
202-1	WOV	ELLECOM	1951		A	13	17	19	41	0.42	7	41	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.0		
51-15	WZHO	DE STEEG (LANGERAK)	1992		B	7	13	13	23.7	2.69	8.9	23.7	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.2		
94-18	WML	HERKENBOSCH	1960		B	16	16	15	22	1.84	7	22	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.2		
94-20	WML	DE RUG	1990		A	51	40	40	42	0.57	38	42	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.2		
94-22	WML	IJZEREN KUILEN	1941		K	52	52	52	62	0.95	40	62	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.2		
82-10	WNWB	MONDAF+LIEVENSBERG	1899		B	17	19		43	0.54	14	43	0	1	0	-1	0	0	0	0	-1.2		
51-5A	WZHO	LEKKERK: SCHUWACHT	1910		U			121.2	129.5	0.55	114	129.5	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.3		
82-10A	WNWB	MONDAF-ONDIEP (BERGEN op Z)	1899		A			35	43	0.29	29	43	0	0	0	-1	0	0	0	0	-1.3		
15-12	WOG	HENGEL (Gig) OLDE KASTE	1953	1999	A	23	36							0	0	-1	0	0	0	0	-1.3		
17-15	WMG	TIEL	1890	1993	U	32	104							0	0	1	0	-1			-1.3	EVT.DIEP.LIT	
20-1	VNB	HOOG SOEREN (APELDOORN)	1954	1993	A	17	26							1	1	0	0	-1			-1.3		
40-1	WLZK	OVERVEEN :MIX	1898	2002	B	32	80							0	0	-1	0	-1			-1.3		
40-4	WLZK	SANTPOORT	1940	2002	B	42	46							0	0	-1	0	-1			-1.3		
56-1	A&V	OUDE SCHAIK (LEERDAM)	1900		B	20	37							0	0	-1	0	0	0	0	-1.3		
94-12	WML	HELDEN	1954	1999	A	15	27							1	1	0	0	0	0	0	-1.3		
32-7	PWN	HUIZEN	1933		A	13								0	0	-1	0	0	0	0	-1.9		
4-10	WMD	VALTHERBOS (EMMEN)	1965		A	25	21	22	39	0.11	34	39	0	0	0	-1	0	0	0	0	-2.0		
4-16	WMD	DE LOO (DALEN) COEVORDEN	1915		Dre	24	45	54	24	0.47	24	35	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2.0		
18-1	NJMEG	DE NIEUWE MARKTSTRAAT	1879		U	50	75	70	110	0.56	27	110	0	1	1	0	-1	0	0	0	-2.0	NEE, LIT.1	
29-3	WMN	LEERSUM	1966		A	12	38	22.1	22.1	0.26	22.1	22.1	0	1	1	-1	0	-1	0	0	-2.0		
34-3	GW	LEIDUN: MIX	1853		I	30	142	93	100	0.26	83	100	0	0	0	0	0	-1	0	0	-2.0		
51-11	WZHO	CREZEPOLDVIERWEG (HILAMBACHT)	1912		U	35	160	131.7	137	0.18	118.6	137	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2.0		
77-3	DELTA	HALSTEREN	1923		B	14	18	18	19	0.46	18	19	0	0	0	-1	0	0	0	0	-2.0		
82-7	WNWB	PRINSBOSCH	1972		B	13	9	10	11	0.45	9	11	0	0	0	-1	0	0	0	0	-2.0		
88-13	WOB	BOXMEER	1951		A	40	45	41	43	0.92	39	43	0	0	0	-1	0	0	0	0	-2.0		
32-6	PWN	WIJK AAN ZEE: WIM MENSINK	1885		I	38	122	101	110	0.73	77	110	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2.2		
34-2	GW	BETHUNE	1932		O	30	64	45	47	0.33	43	47	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-2.2		
77-2	DELTA	HAAMSTEDE: MIX	1930		I	27	101	101	108	0.70	94	108	0	0	0	0	0	-1	0	0	-2.2		
32-2	PWN	ANDIJK IJSELMEER	1967		O	164	205	102	0.52	0.56				0	0	0	0	-1	0	0	-2.6		
62-1	DZH	SCHVENINGEN RUW	1874		Zho	32	74							0	0	0	0	-1			-2.6		
203-1A	WRK	NIJEUWEGEN (DIEP)	1990		Utr		10							0	0	-1					-2.6		
9-4	WMO	WITAREN: MIX	1933		B	14	35	38	53	0.22	13	53	0	1	1	0	-1	0	0	0	-3.0		
11-2	COGAS	OLDENZAAL: MIX	1906		B	17	48	35	69	0.66	24	69	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-3.0		
51-2	WZHO	SCHOONHOVEN	1901		U	28	158	137.2	146.4	0.70	128	146.4	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-3.0	NEE, LIT.1	
51-5	WZHO	LEKKERK: MIX	1910		U	40	138	125.1	146.7	0.01	100.4	146.7	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-3.0		
51-9	WZHO	T KROMME GAT (HARDINXVELD)	1924		U	31	152	136.6	146.1	0.12	130.2	146.1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-3.0	NEE, LIT.1	
104-1	MAAST	ITTEREN-BORGHAREN	1979		K	33	73	76	90	1.53	62	90	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-3.0		
32-5	PWN	CASTRICUM: MIX	1924	1998	I	40	178							0	0	0	0	-1			-3.1		
32-1B	PWN	HET BERGJE	1970	1997	B	51	105							0	0	-1	0	-1			-3.7		
40-3	WLZK	HEERENDUINEN	1964	2000	B	39	66							0	0	-1	0	-1			-4.0		
49-1	EWR	KATWIJK: MIX	1878		I	55	115							0	0	-1	0	-1			-4.0		
51-4	WZHO	DIJKLAAN (BERGAMBACHT)	1936		U	59	145	128.7	134.9	0.18	108.3	134.9	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-4.0	NEE, LIT.1	
39-1	WLZK	SVHB: MIX	1899	1990	B	54	152							1	1	2	1	0	0	0	6.6	JA, LIT.3	
39-1	WLZK	COENSTRAAT	1916	1988	B	34	280							1	1	2	1	0	0	0	6.6	JA, LIT.3	
-	GWVS	PAPELLAAN	1909	1970	B	51	424							2	2	2	1	0	0	0	6.1		
-	URK	URK	1924	1949	B	245	598							2	2	2	1	0	0	0	6.1		
32-3	PWN	HUISDUINEN	1856	1981	A	71	107									1	1	0	0	0	4.6		

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	Na/Cl	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	SAL	SAL	SAPORE	PRAKTIJK
1992	1992	1992	1992	1992	SWIM	start	1992	2000	mg/L	2000		70-86	70-92		MAR	CONT	BEX	RISK		INFO
-	DELTA	Zee	1883	1980	A	54	183							1	1	0			4.6	
-	GWV	ZHo	1929	1956	A	40	373							1	1	0			4.6 JA, LIT.6	
53-2	11GEM	ZHo	1906	1979	B	41	112								1	0			3.7	
-	GBB	ZHo	1924	1968	A	37	199								1	0			3.7	
-	WMN	Utr	1911	1970	B	23	43								1	0			3.7	
-	-	Utr	1911	1945	B	25	53								1	0			3.7	
44-1	GWB	NHo	1900	1920	B	350	496								1	0			3.7	
-	PWN	ZHo	1925	1982	B	28	191							0	1	0			3.1 JA, LIT.2	
-	GWV	NHo	1933	1948	B	55	87							0	1	0			3.1 JA, LIT.2	
-	DV	ZHo	1928	1969	B	21	45							0	1	0			3.1	
23-1	RENKUM	ZHo	1898	1960	B	75	231							0	1	0			3.1 JA, LIT.6	
27-1	DOORN	Gid	1952	1985	A	29	25								0	0			0.0	
28-1	WMN	Utr	1903	1990	A	12	25					1		-1	0	0			0.0	
32-1B	PWN	Utr	1911	1975	B	27	14								0	0			0.0	
32-1C	PWN	NHo	1970	1983	B	51	105							2	0	-1			0.0	
72-1	O-JSSM	NHo	1970	1988	Z		8					0			0	0			0.0	
75-3	DORD	ZHo	1912	1981	B	165	150							0	0	0			0.0	
-	MAASTR	Utr	1936	1963	B	42	52								0	0			0.0	
-	WMG	Lim	1918	1984	K	43	53								0	0			0.0	
-	WOB	NBr	1933	1939	A	17	17								0	0			0.0	
-	WOG	NBr	1949	1979	B	12	12								0	0			0.0	
-	WMG	Gid	1951	1960	B	40	44								0	0			0.0	
-	ST MIJNEN	Gid	1924	1970	A	18	31								0	0			0.0	
-	WOG	Lim	1908	1944	A	9	12								0	0			0.0	
-	WNB	Gid	1951	1960	A	10	26								0	0			0.0	
-	WNB	Gid	1949	1975	B	10	9								0	0			0.0	
-	PWN	NHo	1915	1961	A	47	82							2	0	-1			0.0	
-	GM	Gid	1924	1952	U	17	21								0	0			0.0	
-	GEULDAL	Lim	1904	1977	K	8	23								0	0			0.0	
-	ENSCH	Ovy	1941	1960	A	38	45								0	0			0.0	
-	LAURA	Lim	1964	1983	A	13	17								0	0			0.0	
-	ZWOLLE	Gid	1920	1960	A	17	18								0	0			0.0	
-	WLG	Gid	1949	1975	B	10	10								0	0			0.0	
-	ZL	Lim	1936	1984	A	7	7								0	0			0.0	
-	PWN	NHo	1914	1922	B	59	69							0	0	0			0.0	
-	GEULDAL	Lim	1918	1958	K	8	18								0	0			0.0	
-	MNL	Lim	1955	1967	A	10	9								0	0			0.0	
-	NIJK	Gid	1898	1977	B	36	9								0	0			0.0	
-	O-NASS	Lim	1915	1965	K	11	11								0	0			0.0	
-	-	Lim	1915	1964	K	22	23								0	0			0.0	
-	IJ/POLDERS	Gid	1929	1960	B	9	18								0	0			0.0	
-	WOG	Gid	1954	1975	B	10	12								0	0			0.0	
-	DELTA	NBr	1952	1984	B	12	16								0	0			0.0	
-	WML	Lim	1935	1984	K	6	10								0	0			0.0	
-	-	ZHo	1886	1924	O	31	48								0	0			0.0	

Verziltingsrisico puttenvelden door Brakwateropkegeling

© Kiwa N.V.

BTO 2002.153  
december 2002

LOC	WLB POMPST	PROV	START	END	TYPE	CI	CI	CI	CI	Na/Cl	Cl-max	MAX	TREND	TREND	POS	SAL	SAL	SAL	SAL	SAPORE	PRAKTIJK
1992	1992				SWIM	start	1992	2000	2000	mg/L	2000		70-92	70-96		MAR	CONT	BEX	RISK	INFO	
-	WOG	Gld	1950	1952	B	44	44									0	0				0,0
-	VLAAARDINGEN	ZHo	1886	1923	O	45	32									0	0				0,0
-	ZWOLLE	Ovy	1892	1951	A	14	13									0	0				0,0
-	ARNH	Gld	1885	1930	A	11	12									0	0				0,0
-	L WARDEN		1925	1925	O	236	76									0	0				0,0
7-1	KAMPEN	Gld	1888	1988	A	16	18								-1	0	0				-1,3
32-1A	PWN	NHo	1956	1991	A	156	89								0	0	0				-1,3
34-1	GW	NHo	1888	1989	A	14	31								0	0	0				-1,3
76-1	WZHO	ZHo	1924	1988	U	44	85								0	0	-1				-1,3
104-3	MAAST	Lim	1973	1991	K	22	28								0	0	0				-1,3
29-18	WMN	Utr	1933	1977	A	35	33								-1	0	0				-1,5
81-2	BREDA	NBr	1904	1939	B	19	11								-1	0	0				-1,5
-	H'VEEN	FrI	1915	1970	B	20	30								-1	0	0				-1,5
-	SNEEK	FrI	1909	1960	B	24	35								-1	0	0				-1,5
-	VNB	Gld	1906	1971	A	11	23								-1	0	0				-1,5
-	WINSCHOT		1964	1964	A	35	42								-1	0	0				-1,5
75-1A	DORD	ZHo	1946	1980	U										-1	0	0				-2,6
49-1B	EWR	ZHo	1940	1988	O	42	128								0	0	-1				-3,1
-	DSM	Lim	1934	1990	A	20	44								0	0	-1				-3,1
-	WMN	Utr	1977	1988	U	105	150								0	0	-1				-3,1
53-1	11GEM	ZHo	1907	1985	A	53	97								0	0	-1				-3,7
57-2	A&V	ZHo	1922	1978	U	43	175								0	0	-1				-3,7
62-1B	DWL	ZHo	1955	1978	O	109	152								0	0	-1				-3,7
-	A&V	ZHo	1905	1963	O	30	55								0	0	-1				-3,7
-	WMG	Gld	1951	1978	U	33	65								0	0	-1				-3,7
-	DOESB	Ovy	1914	1945	U	44	113								0	0	-1				-3,7
-	GWM	ZHo	1883	1968	U	27	244								0	0	-1				-3,7
-	HONINGERDIJK	ZHo	1874	1973	O	39	142								0	0	-1				-3,7
-	IJSSELM	ZHo	1903	1944	U	44	78								0	0	-1				-3,7
-	HVS	ZHo	1891	1965	O	89	653								0	0	-1				-3,7
-	NIEUW-HELVOET	ZHo	1896	1953	A	45	77								0	0	-1				-3,7
-	A&V	ZHo	1888	1968	O	29	87								0	0	-1				-3,7
-	A&V	ZHo	1886	1973	U	35	147								0	0	-1				-3,7
-	A&V	ZHo	1886	1980	U	50	111								0	0	-1				-3,7
-	WERKENDAM	ZHo	1902	1921	O	38	68								0	0	-1				-3,7
-	ZALTBOMMEL	Gld	1905	1960	U	18	59								0	0	-1				-3,7
75-1	DORD	ZHo	1893	1987	U	44	122							0	-1	0	-1				-4,0