

WATERWINNING IN DE WATERVOERENDE LAAG VAN HET LANDENIAAN IN HET DUINGEBIED TUSSEN KOKSIJDE EN OOSTDUINKERKE

Drs. M. MERTOETOMO, Prof. Dr. L. LEBBE, Prof. Dr. W. DE BREUCK,
Laboratorium voor Toegepaste
Geologie en Hydrogeologie,
Universiteit Gent
Lic. E. VAN HOUTTE,
Ing. F. VANLERBERGHE,
Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht

WATER EXTRACTION FROM THE LANDENIAN AQUIFER IN THE DUNE AREA BETWEEN KOKSIJDE AND OOSTDUINKERKE

In the dune area between Koksijde and Oostduinkerke, one has investigated to what extent Landenian water can be mixed with dune water. For this purpose three boreholes were drilled through the semi-confined Landenian aquifer. Bore descriptions and geophysical well logs have provided a picture of the composition of the groundwater reservoir. Groundwater samples have

been analyzed and hydraulic heads measured. By means of the data thus collected the amount of water to be extracted from the Landenian aquifer was calculated. The data were used as constraints of an optimization model for the design of a groundwater extraction from this aquifer.

SAMENVATTING

In het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke is onderzocht in welke mate Landenianwater met duinwater kan worden gemengd. Hiervoor werden drie boringen uitgevoerd doorheen de gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag van het Landenian. De bouw van het grondwaterreservoir is bepaald aan de hand van de boorbeschrijvingen en geofysische boorgatmetingen. Grondwaterstalen werden geanalyseerd en hydraulische stijghoogten gemeten. Op basis van de verzamelde gegevens werd voor de watervoerende laag van het Landenian de hoeveelheid te winnen water berekend. De gegevens werden gebruikt als randvoorwaarden van een optimalisatiemodel voor de planning van een grondwaterwinning in deze watervoerende laag.

1. INLEIDING

Het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke (Fig. 1), gelegen in de provincie West-Vlaanderen, maakt deel uit van de Belgische kustvlakte. Het wordt in het noorden begrensd door de Noordzee. De grenzen in het oosten, in het zuiden en in het westen vallen samen met respectievelijk de

wegen Oostduinkerke(dorp)-Oostduinkerke-Bad, Oostduinkerke(dorp)-Koksijde(dorp) en Koksijde(dorp)-Koksijde-Bad. Het peil* van het duinlandschap varieert van +30 op de Hoge Blekker tot +6,8 in de Doornpanne. Ten zuiden van de duinen strekt zich een vlak polderlandschap uit tot 10 à 15 kilometer landinwaarts. De hoogte ervan varieert tussen +2 en +5.

Centraal binnen de boven aangegeven begrenzing bevindt zich het waterwinningsgebied van de Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht. Deze maatschappij staat in voor de drinkwatervoorziening van het westelijk deel van het Vlaamse kustgebied. Daartoe wint zij water uit de zoetwaterlens van het freatisch reservoir in de duinen. Onder de polders komt zout water in het onderste gedeelte van de freatisch watervoerende laag voor. Onder het strand ligt een zoutwaterlens boven het naar de zee afvloeiend zoete duinwater (LEBBE, 1983). De waterwinning geschiedt over een te beperkte lengte van het duingebied. Hierdoor wordt het freatisch grondwaterpeil plaatselijk sterk verlaagd. Het gevolg is dat zoet, brak en zout water vanuit de omliggende gebieden in de richting van de waterwinning stroomt. Dat vormt een bedreiging voor de kwaliteit van het duinwater. Daarom zou men dringend naar alternatieve waterwinningsmogelijkheden moeten zoeken die kunnen leiden tot vermindering van de duinwaterwinning. Tot de mogelijkheden behoren onder andere:

- winning door heraanvulling van het zoet-

waterreservoir door middel van kunstmatige oppervlakkige of diepe infiltratie;

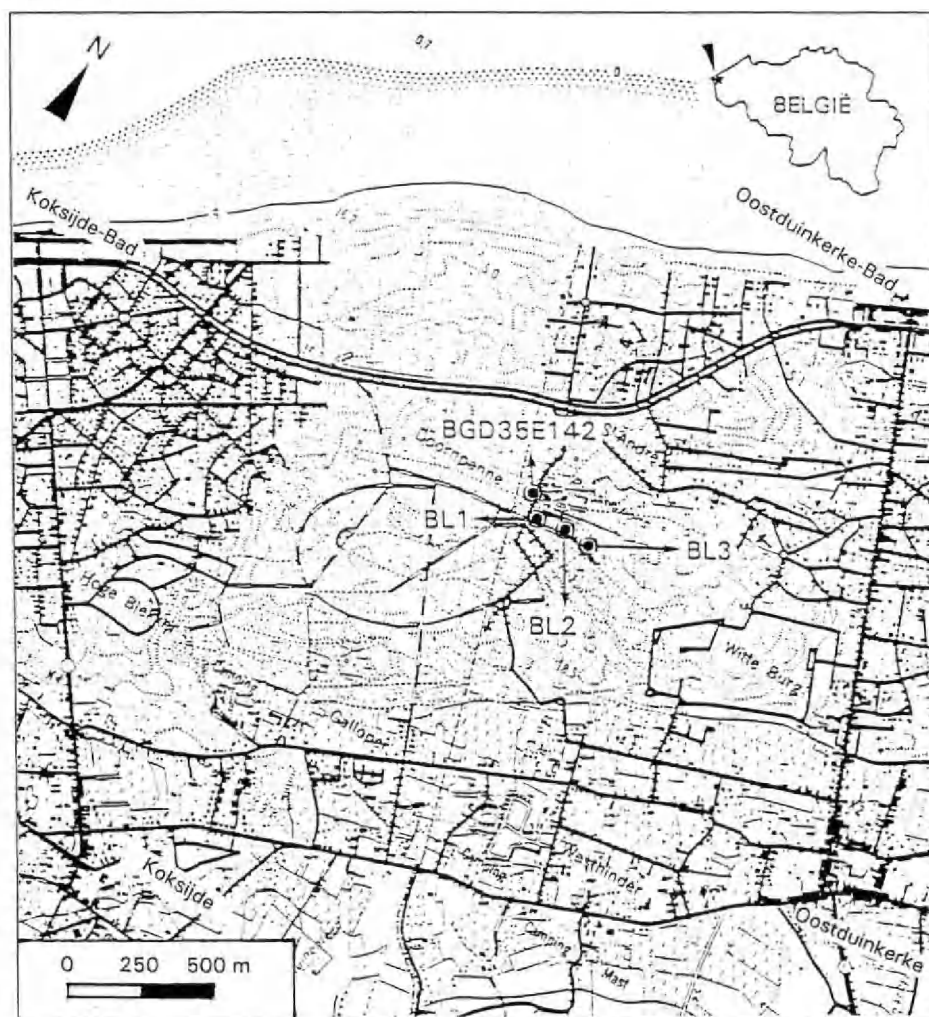
- winning van een aanvullend hoeveelheid grondwater in een andere laag.

In het laatste geval kan men water winnen uit de gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag van het Landenian onder de duinen. Vroeger werden de gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen als artesische lagen aanzien (DELECOURT, 1939; DE LEENHEER, 1966). In LEBBE et al. (1988) werd echter aangetoond dat deze lagen moeten worden beschouwd als gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen.

In de onderhavige studie wordt aangegeven hoeveel water men kan onttrekken uit het Landenian om het te mengen met duinwater. Hiertoe werden tussen 17 november 1992 en 18 december 1992 drie spoelboringen, te weten BL1, BL2 en BL3, verricht door de Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht. De boorgaten werden alle uitgerust met een filter en een stijgbuis waardoor ze zowel als pompput of piëzometer konden dienst doen. In figuur 1 is de ligging van deze boringen en van de spoelboring BGD35E142 van de Belgische Geologische Dienst (LAGA & VANDENBERGHE, 1990) aangeduid. Met behulp van de gegevens van de vier spoelboringen kon voor het beschouwde duingebied een beschrijving worden gegeven van de litologische, de stratigrafische en de hydrogeologische opbouw van het grondwaterreservoir. In de putten BL1, BL2 en BL3 werden de grond-

* Alle peilen zijn aangegeven in meters ten opzichte van het referentievlak van de Tweede Algemene Waterpassing (m TAW) van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI)

Fig. 1. Het duingebied tussen Koksijde en Oostduinkerke met weergave van de ligging van de spoelboringen BL1, BL2, BL3 en BGD35E142.



waterstanden van het Landeniaan gemeenten. Grondwaterstalen uit put BL1 werden geanalyseerd met het oog op de bepaling van de chemische en bacteriologische kwaliteit van het Landeniaanwater. Deze verzamelde gegevens werden aangewend als randvoorwaarden van een optimalisatiemodel voor de planning van de grondwaterwinning in de watervoerende laag van het Landeniaan. Voor deze modellering zijn de hydraulische parameters van deze laag en haar aangrenzende lagen zeer belangrijk. Zowel de bepaling van deze parameters als de modellering op zich, lagen buiten het bestek van dit artikel.

2. BORINGEN

De putten BL1, BL2 en BL3 werden geboord volgens de spoelboormethode. Deze methode werd verkozen wegens de snelheid van uitvoering en het gemak waarmee een grote diepte kan worden bereikt. Eerst werd met een boorkopdiameter van 350 mm tot op de leperiaanklei (Yc) geboord, waarna er een PVC-buis werd aangebracht. Vervolgens werd met een boorkopdiameter van 300 mm verder geboord tot op 138 m diepte. In het boorgat werd een PVC-buis met een diameter van 225/202 mm geplaatst. De ruimte rond de PVC-buis

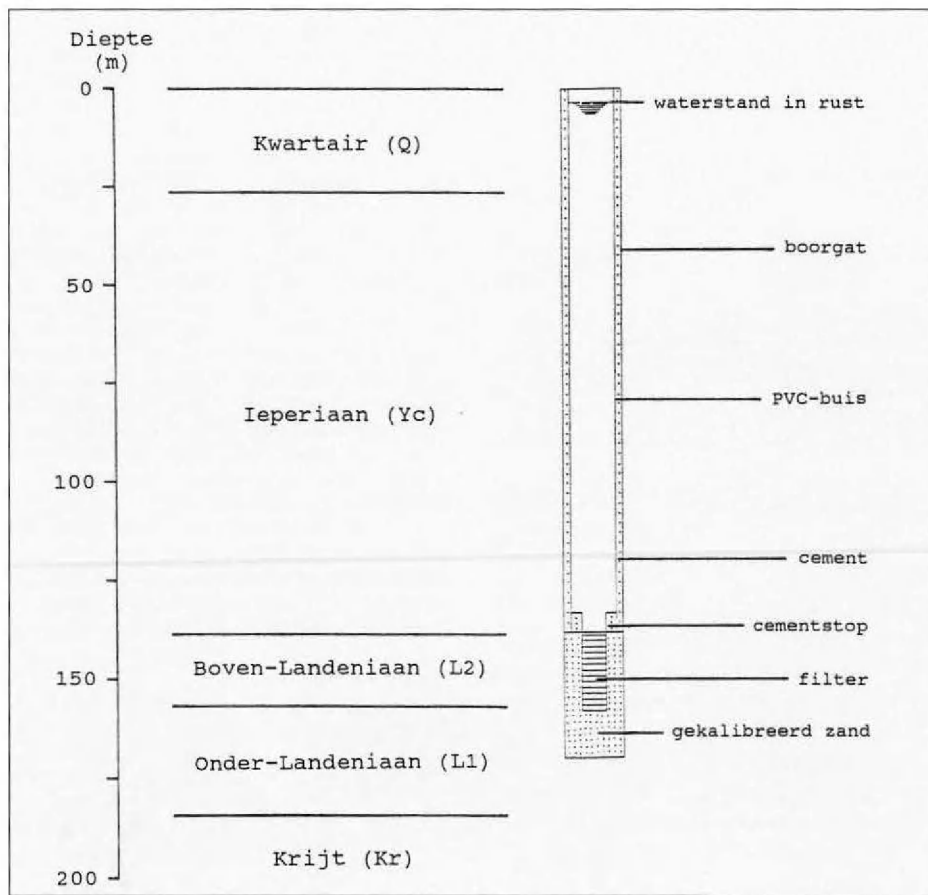
werd daarna gecementeerd. Na een droogtijd van minstens twee dagen werd met een boorkopdiameter van 200 mm verder geboord tot de top van het Krijt (boring BL1) of tot de top van de Landeniaanklei (boring BL2 en BL3). Het boorgat werd ter hoogte van het Landeniaanzand (L2) uitgeruimd met behulp van een openklappende boorbeitel (boorkopdiameter 305 mm). Tussen 138 en 158 m diepte werd een filter geplaatst met een diameter van 125 mm en filteropeningen van 0,5 mm, die nadien werd omstort met gekalibreerd zand. Tenslotte werd, met behulp van de eerder aangebrachte verbuizing, een cementstop aangebracht. In figuur 2 is, bij wijze van voorbeeld, de afwerking van het boorgat BL1 schematisch weergegeven. Na plaatsing van de filters werden alle putten langdurig schoongepompt totdat de resistiviteit van het opgepompte water een constante waarde bereikte.

De boorbeschrijvingen van putten BL1, BL2 en BL3 geven een vrij goed beeld van de lithologische bouw van het grondwaterreservoir. In de boorbeschrijvingen werd ter plaatse de opgespoelde grond uitvoerig beschreven. Aangezien de grondstalen bij een spoelboring steeds met een zekere vertraging worden verzameld, namelijk de tijd nodig voor het opspoelen van het materiaal, is het niet mogelijk met de boorbeschrijvingen alleen de juiste diepte van de grensvlakken tussen de doorboorde lagen te onderscheiden. Daarom werden in het boorgat van BL1 geofysische boorgatmetingen uitgevoerd. Dat gebeurt door sondes, die in het boorgat worden neergelaten om de fysische parameters van sedimenten te meten. Deze parameters vormen objectieve criteria waaraan de boorbeschrijvingen kunnen worden getoetst.

Tab. 1. Analyse van het Landeniaanwater.

Onderzoek: ionenbalans	Kleur: kleurloos				
Datum: januari 1993	Troebelheid: helder				
Plaats: tussen Koksijde en Oostduinkerke	Geleidbaarheid: 2540 $\mu\text{S/cm}$				
Nummer: put BL1	pH : 8,42				
Diepte: 138 tot 158 m	Temperatuur water : -				
Bezinkbare stoffen: <0,1 ml/l	Totale hardheid (°F): 4,05				
Alkaliteit t.o.v. fenolftaleïne (°F): 4,20	Tijdelijke hardheid (°F): 1,99				
Alkaliteit t.o.v. methylooranje (°F) : 81,30	Blijvende hardheid (°F): 2,06				
SiO ₂ (mg/l): 17,47	F: 3,48mg/l				
IONENBALANS					
Kationen	mg/l	meq/l	Anionen	mg/l	meq/l
Na ⁺	755,20	32,835	Cl ⁻	447,29	12,614
K ⁺	13,93	0,356	SO ₄ ⁻	174,11	3,627
Ca ⁺⁺	4,20	0,210	NO ₃ ⁻	0	-
Mg ⁺⁺	3,00	0,247	NO ₂ ⁻	0	-
Fe ³⁺⁺²⁺	0,06	0,002	HCO ₃ ⁻	889,38	14,580
Mn ⁺⁺	0,02	0,001	CO ₃ ⁻	50,40	1,680
NH ₄ ⁺	0,37	0,021	PO ₄ ⁻	0,52	0,016
H ⁺			OH ⁻		
Totaal (+)		33,672	Totaal (-)		32,517

Fig. 2. Afwerking van het boorgat BL1.



profielen van de verschillende boringen weer en verschaft daardoor een ruimtelijk overzicht van de hydrogeologische opbouw van het grondwaterreservoir in het duingebied. De lengte bedraagt ongeveer 300 m. Boringen BGD35E142, BL1, BL2 en BL3 hebben een diepte van respectievelijk 270, 186, 160 en 160 m. Het peil van het maaiveld ter hoogte van de boorplaatsen is respectievelijk +6,55, +6,73, +6,61 en +6,65. De geofysische boorgatmetingen van boringen BGD35E142 en BL1 omvatten: de spontane potentiaal (SP), de resistiviteit met lange (RES-LN) en korte normaalopstelling (RES-SN), de boorgatdiameter (CAL) en de natuurlijke gammastraling (GR).

In de doorsnede is de top van de paleozoïsche Sokkel (So) enkel aangetroffen in boring BGD35E142 en wel op -257,9. De Sokkel bestaat overwegend uit grijsgroene leistenen van Siluuroouderdom. De met grondwater gevulde barsten en spleten in de top van de Sokkel vormen de onderste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag. Het dieper gelegen ongespleten en ongebarsten deel van de Sokkel is zeer weinig doorlatend. Tussen het doorlatend en het zeer weinig doorlatend gedeelte van de Sokkel kan er een overgangszone bestaan die slecht doorlatend is.

Op de Sokkel rust het Krijt (Kr), grotendeels bestaande uit mergel en wit krijt van Tuuroouderdom. Het is een slecht doorlatende laag. De top van het Krijt werd alleen in de boringen BGD35E142 en BL1 bereikt, re-

In het boorgat van BL1 werden twee groot-heden gemeten: de natuurlijke gammastraling (GR) en de resistiviteit met lange (LN) en korte normaalopstelling (SN). De registratie van de variaties in de natuurlijke gammastraling levert informatie over de litologische samenstelling van de doorboorde lagen. Veenlagen (geen γ -uitwijking), zandlagen (geringe γ -uitwijking), zandlagen met glauconiet (K) en zware mineralen (Th, U) (zeer hoge γ -uitwijking), leemlagen (matige tot hoge γ -uitwijking) en kleilagen (zeer hoge γ -uitwijking) kunnen via de natuurlijke gammalog (variatie van de γ -uitwijking met de diepte) eenduidig worden bepaald; de grensvlakken worden namelijk scherp aangegeven (WALTER, 1976; RIDER, 1986). Bij resistiviteitsmetingen wordt getracht grensvlakken te wijten aan wijzigingen in litologie of grondwaterkwaliteit op te sporen en dit op grond van verschillen in resistiviteit tussen de verschillende sedimenten.

Boorgatmetingen worden grafisch weergegeven om een snelle visuele interpretatie en vergelijking met de boorbeschrijving mogelijk te maken. De vergelijking van de geofysische boorgatmetingen met de veldinterpretaties laat toe de definitieve boorverslagen op te stellen. De filterelementen van de putten werden op grond van deze boorgatmetingen in de meest doorlatende zone geplaatst.

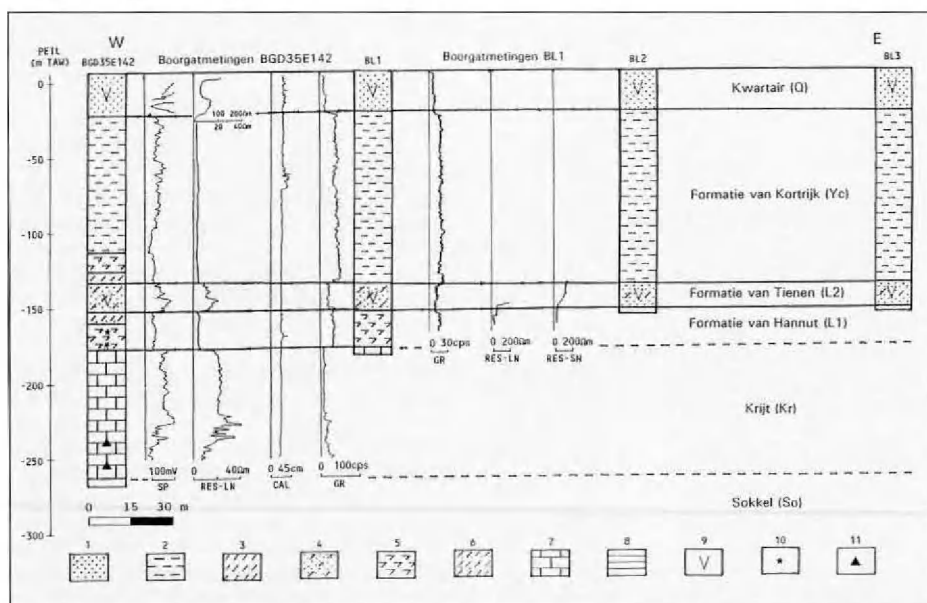
3. GRONDWATERRESERVOIR

De litostratigrafische doorsnede (Fig. 3) geeft het verband tussen de litologische

Tab. 2. Vergelijking van de samenstelling van het Landeniaan- en het duinwater met de normen voor de kwaliteit van drinkwater volgens de richtlijnen van het Besluit van de Vlaamse Executieve van 15 maart 1989.

PARAMETERS	NORM	SAMENSTELLING	
		LANDENIAAN-WATER	DUIN-WATER
geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2100	2540	787
zuurtegraad (pH)	6,5 - 9,2	8,42	7,7
totale hardheid ($^{\circ}\text{F}$)	67	4,05	32
Na ⁺ (mg/l)	150	755,20	44
K ⁺ (mg/l)	12	13,93	7
Ca ⁺⁺ (mg/l)	270	4,20	99
Mg ⁺⁺ (mg/l)	50	3,00	6
Fe (Fe ⁺⁺⁺ & Fe ⁺⁺) (mg/l)	0,2	0,06	0,1
Mn ⁺⁺ (mg/l)	0,05	0,02	0
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,5	0,37	0
Cl ⁻ (mg/l)	350	447,29	77
SO ₄ ⁼⁼ (mg/l)	250	174,11	49
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	0	0,1
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,1	0	0
HCO ₃ ⁻ (mg/l)		889,38	292
CO ₃ ⁼⁼ (mg/l)		50,40	0
PO ₄ ⁼⁼ (mg/l)		0,52	0
F ⁻ (mg/l)	1,5	3,48	0
Stuyfzand-watertype		B*-NaMix+	F2-CaHCO ₃ O

Fig. 3. Doorsnede doorheen de boringen van BGD35E142, BL1, BL2 en BL3: 1. zand; 2. klei; 3. leem; 4. leemhoudend fijn zand; 5. leemhoudende klei; 6. zandhoudend leem; 7. mergelig krijt; 8. leistenen; 9. schelpen; 10. glauconiet; 11. silex.



spektievelijk op de peilen -173,5 en -178,3. Op het Krijt rusten eocene sedimenten, waarvan de top zich in de doorsnede bevindt tussen -20,4 en -21,4. De lithostratigrafische terminologie van het Tertiair is gebaseerd op DE GEYTER (1988) en GEETS (1988). Onderaan bevindt zich de Groep van Landen en daarboven de Groep van Ieper. De Groep van Landen omvat twee formaties, de Formatie van Hannut (L1) en de Formatie van Tienen (L2). De onderste afzetting van de Groep van Landen, de Formatie van Hannut, is samengesteld uit groengrijs zandhoudend leem tot leemhoudende klei met glauconiet. Naar onderen toe komen soms bankjes van silex en zandsteen voor. De dikte in de boorprofielen van BGD35E142 en BL1 bedraagt respectievelijk 25,5 m en 27,0 m. De Formatie van Hannut is een slecht doorlatende laag. Ze is tussen -148,0 en -151,4 bedekt door de Formatie van Tienen; de top ligt tussen -132,0 en -133,6. Deze ca. 17 m dikke schelphoudende afzetting (Lid van Knokke) bestaat uit groengrijs leemhoudend fijn zand met soms kleihoudende laagjes. De Formatie van Tienen vormt de bovenste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.

De Landeniaansedimenten worden bedekt door de Groep van Ieper, die hoofdzakelijk bestaat uit een grijsblauwe stijve klei (Yc). Deze gaat onderaan geleidelijk aan over van leemhoudende klei tot leem. De ca. 113 m dikke Ieperaanafzetting behoort tot de Formatie van Kortrijk en vormt een zeer slecht doorlatende laag.

Boven de Ieperaansedimenten, waarvan de top tussen -20,4 en -21,4 is gelegen, bevindt zich tenslotte een schelphoudende kwartaire afzetting (Q). Deze ongeveer 27 m dikke afzetting bestaat overwegend uit fijn tot middelmatige zanden en vormt de freatisch watervoerende laag. Over het algemeen is de kwartaire afzetting van onderen naar boven opgebouwd uit Calais-, Duinkerken- en duinzandsedimenten (LEBBE & DE

Tab. 3. Maandelijks hoeveelheden opgepompt duinwater in de periode 1989 - 1993.

MAAND	HOEEVEELHEID DUINWATER (m ³)		
	MINIMAAL	GEMIDDELD	MAXIMAAL
januari	100 460	114 068	138 201
februari	95 441	115 278	131 165
maart	118 098	132 511	150 668
april	144 974	159 434	185 481
mei	155 085	175 053	194 592
juni	135 427	155 660	176 323
juli	172 236	208 614	246 696
augustus	180 936	201 900	229 542
september	119 954	146 525	194 693
oktober	106 180	123 176	140 323
november	98 970	121 057	146 486
december	107 447	124 054	146 364

BREUCK, 1980). Het onderste gedeelte van de kwartaire afzetting (de afzetting van Calais), tussen ongeveer -20 en -9, bestaat hoofdzakelijk uit grijs leemhoudend fijn zand dat naar onderen toe fijner en schelprijk wordt. Aan de onderzijde van deze sedimenten wordt een schelpplag van slecht gesorteerd materiaal, een basisgrint, aangetroffen. Het middelste gedeelte (de afzetting van Duinkerken), gelegen tussen ca. -9,0 en +4,5, bestaat grotendeels uit grijs lemig en/of kleig zand met daaronder fijne middelmatige zanden die vervolgens overgaan in een schelpbank. Het bovenste gedeelte van de kwartaire afzetting, van +4,5 tot aan het maaiveld, bestaat uit geel schelphoudend duinzand met humeuze horizonten.

4. SAMENSTELLING VAN HET LANDENIAANWATER

Uit de put BL1 werden in de maand januari 1993 grondwatermonsters geanalyseerd.

Op één van deze monsters werd door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie een analyse verricht (Tab. 1). Deze omvatte de bepaling van de kleur, de troebelheid, het gehalte aan bezinkbare stoffen, de alkaliteit (°F) ten opzichte van fenolftaleïne en methyloranje, het gehalte aan opgeloste SiO₂ (mg/l), de geleidbaarheid (µS/cm), de pH, de totale, tijdelijke en blijvende hardheid (°F), de volgende kationen: Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, Mn⁺⁺, NH₄⁺ en H⁺ en de volgende anionen: Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, PO₄³⁻ en OH⁻. Ook het gehalte aan F⁻ werd bepaald. Het Landeniaanwater is volgens de klassifikatie van STUYFZAND (1986) van het type B*-NaMix+: een brak, zeer zacht water met natrium als dominerend anion en een (Na + K + Mg)-overschot. Dit water bevat hoge gehalten aan natrium (755 mg/l), kalium (14 mg/l), fluoride (3,5 mg/l), chloride (450 mg/l), sulfaat (175 mg/l) en bicarbonaat (890 mg/l). De geleidbaarheid bedraagt 2540 µS/cm. Het water wordt gekenmerkt door een geringe hardheid (4 °F) en lage gehalten aan ijzer, mangaan, stikstof- en fosforverbindingen.

Het (Na + K + Mg)-overschot duidt op een verdringing van zouter door zoeter water, waarbij de (Na + K + Mg)-verzadigde klei Ca uit het water opneemt in ruil voor (Na + K + Mg).

In februari 1993 werd een grondwatermonster bacteriologisch geanalyseerd door het laboratorium van de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening te Kessel-Lo. Colibacteriën, fecale colibacteriën en fecale streptokokken werden in het onderzochte water niet aangetroffen.

5. HOEEVEELHEID TE WINNEN WATER

Op basis van de chemische samenstelling van het Landeniaanwater kan men de hoeveelheid te winnen water uit de gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag van het Landeniaan berekenen uitgaande van een menging met duinwater. De kwaliteit van het duinwater in de freatisch watervoeren-

Tab. 4. Hoeveelheid Landeniaanwater te mengen met de hoeveelheid duinwater om aan de toegestane normen te voldoen.

PARAMETERS	AANGENOMEN GEMIDDELDE WAARDE IN		NORM	MAXIMALE TOEVOEGING LANDENIAANWATER (m ³ /d)	
	DUIN- WATER	LANDENI- AANWATER		75% NORM	100% NORM
geleid- baarheid (μS/cm)	787	2540	2100 (20 °C)	6,5.10 ³	23,9.10 ³
F ⁻ (mg/l)	0	3,5	1,5	3,8.10 ³	6,0.10 ³
Cl ⁻ (mg/l)	77	447	350	8,0.10 ³	22,5.10 ³
K ⁺ (mg/l)	7	14	12	3,2.10 ³	20,0.10 ³
Na ⁺ (mg/l)	44	755	150	0,9.10 ³	1,4.10 ³

Tab. 5. Concentraties bij menging van Landeniaanwater met 8.10³ m³ duinwater.

HOEVEELHEID LANDENIAANWATER (m ³)	GELEID- BAARHEID (μS/cm)	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)
0,9.10 ³	964	0,4	114	7,7	116
1,4.10 ³	1048	0,5	132	8,0	150

de laag in de duinen tussen Koksijde en Oostduinkerke (Fig. 1) werd door middel van resistiviteitsmetingen en chemische analyses onderzocht (LEBBE & DE BREUCK, 1980). Vastgesteld werd dat de watervoerende laag volledig is opgevuld met zoet water van het Stuyfzandtype F2-CaHCO₃O. Het gaat hier om een zoet, hard, calciumbicarbonaatwater met een (Na + K + Mg)-evenwicht. Dit wijst erop dat er geen kationenuitwisseling optreedt tussen het water in de poriën en de kleideeltjes. Het grondwater bevat doorgaans meer aardalkaliën (Ca⁺⁺ en Mg⁺⁺) dan alkaliën (Na⁺ en K⁺) en, in de omgeving van de waterwinning, veel ijzer en sulfaten. Het hoge sulfaatgehalte nabij de waterwinning is te wijten aan een daling van de watertafel in de klei- en veenrijke zones waardoor de sulfiden werden geoxydeerd. Van de anionen is bicarbonaat de belangrijkste vertegenwoordiger. Het gemiddelde zoutgehalte nabij de waterwinning bedroeg 650 mg/l. Ten noorden van de winning was het zoutgehalte ongeveer 400 mg/l en het ijzergehalte laag. Ter hoogte van het strand op minder dan 100 m van de gemiddelde hoogwaterlijn bedroeg het zoutgehalte 1138 mg/l, met hoge concentraties aan chloor, natrium en kalium.

In tabel 2 is, naast de samenstelling van het Landeniaanwater, ook de gemiddelde samenstelling van het duinwater (LEBBE & DE BREUCK, 1980) opgenomen. Beide waters worden in de tabel vergeleken met de gestelde normen volgens de lijst van het Besluit van de Vlaamse Executieve houdende vaststelling van een technische reglementering inzake drinkwater van 15 maart 1989. De onderliggende waarden geven de overschrijdingen van deze normen aan. De parameters van het Landeniaanwater, die de normen overschrijden, zijn het natrium-, kalium-, chloride- en fluoridegehalte en de

geleidbaarheid. Het duinwater voldoet daarentegen volledig aan de gestelde normen.

Het ontzilten van het Landeniaanwater met behulp van omgekeerde osmose is vanwege het hoge fluoridegehalte moeilijk te verwezenlijken, wegens een mogelijke vorming van CaF₂-kristallen die de membranen kunnen beschadigen. Door menging van duinwater met Landeniaanwater kan men de concentratie aan opgeloste zouten in het Landeniaanwater verdunnen. De maximale hoeveelheid Landeniaanwater die kan worden toegevoegd aan de hoeveelheid gewonnen duinwater wordt afgeleid uit de volgende vergelijking:

$$N_{conc} = \frac{(D_{conc} \cdot D_{vol}) + (L_{conc} \cdot L_{vol})}{(D_{vol} + L_{vol})} \quad (1)$$

met D_{conc} = de concentratie van het element in duinwater,
 L_{conc} = de concentratie van het element in Landeniaanwater,
 D_{vol} = de hoeveelheid gewonnen duinwater (m³),
 L_{vol} = de hoeveelheid te winnen Landeniaanwater (m³) en
 N_{conc} = de maximaal toegestane concentratie van het element volgens de normen van drinkwater.

Uit vergelijking (1) volgt dat L_{vol} gelijk is aan:

$$L_{vol} = \frac{D_{vol} \cdot (D_{conc} - N_{conc})}{N_{conc} - L_{conc}} \quad (2)$$

De maximale hoeveelheid gewonnen duinwater D_{vol} kan worden afgeleid uit de debietgegevens van de periode 1989 tot en

met 1993. Deze gegevens zijn opgenomen in tabel 3 en geven de minimale, de gemiddelde en de maximale maandelijkse hoeveelheden opgepompt duinwater van de intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht weer. Volgens deze tabel bedraagt het maximaal maandelijks debiet 246,696 m³; deze waarde wordt bereikt in de maand juli en D_{vol} bedraagt dus ca. 8.10³ m³/d.

De maximale hoeveelheid Landeniaanwater L_{vol} , die men kan toevoegen aan een gegeven hoeveelheid duinwater teneinde voor een bepaalde chemische substantie onder de wettelijke norm te blijven, is in tabel 4 aangegeven. Men heeft deze berekend voor twee waarden, namelijk voor een mengwater dat 75% van de wettelijke norm bereikt en voor een mengwater dat de wettelijke norm bereikt (100%). Deze tabel is opgesteld aan de hand van de kwaliteitsgegevens van het duin- en het Landeniaanwater. Voor wat betreft het gehalte aan sulfaten (norm 250 mg/l), ammonium (norm 0,5 mg/l), magnesium (norm 50 mg/l), ijzer (norm 0,2 mg/l), calcium (norm 270 mg/l) en mangaan (norm 0,05 mg/l) stelt zich geen probleem omdat de concentraties in het Landeniaanwater duidelijk onder de normen liggen. Ook de totale hardheid (norm 67 °F) en de zuurtegraad (norm 6,5 ≤ pH ≤ 9,2) spelen hier een minder belangrijke rol.

Uit tabel 4 blijkt dat de hoeveelheid Landeniaanwater, die men met het duinwater kan vermengen, beperkt is door het natriumgehalte. Dit betekent dat wanneer wordt gemengd tot 75% van de norm (112,5 mg Na⁺/l) maximaal 0,9.10³ m³/d Landeniaanwater mag worden toegevoegd. Mengt men tot de maximaal toegestane norm (150 mg Na⁺/l) dan kan er tot 1,4.10³ m³/d Landeniaanwater worden toegevoegd. De concentraties van de parameters van tabel 4 bij menging van respectievelijk 900 en 1400 m³/d zijn in tabel 5 aangegeven.

6. GRONDWATERSTAND

Grondwaterwinning verlaagt het piëzometrisch oppervlak. Dit oppervlak mag niet onder de top van de aangepompte laag dalen, want op plaatsen waar dit gebeurt kunnen oxydatie verschijnselen optreden die de kwaliteit van het grondwater beïnvloeden. Ook de hydraulische eigenschappen van de aangepompte watervoerende laag kunnen worden beïnvloed, met als gevolg een vermindering van de winningsdebieten. Voor de gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag van het Landeniaan werd daarom de maximale verlaging bepaald. Hiervoor werden in de maanden december 1992 en januari 1993 de grondwaterstanden in de putten BL1, BL2 en BL3 gemeten. Hierbij bleek dat in het beschouwde duingebied de stijghoogten in de watervoerende laag ca. +2 à +3 bedragen. In de zandige Landeniaanafzetting kan men het peil maximaal laten dalen van:

$$(-133,5) - (+2,5) = -136 \text{ m} \quad (3)$$

waarin -133,5 = het gemiddelde peil van het dak van het Landeniaan (Fig. 3),
 $\pm 2,5$ = het gemiddelde rustpeil van de stijghoogte in het Landeniaan en
 -136 = de maximale verlaging (m) van elke pompput.

7. BESLUIT

Met gegevens van vier spoelboringen in het dungebiet tussen Koksijde en Oostduinkerke werd de lithostratigrafische en hydrogeologische toestand van de watervoerende lagen bepaald. Er komen er drie voor, namelijk een onderste en een bovenste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag in respectievelijk de gespleten paleozoïsche Sokkel en de Formatie van Tienen (Boven-Landeniaan), en de freatisch watervoerende laag van het Kwartair. De watervoerende lagen worden van elkaar gescheiden door slecht tot zeer slecht doorlatende lagen. De leperiaanklei van de Formatie van Kortrijk scheidt het freatisch grondwaterreservoir van de bovenste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag. De onderste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag wordt van deze laatste gescheiden door het Krijt en de Formatie van Hannut (Onder-Landeniaan). Het grondwater van de bovenste gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag van het Landeniaan wordt gekenmerkt door hoge gehalten aan natrium, kalium, chloride en fluoride, die de drinkwaternormen overschrijden. Rekening houdend met deze normen werd de maximale hoeveelheid te winnen Landeniaanwater, op basis van een menging met 8.10^3 m³/d duinwater, vastgesteld op $1.4.10^3$ m³/d. De maximaal toegestane verlaging

ten gevolge van een grondwaterwinning in het Landeniaan bedraagt 136 m. De in deze studie verzamelde gegevens werden gebruikt als hydrogeologische randvoorwaarden voor een optimalisatiemodel voor de planning van een grondwaterwinning in het Landeniaan.

Drs. M. MERTOETOMO, Prof. dr. L. LEBBE
 Prof. dr. W. BREUCK
 Universiteit Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie
 Krijgslaan 281-58, 9000 Gent
 Lic. E. VAN HOUTTE, ing. F. VANLERBERGHE
 Intercommunale Waterleidingsmaatschappij van Veurne-Ambacht, Doornpanne 1, 8670 Koksijde

REFERENTIES

- DE GEYTER, G. (1988). Landen Groep; Hoofdstuk 4 in MARECHAL, R. & LAGA, P. (ed.) 1988. *Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen*. Nationale Commissies voor Stratigrafie. Commissie: Tertiair. Brussel: Belg. Geol. Dienst. 59-80.
- DELECOURT, J. (1939). Les eaux artésiennes salines du Bassin de Paris, de la Basse et de la Moyenne Belgique. 4^{ème} note. *Bull. Soc. Belge Géol. Paléont. Hydrog.*, **49**, 256-288.
- DE LEENHEER, L. (1966). *Natuurspiegel van Oost-Vlaanderen*. 560 p. Gent: Erasmus.
- GEETS, S. (1988). Ieper Groep; Hoofdstuk 5 in MARECHAL, R. & LAGA, P. (ed.) 1988. *Voorstel lithostratigrafische indeling van het Paleogeen*. Nationale Commissies

voor Stratigrafie. Commissie: Tertiair. Brussel: Belg. Geol. Dienst. 81-115.

LAGA, P. & VANDENBERGHE, N. (1990). *The Knokke well (11E/138) with a description of the Den Haan (22W/276) and Oostduinkerke (35E/142) wells*. Brussel: Belg. Geol. Dienst. Toel. Verh. Geol. Mijnsk. Belg., **29**.

LEBBE, L. (1983). Mathematical model of the evolution of the fresh water lens under the dunes and beach with semi-diurnal tides. Bari: Proc. 8th Salt Water Intrusion Meeting, 211-226.

LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1980). Hydrogeologie van het dungebiet tussen Koksijde en Oostduinkerke. *Tijdschr. Be-CeWa*, **55**, 33-45.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., VAN BURM, P., DE CEUCKELAIRE, M., WATTIEZ, R. & DE BREUCK, W. (1988). Hydrogeologisch matematic model van de grondwaterstroming in de Sokkel onder Vlaanderen. *Water*, **41**, 104-108.

RIDER, M.H. (1986). *The geological interpretation of well logs*. 175 p. New York: John Wiley & Sons.

STUYFZAND, P.J. (1986). A new hydrochemical classification of watertypes: principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands. *Delft: Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting*, 641-655.

WALTER, F. (1976). *Geophysical well logging for geohydrological purposes in unconsolidated formations*. 67 p. Delft: Groundwater Survey TNO.

BOEKBESPREKING

HET GRAAN, HET VARKEN EN DE GLIMLACH VAN EEN KIND

Essay door Renaat Thijskens.

Uitgegeven door Marc Van de Wiele (Brugge) en de Stichting Leefmilieu.

In een honderd bladzijden tellend essay wil de schrijver een schrikactie uitlokken tegen de natuurbeschermers die het landbouwecosysteem, dat de basis vormt van het bestaan van de homo sapiens, bestrijden.

De studie tracht het onverzoebare antropocentrisme en het biocentrisme op een realistische wijze te benaderen en samen te brengen. Hiertoe wordt het landbouwecosysteem grondig ontleed. Centraal wordt de mens als biologisch component geplaatst naast de productie van de primaire componenten, zoals de graangewassen, die als basisvoedsel dienen voor de secundaire componenten, schape, runderen, varkens en pluimvee.

Na de duidelijke situering wordt de fysiologie van het systeem onderzocht. Uitgaande van de energiestroom en de nutriëntenketen worden de in de landbouw en de veeteelt courant toegepaste technieken besproken. Er wordt vastgesteld dat de rantsoenen van de primaire producten voor mens en dier in evenwicht zijn. Er wordt gestreeft naar een voeding waarbij de ballastinhoud, dit is het niet verteerbare deel van het voeder, net iets boven de fysiologische ballastbehoefte ligt. De nutriëntenbalans is echter niet in evenwicht.

De invoer van krachtvoer uit het buitenland, onder bepaalde omstandigheden aanbevolen, is uit de hand gelopen.

Het humaan ecosysteem wordt gemoduleerd door individuele drijfveren, doch ook niet voorspelbare wijzigingen van het leefmilieu, zoals het klimaat, spelen hierbij een hoofdrol. Het sturen van het ecosysteem blijft derhalve beperkt en kan ziekten in het landbouwecosysteem niet beletten.

Als voornaamste oorzaak wordt door de auteur de grootschaligheid en de technologische ontwikkeling geciteerd. Na het stellen van deze diagnose wordt evenzeer een mogelijke therapie voorgesteld.

Als synthese van het essay stelt hij dat het landbouwecosysteem zeer complex is en zich over drie niveaus uitstrekt: het biologisch-ecologisch niveau, het economisch niveau en het maatschappelijk niveau.

Als prognose meent de auteur dat de mensheid haar begrenzingsheft ervaren, hetgeen onvermijdelijk, doch met veel moeite, naar aanpassingen van het tegenwoordig handelen zal leiden.

Het antropocentrisme moet niet worden afgewezen, doch mag niet vervallen in een egocentrisme waar ieder voor zich het aards paradijs opeist. Slechts dan is een samengaan met het biocentrisme mogelijk. Nu dat de maatschappij langs alle zijden bestookt wordt met argumenten die elke grond missen is dit boekje een aanrader om de problemen, en die zijn er, reëel te kunnen beoordelen.

H.R.