

Mechanismen van kalkverrijking in het diepere grondwater in de Centrale Slenk (Noord-Brabant)

Inleiding

Uit verschillende grondwaterstudies die verricht zijn in de Centrale Slenk in Noord-Brabant (zie lokatiekaart afb. 1) door IWACO [1990] en IGG-TNO [1990] is gebleken hoe sterk de grondwaterkwaliteit in de verschillende watervoerende pakketten kan variëren. Ondanks dat het niet-antropogeen beïnvloede grondwater in de diepere watervoerende pakketten zich volgens de Stuyfzand-classificatie laat typeren als een Ca-HCO_3 -type, zijn er aanzienlijke verschillen vooral in hardheid, alkaliteit en verzadigingsindex.



F. H. KLOOSTERMAN
IGG-TNO/Delft



C. L. LEKKERKERKER
IWACO

Zowel in laterale als verticale zin in de Centrale Slenk varieert de hardheid en alkaliteit. Grondwater in het tweede watervoerende pakket (diepe pakket) onder de regionaal verbreide scheidende laag Kedichem/Tegelen (zie afb. 2) heeft doorgaans hogere hardheden en alkaliteiten dan in het bovenliggende eerste watervoerende pakket (middel-diepe pakket). Ook in de nabijheid van de breukranden blijkt de hardheid van het diepe grondwater toe te nemen. Pas op grotere diepten bij het naderen van het zoet-zout grensvlak neemt de hardheid weer af door nog niet voltooide verzoetingsprocessen en de bijbehorende kation-omwisselingen.

In vergelijking met het diepe grondwater in het westelijke gedeelte van Noord-Brabant, zijn de hardheden in de Slenk lager ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ hardheid < 2 mmol/l). Hardheden boven 2 mmol/l kunnen in het westelijke gedeelte van Noord-Brabant meestal gerelateerd worden aan doorstroming van mariene afzettingen als de Formaties van Oosterhout en Breda, die rijk zijn aan kalk (schelpfragmenten) en organisch materiaal. De dikke opeenvolging van sedimenten in de Centrale Slenk is hoofdzakelijk van fluviaatiele oorsprong en doorgaans weinig kalkhoudend.

Hard grondwater in kwelgebieden in de Centrale Slenk kan een speciale betekenis

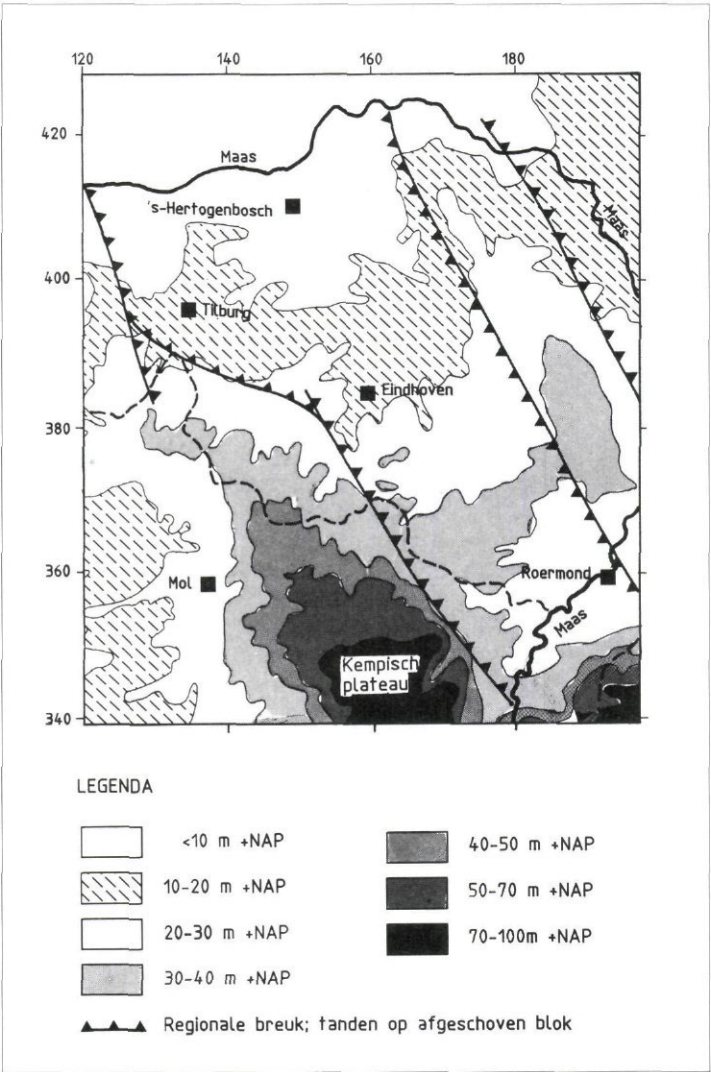
Samenvatting

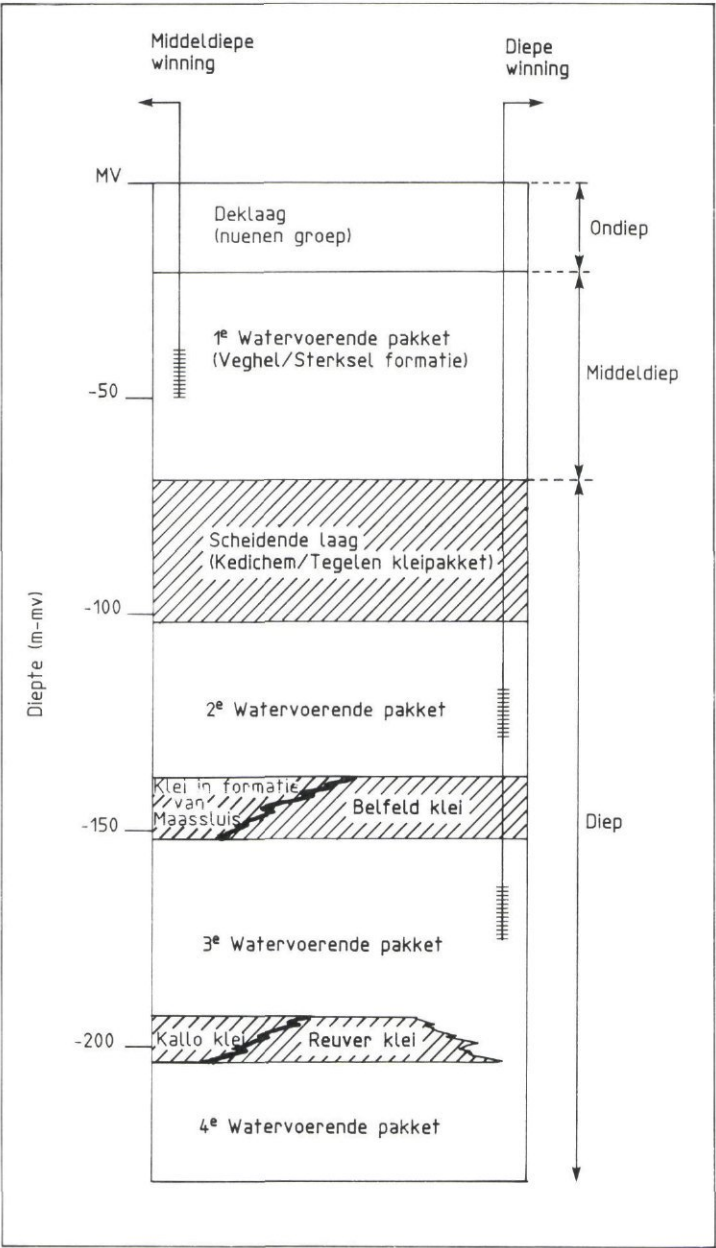
Uit onderzoek naar de samenstelling van het diepere grondwater in de Centrale Slenk in Noord-Brabant is gebleken dat er aanzienlijke verschillen in hardheid van het grondwater bestaan. In het algemeen schommelt de ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) hardheid tussen 1 en 2 mmol/l in de diepere watervoerende pakketten in de Centrale Slenk, waarbij in de diepe pakketten (dieper dan 100 m) de hardheden gemiddeld iets hoger liggen dan in de bovenliggende middeldiepe pakketten. Hogere hardheden van meer dan 2 mmol/l in de diepere pakketten worden toegeschreven aan doorstroming van mariene kalkhoudende formaties, rijk aan organisch materiaal, waarbij additionele kooldioxyde wordt geproduceerd via processen als methaanfermentatie.

Niettemin blijken kleipakketten in de regionaal scheidende laag van Kedichem/Tegelen ook plaatselijk kalkhoudend te kunnen zijn met inschakelingen van organisch-rijke horizons, waarbij kalkverrijking kan optreden van opwaarts stromend grondwater. Dit kan weer aanleiding geven tot inversies in hardheid met de diepte. In gebieden waarin oorspronkelijk kwelsituaties hebben bestaan, blijkt middeldiepe grondwater via kalkverrijking in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen dan een hogere hardheid te kunnen bezitten dan het diepere grondwater.

Het berekenen van de CO_2 -spanning en simulaties met een geochemisch model als PHREEQE blijkt een goed instrumentarium te zijn voor het verkrijgen van inzicht in de heersende chemische processen van kalkverrijking. De chloride concentratie in het diepere grondwater blijkt een betrouwbare discriminerende factor in het bepalen van de herkomst van het water.

Afb. 1 - Algemeen lokatiekaartje.





Afb. 2 - Geohydrologische schematisatie van de Centrale Slenk.

processen die de samenstelling van het diepere grondwater kunnen beïnvloeden.

Grondwatersamenstelling in kwelgebieden langs regionale randbreuken

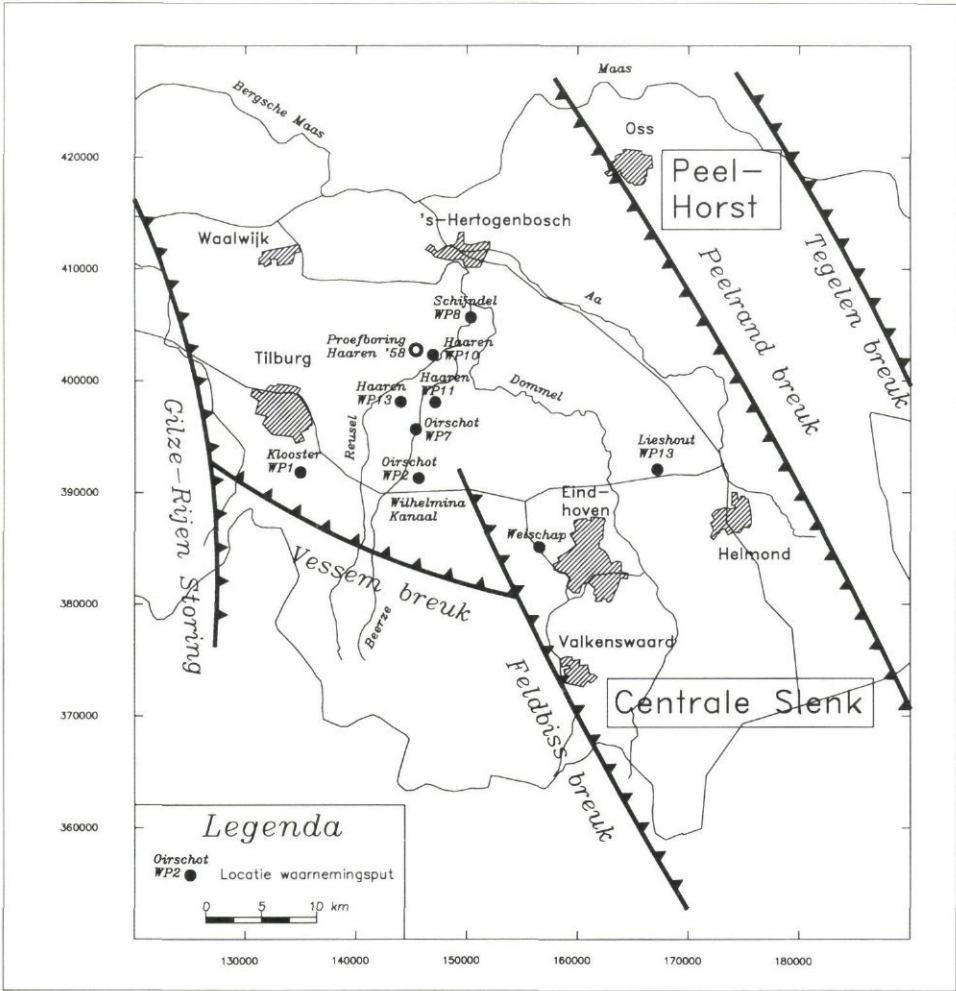
De diepe waarnemingsputten Lieshout WP13 van de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) en Klooster WP1 van de Tilburgse Waterleiding Maatschappij (TWM) zijn gelegen in de buurt van de grote randbreuken zoals de Peelrand- en de Vessembreuk en bevinden zich geologisch gezien binnen de Centrale Slenk (zie afb. 3). In de oorspronkelijke situatie zonder winningen, werden deze lokaties tot gebieden met diepe kwel gerekend met een opwaartse grondwaterstroming over de scheidende laag Kedichem/Tegelen. De diepere grondwaterstroming rondom waarnemingsput Klooster wordt aangedreven door het Kempisch Hoog in België terwijl voor de stromingssituatie rondom Lieshout de hogergelegen gedeelten op de Peelhorst en die voorbij Weert van invloed zijn. In beide gevallen lopen de stroombanen gedeeltelijk door de mariene Formaties van Oosterhout en Breda in de structureel hogergelegen blokken buiten de Slenk.

In tabel I zijn de bijbehorende chemische analyses van de verschillende filters in de putten Klooster en Lieshout gepresenteerd en ook de verzadigingsindexen voor CaCO₃ zoals berekend met het geochemische model PHREEQE. Verder zijn met PHREEQE de kooldioxydeconcentraties uitgerekend in de vorm van een logaritme van de CO₂-gasspanning volgens de wet van Henry – wanneer het water in evenwicht zou zijn met een gasfase – op basis van de gemeten pH en de HCO₃⁻ concentraties. De analyses tonen relatief hoge Cl⁻ gehalten voor de diepere pakketten in de Slenk en hoge Na⁺ op Ca²⁺ verhoudingen, wat samenhangt met nog in gang zijnde verzoetingsprocessen en kation-omwisselingen in de mariene kleiige Formaties Oosterhout/Breda in de structureel hogere blokken langs de regionale breuken. De diepste filters – reikend tot in de top van de Oosterhout/Breda Formatie – wijzen op het brakke NaCl-type en het NaHCO₃-type, kenmerkend voor verzoetingsprocessen. Een saillant verschil tussen de analyses van beide waarnemingsputten is het gehalte aan CO₂. In de put Klooster is een trend zichtbaar van toenemende CO₂-concentraties in opwaartse richting vanaf het diepste filter, terwijl de put Lieshout juist een tegenovergesteld beeld laat zien.

hebben voor grondwatergevoede ecosystemen, niet louter door het hogere Ca²⁺- en HCO₃⁻-gehalte maar ook door het zeer lage gehalte aan eutrofiërende stoffen. Dit type van laag-gemineraliseerd grondwater (lage gehalten aan Cl⁻, SO₄²⁻ en NO₃⁻) in de Centrale Slenk is over het algemeen in verband te brengen met lange en diepe stroomtakken.

Uit grondwateronderzoek [IWACO, 1990; IGG-TNO, 1990] in de Slenk is gebleken dat er zich plaatselijk inversies in hardheid kunnen voordoen in kwelgebieden, waarbij in de zandige afzettingen van de Veghel/Sterksel Formatie inclusief de Nuenen deklaag aanzienlijk hogere hardheden kunnen voorkomen dan in de diepere pakketten. Deze inversies hebben consequenties voor de interpretatie van de

herkomst van het grondwater in kwelgebieden op basis van kaarten met de ondiepe grondwatersamenstelling. In dit artikel wordt eerst ingegaan op de typerende samenstelling van diep en middeldiep grondwater in de Centrale Slenk in het algemeen en vervolgens op de samenstelling van grondwater in de gebieden met hardheidsinversies. De chemische analyses van waarnemingsputten zijn welwillend ter beschikking gesteld door de NV Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB) en het NV Nutsbedrijf Regio Eindhoven (NRE). Aan de hand van berekeningen met het geochemische model PHREEQE [Parkhurst *et al.*, 1980] is een verklaring voor dit fenomeen van hardheidsinversies gezocht en is gekeken naar de chemische



◀ Afb. 3 - Lokatiekaart waarnemingsputten.

Log(P_{CO2}) op -2,12. Met deze eenvoudige simulatie werd aangetoond dat de CO₂-concentratie licht kan stijgen bij een kation-omwisseling van geadsorbeerd Ca²⁺ tegen Na⁺.

De waarnemingsput Liesshout toont ook een toename van Ca²⁺ en afname van Na⁺ en K⁺ vanaf het filter op 220 m in opwaartse richting in het diepe pakket, terwijl de CO₂-concentratie juist afneemt. Het filter op 150 m laat een grotere toename zien aan Ca²⁺ dan een chemisch equivalente afname van Na⁺, kennelijk door het oplossen van kalk gezien de stijgende pH, de afnemende CO₂-concentratie en de positieve SI index (SI < 0 onderverzadigd en SI > 0 oververzadigd aan CaCO₃). De relatief hoge CO₂-concentraties en de onderverzadiging aan kalk in de diepere filters wijzen op de aanwezigheid van een CO₂-bron in de pakketten. Aangezien het SO₄²⁻-gehalte te laag is om via sulfaatreductie en oxydatie van organische stof kooldioxyde te produceren, moet methaanfermentatie waarschijnlijk in het spel zijn als een proces waarbij onder anaërobe omstandigheden complexe organische moleculen uiteindelijk worden afgebroken tot methaan (CH₄) en CO₂. Juist in de mariene Formaties als Breda en Oosterhout, opgebouwd uit zandige kleien afgezet in Tertiaire shelf-zeeën is organisch materiaal te verwachten en kalkhoudend schaalmetaal van afgestorven mariene organismen.

Aan de hand van de CO₂-concentraties in het grondwater is een goed inzicht te krijgen in de herkomst van het CO₂ en de heersende chemische processen. Een

De verhoging van de CO₂-concentratie in de put Klooster gaat gepaard met een toename van Ca²⁺ en een in equivalenten gelijke afname van Na⁺, wat wijst op kation-omwisseling in de fluviatiele pakketten boven de mariene Oosterhout/Breda Formatie.

Met het model PHREEQE is getracht aan het type water uit het filter op 240 m in de Kloosterput Ca²⁺ in stappen toe te voegen en Na⁺ in chemisch equivalente stappen te verwijderen totdat de samenstelling in het filter op 135 m bereikt werd. De berekende pH kwam uit op 7,6 en de

TABEL I – Diepe waarnemingsputten Klooster en Liesshout langs de regionale randbreuken van de Slenk.

Lokatie	Datum	Diepte	pH	EC	CO2	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NH ₄	NO ₃	Fe	Mn	Log Pco ₂	Verz. ind. SI	Hydrochem type*	Hydrochem type**
	monster name	(m)		µmhos/cm						mg/l								(CaCO ₃)	hardheid	(alkaliteit)
Lieshout WP13	23-09-90	263	7,1	915	70	45	10,0	155,0	10	365	162	5	1,1	0,3	1,4	0,2	-1,60	-0,28	f1-NaHCO ³⁺	f3-NaHCO ³⁺
	23-09-90	220	7,1	475	57	57	12,0	41,5	6,1	300	18	23	0,5	0,3	3,4	0,4	-1,68	-0,23	g1-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	23-09-90	200	7,1	460	77	77	10,0	21,0	4,6	325	15	5	0,4	0,3	1,9	0,3	-1,64	-0,07	g2-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	23-09-90	150	7,3	520	87	87	11,0	19,0	4,5	355	16	5	0,6	0,3	1,8	0,2	-1,81	0,21	g2-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	23-09-90	42	7,0	175	25	25	4,3	7,0	0,9	91	13	7	0,4	0,3	2,3	0,2	-2,08	-1,12	g0-NaHCO ³ O	g1-NaHCO ³ O
	23-09-90	7	6,8	670	124	124	8,5	17,5	0,8	280	60	78	0,7	0,3	14,5	1,3	-1,42	-0,28	f2-NaHCO ³ O	f3-NaHCO ³ O
	12-10-87	275	8,0	3.480	30	30	21,0	760,0	32,5	535	1.020	10	2,4	0,3	1,7	0,2	-2,37	0,45	b1-NaCl ⁺	b4-NaCl ⁺
	12-10-87	240	7,9	595	38	38	22,0	58,0	29,7	370	26	10	1,2	0,3	0,9	0,1	-2,40	0,46	g1-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
Klooster WP1	12-10-87	152	7,7	545	60	60	17,0	41,5	14,7	365	19	6	0,7	0,3	1,4	0,1	-2,20	0,46	g2-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	12-10-87	135	7,5	630	83	83	10,0	8,4	8,4	375	34	19	0,4	0,3	2,0	0,1	-1,99	0,40	f2-NaHCO ³⁺	f3-NaHCO ³⁺
	12-10-87	109	7,5	545	55	55	7,0	6	6	320	30	18	0,3	0,3	1,8	0,3	-2,05	0,17	g1-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	12-10-87	90	7,5	545	58	58	13,0	6,8	6,8	335	25	17	0,4	0,3	1,5	0,2	-2,03	0,21	g1-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺
	12-10-87	70	7,5	545	72	72	18,0	4,9	4,9	365	20	8	0,6	0,3	2,5	0,6	-2,00	0,34	g2-NaHCO ³⁺	g3-NaHCO ³⁺

* Hydrochemische typologie volgens Stuyfzand, gebaseerd op Ca+Mg hardheid

** Hydrochemische typologie volgens Stuyfzand, gebaseerd op alkaliteit

TABEL II – Diepe waarnemingsput Welschap (W. van Eindhoven) in infiltratiegebieden in het centrale gedeelte van de Slenk.

Lokatie	Datum monster name	Diepte (m)	pH	EC μ mhos/ cm	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl mg/l	SO ₄	NH ₄	NO ₃	Fe	Mn	Log Pco ₂	Verz. ind. SI (CaCO ₃)	Hydrochem type hardheid	Hydrochem type (alkaliteit)
Welschap	30-08-89	390	8,4	776	6	5,1	167,0	15,1	436	96	10	0,6	0,1	0,1	0,1	2,83	0,20	F*-NaHCO ³⁺	F3-NaHCO ³⁺
	30-08-89	330	8,0	500	23	7,9	77,0	10,2	281	33	2	0,4	0,1	0,4	0,2	2,61	0,26	F0-NaHCO ³⁺	F3-NaHCO ³⁺
	30-08-89	260	7,4	248	27	7,2	9,7	4,7	171	6	1	0,3	0,1	1,3	0,2	2,21	-0,43	g0-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	30-08-89	231	7,7	205	33	5,3	12,8	5,0	192	7	1	0,2	0,1	0,7	0,2	2,46	-0,01	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	30-08-89	196	7,5	246	38	4,5	5,7	2,9	173	6	1	0,3	0,1	1,7	0,2	2,31	-0,19	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	30-08-89	139	7,6	270	47	4,4	6,8	2,7	204	6	1	0,4	0,1	0,8	0,1	2,34	-0,06	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	30-08-89	63	7,5	238	42	2,4	6,2	1,2	137	19	4	0,1	0,1	1,0	0,2	2,41	-0,24	g1-CaHCO ³⁺ O	g2-CaCl ³⁺ O
	30-08-89	20	6,0	233	18	4,0	14,2	4,0	24	32	37	0,4	0,1	1,9	0,4	1,66	-2,85	F0-CaMix0	F*-CaMix0

vergelijking van de CO₂-concentraties is te maken met de waarden die in percolerend water voorkomen door het oplossen van CO₂ in bodems waar de heersende CO₂-spanningen door afbraak van organisch materiaal doorgaans hoger zijn dan in de atmosfeer. CO₂-gasspanningen in bodems variëren tussen 0,01 en 0,1 bar met een typische waarde van circa 0,03 bar oftewel Log(P_{CO2}) = -1,5. Percolerend water met dergelijke concentraties aan CO₂, 'opgeladen' in bodems, verliest CO₂ op grotere diepte door het oplossen van kalk. Zoals blijkt uit de put Klooster WP1 en de hierna te bespreken diepe waarnemingsputten, liggen de CO₂-gasspanningen in de diepere watervoerende pakketten onder de scheidende laag Kedichem/Tegelen doorgaans lager dan 0,01 bar (Log(P_{CO2}) = -2,0). De hoge CO₂-concentraties in de diepere filters van de Lieshout waarnemingsput moeten op grond van het voorafgaande in verband staan met een additionele CO₂-bron zoals methaanfermentatie, hoewel CO₂ uit langs breuken (Peelrandbreuk) opstijgend juveniel water hier ook een rol spelen.

Grondwatersamenstelling in infiltratiegebieden in het centrale gedeelte van de Slenk

De regionale diepe grondwaterstroming rondom Eindhoven werd beheerst, voor de aanvang van de grote onttrekkingen ten zuidoosten van Eindhoven, door het Kempisch Plateau in het zuidoostelijke verlengde van de Slenk. De waarnemingsput Welschap (zie afb. 3) is gelegen op de hogergelegen zandgronden van de Mid-Brabantse dekzandruggen. Binnen deze dekzandruggen is de stroming over de regionale scheidende laag Kedichem/Tegelen neerwaarts gericht.

De chemische analyses van de waarnemingsput Welschap (zie tabel II) tonen vanaf het filter op 139 m tot op 260 m een uniforme samenstelling van een verzadigd CaHCO₃-type met een lage CO₂-con-

centratie in de fluviatiële pakketten. De diepste filters (330 en 390 m) in de Oosterhout/Breda Formatie vertonen verzoetingsprocessen met afnemende Ca²⁺-gehalten en toenemende Na⁸⁻gehalten door kation-omwisseling.

Het filter op 20 m diepte vertegenwoordigt waarschijnlijk de gemiddelde CO₂-concentratie ontstaan door oplading in de bodem. Deze neemt af door het oplossen van kalk in een gesloten systeem tot verzadiging is bereikt in de middeldiepe pakketten, zoals het filter op 63 m laat zien. De bereikte hardheden zijn als matig te kenmerken en zullen in het middeldiepe pakket ook niet verder meer toe nemen, omdat de dosis beschikbare CO₂ vanuit de bodem verbruikt is.

Het type grondwater in de diepe pakketten onder de scheidende laag Kedichem/Tegelen heeft een duidelijk lager Cl⁻-gehalte dan in de middeldiepe pakketten en moet daarom in herkomst verschillen. Dergelijke extreem lage Cl⁻-gehalten in de watervoerende pakketten van de Centrale Slenk zijn indicatief voor diepe stroomtakken met lange verblijftijden. Deze extreem lage Cl⁻-gehalten zijn terug te voeren op infiltratie in gebieden met lage indampfactoren en op grote afstand van de kust. Gezien de hoge ¹⁴C ouderdommen van duizenden jaren van dit diepe grondwater [IGG-TNO, 1990] moet waarschijnlijk gedacht worden aan infiltratie tijdens post-glaciale perioden op het Kempische Plateau, waarbij de kustlijn verder verwijderd was en er een dunne vegetatiebedekking was met lage indampfactoren. Zelfs met de huidige concentratie van circa 3 mg/l Cl⁻ in regenwater in dit gedeelte van Nederland en lage indampfactoren van gemiddeld 2,5 voor heidegebieden [Meinardi, 1988] lijken dergelijke lage Cl⁻-concentraties zoals in de middeldiepe pakketten nauwelijks haalbaar. Pedrolí en Borger [1990] menen op grond van palynologische gegevens dat er vanaf 7.000 jaar

geleden al een dichte bosbedekking met eiken en berken moet hebben bestaan op de hogergelegen zandgebieden in Noord-Brabant. De daarbij behorende indampfactoren zullen hoger hebben gelegen dan de gemiddelde waarden van 5,0 die Meinardi [1988] geeft voor naaldbos.

Wat betreft de CO₂-concentraties in de analyses van de put Welschap kan worden opgemerkt dat ook in de diepere filters de concentraties uniform en laag zijn en niet op processen als methaanfermentatie wijzen in de dikke opeenvolging van fluviatiële afzettingen in dit gedeelte van de Slenk. De afnemende CO₂-concentraties en de lichte toename van de hardheid van het grondwater in de middeldiepe pakketten (filter op 63 m) sluiten volledig aan op het stromingsbeeld in een infiltratiegebied.

Grondwatersamenstelling in kwelgebieden met hardheidsinversies langs de beken de Reusel, de Beerze en de Essche Stroom

In tabel III zijn de chemische analyses gegeven van een aantal waarnemingsputten met filters in de middeldiepe en diepe watervoerende pakketten in gebieden nabij de samenvloeiing van de Reusel en de Beerze. Met uitzondering van de put Haaren WP13 die in het infiltratiegebied van de Kampinasche Heide is gelegen, geven alle putten de kenmerkende zeer lage Cl⁻-gehalten te zien in de diepe en middeldiepe pakketten tot in enkele van de ondiepste filters toe, wat verband houdt met het oorspronkelijk opkwellen van diep bovenlokaal grondwater in de brede en vlakke beekdalen langs de Reusel en de Beerze. Met name Schijndel WP8, Oirschot WP2 en Haaren WP10 liggen dicht bij de waterlopen. De putten Oirschot WP7 en Haaren WP11 liggen in intermediaire gebieden en vertonen in de ondiepere filters infiltratietypen. Recent geïnfilterd water in de ondiepe en middeldiepe pakketten is duidelijk te

TABEL III – Diepe waarnemingsputten met filters en de middeldiepe en diepe watervoerende pakketten in kwelgebieden langs de Reusel en de Beerze in het centrale gedeelte van de Slenk.

Lokatie	Datum monster name	Diepte (m)	pH	EC µmhos/ cm	CO2	Ca	Mg	Na mg/l	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	NH ₄	NO ₃	Fe	Mn	Log Pco ₂	Verz. ind. SI (CaCO ₃)	Hydrochem type (hardheid)	Hydrochem type (alkaliteit)
Schijndel WP8	7-12-90	135	7,8	315	9	54	4,4	16,0	2,9	220	7	5	0,6	0,5	0,4	0,1	-2,51	0,34	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	7-12-90	85	7,4	410	28	77	6,8	11,0	1,9	290	9	5	1,0	0,5	2,5	0,1	-1,99	0,19	g2-CaHCO ³⁺	g3-CaHCO ³⁺
	7-12-90	55	7,4	425	29	80	7,3	9,5	1,6	300	9	5	1,0	0,5	2,6	0,2	-1,98	0,22	g2-CaHCO ³⁺	g3-CaHCO ³⁺
	7-12-90	29	7,4	420	29	81	7,1	11,0	1,5	300	9	5	1,0	0,5	2,4	0,2	-1,98	0,23	g2-CaHCO ³⁺	g3-CaHCO ³⁺
	7-12-90	14	7,4	405	28	76	7,1	10,0	1,9	280	11	5	1,0	0,5	2,2	0,2	-2,01	0,17	g2-CaHCO ³⁺	g3-CaHCO ³⁺
	7-12-90	7	7,5	390	21	73	6,7	11,0	1,4	280	9	5	1,0	0,5	2,0	0,1	-2,11	0,26	g2-CaHCO ³⁺	g3-CaHCO ³⁺
Oirschot WP2	16-07-90	175	7,8	245	7	40	4,7	5,5	9,2	165	5	5	0,6	0,5	0,5	0,0	-2,63	0,11	G1-CaCCO ³⁺	G2-CaCCO ³⁺
	16-07-90	117	7,7	245	8	47	3,7	6,0	2,8	165	5	5	0,5	0,5	0,7	0,1	-2,53	0,08	G1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	16-07-90	46	7,2	180	20	35	2,1	6,5	1,0	120	7	5	0,3	0,5	3,5	0,2	-2,16	-0,67	g0-CaHCO ³ O	g1-CaHCO ³ O
	16-07-90	26	6,1	205	69	19	2,5	16,0	1,6	36	25	38	0,5	0,5	3,6	0,2	-1,58	-2,56	g0-CaMixO	g0-CaMixO
	16-07-90	5	7,5	365	16	59	11,9	8,5	8,7	180	11	69	0,3	0,5	1,4	0,3	-2,30	-0,04	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
Oirschot WP7	16-07-90	177	7,8	245	7	40	5,6	5,5	6,6	165	6	5	0,5	0,5	0,6	0,1	-2,63	0,11	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	16-07-90	146	7,7	250	9	45	3,2	6,5	3,1	170	5	5	0,5	0,5	0,6	0,1	-2,52	0,07	g1-CaHCO ³⁺	G2-CaHCO ³⁺
	16-07-90	110	7,6	275	11	49	3,8	6,5	3,1	185	6	5	0,6	0,5	1,1	0,4	-2,38	0,04	g0-CaHCO ³ O	g1-CaHCO ³ O
	16-07-90	46	6,7	175	55	25	2,5	8,5	0,9	96	12	5	0,4	0,5	6,8	0,4	-1,75	-1,40	g*-NaMixO	g*-NaMixO
	16-07-90	28	5,8	140	105	9	1,7	13,5	1,5	27	17	28	0,5	0,5	7,1	0,2	-1,40	-3,28	F0-CaSO ₄ O	F*-CaSO ₄ O
	16-07-90	5	4,9	320	85	31	3,5	20,5	15,4	7	32	85	0,3	0,5	0,1	0,2	-1,10	-4,30	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
Haaren WP10	18-07-90	58	7,3	315	29	58	3,5	8,0	1,0	210	8	5	0,5	38,0	6,3	0,4	-2,03	-0,14	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	46	7,2	315	36	58	3,6	8,0	1,0	215	8	5	0,5	0,5	6,6	0,5	-1,92	-0,23	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	31	7,0	295	48	55	3,6	8,0	1,1	200	7	5	0,5	0,5	8,8	0,5	-1,75	-0,48	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	16	7,1	295	42	54	3,7	8,5	1,0	195	7	6	0,5	0,5	8,5	0,5	-1,86	-0,40	g1-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	7	7,1	285	41	52	3,6	8,0	1,0	195	6	5	0,5	0,5	7,2	0,5	-1,86	-0,41	g0-CaHCO ³⁺	g2-CaHCO ³⁺
Haaren WP11	18-07-90	224	8,0	345	6	21	1,6	58,0	9,9	210	15	5	0,8	0,5	0,3	0,3	-2,73	0,12	G0-CaHCO ³⁺	G2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	194	7,9	270	6	33	2,2	24,0	8,5	175	5	5	0,8	0,5	0,5	0,4	-2,71	0,15	G1-CaHCO ³⁺	G2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	132	7,7	255	9	46	2,6	8,5	1,8	175	5	5	0,5	0,5	1,2	0,4	-2,51	0,09	G1-CaHCO ³⁺	G2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	68	7,5	320	16	59	3,4	8,0	1,4	210	5	5	0,6	0,5	2,6	0,4	-2,23	0,06	g*-NaMixO	G2-CaHCO ³⁺
	18-07-90	34	6,1	95	42	6	0,7	9,5	1,0	20	9	18	0,5	0,5	4,4	0,2	-1,83	-3,26	G*-CaSO ₄ O	g*-NaMixO
Haaren WP13	18-07-90	7	5,1	70	55	4	0,9	3,5	1,4	7	5	18	0,2	0,5	4,5	0,2	-1,28	-4,88	g*-CaHCO ³ O	G*-CaSO ₄ O
	18-07-90	65	6,5	185	44	16	2,4	11,0	1,2	58	19	18	0,5	0,5	7,8	0,3	-1,77	-2,01	g*NaSO ₄ O	g0-CaHCO ³ O
	18-07-90	32	5,7	175	61	10	2,1	15,0	1,7	13	19	47	0,6	0,5	8,8	0,2	-1,62	-3,67	go-CaSO ₄ O	g*-NaSO ₄ O
	18-07-90	8	4,5	230	47	14	6,5	12,0	2,0	5	21	74	0,1	10,5	1,0	0,2	-0,84	-5,16	g0-CaSO ₄ O	g*-CaSO ₄ O

onderscheiden van het diepere schone kwelwater op grond van de hogere Cl⁻ en SO₄²⁻-gehaltes. De filters met deze hogere Cl⁻ en SO₄²⁻-gehaltes worden vrijwel zonder uitzondering gekenmerkt door hogere CO₂-concentraties die de waarde van Log(P_{CO2}) = -1,5 benaderen, wat in verband te brengen is met de CO₂-dosis in infiltratiewater door bodemprocessen. Dergelijke infiltratietypen worden gekenmerkt door lage hardheden en onderverzadiging aan kalk als gevolg van de doorstroming van kalkarme sedimenten van de Nuenen groep en de Veghel/Sterksel Formatie. Niettemin is er een lichte afname van het CO₂-gehalte te constateren met de diepte en een lichte toename van het Ca²⁺-gehalte.

De meest opmerkelijke waarnemingsput is Schijndel WP8 waar de eerder genoemde inversies in hardheid optreden. Juist in het middeldiepe Veghel/Sterksel pakket worden zowel hogere hardheden (> 2 mmol/l) als hogere CO₂-concentraties gevonden, terwijl de verzadigings-index SI constant blijft. Verder valt op dat

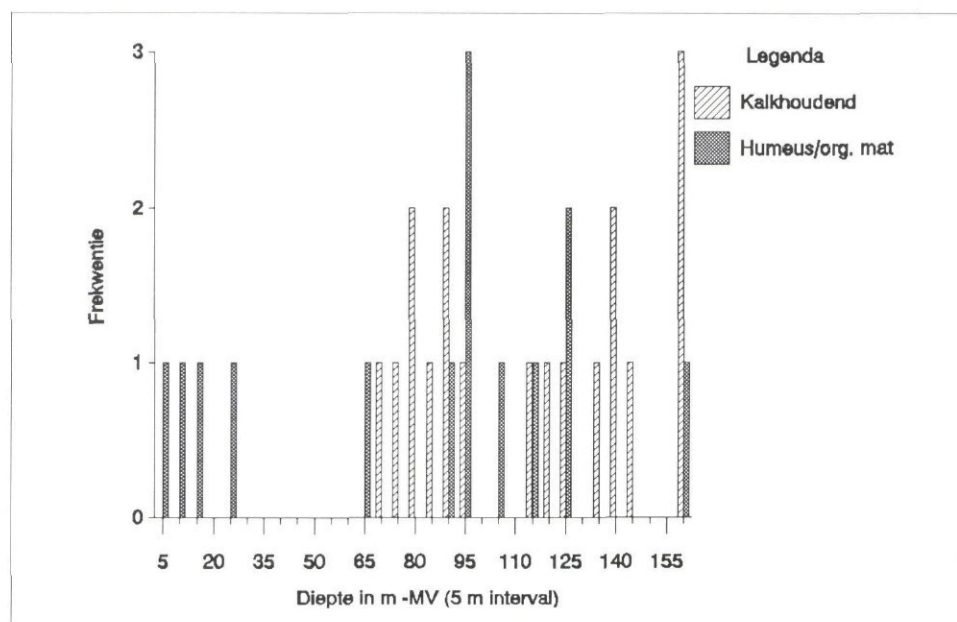
de grondwatersamenstelling vanaf het filter op 85 m naar boven toe praktisch onveranderd blijft. Het grootste contrast in samenstelling bestaat tussen de filters op 135 m in het diepe pakket en 85 m in het middeldiepe pakket. Beide filters bevinden zich net onder en net boven de kleipakketten van de Kedichem/Tegelen Formatie. Afgaande op de vrij constante CO₂-concentraties van circa Log(P_{CO2}) = -2,5 in de diepe pakketten, moeten er chemische processen hebben plaatsgevonden in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen die de concentraties aan CO₂ en Ca²⁺ hebben doen stijgen.

De grondwaterstroming in dit kwelgebied langs de Reusel heeft oorspronkelijk in opwaartse richting plaatsgevonden, wat ook af te lezen is aan de zeer lage Cl⁻ concentraties in de filters in het middeldiepe pakket. Op grond van de verhoogde en verder constant blijvende CO₂- en Ca²⁺-concentraties in de filters direct boven de kleipakketten van Kedichem/Tegelen moet geconcludeerd worden dat er in deze pakketten productie van CO₂

heeft plaatsgevonden en vervolgens kalk is opgelost. In dit verband is gekeken naar de resultaten van de proefboring te Haaren uit 1958. Deze proefboring [RIVM, 1958] voor het stichten van een nieuw pompstation te Haaren van de WOB (zie voor lokatie afb. 3), is voorzien van een zeer gedetailleerde geologische beschrijving van de doorboorde lagen.

Afbeelding 4 toont een histogram van het voorkomen van kalkhoudende en organisch-rijke horizons (venig materiaal, vegetatieresten) zoals vermeld in de beschrijving van de proefboring. De boring bevindt zich circa 5 km ten zuidwesten van de waarnemingsput Schijndel WP8. Per diepte interval van 5 m is een frequentieverdeling gemaakt van de horizons met aanduidingen als 'tamelijk kalkhoudend/kalkrijk' en 'humeus/sterk humeus'. Tabel IV geeft de herinterpretatie van de doorboorde formaties in de proefboring Haaren.

Uit afbeelding 4 blijkt dat, afgezien van de organisch-rijke horizons in de Nuenen



Afb. 4 - Frequentieverdeling van de horizons met kalk en organisch materiaal in de proefboring te Haaren uit 1958; diepte interval van 5 m.

TABEL IV - Stratigrafie in de proefboring Haaren.

Diepte	Formatie
0- 25	Nuenen Groep
25- 88	Veghel/Sterksel
88-135	Kedichem/Tegelen
135-160 (einddiepte)	Tegelen/Maassluis

dekzanden, vanaf 90 tot 125 m diepte de meeste horizons met organisch materiaal worden aangetroffen overeenkomend qua dieptetraject met de kleipakketten van de Kedichem/Tegelen Formatie. Kalkhoudende horizons worden in de boorbeschrijving gerapporteerd vanaf 70 m en dieper met pieken op het grensvlak Veghel/Sterksel en Kedichem/Tegelen. Schelpgruis in de Formatie Tegelen/Maassluis is verantwoordelijk voor de pieken in kalkhoudendheid vanaf 140 m en dieper.

Het voorkomen van kalkhoudende en organisch-rijke horizons in de proefboring Haaren sluit goed aan op de interpretatie van de chemische processen van CO₂-productie en kalkverrijking uit waarnemingsput WP8, die zich afspelen in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen bij opwaartsstromend diep grondwater. Zowel organisch materiaal als kalk zijn praktisch afwezig in de grofzandige afzettingen van Veghel/Sterksel en zijn duidelijk geconcentreerd in de kleipakketten Kedichem/Tegelen.

Waarnemingsput Haaren WP10 ligt vlakbij de proefboring Haaren en toont voor wat betreft de filters in het middeldiepe pakket vergelijkbare CO₂-concentraties als in Schijndel WP8. De hardheid

blijft echter lager dan 2 mmol/l en in tegenstelling tot Schijndel WP8 wordt met PHREEQE zelfs een lichte onderverzadiging aan kalk berekend in Haaren WP10. Mogelijk is het gehalte aan kalk in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen in de buurt van de put Schijndel WP8 nog hoger waardoor verzadiging wordt bereikt.

Vanaf circa 65 m en dieper, vooral in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen, komen in de boorbeschrijving van proefboring Haaren ijzerhydroxyden voor in de vorm van concreties en Fe-huidjes op kalkconcreties. De filters in de middeldiepe pakketten geven ook hogere concentraties aan Fe te zien dan in het diepe grondwater. Berekeningen met PHREEQE laten zien dat het grondwater in het filter op 135 m in Schijndel WP8 onderverzadigd is aan sideriet (FeCO₃),

terwijl voor de bovenliggende filters een lichte oververzadiging wordt berekend. De doorstroming van de kleipakketten van Kedichem/Tegelen gaat gepaard met een toename van Fe²⁺ tot een verzadiging aan sideriet bereikt is. Dezelfde berekeningen met PHREEQE op de analyses van waarnemingsput Haaren WP10 resulteren in overeenkomstige lichte oververzadigingen aan sideriet.

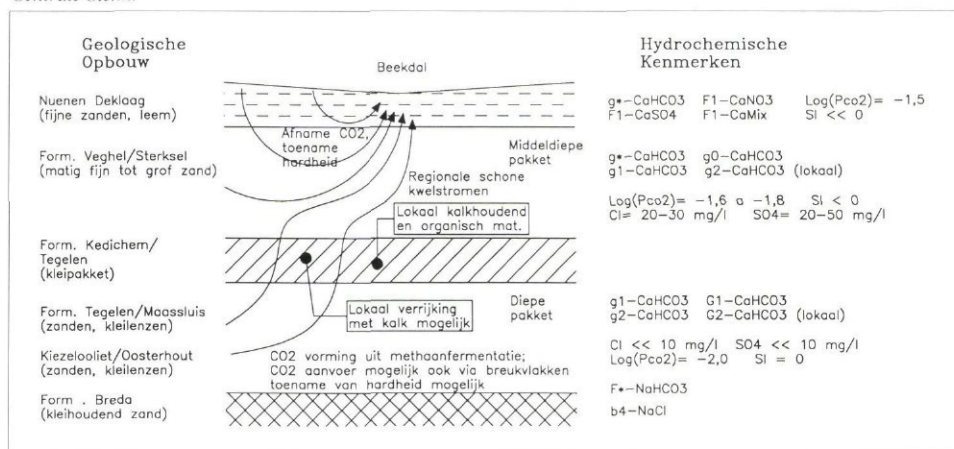
De overige waarnemingsputten Oirschot WP2 en Haaren WP11 met filters op respectievelijk 46 en 68 m, vlak boven de kleipakketten van Kedichem/Tegelen, en een oorspronkelijke situatie met opwaartse stroming tonen ook verhoogde CO₂-concentraties zij het minder geprononceerd. Het filter op 46 m in Oirschot WP2 geeft blijk van verlaging van het Ca²⁺- en HCO₃-gehalte en vertegenwoordigt mogelijk al een mengvorm tussen diep grondwater en het infiltratie-type in het filter op 26 m.

Discussie

Uit bovenstaande is gebleken dat de processen van kalkverrijking van het diepere grondwater, via methaanfermentatie en het oplossen van kalkhoudend mariene fossielen, niet beperkt hoeven te blijven tot de mariene formaties zoals die van Breda en Oosterhout. Dezelfde processen blijken zich ook lokaal te kunnen afspelen in de fluviatiele kleipakketten van Kedichem/Tegelen. In kwelsituaties met opwaartse stroming van diep grondwater naar de middeldiepe pakketten kunnen inversies in hardheden ontstaan gaande van de diepe naar de middeldiepe pakketten. Voorwaarde is echter het voorkomen van organisch materiaal en de aanwezigheid van voldoende kalk. Op basis van de hier

• *Vervolg op pagina 49.*

Afb. 5 - Geschematiseerde hydrochemische kenmerken van grondwater in de verschillende pakketten in de Centrale Slenk.



hoeveelheid water betaalt. Voor watermeters is men geheel op de lokale markt aangewezen. Van de tijdens de steekproef geijkte meters was er niet één die voldeed aan de eisen. Dit doet het ergste vermoeden over de kwaliteit van de meters van Egyptisch fabrikaat.

In Egypte moet iedereen die een huisaansluiting wil eerst zelf een watermeter aanschaffen. Geen watermeter, geen aansluiting. Een huiswatermeter kost ongeveer f 55,- en de aanvrager moet daar zelf voor betalen. De watermeter is dan wel eigendom, maar voor de gemiddelde Egyptenaar is het bedrag, een half maand-salaris, bijna niet op te brengen. Het aanschaffen van een watermeter en dus het hebben van een huisaansluiting is voor veel Egyptenaren daarom onhaalbare kaart.

Ijkbank

Het repareren van watermeters gebeurt bij El Azab nog allemaal met de hand. Zelfs pakkingen knipt men met een schaar. Om meters te ijken had men voor de komst van de ijkbank van EWR geen enkel instrument ter beschikking. Men kon alleen een onbekende hoeveelheid water door de gerepareerde meter laten stromen en de standen vergelijken met een nieuwe meter die in het net geplaatst was.

Bovendien konden vóór de komst van de ijkbank per dag ongeveer 10 meters gerenoveerd en gecalibreerd worden. Dat komt neer op 2000 meters per jaar. In een gebied met 80.000 aansluitingen betekent dit theoretisch dat de watermeters eens in de veertig jaar gecontroleerd en vervangen zouden worden. Geen wonder dus dat veel meters voor die tijd niet meer werken.

Overdracht

Sinds begin 1994 besteedt EWR het ijken uit. Daarmee werd de ijkinstallatie voor huiswatermeters van EWR overbodig. Medewerkers van El Azab die in het kader van het samenwerkingproject EWR bezochten, hadden veel belangstelling voor de ijkbank. De ijkbank, waar twee rijen van maximaal 10 meters per rij tegelijkertijd geijkt kunnen worden met eenvoudig instelbare volumestromen, zou namelijk een aanzienlijke verhoging van de productiecapaciteit van El Azab betekenen. Het aantal watermeters dat geijkt kan worden, wordt opgevoerd van 10 naar 80 per dag.

EWR besloot de installatie te schenken. Dat besluit viel in mei 1994. In de maanden daarop werd de ijkbank grondig gereviseerd. De installatie voldeed voor

transport naar de haven van Alexandrië geheel aan de normen van de ROW (Regeling Onderhoud Watermeters). Een soortgelijke richtlijn ontbreekt in Egypte.

Stap in goede richting

In augustus werd de ijkbank verscheept. Twee maanden later werd de ijkbank officieel in gebruik genomen door El Azab. De overdracht ging gepaard met een bezoek van een EWR-delegatie aan het Egyptische bedrijf. Dit was nodig om de ijkbank te kunnen installeren en de mensen die ermee moeten gaan werken te instrueren. Tegelijkertijd werd gewerkt aan het opzetten van een centrale watermeterwerkplaats. Uit de ervaringen van de EWR-medewerkers die naar Egypte zijn geweest blijkt dat de technische achterstand groot is. Zelfs de meest fundamentele hulpmiddelen ontbreken. De overdracht van de ijkbank aan El Azab betekent echter een belangrijke stap in de goede richting. Voor de toekomst staan er meer van dergelijke projecten op stapel. Zoals het afrekenen zelf bijvoorbeeld. Hoe zet je een geautomatiseerde verbruikersadministratie op in een land waar nauwelijks straatnamen en geen burgerlijke stand is? Kortom, er is nog volop werk aan de winkel.

drs. M. Y. Steenstra

● ● ●

Kalkverrijking

• Slot van pagina 47.

gebruikte hydrochemische gegevens van waarnemingsputten in oorspronkelijke kwelgebieden langs beekdalen in de Centrale Slenk blijken de bereikte hardheden in het basale gedeelte van de middeldiepe pakketten nogal te variëren en over het algemeen niet boven de 2 mmol/l uit te stijgen. De indruk bestaat dat kalkhoudendheid en het gehalte aan organisch materiaal in de kleipakketten van Kedichem/Tegelen een grillig lateraal verloop zullen hebben.

Filters in de bovenste gedeelten van de middeldiepe pakketten vertonen meer mengvormen tussen zure antropogeen beïnvloede infiltratietypen met wisselende hardheden en de diepere mogelijk al stagnerende schone kwelstromen. Een vergelijking van de CO₂-concentraties tussen deze verschillende typen zowel in de middeldiepe als diepe pakketten, uitgedrukt in een gasspanning, blijkt een goed hulpmiddel om de herkomst van het

CO₂ te achterhalen, zoals uit methaanfermentatie of uit afbraak van organisch materiaal in bodems, en daarmee inzicht te krijgen in de chemische genese van een bepaald type grondwater. In afbeelding 5 is een schematisch overzicht gegeven van de verschillende chemische kenmerken van het grondwater in de diverse watervoerende pakketten.

Daarnaast blijkt het Cl⁻-gehalte in de Centrale Slenk een goede discriminerende factor te zijn bij het herkennen van diep regionaal grondwater met lange verblijftijden. Een hoge hardheid van ondiep grondwater hoeft niet direct een aanwijzing te zijn voor diep grondwater met een laag gehalte aan eutrofiërende stoffen. In principe zou middeldiep grondwater met aanzienlijk hogere Cl⁻ en SO₄²⁻-gehalten bij doorstroming van de kalkhoudende/organisch-rijke kleipakketten van Kedichem/Tegelen ook in hardheid toe kunnen nemen. Op basis van de beschikbare gegevens blijkt een zeer laag gehalte aan Cl⁻, in het gebied van de Centrale Slenk, een goede indicator te zijn voor diep bovenlokaal grondwater met lange verblijftijden.

Literatuur

- Gischler, M. A., Kloosterman, F. H. en Mak, W. (1992). *Diepe grondwaterwinningen en natte natuurgebieden: kansen en bedreigingen*. H₂O (25) nr. 2, pp 40-45.
- IGG-TNO (Stuurman, R. J., Meij, J. L. van der, Biesheuvel, A. en Pakes, U.) (1990). *De grondwaterstromingsstelsels en de grondwatersamenstelling van de provincie Noord-Brabant*. IGG-TNO, rap. nr. OS-90-26A.
- IWACO (1990). *Proefproject Oirschot; Toepassing en toetsing van een methode voor het bepalen van de effecten van diepe grondwateronttrekkingen op de kwaliteit van het kwelwater in natuurgebieden*. Opdrachtgever Provincie Noord-Brabant.
- IWACO (1990). *Effectenonderzoek wingebeden Aalsterweg en Welschap*. Opdrachtgever NV Nuts-bedrijf Regio Eindhoven.
- Meinardi, C. R. (1988). *Verandering in de samenstelling van het water in de Veluwe sprengen*. H₂O (21) nr. 3.
- Parkhurst, D. L., Thorstenson, D. C. & Plummer, L. N. (1980). *PHREEQ- A computer program for geochemical calculations*. US Geological Survey, Water Resources Division.
- Pedroli, G. B. & Borger, G. J. (1990). *Historical land use and hydrology. A case study from eastern Noord-Brabant*. Landscape Ecology, vol. 4 no. 4, pp 237-248.
- RIVM (1958). *Nota betreffende de mogelijkheden van het stichten van een pompstation nabij Haaren*.

● ● ●