

TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE

**INVENTARISATIE VAN DE KENNIS VAN DE IEPERIAANKLEI
IN FUNCTIE VAN ONDERZOEK NAAR DIEPE BERGING VAN
RADIOACTIEF AFVAL**

faze 2

september 1995

T60 94/30

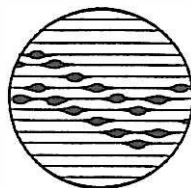


UNIVERSITEIT GENT

Laboratorium
voor
Toegepaste Geologie
en
Hydrogeologie

INVENTARISATIE VAN DE KENNIS
VAN DE IEPERIAANKLEI IN FUNCTIE
VAN ONDERZOEK NAAR
DIEPE BERGING VAN
RADIOACTIEF AFVAL

FAZE 2



Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent

tel. 09/264 46 47
fax 09/264 49 88

Opdrachtgever

NIRAS

Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag : Lic. D. DE SMET
Lic. I. OLIVIER

Projectnummer : TGO 94/030

Datum : september 1995

INHOUD

Lijst van figuren
Lijst van tabellen

1. Inleiding	1
2. Lithostratigrafie en sedimentologie	2
2.1. Inleiding	2
2.2. Paleozoïsche Sokkel	10
2.3. Krijt	11
2.4. Tertiair	14
2.4.1. Haine-Haspengouw Groep	14
2.4.1.1. Formatie van Houthem	14
2.4.2. Formatie van Heers	15
2.4.3. Landen Groep	16
2.4.3.1. Formatie van Hannut	16
2.4.3.2. Formatie van Tienen	19
2.4.4. Ieper Groep	19
2.4.4.1. Formatie van Kortrijk	19
2.4.4.2. Formatie van Tielt	36
2.4.4.3. Formatie van Gent	40
2.4.5. Zenne Groep	45
2.4.5.1. Formatie van Aalter	46
2.4.5.2. Formatie van Brussel	46
2.4.5.3. Formatie van Lede	47
2.4.6. Formatie van Maldegem	47
2.4.7. Tongeren Groep	49
2.4.7.1. Formatie van Zelzate	49
2.4.7.2. Formatie van Niel	51
2.4.8. Rupel Groep	52
2.4.8.1. Formatie van Bilzen	52
2.4.8.2. Formatie van Boom	52
2.4.8.3. Formatie van Eigenbilzen	54
2.4.9. Neogene afzettingen	54
2.5. Kwartair	55
2.6. Besluit	57
3. Mineralogische en chemische samenstelling	60
3.1. Inleiding	60
3.2. Kleimineralogie	61
3.3. Zware mineralen	63
3.4. Natuurlijke radioactiviteit	63
3.4.1. Kleimineralen	63
3.4.2. Mica's	64
3.4.3. Veldspaten	65
3.4.4. Zware mineralen	65
3.5. Chemische samenstelling	65
3.6. Organisch materiaal	67

3.6. Besluit	68
4. Watervoerende lagen	69
4.1. Inleiding	69
4.2. Paleozoïsche Sokkel	71
4.2.1. Inleiding	71
4.2.2. Grondwaterstromingspatroon	71
4.2.3. Doorlatendheid	76
4.2.4. Grondwaterwinningen	76
4.2.5. Grondwaterkwaliteit	76
4.3. Paleocene watervoerende laag	79
4.4. Watervoerende laag van het Lid van Egem	82
4.4.1. Inleiding	82
4.4.2. Grondwaterstromingspatroon	82
4.4.3. Doorlatendheid	82
4.4.4. Grondwaterkwaliteit	82
4.4.5. Potentiële bergingsgebieden	85
4.5. De eocene watervoerende laag	87
4.5.1. Inleiding	87
4.5.2. Grondwaterstromingspatroon	87
4.5.3. Doorlatendheid	91
4.5.4. Grondwaterwinningen	92
4.5.5. Grondwaterkwaliteit	94
4.6. Oligocene watervoerende laag	97
4.7. Neogene zandafzettingen	102
4.8. Kwartaire afzettingen	105
4.9. Verzilting	109
4.10. Besluit	110
5. Algemeen besluit	115
Referenties	119

LIJST VAN FIGUREN

- Fig. 2.1. Potentiele bergingsgebieden in de Formatie van Kortrijk
- Fig. 2.2. Ligging van de referentieboringen
- Fig. 2.3. Geofysische boorgatmeting van de boring Knokke (uit LAGA & VANDENBERGHE, 1990)
- Fig. 2.4. Overzicht van de gebruikte puntgegevens
- Fig. 2.5. Lithologie van het Krijt in Knokke, Assenede en Kallo
- Fig. 2.6. Lithologie van het Paleoceen in Knokke, Assenede en Kallo
- Fig. 2.7. Isohypsen van de basis van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)
- Fig. 2.8. Isopachen van de Landen Groep (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)
- Fig. 2.9. Lithologie van de Formatie van Kortrijk in Knokke, Assenede en Kallo
- Fig. 2.10. Sedimentologische kenmerken van de Formatie van Kortrijk (GEETS, 1988)
- Fig. 2.11. Isohypsen van de basis van de Formatie van Kortrijk
- Fig. 2.12. Isohypsen van de top van de Formatie van Kortrijk
- Fig. 2.13. Isopachen van de Formatie van Kortrijk
- Fig. 2.14. Isopachen van het Lid van Saint-Maur
- Fig. 2.15. Isohypsen van de basis van het Lid van Moen, in de gearceerde gebieden is het Lid van Moen niet te onderscheiden
- Fig. 2.16. Isopachen van het Lid van Moen
- Fig. 2.17. Isohypsen van de basis van het Lid van Aalbeke, in de gearceerde gebieden is het Lid van Aalbeke niet te onderscheiden
- Fig. 2.18. Belgisch Noordzeegebied - Isohypsen van de basis van het Tertiair
- Fig. 2.19. Lithologie van de Formatie van Tielt in Knokke, Assenede en Kallo
- Fig. 2.20. Isohypsen van de top van het Lid van Kortemark
- Fig. 2.21. Isohypsen van de top van het Lid van Egem
- Fig. 2.22. Lithologie van de Formatie van Gent in Knokke, Assenede en Kallo

Fig. 2.23. Isohypsens van de basis van het Lid van Pittem

Fig. 2.24. Isohypsens van de basis van het Lid van Vlierzele

Fig. 2.25. Isohypsens van de top van het Lid van Vlierzele

Fig. 2.26. Lithologie van de Zenne Groep in Knokke, Assenede en Kallo

Fig. 2.27. Lithologie van de Formatie van Maldegem in Knokke, Assenede en Kallo

Fig. 2.28. Lithologie van de Formatie van Zelzate in Kallo - de Formatie van Zelzate komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

Fig. 2.29. Lithologie van de Formatie van Niel in Kallo - de Formatie van Niel komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

Fig. 2.30. Lithologie van de Formatie van Boom in Kallo - de Formatie van Boom komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

Fig. 2.31. Lithologie van het Neogeen in Kallo - de neogene afzettingen komen niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

Fig. 2.32. Lithologie van het Kwartair in Knokke, Assenede en Kallo

Fig. 2.33. Geologie ter hoogte van Doel

- Fig. 4.1. Zones, waarbinnen vergunde waterwinningen werden opgevraagd :
1) X (70 000, 82 000), Y (220 000, 230 000);
2) X (90 000, 110 000), Y (212 000, 223 000);
3) X (120 000, 158 000), Y (206 000, 233 000).
- Fig. 4.2. Stijghoogten in de Paleozoïsche Sokkel - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)
- Fig. 4.3. Vertikale stroming tussen Sokkel en Landen Groep - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)
- Fig. 4.4. Stijghoogten in de Paleozoïsche Sokkel - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)
- Fig. 4.5. Vertikale stroming tussen Sokkel en Landen Groep - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)
- Fig. 4.6. Voorkomen van de verschillende watertypes in de Sokkel (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS et al., 1990)
- Fig. 4.7. Stijghoogte in de zanden van de Landen Groep - toestand met grondwaterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)
- Fig. 4.8. Stijghoogte in het Lid van Egem - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.9. Stijghoogte in het Lid van Egem - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.10. Isohypsen van de top van de eocene watervoerende laag (naar WALRAEVENS, 1987), in het gearceerde gebied behoort deze laag tot het freatisch grondwaterreservoir
- Fig. 4.11. Isopachen van de eocene watervoerende laag (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.12. Stijghoogte in de eocene watervoerende laag - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.13. Stijghoogte in de eocene watervoerende laag - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.14. Voorkomen van de verschillende watertypes in de eocene watervoerende laag (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS, 1987)

- Fig. 4.15. Stijghoogte in de oligocene watervoerende laag - natuurlijke toestand
(naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.16. Stijghoogte in de oligocene watervoerende laag - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)
- Fig. 4.17. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Vertikale grondwaterstroming in natuurlijke omstandigheden
- Fig. 4.18. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Vertikale grondwaterstroming in de huidige omstandigheden

LIJST VAN TABELLEN

- Tabel 2.1. Technische gegevens van de aangewende boringen
- Tabel 3.1. Kationuitwisselingscapaciteit van kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986)
- Tabel 3.2. Natuurlijke radioactiviteit van kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986)
- Tabel 3.3. Natuurlijke radioactiviteit van mica's (SCHLUMBERGER, 1986)
- Tabel 3.4. Chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk
- Tabel 4.1. Waterwinningen uit het Lid van Egem in en in de omgeving van het gebied Knokke (gegevens AMINAL)
- Tabel 4.2. Vergunde debieten uit de eocene watervoerende laag (1990) in West- en Oost-Vlaanderen (uit BOLLE & DE BREUCK, 1992)
- Tabel 4.3. Waterwinningen uit de eocene watervoerende laag in en in de omgeving van het gebied Knokke (gegevens AMINAL)
- Tabel 4.4. Waterwinningen uit de eocene watervoerende laag in en in de omgeving van het gebied Sint-Laureins - Assenede
- Tabel 4.5. Waterwinningen uit de eocene watervoerende laag in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.6. Waterwinningen uit het Lid van Bassevelde in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.7. Waterwinningen uit het Lid van Ruisbroek in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.8. Doorlatendheden van de neogene formaties en leden in het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.9. Waterwinningen uit de miocene afzettingen in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.10. Waterwinningen uit de Formatie van Kattendijk in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.11. Waterwinningen uit de Formatie van Lillo in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren
- Tabel 4.12. Doorlatendheden van de kwartaire afzettingen in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren

Tabel 4.13. Waterwinningen uit de kwartaire afzettingen in en in de omgeving van het gebied Knokke

Tabel 4.14. Waterwinningen uit de kwartaire afzettingen in en in de omgeving van het gebied Sint-Laureins - Assenede

Tabel 4.15. Waterwinningen uit de kwartaire afzettingen in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren

1. INLEIDING

In de loop van november 1994 verzocht het NIRAS het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Universiteit Gent (LTGH) een inventaris te maken van de beschikbare gegevens over de Ieperiaanklei in functie van diepe berging van hoogradioactief afval in België. Deze inventarisatie werd opgedeeld in drie fazen.

Tijdens faze 1 werden de gegevens over de Ieperiaanklei in België verzameld en verwerkt. Op basis van de geometrische factoren en de lithologische eigenschappen van de Formatie van Kortrijk (Ieperiaanklei) werden de gebieden aangeduid die weerhouden kunnen worden voor de berging van hoogradioactief afval in de Formatie van Kortrijk.

Tijdens faze 2 werden deze gebieden meer in detail onderzocht. Ten behoeve van het maken van interpolaties werd het studiegebied voor faze 2 echter ruimer genomen. Het verslag van faze 2 werd als volgt opgebouwd :

2. Lithostratigrafie en sedimentologie;
3. Mineralogische en chemische samenstelling;
4. Watervoerende lagen;
5. Samenvatting en algemeen besluit.

2. LITHOSTRATIGRAFIE EN SEDIMENTOLOGIE

2.1. Inleiding

Tijdens fase 1 werden de potentiële bergingsgebieden in de Formatie van Kortrijk afgebakend aan de hand van de lithologische en geometrische kenmerken. Hierbij werd geen rekening gehouden met de eigenschappen van de onder en boven de Formatie van Kortrijk voorkomende lagen. De aard van het gestelde probleem vereist een zo gedetailleerd mogelijke kennis van de plaatselijke geologie. In voorliggend hoofdstuk wordt hier dieper op ingegaan.

Op het Belgische vasteland is het potentieel bergingsgebied in de Formatie van Kortrijk opgesplitst in drie delen, allen gelegen in het noorden van België (Fig. 2.1). Het zijn : het gebied Knokke, het gebied Sint-Laureins - Assenede en het gebied Sint-Niklaas - Beveren. De geologie van de drie gebieden kan afgeleid worden uit een aantal diepe boringen. Als referentieboringen werden Knokke (LAGA & VANDENBERGHE, 1990), Assenede (LAGA, 1990), Kallo (GULINCK, 1969) en Woensdrecht (TESCH, 1912; WATERSCHOOT VAN DER GRACHT et al., 1913) gekozen (Fig. 2.2).

De geofysische boorgatmeting van de boring Knokke wordt voorgesteld in figuur 2.3. In Knokke werden volgen boorgatmetingen uitgevoerd : spontane potentiaal, gammastraling, diameter en elektrische weerstand. In Assenede werden dezelfde 4 boorgatmetingen uitgevoerd.

Er kan worden opgemerkt dat de strekking van het Tertiair ongeveer evenwijdig loopt met de lijn Knokke - Assenede. Hierdoor is de geologische opbouw van het Tertiair in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede vrij gelijkaardig. Een overzicht van de gebruikte puntgegevens wordt gegeven op figuur 2.4. De technische gegevens van de geraadpleegde boringen zijn vermeld in tabel 2.1.

Op basis van de puntgegevens werden verschillende isohypsen- en isopachenkaarten gemaakt. Hierbij werden de verschillende lagen van de Ieper Groep uitgebreid behandeld. Ook van de onderliggende Landen Groep werden isohypsen- en isopachenkaarten gemaakt. Hiervoor werd beroep gedaan op het doctoraat van DE GEYTER (1980). Omdat de bovenliggende Zenne Groep één watervoerende laag vormt met het onderliggende Lid van Vlierzele en het bovenliggende Lid van Wommel, werden de isohypsen- en isopachenkaarten van dit geheel in het hoofdstuk "Watervoerende lagen" gevoegd.

Uit figuur 2.4 kan men afleiden dat de informatie over de geologie in de drie gebieden relatief beperkt is. Hierbij dient vermeld dat enkel de boring Knokke en de boring Kallo de basis van het Ieperiaan bereiken. Hierdoor zijn de kaarten met isohypsen en isopachen voornamelijk gebaseerd op de beschikbare gegevens in het volledige studiegebied. De gegevens in de eigenlijke bergingsgebieden werden voor een groot deel door extrapolatie bekomen. De boring te Assenede in het gebied Sint-Laureins - Assenede reikt tot in het

Lid van Egem. Informatie over de onderliggende lagen is in dit gebied niet beschikbaar waardoor isohypsen isopachen niet aan tastbare gegevens konden worden getoetst.

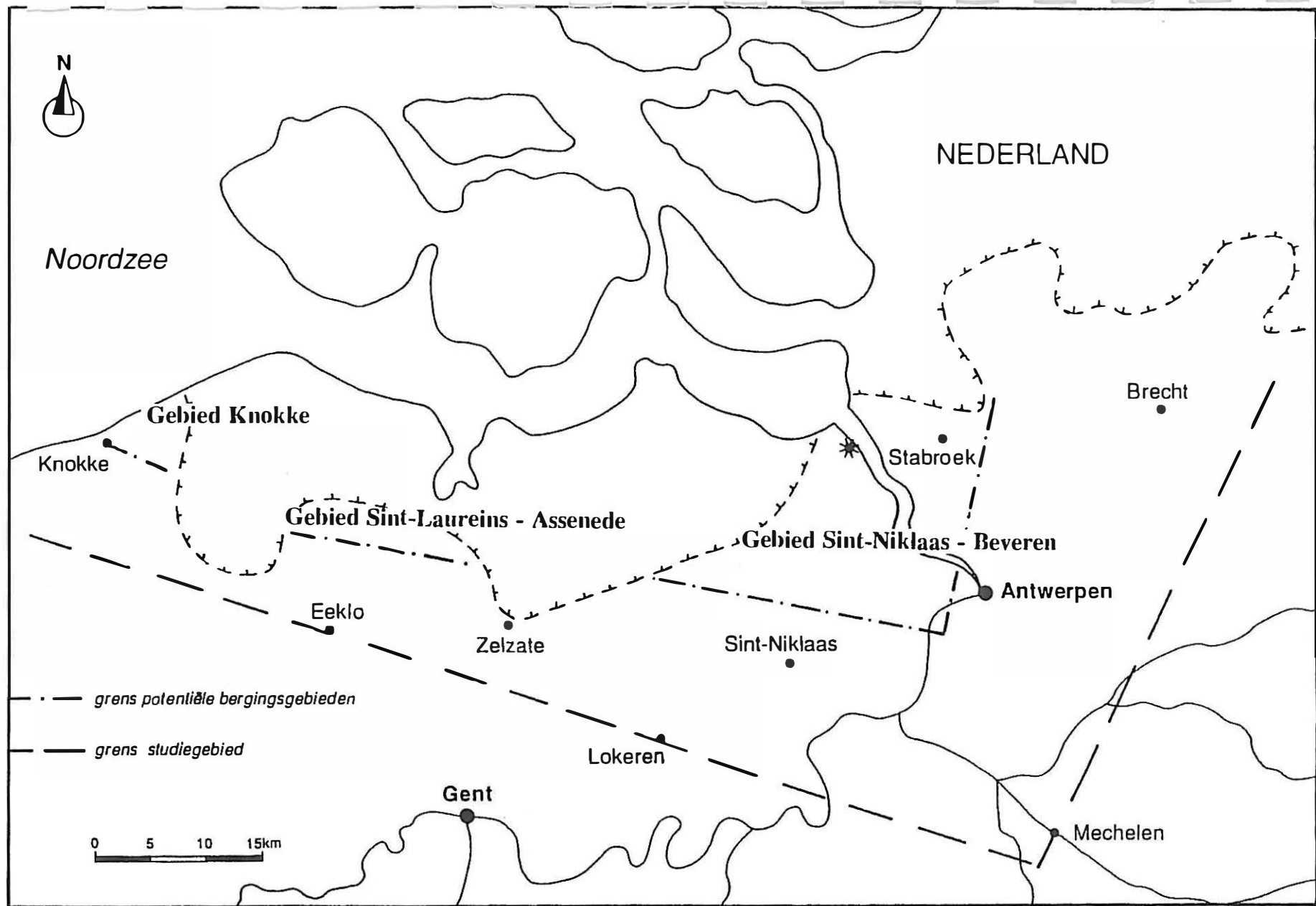


Fig. 2.1. Potentiële bergingsgebieden in de Formatie van Kortrijk

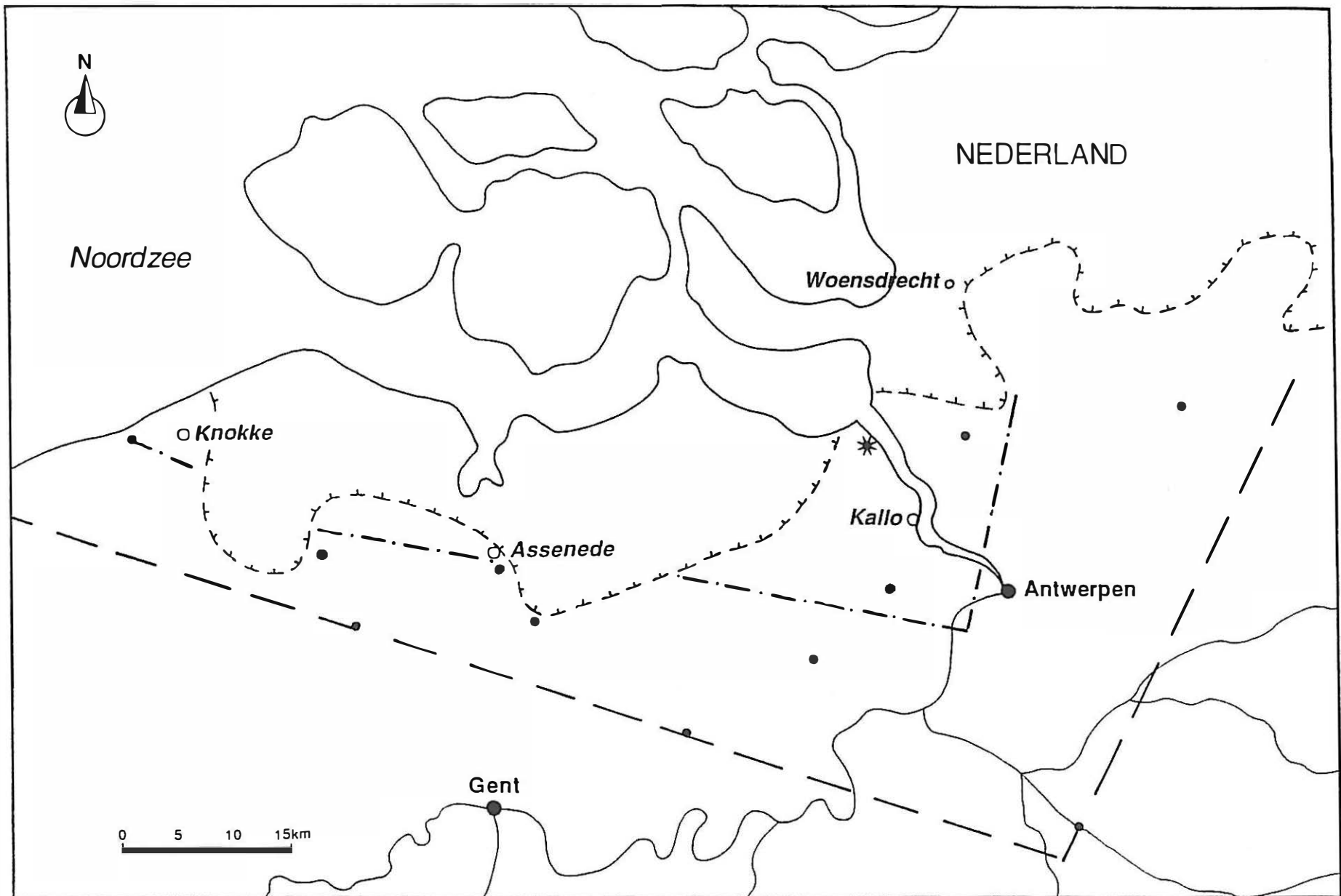


Fig. 2.2. Ligging van de referentieboringen

KNOKKE 11E nr 138

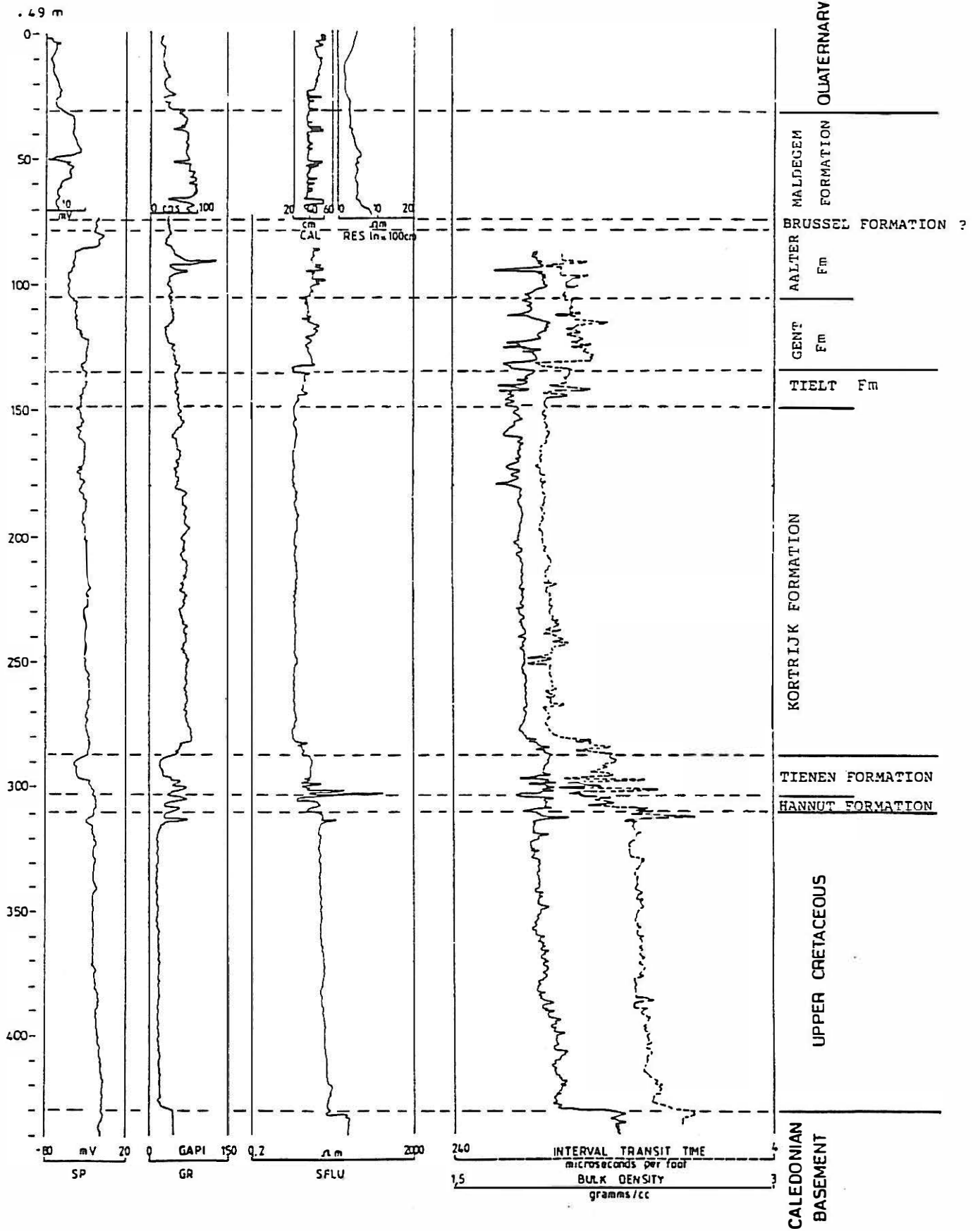


Fig. 2.3. De geofysische boorgatmeting van de referentiebooring Knokke (uit LAGA & VANDENBERGHE, 1990)

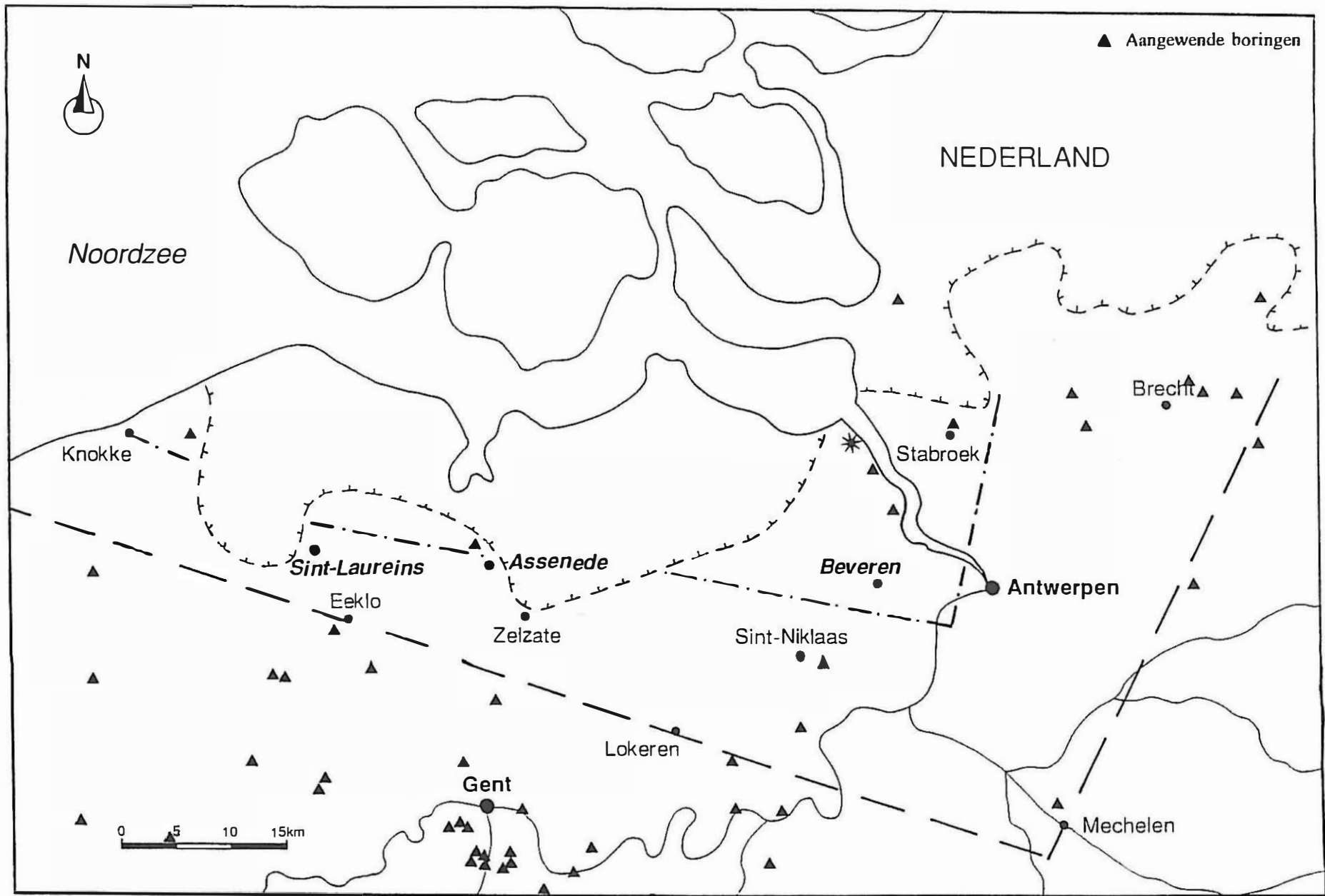


Fig. 2.4. *Overzicht van de gebruikte puntgegevens*

Plaats	X	Y	Z	Archief	TGO	Nr.
Pittem	70 440	188 940	+ 35,50	BGD		53W73
Merelbeke	105 480	188 200	+ 8,85	LTGH	8607	M15F1
Zwijnaarde	105 760	188 560	+ 7,13	LTGH	86073	B21F1
Merelbeke	105 460	188 140	+ 8,65	LTGH	86073	O14F1
Zwijnaarde	105 540	188 380	+ 6,86	LTGH	86073	Yd4
Zwijnaarde	105 460	188 680	+ 7,20	LTGH	86073	R15F1
Zwijnaarde	105 950	188 280	+ 7,96	LTGH	86073	G25F1
Zwijnaarde	106 130	188 040	+ 7,83	LTGH	86073	L30F1
Wieze	130 300	185 720	+ 10,00	BGD		71E116
Oosterzele	110 560	182 320	+ 57,00	BGD		70E237
Dendermonde	131 600	190 800	+ 5,00	BGD		56E231
Destelbergen	109 690	193 130	+ 4,50	LTGH	87095	SB
Oostkamp	70 700	203 000	+ 12,25	LTGH	88049	
Vlierzele	116 900	180 720	+ 40,00	BGD		71W251
Aalter	85 000	196 900	+ 20,00	BGD		54W84
Eke	99 320	184 620	+ 10,00	BGD		70W752
Gent	103 855	190 735	+ 10,47	BGD		55W1020
Gent	105 263	190 807	+ 10,00	BGD		55W1241
Melle	111 125	187 425	+ 12,00	BGD		70E183
Bavegem	115 430	180 931	+ 30,23	LTGH	89041	PB3
Dendermonde	127 369	190 475	+ 4,96	LTGH	91021	SB2
Dendermonde	127 458	190 948	+ 3,45	LTGH	91021	PB6
Wippelgem	105 385	203 240	+ 6,50	LTGH	92009	
Gent	104 867	190 696	+ 10,50	BGD		55W1021
Volkegem	99 040	169 180	+ 89,19	LTGH	92024	
Oostduinkerke	30 500	202 625	+ 7,00	BGD		35E142
Kortemark	56 775	190 400	+ 16,00	Desimpel		
Merelbeke	107 701	187 666	+ 10,00	LTGH	89061	
Torhout	58 300	197 550	+ 26,70	BGD		52E195
Nevele	91 440	195 165	+ 10,00	BGD		54E196
Wetteren	114 460	188 520	+ 5,00	LTGH	90004	P1
Wetteren	112 905	186 805	+ 15,00	LTGH	89009	
Tielt	78 490	188 422	+ 42,50	BGD		68E169
Knokke	78 776	226 370	+ 4,90	BGD		11E138
De Haan	54 582	216 649	+ 5,02	BGD		22W276
Brugge	69 380	214 080	+ 3,50	BGD		23W375
Zandvoorde	51 865	211 860	+ 2,50	BGD		22W279
Ursel	87 925	204 328	+ 31,82	BGD		39W212
Maldegem	86 825	205 875	+ 21,33	BGD		39W213
Assenede	107 615	215 180	+ 3,48	BGD		25E123
Rijkvorsel	175 610	227 356	+ 27,80	Distrigaz		DZH 14
Sint-Lenaarts	172 063	228 544	+ 23,60	Distrigaz		DZH 16
Wuustwezel	172 405	227 419	+ 25,70	Distrigaz		DZH 19
Wuustwezel	160 165	227 770	+ 25,00	BGD		15E298
Brasschaat	161 725	224 550	+ 24,61	BGD		15E267
Meer	177 378	237 303	+ 13,22	BGD		7E205
Meer	175 725	236 845	+ 15,87	BGD		7E195
Woensdrecht	145 000	237 000	+ 4,08	artikel : Tesch, 1912		
Zandhoven	169 920	211625	+ 10,30	BGD		29E144
Waarschoot	97 250	205 400	+ 8,00	BGD		39E48
Sint-Niklaas	136 110	204 060	+ 26,00	BGD		42W226

Plaats	X	Y	Z	Archief	TGO	Nr.
Hamme	133 390	198 820	+ 5,00	BGD		42W155
Zeke	125 930	195 130	+ 27,00	BGD		56E6
Oostende	47 000	213 420	+ 0,00	BGD		21E129
Eeklo	93 880	208 225	+ 9,00	BGD		24E50
Doel	142 500	224 445	+ 8,00	BGD		14E118
Kallo	144 860	217 840	+ 2,00	BGD		27E148
Kruishoutem	90 600	177 350	+ 45,00	BGD		84E1362(I)
Erpe	123 050	179 700	+ 42,00	BGD		71E34
Mere	121 925	176 555	+ 21,00	BGD		71E202
Egem	70 150	190 150	+ 45,00	Groeve Ampe		
Meulebeke	77 100	182 000	+ 27,00	BGD		86E200
Oordegem	117 350	182 675	+ 46,00	BGD		71W33
Hooglede	62 015	188 145	+ 30,00	BGD		67E178
Ooigem	75 958	177 130	+ 19,00	BGD		83E407
Gent	105 220	198 550	+ 5,00	BGD		14W303
Gent	108 054	202 838	+ 5,00	BGD		14E170
Oostmalle	177 010	222 800	+ 25,00	Distrigaz		DZH 26

Tabel 2.1 - Technische gegevens van de aangewende boringen

2.2. Paleozoïsche Sokkel

De Paleozoïsche Sokkel, behorend tot het Massief van Brabant, bestaat in de drie gebieden voornamelijk uit gesteenten uit het Siluur en in mindere mate uit het Ordovicium (DE VOS et al., 1993).

In het totale studiegebied komen er ook nog gesteenten uit het Cambrium, Devoon en Carboon voor. Een groot deel van de Paleozoïsche Sokkel bestaat uit schalies, phylladen en schisten. In West- en Oost-Vlaanderen bestaat de Sokkel hoofdzakelijk uit kwartsiet en leistenen. Naar het noordoosten toe komt het Massief van Brabant op steeds grotere diepte voor. De top van de Sokkel vormt, omwille van de aanwezigheid van spleten een belangrijke watervoerende laag, waar in de potentiële bergingsgebieden echter geen water uit wordt gewonnen.

Gebied Knokke

In het gebied Knokke bestaat de top van de Sokkel uit gespleten leistenen, waarschijnlijk uit het Ordovicium/Siluur.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het Massief van Brabant waarschijnlijk uit gesteenten uit het Ordovicium/Siluur. Gegevens over het Massief van Brabant ontbreken ter plaatse.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren bestaat de top van het Massief van Brabant ter hoogte van de boring Kallo uit grijze, harde gespleten phylladen (GULINCK, 1969). Uit de kaart van DE VOS et al. (1993) kan worden afgeleid dat de sokkelgesteenten in het gebied vooral tot het Ordovicium en/of het Siluur behoren. In het noordoosten van het gebied komen ook carboon- en devoongesteenten voor (LEGRAND, 1968).

2.3. Krijt

De krijtgesteenten zijn in het studiegebied van Boven-Krijt ouderdom (Santoniaan, Campa- niaan en Maastrichtiaan). Voor het grootste gedeelte bestaan de gesteenten uit krijt en andere carbonaatrijke sedimenten (LOUWYE, 1992).

In de krijtafzettingen komt een uitgebreid spletennet voor. Naar het noorden toe bevindt de top van het Krijt zich op steeds grotere diepte, waardoor de dichtheid van het spleten- net en het watervoerend vermogen van de formaties in deze richting afnemen (LEBBE et al., 1987).

De hydrogeologische aard van het Krijt varieert sterk van streek tot streek. De afzettingen van het Boven-Krijt, die in het studiegebied voorkomen, hebben een kleine doorlatendheid en worden, samen met de basis van de Landen Groep, als één slecht-doorlatende laag beschouwd (LEBBE et al., 1987).

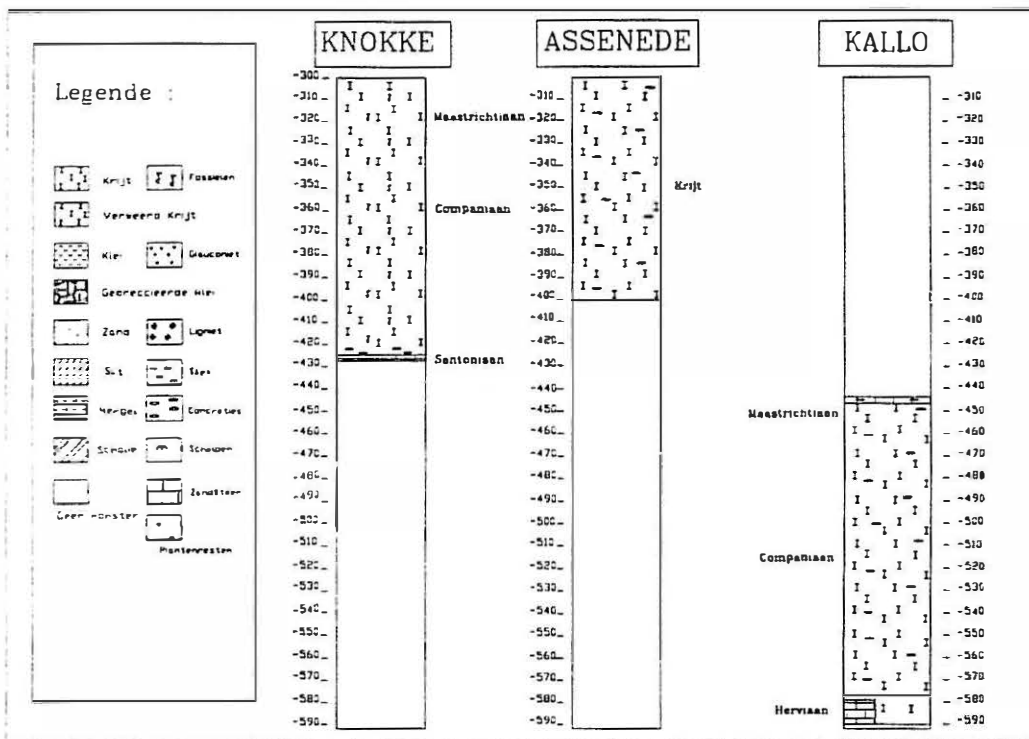


Fig. 2.5. Lithologie van het Krijt in Knokke, Assenede en Kallo

Meer naar het oosten toe vormt het bovenste gedeelte van het Krijt (Maastrichtiaan en Campaniaan), samen met de krijtsedimenten van het Tertiair, een watervoerende laag. Wegens verzilting strekt het gebied dat in aanmerking komt voor drinkwatervoorziening zich niet in het studiegebied uit.

In figuur 2.5 wordt de lithologische opbouw van het Krijt in de drie gebieden geïllustreerd. Ter hoogte van Assenede zijn de gegevens bekomen door extrapollatie.

Gebied Knokke

In de referentieboring Knokke bestaat het Krijt uit een relatief homogene laag fijnkorrelige witte kalk met fossielresten en zwartbruine pyrietrijke lagen en plekken. Meerdere dunne verharde horizonten komen verspreid voor en in zijn geheel wordt het Krijt harder met de diepte. De ouderdom is grotendeels Campaniaan, doch de top zou van Vroeg-Maastrichtiaan ouderdom zijn (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

De basis is meer gedifferentieerd, begint met kleine zwarte fosfaathoudende kiezelsteentjes en wordt daarna glauconiethoudend. De eigenlijke basis is een groene gecementeerde glauconiethoudende zandsteen met kleine zwarte knollen en visresten. De basis bestaat uit gesteenten van Laat-Santoniaan ouderdom (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

In het totaal is het Krijt in de boring te Knokke ongeveer 120 m dik.

In het gebied Knokke is het Krijt waarschijnlijk te weinig doorlatend om grondwaterwinning toe te laten (VERMOORTEL et al., 1992). Bovendien is het grondwater uit het Krijt wellicht verzilt.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Volgens LEGRAND (1968) is het Krijt in het gebied Sint-Laureins - Assenede ongeveer 75 m dik en van Boven-Krijt ouderdom. In dit gebied werd het krijt niet aangeboord. Er kan worden verondersteld dat de lithologie ongeveer gelijkaardig is als deze van de krijtgesteenten in Knokke. Er wordt verondersteld dat de doorlatendheid klein is. Het grondwater uit het Krijt is in het gebied Sint-Laureins - Assenede waarschijnlijk verzilt.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de referentieboringen Kallo en Woensdrecht bestaan de gesteenten van het Campaniaan uit wit grijsachtig krijt en deze van het Maastrichtiaan uit tufkrijt met soms harde banken. Aan de basis komen krijthoudende mergels voor. Op de grens tussen de Formatie van Heers (Tertiair) en het Krijt bevinden zich vuurstenen. In Kallo is het Krijt 146 m, in Woensdrecht 238 m dik.

In de boring van Sint-Niklaas kan eenzelfde opeenvolging worden vastgesteld en is het Krijt 101 m dik. In Meer bestaan de krijtgesteenten van het Maastrichtiaan uit poreus krijt. De onderliggende gesteenten bezitten een lagere porositeit. In Meer is het Krijt 352 m dik (VANDENBERGHE et al., 1988).

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de doorlatendheid van het Krijt gekend. Meer naar het oosten toe, in Meer, bestaat de top van het Maastrichtiaan uit poreuse krijt en vormt een watervoerende laag. De onderliggende gesteenten bezitten een lagere porositeit (VANDENBERGHE et al., 1988). Het grondwater uit het Krijt is in het gebied Sint-Niklaas - Beveren wellicht verzilt.

2.4. Tertiair

De opbouw van het Tertiair werd afgeleid aan de hand van de aanwezige diepe boringen. Daarnaast werd beroep gedaan op een overzicht van het Belgische Tertiair (VANDENBERGHE et al. (in druk)). Hierin wordt naast de lithologische en stratigrafische kenmerken, de verbreiding van de verschillende eenheden geresumeerd aan de hand van verschillende doorsneden.

2.4.1. Haine-Haspengouw Groep

In figuur 2.6 wordt de geologische opbouw van het Paleoceen (Haine-Haspengouw Groep, Formatie van Heers en Landen Groep) in de drie gebieden voorgesteld. Ter hoogte van Assenede is deze informatie bekomen door extrapollatie.

2.4.1.1. Formatie van Houthem

De Formatie van Houthem komt enkel in het noordoosten van het studiegebied, ten noorden van Antwerpen, voor. De formatie vormt er de basis van het Tertiair en bestaat uit poreuse mariene krijtgesteenten, waarvan de lithologie gelijkaardig is aan deze van het onderliggende Maastrichtiaan (VANDENBERGHE et al., in druk). Aan het contact met het onderliggende Maastrichtiaan wordt dikwijls een harde laag aangetroffen (MARECHAL & LAGA, 1988).

Ter hoogte van Meer bestaat de Formatie van Houthem (dikte : 26 m) uit zachte lichtgrijze tot lichtgele overwegend grofkorrelige poreuse kalksteen met harde schelpenbanken en kalksteenknollen (VANDENBERGHE et al., 1988).

Gebied Knokke

In het gebied Knokke komt de Formatie van Houthem niet voor.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Houthem eveneens niet voor.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Het is niet duidelijk of de Formatie van Houthem in delen van het gebied Sint-Niklaas - Beveren voorkomt.

2.4.2. Formatie van Heers

De Formatie van Heers bestaat uit een witte, zeer kalkhoudende en licht glauconiethoudende mergel (Lid van Gelinden) met aan de basis groene glauconiethoudende zanden (Lid van Orp), boven het basisgrind (DE GEYTER, 1980).

In het studiegebied vormt de Formatie van Heers een slecht doorlatende laag.

Gebied Knokke

In het gebied Knokke komt de Formatie van Heers niet voor.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ook in het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Heers niet voor.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De Formatie van Heers wordt aangetroffen in de referentieboringen Kallo en Woensdrecht en in talrijke andere boringen in het oosten van het studiegebied.

In Kallo bestaat de Formatie van Heers uit fijnzandige mergel. Ter hoogte van Woensdrecht vangt ze aan met silexkeien waarboven mergel voorkomt. De dikte varieert van ongeveer 2 m in Kallo tot 17,50 m in Woensdrecht.

2.4.3. Landen Groep

De isohypsen van de basis van de Landen Groep zijn voorgesteld op figuur 2.7; de isopachen op figuur 2.8 (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980). Omdat de Formatie van Kortrijk onderaan door de Landen Groep begrensd wordt, moet voldoende aandacht aan de lithologie worden geschonken. Algemeen vormt het bovenste gedeelte van de Landen Groep een watervoerende laag, terwijl het onderste gedeelte als slecht doorlatend wordt beschouwd.

2.4.3.1. Formatie van Hannut

De Formatie van Hannut wordt in de ondergrond van het grootste deel van Noord-België aangetroffen. Het is een mariene eenheid die bestaat uit klei, zandige klei en silt, kiezelrijke kalk- en siltsteen en glauconietrijke kiezelgesteenten. De dikte vermindert van meer dan 100 m in de Kempen tot 20 à 40 m in NW-België. In het noorden van West-Vlaanderen (Oostende, Knokke) vermindert het belang van deze eenheid (MARECHAL & LAGA, 1988). De formatie wordt ingedeeld in verschillende leden; alleen de in het studiegebied voorkomende leden worden hier vermeld. Het gaat om het kleiige Lid van Waterschei, het siltige Lid van Halen en het zandige Lid van Grandglise.

De onderste eenheid, de klei van het Lid van Waterschei wordt enkel aangetroffen in het oosten van het studiegebied. De silt van het Lid van Halen komt in het volledige studiegebied voor. Het zand van het Lid van Grandglise (homogeen glauconiethoudend fijn marien zand) bedekt in het grootste deel van het Belgische Bekken de fijnkorrelige mariene basiseenheden, maar komt in het noorden van België niet voor. In het studiegebied komt het enkel ten oosten van het Gentse voor terwijl het ten noorden van het Boomse eveneens uitwigt (VANDENBERGHE et al., in druk).

Legende :

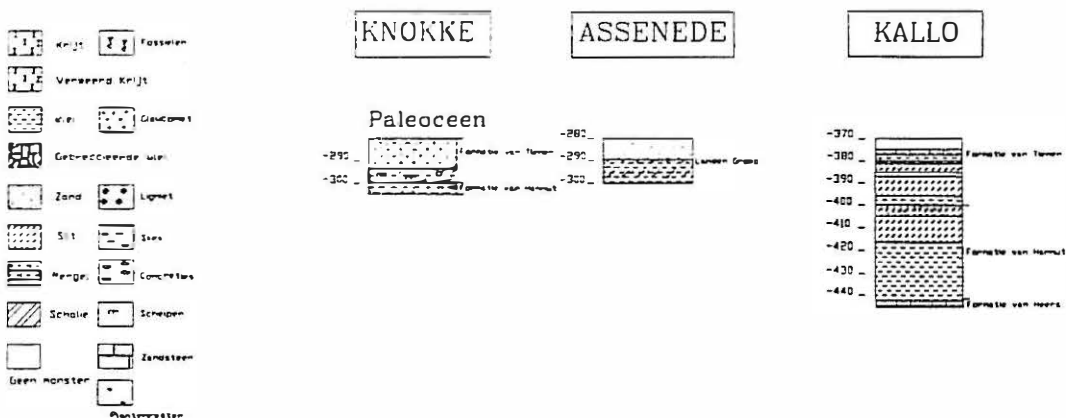


Fig. 2.6. Lithologie van het Paleoceen in Knokke, Assenede en Kallo

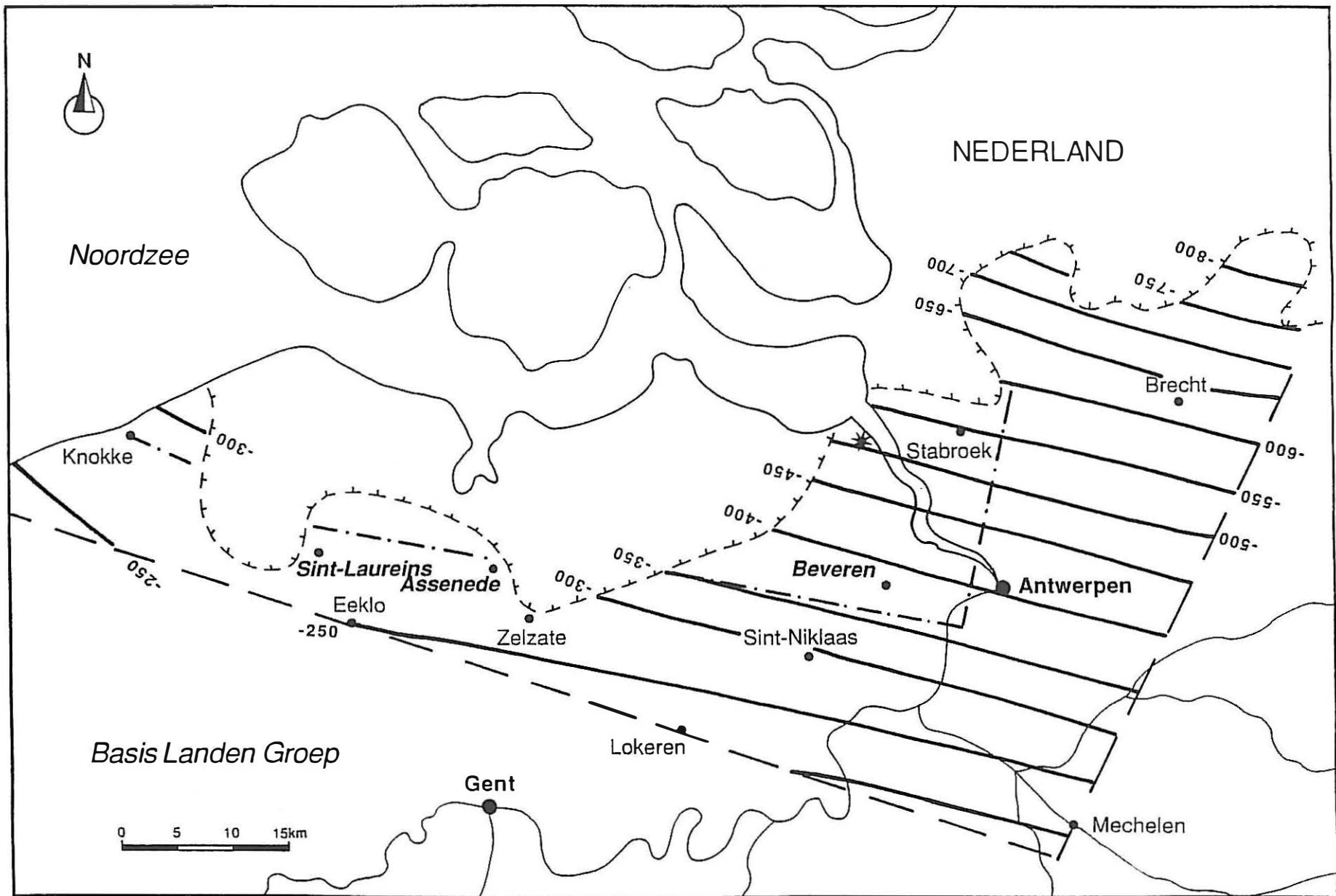


Fig. 2.7. Isohypsens van de basis van de Landen Groep
(licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)

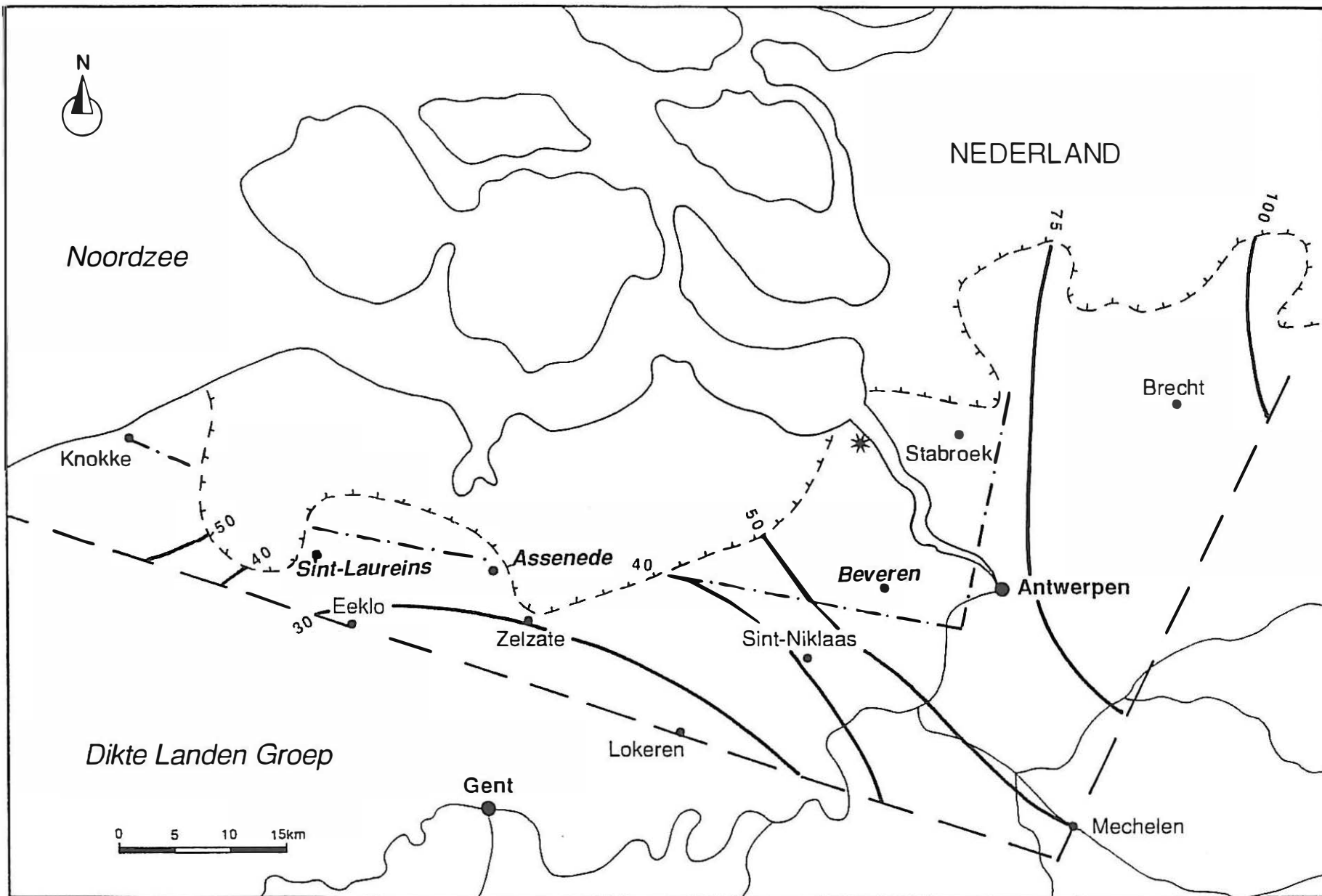


Fig. 2.8. *Isopachen van de Landen Groep*
 (licht gewijzigd naar DE GEYTER, 1980)

Gebied Knokke

In het gebied Knokke bestaat de Formatie van Hannut uit grijze zandige of siltige kleien en kleiige zanden (Lid van Halen) (DE GEYTER, 1980; VANDENBERGHE et al., in druk). In de referentieboring te Knokke wordt maar een heel klein deel van de landnaanafzettingen tot de Formatie van Hannut gerekend (3 m dik). Het is een licht gekleurd kleiig fijn zand met laminae van zand en klei aan de basis (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In dit gebied zijn geen preciese gegevens over de Formatie van Hannut beschikbaar.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In dit gebied wordt de basis van de Formatie van Hannut gevormd door een homogene kleiige afzetting van het Lid van Waterschei (kalkhoudende en silthoudende klei). Hoger in de stratigrafische kolom neemt het belang van de grovere terrigene componenten geleidelijk toe en wordt het Lid van Halen (kleiige silt) aangetroffen (DE GEYTER, 1980).

In Kallo bestaat de Formatie van Hannut (44 m dik) uit zware klei en min of meer kleihoudende en wat versteende silt, waarboven glauconiethoudende fijne zanden voorkomen. De Formatie van Hannut heeft er min of meer dezelfde samenstelling als in het noorden en noordoosten van België (GULINCK, 1969).

In Woensdrecht bestaat de Formatie van Hannut uit 10 m klei, gevolgd door 26 m fijn zand dat naar boven toe overgaat in een zandige klei.

2.4.3.2. Formatie van Tienen

De fluvio-lagunaire Formatie van Tienen komt in een gedeelte van NO-België en in het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen voor (MARECHAL & LAGA, 1980). In het studiegebied bestaat de Formatie van Tienen uit het Lid van Knokke.

Het Lid van Knokke is een overwegend lagunaire afzetting en bestaat uit zwarte lignietrijke klei, grijsgroen siltig zand en schelpenkalksteen. Deze eenheid wordt aangetroffen in het noorden van de provincies West- en Oost-Vlaanderen en in het zuiden van Nederland; de zuidelijke begrenzing is niet precies gekend. De maximale dikte bedraagt ongeveer 26 m (Oostende) (MARECHAL & LAGA, 1988).

Gebied Knokke

In het westen vormt het Lid van Knokke een lagunaire afzetting, bestaande uit een complex van ligniethoudende zanden en kleien waarin zich fossiele mollusken bevinden (VANDENBERGHE et al., in druk). In de boring te Knokke bestaat het Lid van Knokke uit siltige klei, fijn kleiig zand, schelpenfragmenten en een compacte schelpenbank waarboven littorale zandafzettingen voorkomen (LAGA & VANDENBERGHE, 1990). Te Knokke is de Formatie van Tienen 20 m dik.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In dit gebied werd de Formatie van Tienen tot nu toe niet aangeboord. Men mag echter veronderstellen dat deze heterogene afzettingen ook hier voorkomen. Een gelijkaardige lithologie als in Knokke wordt verondersteld.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Kallo werd de Formatie van Tienen in 1967 door GULINCK beschreven. Uit de boorbeschrijving blijkt de complexe samenstelling van de formatie. Ze bestaat uit een opeenvolging van zwarte ligniteuse klei, schelpenrijke kalksteen, fijn zand, silteus zand, een complex van mergel-klei-zand, zeer fijn gelaagd silt en gebioturbeerde silt. De Formatie van Tienen is te Kallo zeer goed ontwikkeld (GULINCK, 1969). Het bezit is er 21 m dik. In Woensdrecht is ze 30 m dik. Ze bestaat er uit 16 m grijze klei en 14 m lagen fijn humeus zand, afgegewisseld met zandige klei en ligniet.

2.4.4. De Ieper Groep

2.4.4.1. De Formatie van Kortrijk

In figuur 2.9 wordt de lithologische opbouw van de Formatie van Kortrijk in de drie potentiële bergingsgebieden voorgesteld. De gegevens ter hoogte van Assenede zijn gebaseerd op interpolatie. Figuur 2.10 vat de granulometrische samenstelling samen (GEETS, 1988).

De Formatie van Kortrijk is van onder naar boven opgebouwd uit het Lid van Mont-Héribu, het Lid van Saint-Maur, het Lid van Moen en het Lid van Aalbeke.

De afzettingen van het Lid van Saint-Maur, die een groot deel van het bekken in België innemen en op sommige plaatsen meer dan 100 m dik zijn, vertonen een merkwaardig homogeen karakter. De afzettingen van het Lid van Moen worden gekenmerkt door hun heterogeniteit. De meest voorkomende structuur is een fijne horizontale laminatie, dikwijls onduidelijk of verstoord door bioturbatie. Regelmatig komen schelpen voor, ofwel verspreid in het sediment, ofwel geconcentreerd in dunne laagjes. De afzettingen van het Lid van Aalbeke vertonen opnieuw een grote homogeniteit. Ze zijn fijngelaagd of compact

(GEETS, 1988).

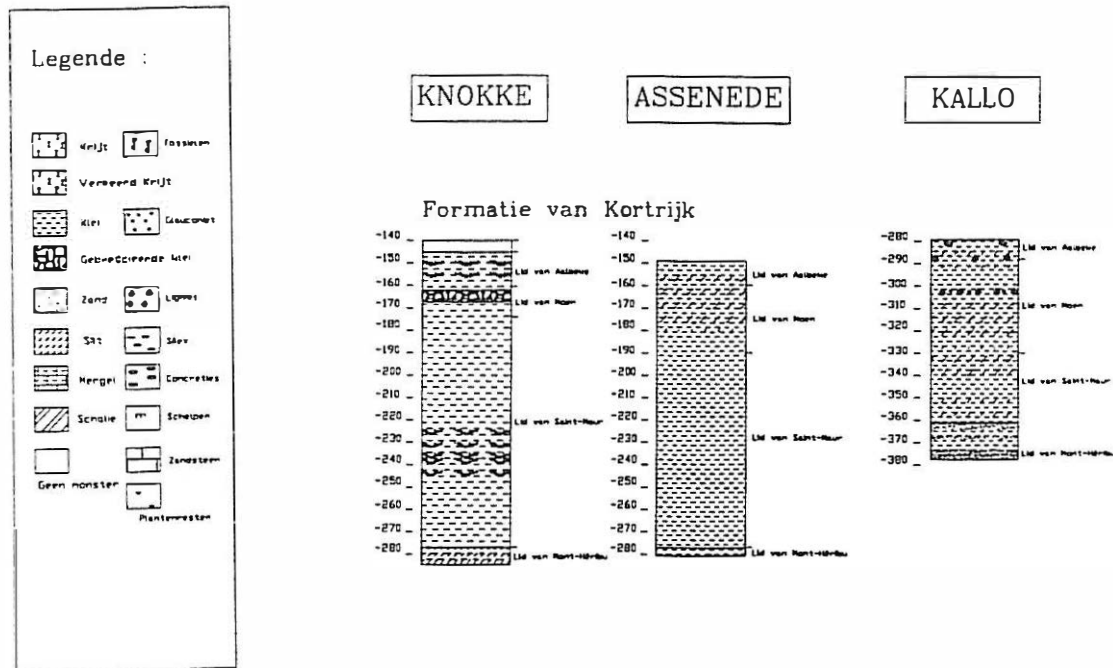


Fig. 2.9. Lithologie van de Formatie van Kortrijk in Knokke, Assenede en Kallo

Over de verticale doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk zijn tot nu toe geen precieze gekend. Zowel het Lid van Saint-Maur als het Lid van Aalbeke kunnen als zeer slecht doorlatend worden beschouwd. De doorlatendheid van het Lid van Moen varieert naargelang de lithologische samenstelling en zal toenemen naar het oosten van het studiegebied toe. Ook doorheen een zware klei als deze van de Formatie van Kortrijk sijpelt er, weliswaar zeer traag, grondwater. De veronderstelde doorlatendheid van de Formatie van Kortrijk in West- en Oost-Vlaanderen bedraagt $7,3 \cdot 10^{-11}$ m/s (LEBBE et al., 1987).

De isohypsen van de basis en de top van de Formatie van Kortrijk worden respectievelijk voorgesteld op de figuren 2.11 en 2.12; de isopachen op figuur 2.13.

De isopachen van het Lid van Saint-Maur en van het Lid van Moen zijn voorgesteld op de

figuren 2.14 en 2.16. De isohypsen van de basis van het Lid van Moen en van de basis van het Lid van Aalbeke zijn respectievelijk voorgesteld op figuur 2.15 en 2.17.

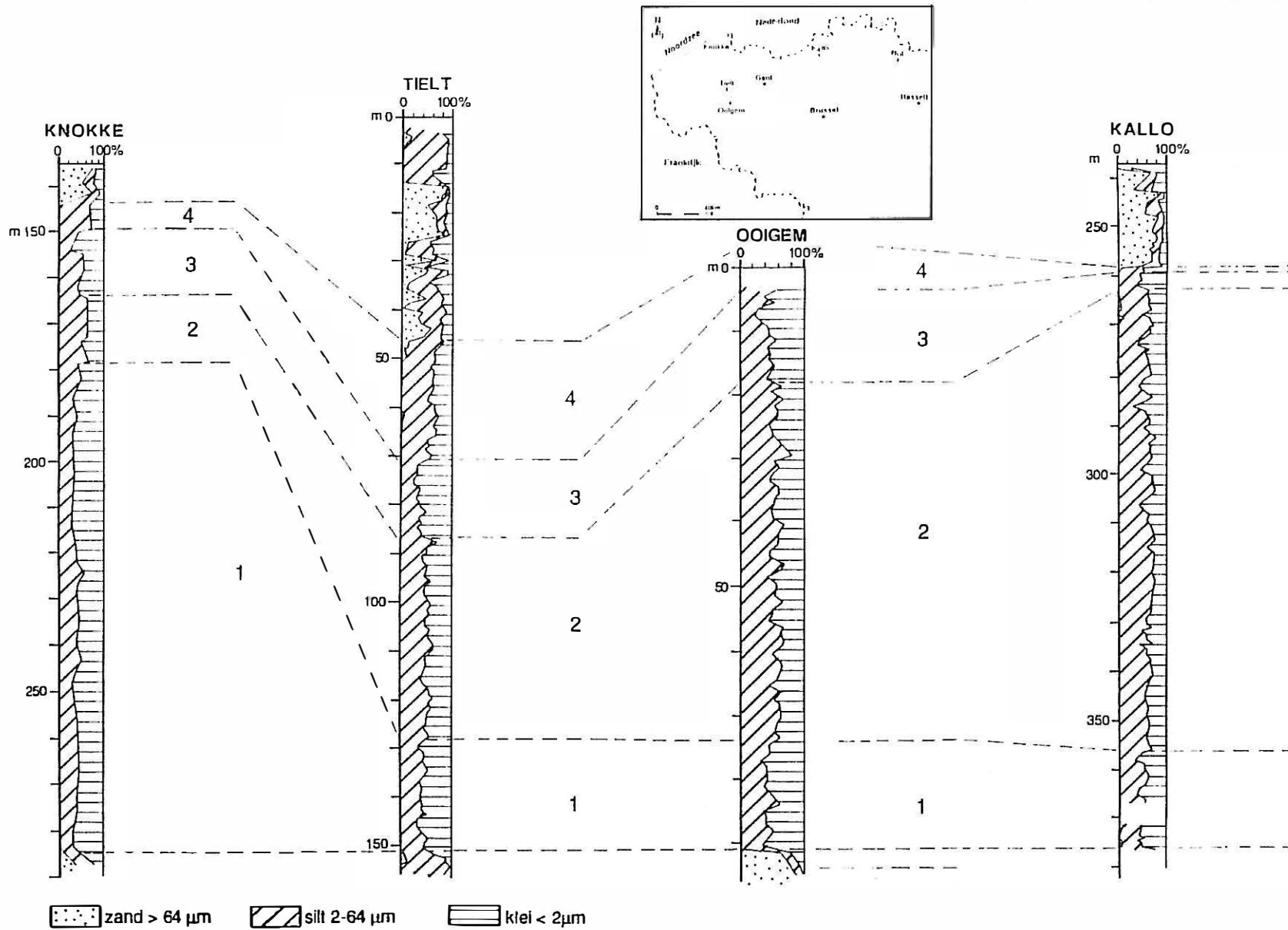


Fig. 2.10. Sedimentologische kenmerken van de Fornatie van Kortrijk (GEETS, 1988)

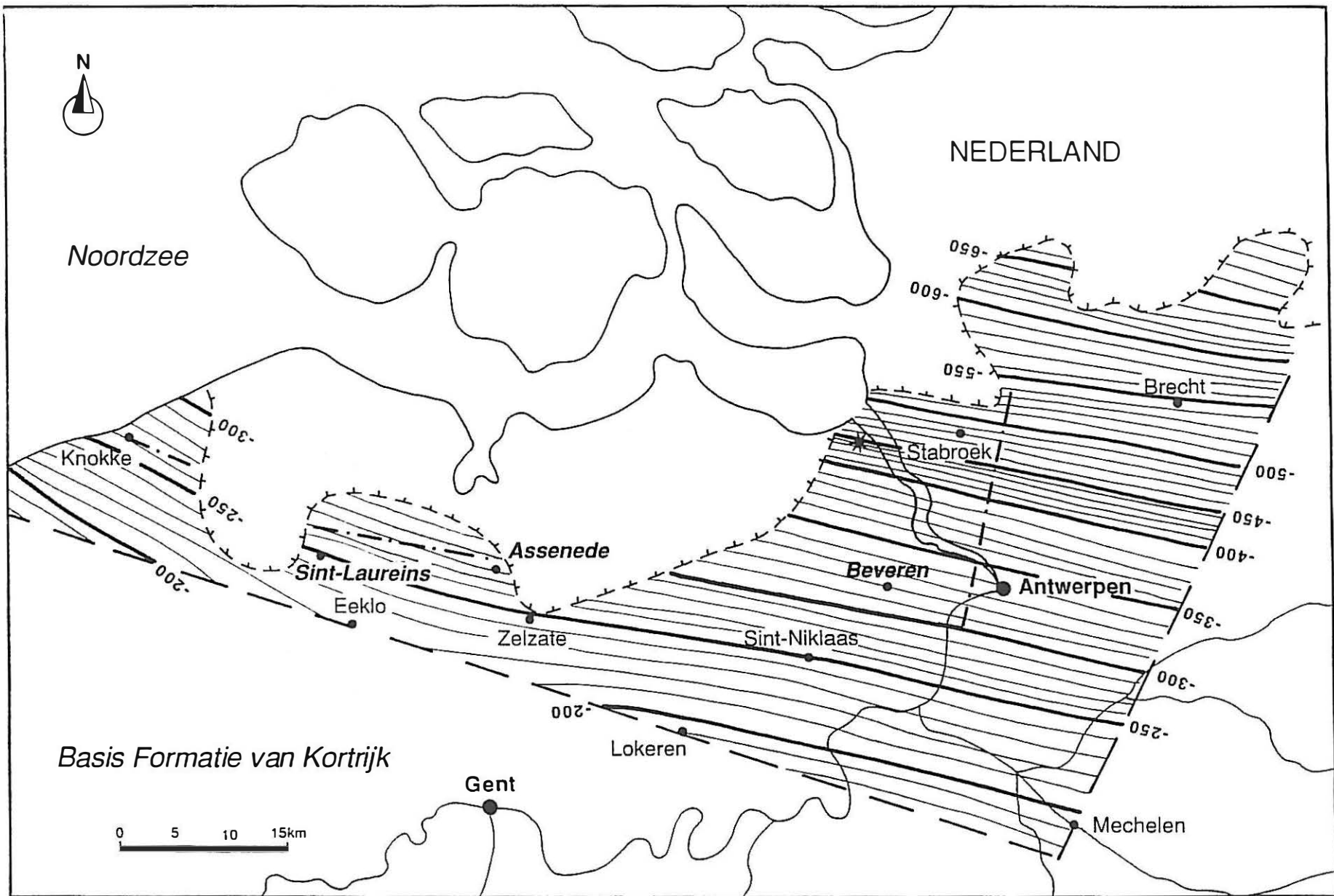


Fig. 2.11. Isohyspen van de basis van de Formatie van Kortrijk

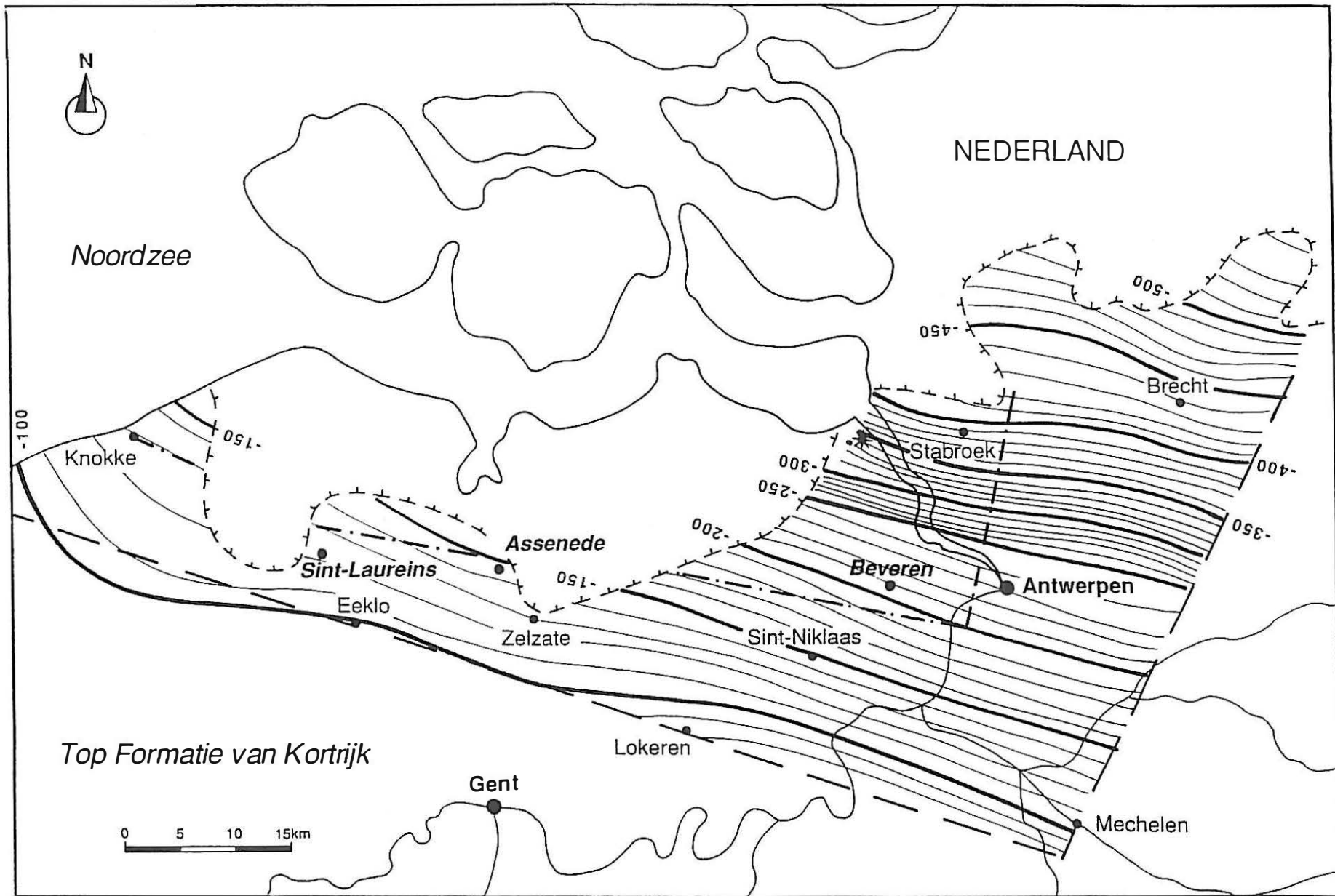


Fig. 2.12. Isohypsen van de top van de Formatie van Kortrijk

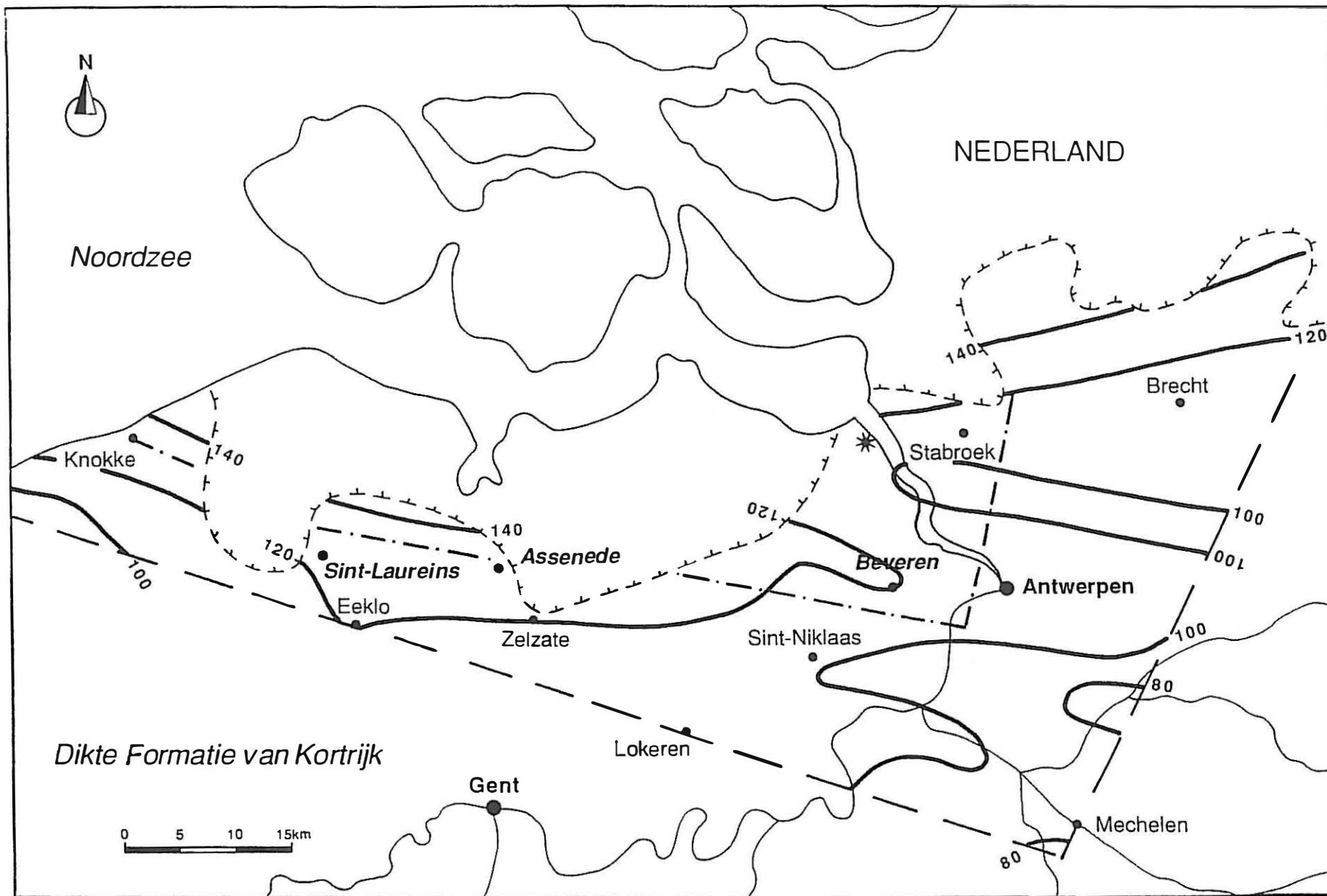


Fig. 2.13. Isopachen van de Formatie van Kortrijk

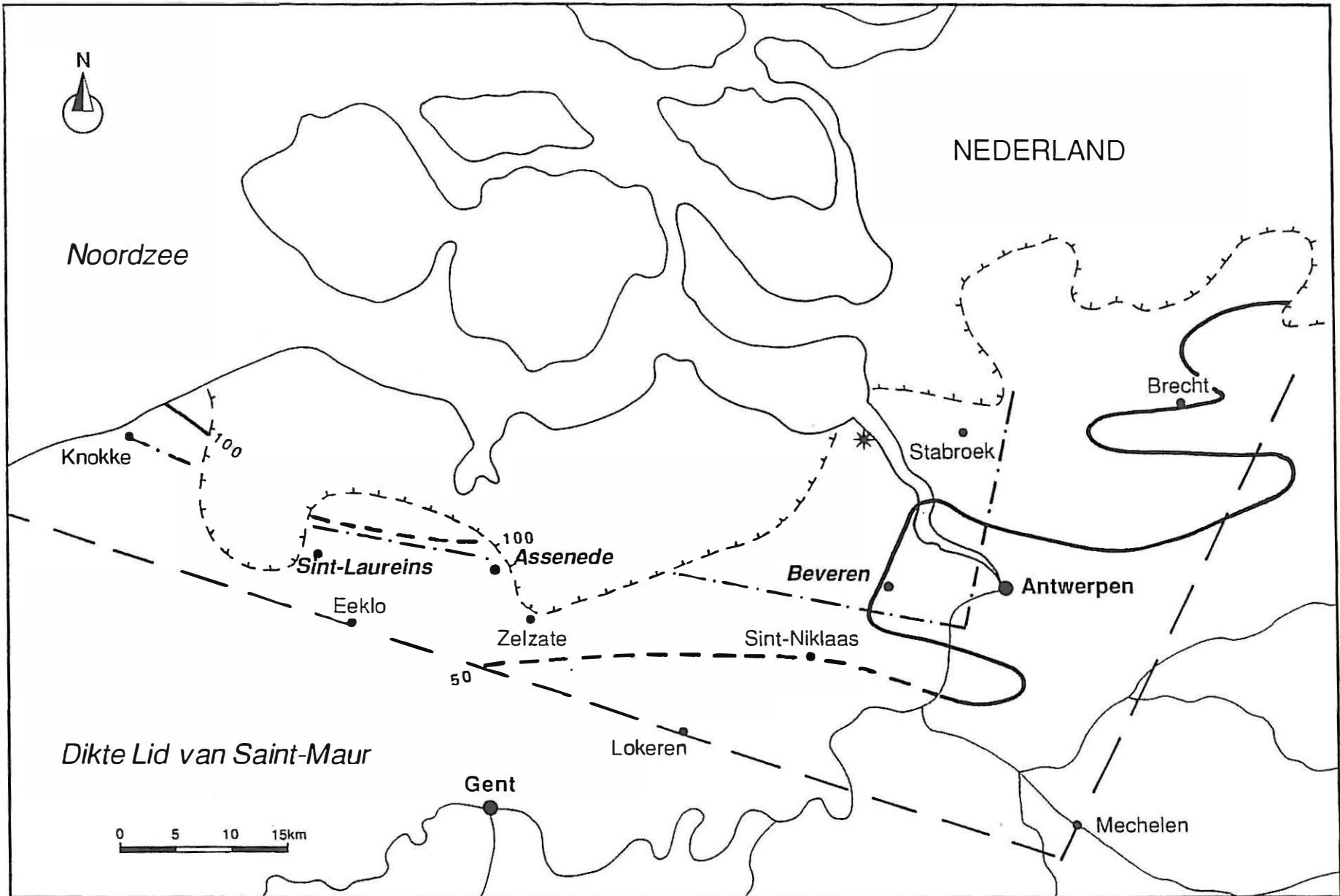


Fig. 2.14. Isopachen van het Lid van Saint-Maur

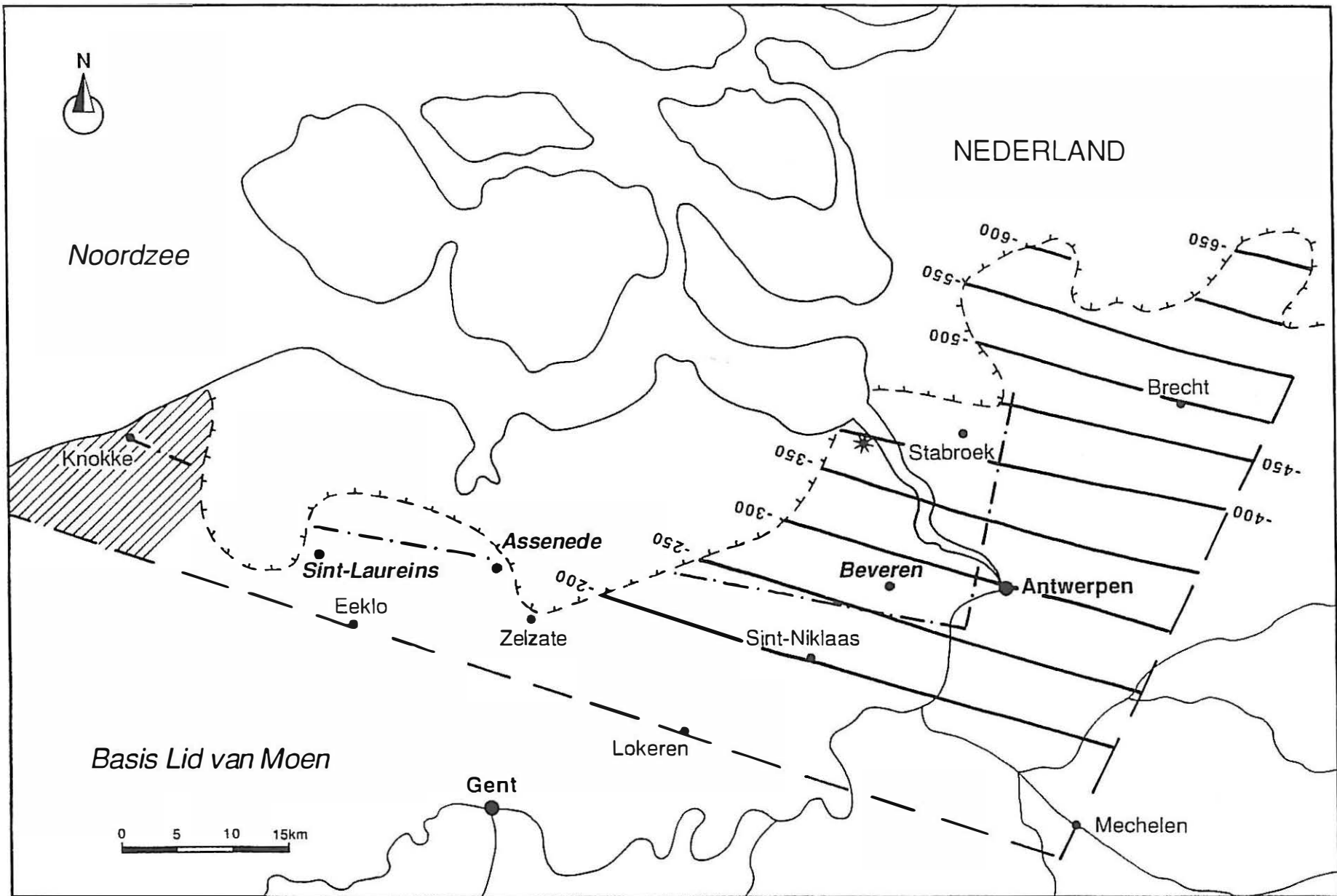


Fig. 2.15. Isohypsens van de basis van het Lid van Moen, in de gearceerde gebieden is het Lid van Moen niet te onderscheiden

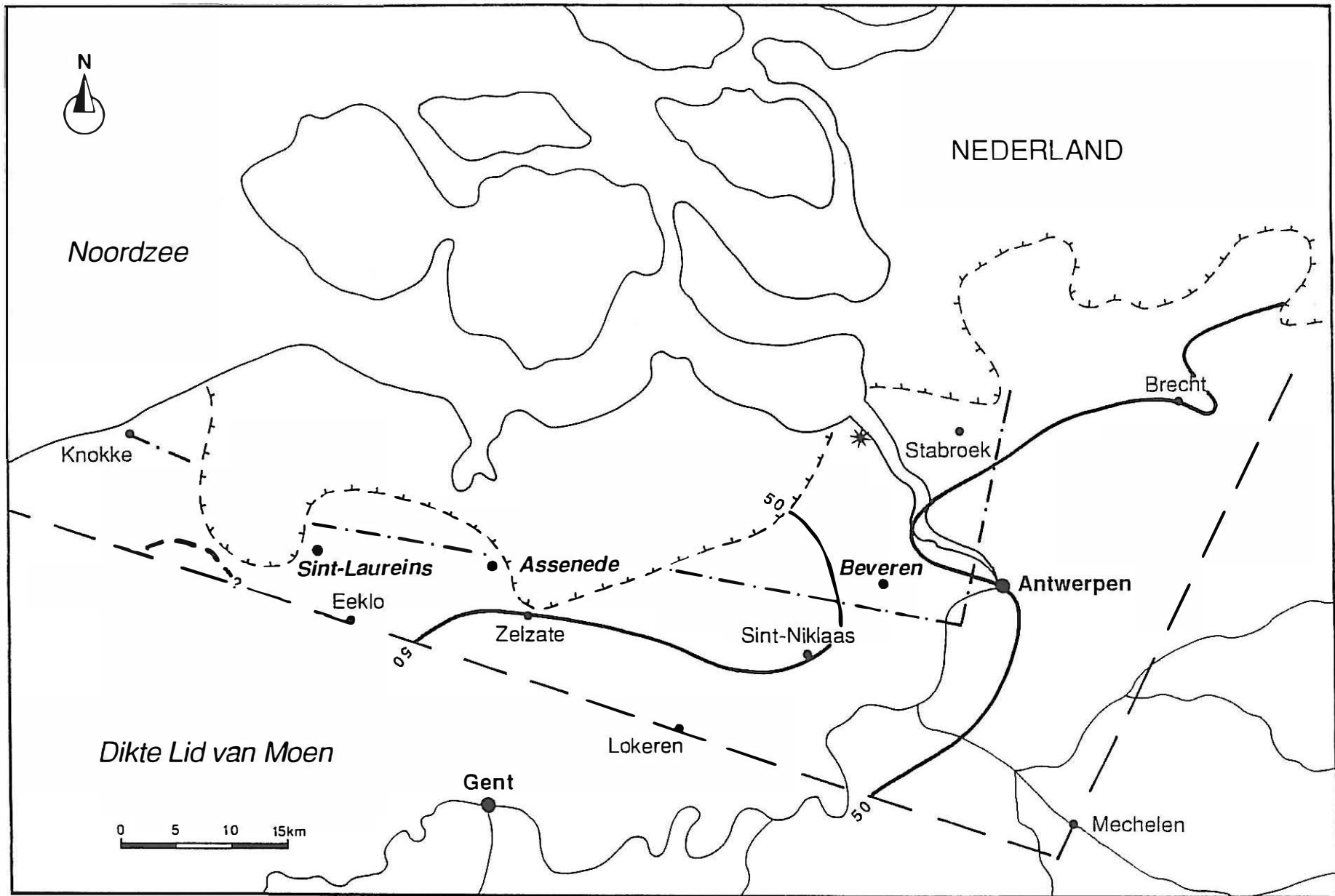


Fig. 2.16. Isopachen van het Lid van Moen

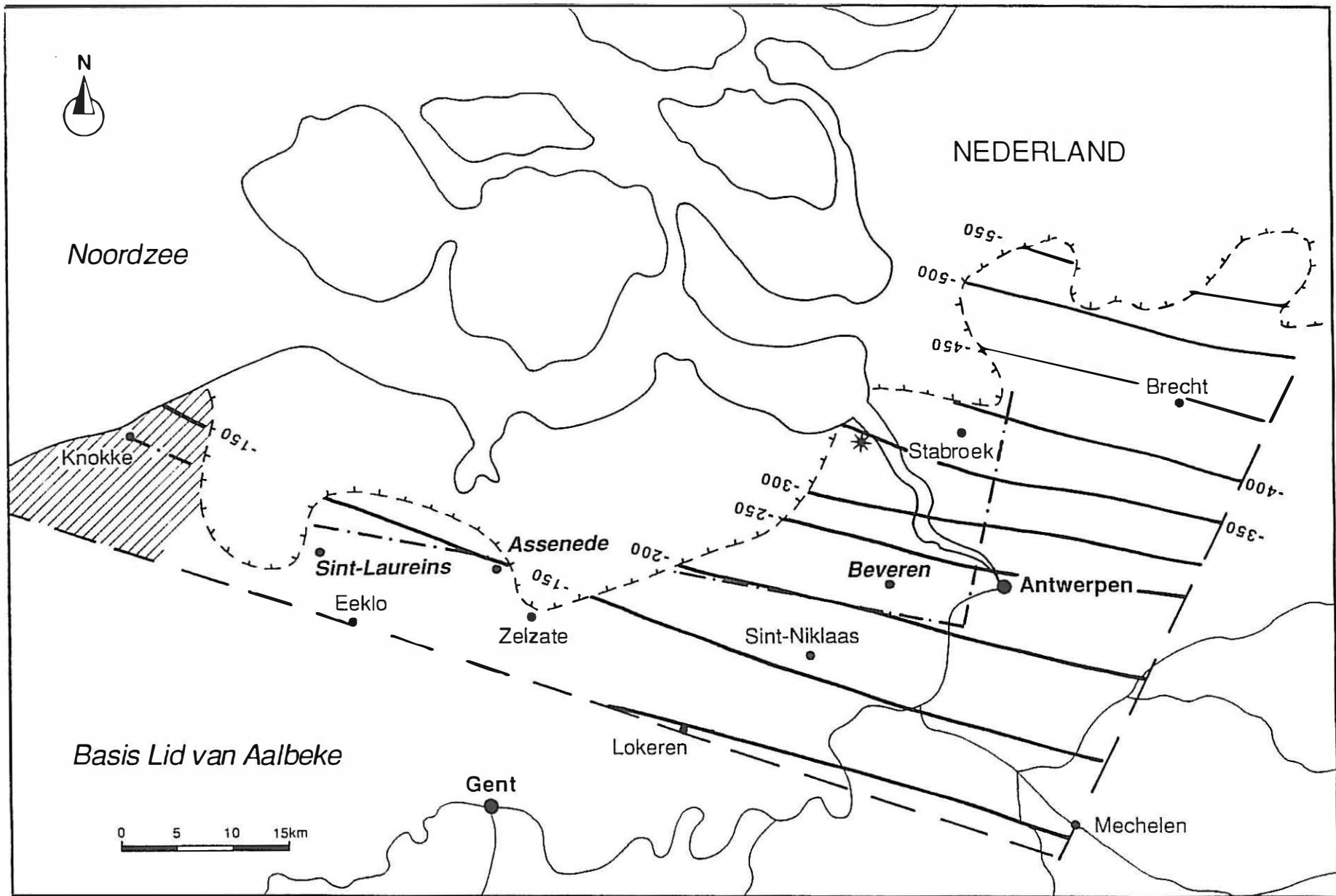


Fig. 2.17. Isohypsen van de basis van het Lid van Aalbeke, in de gearceerde gebieden is het Lid van Aalbeke niet te onderscheiden

Gebied Knokke

In het gebied Knokke bestaat het grootste gedeelte van de Formatie van Kortrijk uit homogene groengrijze zware klei met enkele zeldzame siltige vlekjes of dunne siltlaagjes. Pyriet is eveneens aanwezig. Opvallend is het voorkomen van verscheidene horizonten met gebreccieerde klei. Soms is het fenomeen verbonden aan het voorkomen van kleine breuken (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

De Formatie van Kortrijk vangt in de omgeving van Knokke aan met een vier meter dikke heterogene zandige klei (Lid van Mont-Héribu). Voor de bergingsproblematiek is deze van weinig belang.

Op het siltige Lid van Mont-Héribu volgt een homogene kleilaag met een dikte van meer dan 100 m. Alhoewel het in dit gebied uiterst moeilijk is de bovenste drie leden van de Formatie van Kortrijk te onderscheiden, behoort de vermelde kleilaag waarschijnlijk tot het Lid van Saint-Maur (GEETS, 1988). De kleilaag bestaat grotendeels uit een blauwgrijze zeer fijnsiltige klei. De top van deze kleilaag bevindt zich op een diepte van 179 m. De gemiddelde korrelgrootte bedraagt bijna steeds $< 2 \mu\text{m}$ en vertoont weinig schommelingen. Het kleigehalte schommelt tussen 50 en 75 %. De zandfractie ontbreekt (GEETS, 1988).

In functie van de criteria die de geschiktheid van een geologische laag voor de berging van hoogradioactief afval (SAFIR, 1984) bepalen, kan men voor het Lid van Saint-Maur opmerken dat :

- deze laag voldoet aan de lithologische vereisten : de laag bezit een grote homogeniteit en een lage doorlatendheid (hoog kleigehalte);
- deze laag voldoet aan het diktecriterium (minimum 100 m);
- de diepte van de top van deze laag (179 m) kleiner is dan de vooropgestelde 200 m.

Hierboven bevindt zich een meer heterogene klei die kan behoren tot het Lid van Moen. Het pakket is ongeveer 14 m dik en de top bevindt zich op een diepte van 165 m. De gemiddelde korrelgrootte varieert van ongeveer 2 tot 4 μm . De kleifractie varieert van 20 tot 50 %, de siltfractie van 50 tot 80 %. De hoeveelheid zandfractie bedraagt steeds minder dan 10 % (GEETS, 1988).

Hierboven bevindt zich opnieuw een 15 m dikke homogene kleilaag die kan toegeschreven worden aan het Lid van Aalbeke. De top van deze kleilaag bevindt zich op een diepte van ca. 150 m. De gemiddelde korrelgrootte varieert van minder dan 2 μm tot ongeveer 3 μm . De hoeveelheid kleifractie varieert van ongeveer 40 tot 75 %. De hoeveelheid silt is gelegen tussen 25 en 60 %. De zandfractie is afwezig (GEETS, 1988).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Zoals reeds eerder vermeld zijn er in het gebied Sint-Laureins - Assenede, door de afwezigheid van diepe boringen geen specifieke kenmerken van de Formatie van Kortrijk gekend. Uit de isohypsen- en isopachenkaartjes kunnen door extrapollatie evenwel enkele diepte- en diktegegevens worden afgeleid. Extrapollatie van lithologische kenmerken moet met de nodige omzichtigheid gebeuren. Men kan evenwel veronderstellen dat zowel het Lid van Sain-Maur als het Lid van Aalbeke vooral zijn opgebouwd uit grotendeels homogene fijnsiltige klei. Ertussen komt het meer heterogene Lid van Moen, dat tot 50 % klei bevat, voor. Waarschijnlijk zijn de lithologische kenmerken van de verschillende leden ter plaatse vrij gelijkaardig met deze ter hoogte van Knokke.

In het gebied bevindt de top van de Formatie van Kortrijk zich waarschijnlijk op een peil variërend van -130 tot -170¹. Er kan worden verondersteld dat de basis van de Formatie van Kortrijk zich op een peil gelegen tussen -270 en -310 bevindt. In het gebied is het peil van het maaiveld maximum + 5, zodat men zich een beeld kan vormen van de werkelijke diepte.

De top van het Lid van Saint-Maur is waarschijnlijk gelegen tussen de peilen -180 en -200. Door extrapollatie kan een dikte van ongeveer 100 en meer worden afgeleid. De top van het Lid van Moen bevindt zich waarschijnlijk tussen de peilen -140 en -180. Er kan worden verondersteld dat het Lid van Moen in het gebied ongeveer 20 tot 30 m dik is. De dikte van het Lid van Aalbeke bedraagt waarschijnlijk ongeveer 10 m.

Rekening houdend met de vereisten voor de berging van radioactief afval, kan men stellen dat :

- het Lid van Saint-Maur gunstige lithologische kenmerken bezit (homogeniteit en zeer kleine doorlatendheid);
- de diepte van de top van het Lid van Saint-Maur waarschijnlijk voldoet aan het vooropgestelde criterium (> 200 m);
- de dikte van het Lid van Saint-Maur waarschijnlijk groter is dan de vereiste 100 m;

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De top van de Formatie van Kortrijk is in het gebied Sint-Niklaas - Beveren gelegen tussen de peilen -170 in het zuidwesten en -420 in het noorden. In dit gebied voldoet deze kleilaag aan het vereiste dieptecriterium (200 m).

¹ Alle peilen in dit verslag zijn aangegeven tegenover het referentievlak van de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.)

In de referentieboring van Kallo is de Formatie van Kortrijk stratigrafisch verschillend ingedeeld door STEURBAUT (1986) en GEETS (1988). Om redenen van éénduidigheid werd hier de interpretatie van STEURBAUT (1986) gevolgd. De korrelgroottekenmerken, waarop de interpretatie van GEETS (1988) is gebaseerd, worden eveneens vermeld.

Ter hoogte van Kallo start de Formatie van Kortrijk met de voor het gestelde probleem weinig belangrijke 1 m dikke silt van het Lid van Mont-Héribu.

Daarop volgt de klei van het Lid van Saint-Maur. STEURBAUT (1986) legt de top van het Lid van Saint-Maur op een diepte van 332 m. Het lid is er 44,10 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de onderste 20 m bedraagt gewoonlijk minder dan 2 μm . Het kleigehalte schommelt gewoonlijk tussen 50 en 70 %, het siltgehalte tussen 30 en 50 %. Aan de basis is er een zandfractie aanwezig (steeds minder is dan 5 %).

De bovenste 24 m van de afzettingen van het Lid van Saint-Maur bezit een gemiddelde korrelgrootte variërend van minder dan 2 μm tot meer dan 4 μm . Het kleigehalte schommelt meestal tussen 30 en 50 % (uitzonderlijk tot 60 %). De zandfractie ontbreekt.

De top van het Lid van Saint-Maur ligt in het gebied Sint-Niklaas - Beveren op een peil van -230 à -450, de basis tussen -300 en -530. De dikte varieert van ongeveer 40 tot 80 m naar het noordwesten toe.

De top van het bovenliggende Lid van Moen bevindt zich te Kallo op een diepte van 288 m onder het maaiveld, het lid is er ongeveer 44 m dik. In een belangrijk deel van het gebied (zie figuur 2.15) is de dikte minder dan 50 m. In Kallo is het Lid van Moen meer heterogeen. Het bestaat er uit overwegend kleiige middelmatige tot fijne silt met laagjes kleiige zeer fijne silt tot zeer fijnsiltige klei. Enkele fosfaatconcreties worden erin opgemerkt. Eveneens komen laagjes met grove glauconietkorrels en met vnl. *Turritellafrag-*menten voor. Normaal heeft 50 % van het sediment een korrelgrootte gelegen tussen 16 en 64 μm . Het overige gedeelte heeft een gemiddelde korrelgrootte van minder dan 16 μm . Het kleigehalte varieert normaal tussen 25 en 50 %. Een zandfractie is afwezig.

De top van het Lid van Aalbeke bevindt zich te Kallo op een diepte van 282 m. De gemiddelde korrelgrootte is steeds kleiner dan 2 μm . Het kleigehalte varieert meestal tussen 45 % (in 1 laagje 27 %) en 75 %. De zandfractie is afwezig. Te Kallo is het Lid van Aalbeke 6 m dik.

Rekening houdend met de criteria voor de berging van hoogradioactief afval kan men stellen dat :

- het homogene zeer slecht doorlatende Lid van Saint-Maur in het gebied Sint-Niklaas - Beveren onvoldoende dik is (44 m in Kallo); via extrapolatie kan worden afgeleid dat de dikte toeneemt naar het noordwesten toe;

- het Lid van Moen in dit gebied gekenmerkt wordt door een niet te verwaarlozen heterogeniteit, het bezit een hoger siltgehalte dan de Leden van Saint-Maur en Aalbeke, waardoor het relatief meer doorlatend is;
- de volledige Formatie van Kortrijk in bijna het volledige gebied dikker is dan 100 m, behalve in een strook ten oosten van Lillo, gesitueerd rond de lijn Lillo - Sint-Gravenwezel;
- de diepte van de Formatie van Kortrijk in het volledige gebied aan de criteria voldoet.

Noordzeegebied

Tot nog toe werd geen aandacht geschonken aan de eventuele mogelijkheid van berging in het Noordzeegebied. In het bestek van deze studie werd dit enkel nagegaan aan de hand van extrapolatie van de gegevens op het vasteland. Een meer diepgaande studie, gebaseerd op seismische gegevens en boringen, is in dit kader echter noodzakelijk.

Figuur 2.18 toont het Belgische grondgebied in de Noordzee. Op dezelfde figuur staan de isohypsen van de basis van het Tertiair voorgesteld (DE BATIST, 1989). Uit de figuur kan worden afgeleid dat de strekking van het Tertiair in de zuidelijke Bocht van de Noordzee NW-ZO is gericht, op het vasteland eerder NWW-ZOO. Deze verandering in de richting van de strekking manifesteert zich reeds op het Belgische continent.

Ook de strekking van de Formatie van Kortrijk vertoont reeds op het vasteland een richtingsverandering (Fig. 2.10 en 2.11). Door extrapolatie kan worden afgeleid dat de top van de Formatie van Kortrijk zich aan de grens tussen het Belgische en het Nederlandse Noordzeegebied waarschijnlijk tussen de peilen -150 en -200 bevindt. De top van het Lid van Saint-Maur bevindt zich op dezelfde plaats waarschijnlijk op een peil van -200 à -250. Er kan worden verondersteld dat beide dieptes groter zijn in het uiterste noorden van het Belgische Noordzeegebied. De isopachen van het Lid van Saint-Maur (Fig. 2.13) wijzen op een dikte, die meer is dan 100 m. De dikte van de volledige Formatie van Kortrijk (Fig. 2.14) is in ieder geval groter dan deze minimumdikte.

Aan de hand van de sedimentologische kenmerken in de verschillende delen van het afzettingenbekken kan men, rekening houdend met de paleogeografie van het Ieperiaan, veronderstellen dat de heterogeniteit van het Lid van Moen afneemt naar het centrum van het bekken toe.

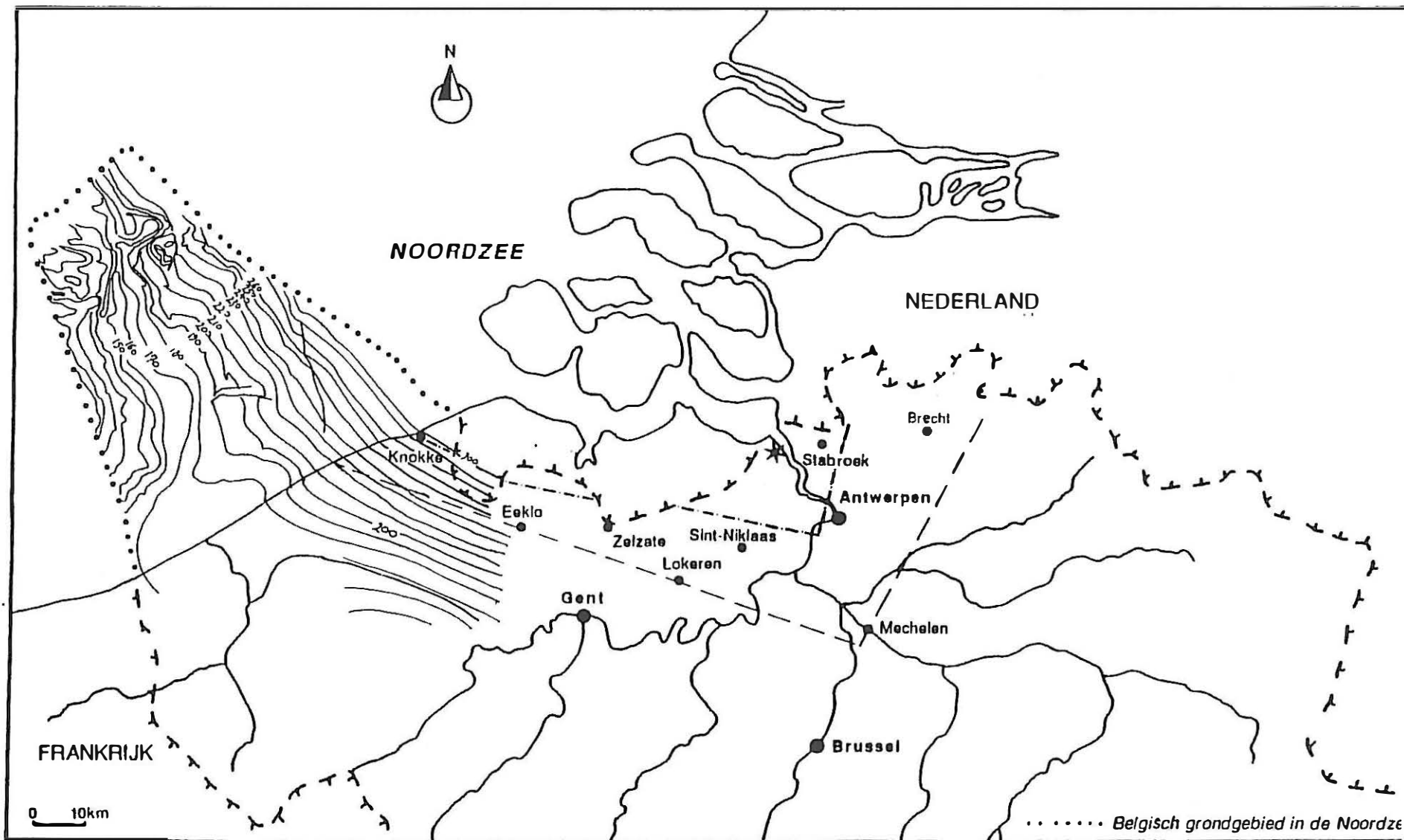


Fig. 2.18. Belgisch Noordzeegebied - Isohypsens van de basis van het Tertiair

2.4.4.2. Formatie van Tielt

In figuur 2.19 wordt de lithologische opbouw van de Formatie van Tielt in de drie potentiële bergingsgebieden voorgesteld. Slechts de bovenste 5 m in Assenede zijn gebaseerd op tastbare gegevens, de overige informatie werd bekomen door extrapolatie.

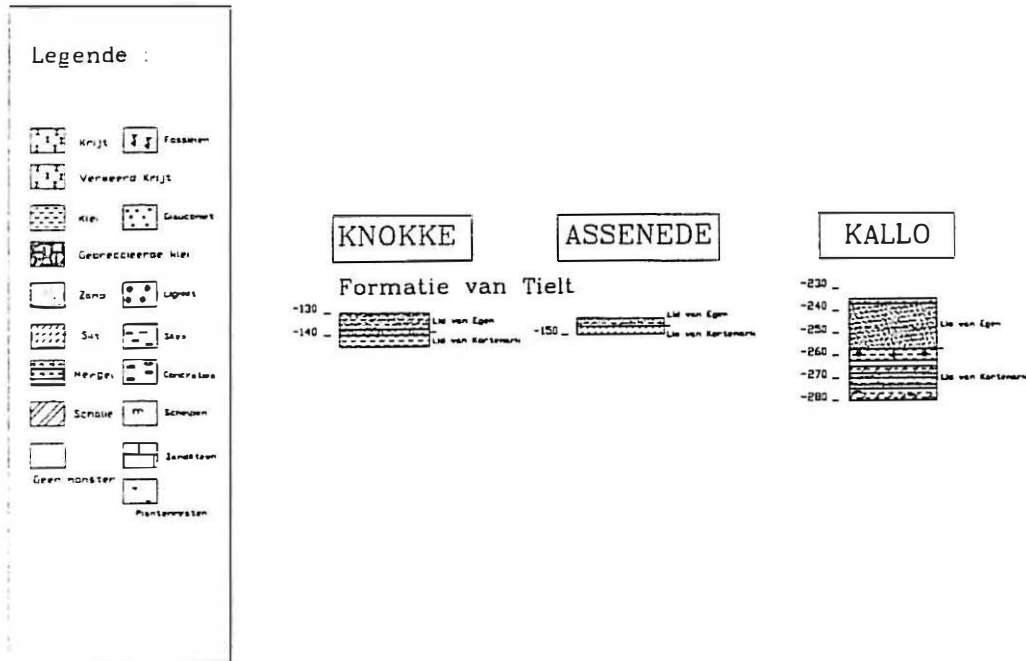


Fig. 2.19. Lithologie van de Formatie van Tielt in Knokke, Assenede en Kallo

a. Lid van Kortemark

De isohypsen van de top van de silt van het Lid van Kortemark worden voorgesteld op figuur 2.20. Het Lid van Kortemark wordt gekenmerkt door een lage doorlatendheid.

Gebied Knokke

Onmiddelijk boven de Formatie van Kortrijk bevindt zich het Lid van Kortemark van de Formatie van Tielt. Het lid bestaat ter hoogte van Knokke uit fijnsiltige klei en is er ongeveer 5 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van deze afzetting bedraagt 4 μ m en stijgt licht naar boven toe. Het gehalte klei varieert van 25 tot 30 %, het gehalte silt van 70 tot 75 %. De hoeveelheid zand bedraagt minder dan 5 % en stijgt naar boven toe.

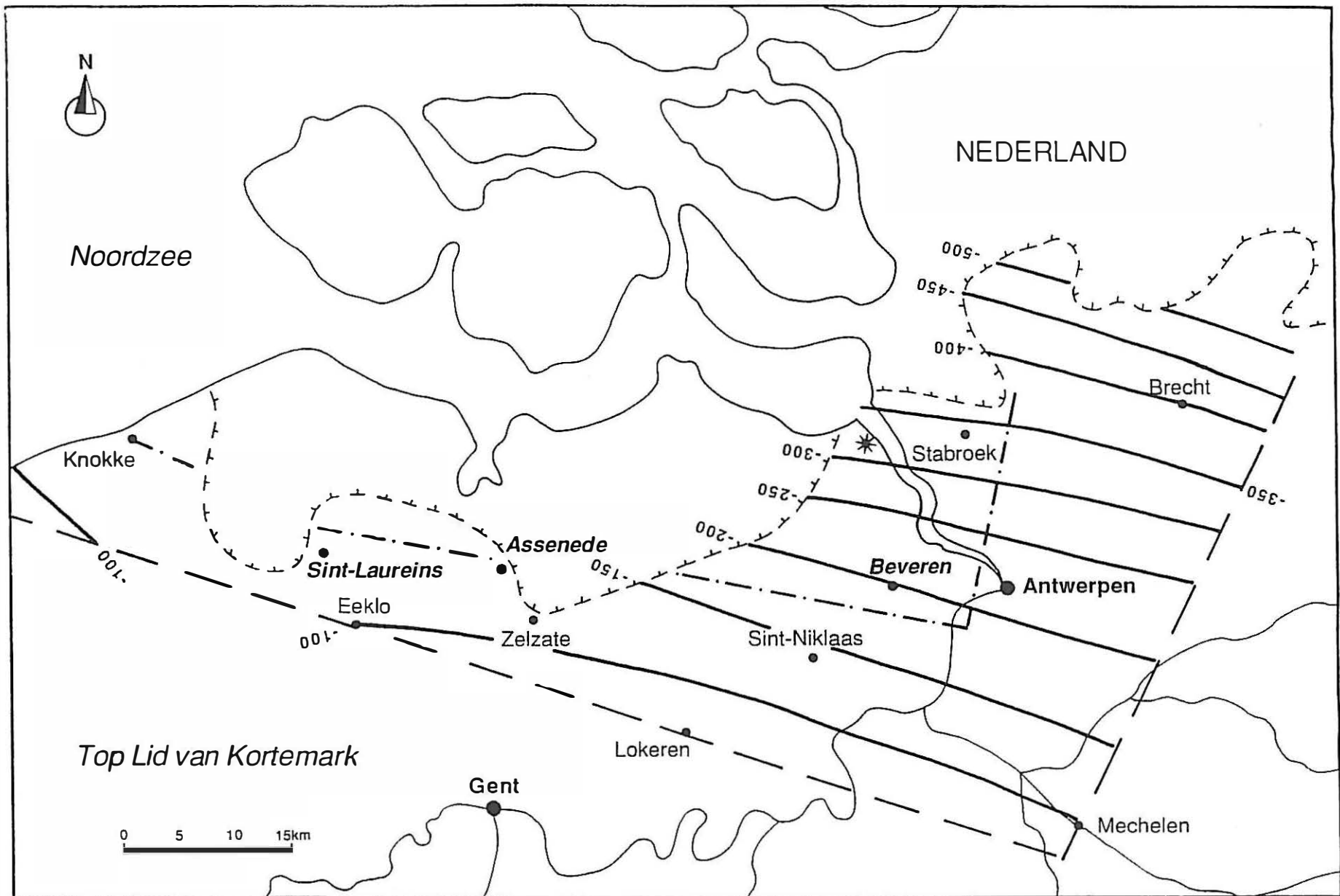


Fig. 2.20. Isohysen van de top van het Lid van Kortemark

Gebied Sint-Laureins - Assenede

De boring te Assenede reikt niet tot in het Lid van Kortemark. De preciese dikte is niet gekend maar zal waarschijnlijk ongeveer 5 à 10 m bedragen. Men kan veronderstellen dat de lithologische kenmerken in het gebied ongeveer gelijkaardig zijn met deze in het gebied Knokke.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de referentieboring Kallo is de heterogene silt van het Lid van Kortemark 23 m dik. De top bevindt zich op een diepte van 258 m. In het volledige gebied Sint-Niklaas - Beveren varieert de dikte van deze afzetting van 10 tot 30 m. De laag wordt gekenmerkt door een afwisseling van fijnere en grover lagen. De korrelgrootte van het Lid van Kortemark varieert gemiddeld tussen 2 en 8 μm . Het kleigehalte varieert van 30 tot 60 %. In sommige delen loopt de zandfractie op tot meer dan 10 %.

b. Lid van Egem

De isohypsen van top van het Lid van Egem zijn voorgesteld op figuur 2.21.

Het Lid van Egem is opgebouwd uit zeer fijn zand met een duidelijke gelaagdheid. Het is echter soms sterk gebioturbeerd. Er komen dunne kleilaagjes in voor. Naar boven toe en in het zuiden van West-Vlaanderen wordt de afzetting minder fijn. Op bepaalde niveaus vindt men lagen nummulietenkalksteen en fossielhoudende laagjes. Het Lid van Egem komt voor in het westen en het noorden van het land (MARECHAL & LAGA, 1988). Uit de coupes van VANDENBERGHE et al. (in druk) kan men afleiden dat het lid voorkomt in het grootste deel van het studiegebied. Het Lid van Egem werd in alle geïnterpreteerde boorgatmetingen in het studiegebied teruggevonden.

Het Lid van Egem vormt de eerste watervoerende laag boven de Formatie van Kortrijk.

Gebied Knokke

In Knokke is het Lid van Egem ongeveer 5 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de afzettingen varieert van 16 tot 64 μm en stijgt naar boven toe. De hoeveelheid kleifracie bedraagt bijna steeds minder dan 20 %. Het zandgehalte is gelegen tussen 45 en 80 % en stijgt naar boven toe.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring Assenede werd maar 5 m in het Lid van Egem geboord. Het bestaat uit weinig kleihoudend zand dat afwisselt met sterk kleihoudende zones. Waarschijnlijk bedraagt de totale dikte ongeveer 5 à 10 m.

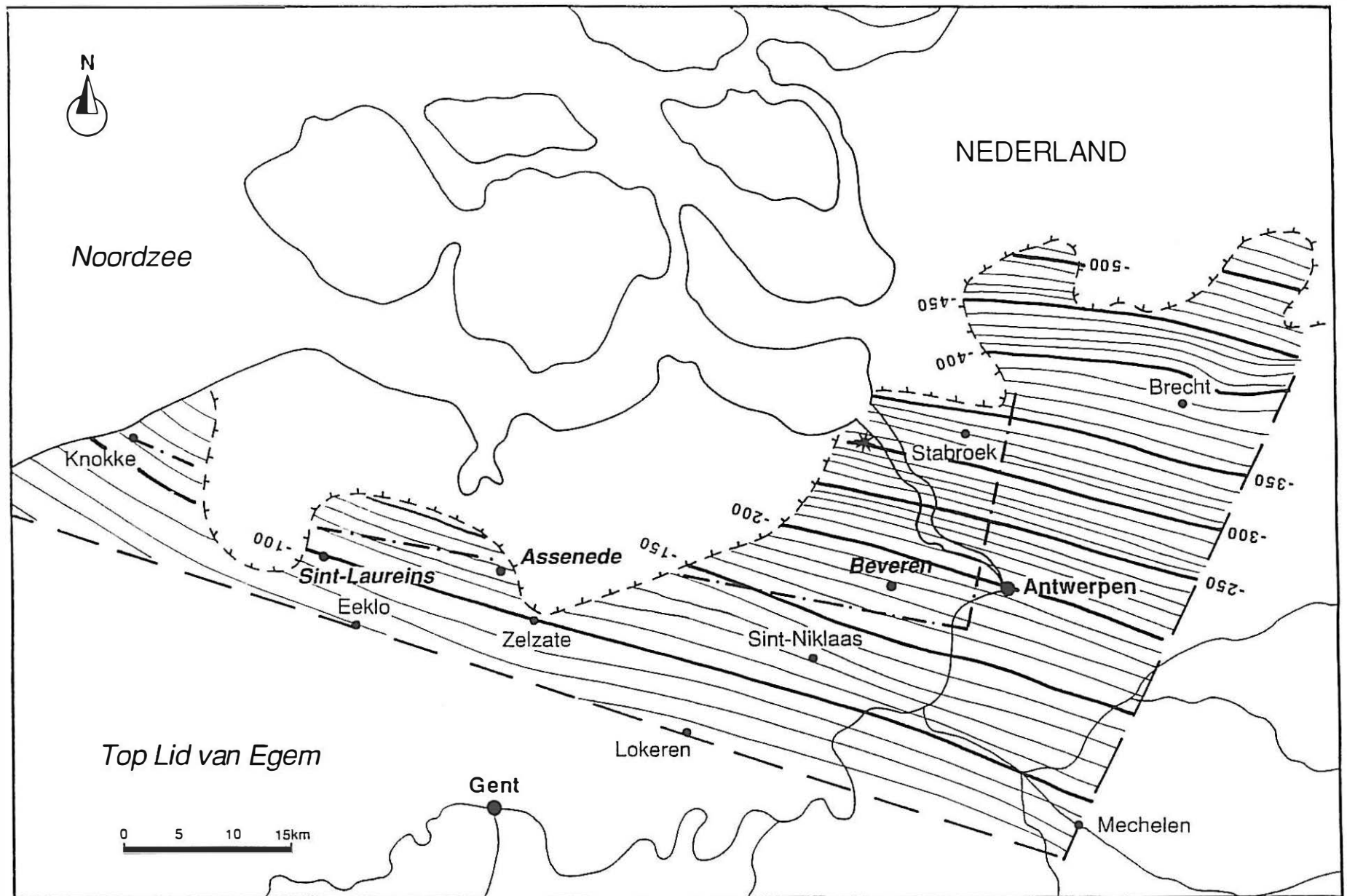


Fig. 2.21. Isohypsens van de top van het Lid van Egem

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Kallo is het Lid van Egem ongeveer 20 m dik. De gemiddelde korrelgrootte van de afzettingen varieert van 32 tot 36 μm en is uitzonderlijk kleiner. Het kleigehalte varieert van 3 tot 20 % en bedraagt sporadisch meer dan 30 %. Het zandgehalte varieert meestal tussen 60 en 85 % en bedraagt uitzonderlijk minder dan 40 %. De dikte van het lid vermindert naar het noorden toe. In Woensdrecht is het Lid van Egem 16 m dik. Ter hoogte van Wuustwezel en Rijkevorsel is deze laag nog altijd ongeveer 20 m dik.

2.4.4.3. Formatie van Gent

In figuur 2.22 is de lithologische opbouw van de Formatie van Gent ter hoogte van de verschillende referentieboringen voorgesteld.

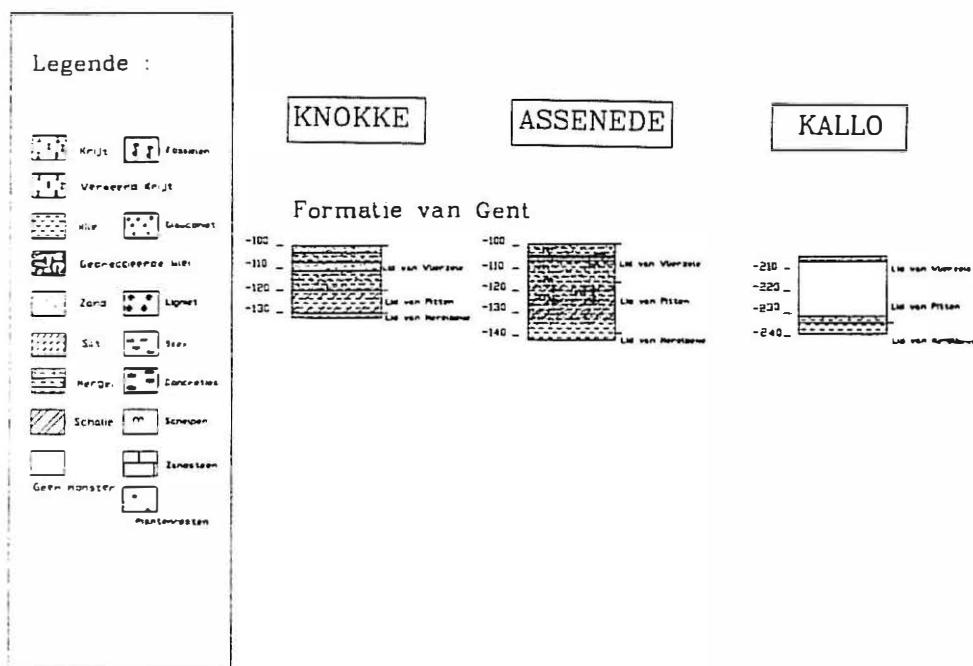


Fig. 2.22. Lithologie van de Formatie van Gent in Knokke, Assenede en Kallo

De Formatie van Gent bestaat uit de zandige-kleiige sedimenten, die naar boven toe overgaan in fijne zanden (MARECHAL & LAGA, 1988). De formatie bestaat uit drie leden, die in het grootste deel van het studiegebied werden teruggevonden.

De Leden van Merelbeke en Pittem vormen een relatief belangrijke slecht doorlatende laag. Ze scheiden de watervoerende laag van het lid van Egem van de bovenliggende belangrijke eocene watervoerende laag, waartoe ook het Lid van Vlierzele behoort.

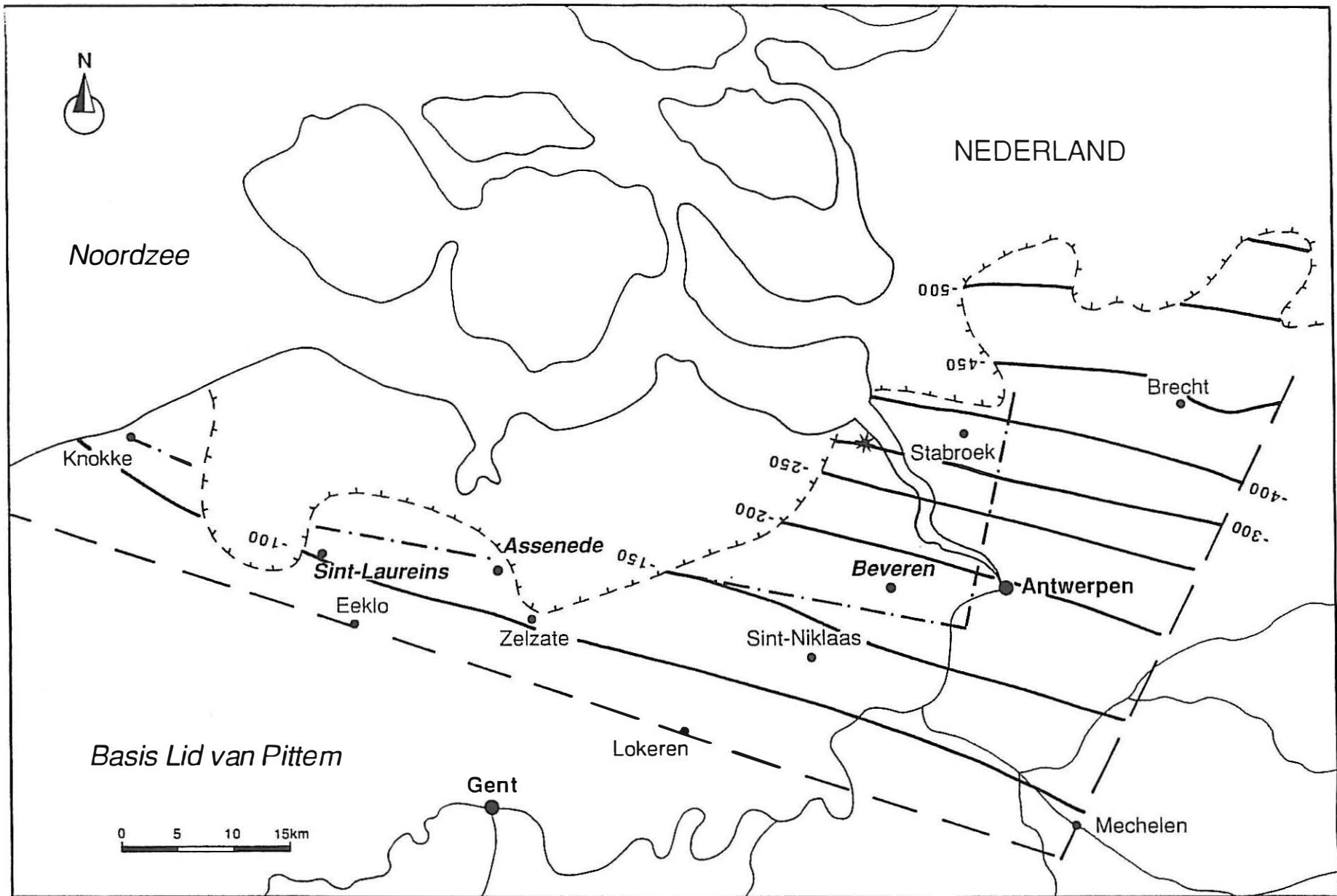


Fig. 2.23. Isohypsens van de basis van het Lid van Pittem

a. Lid van Merelbeke

Het Lid van Merelbeke bestaat uit zeer fijnsiltige klei of kleiige, zeer fijne silt. Dunne zandlensjes komen geïntercaleerd voor. De verbreiding van het Lid van Merelbeke is zeer onregelmatig en op talrijke plaatsen ontbreekt het. De zeer onregelmatige dikte van het lid bedraagt gemiddeld 6 tot 7 m (MARECHAL & LAGA, 1988).

Voor de zeer slecht doorlatende klei van het Lid van Merelbeke wordt een verticale doorlatendheid van ca. $1,16 \cdot 10^{-9}$ m/s verondersteld (WALRAEVENS, 1987).

Gebied Knokke

In de boring te Knokke vormt het Lid van Merelbeke een zware homogene grijze klei met een dikte van 2,3 m (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In de boring te Assenede is het Lid van Merelbeke 5 m dik. Volgens de boorbeschrijving is het een kleihoudend zand, maar uit de gamma-log kan duidelijk een eerder zware klei worden afgeleid. Meer ten zuiden van dit gebied, ter hoogte van de boring te Maldegem, bezit het Lid van Merelbeken een dikte van ongeveer 4 m.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In de boring te Woensdrecht bezit het Lid van Merelbeke een dikte van 7,7 m en bestaat het uit donkere groengrijze schisteuse klei. Ter hoogte van de boring te Kallo is de klei ongeveer 5 m dik en bezit eenzelfde lithologische samenstelling.

Meer in het oosten van het studiegebied wordt het Lid van Merelbeke eveneens aangetroffen.

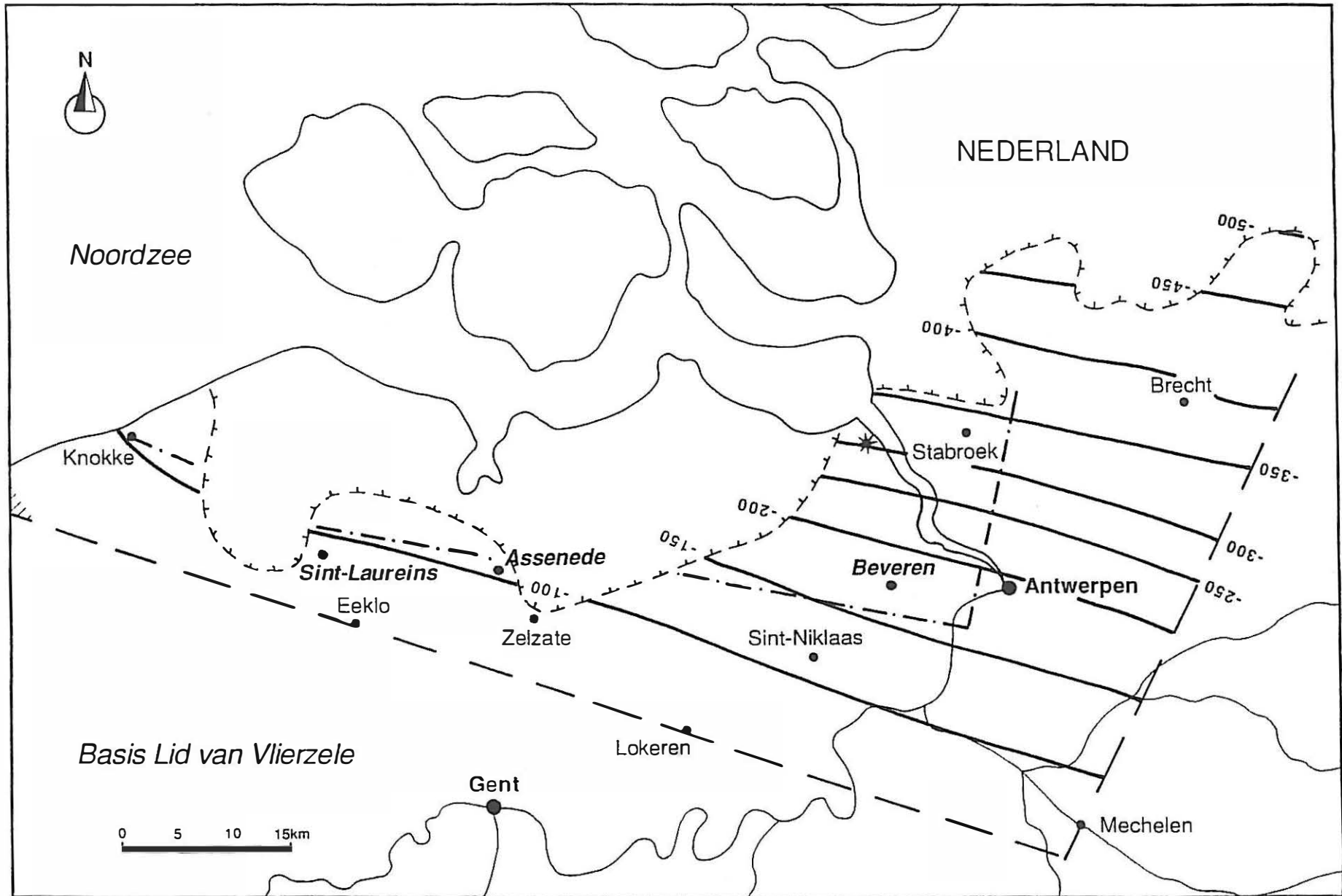


Fig. 2.24. Isohyspen van de basis van het Lid van Vlierzele

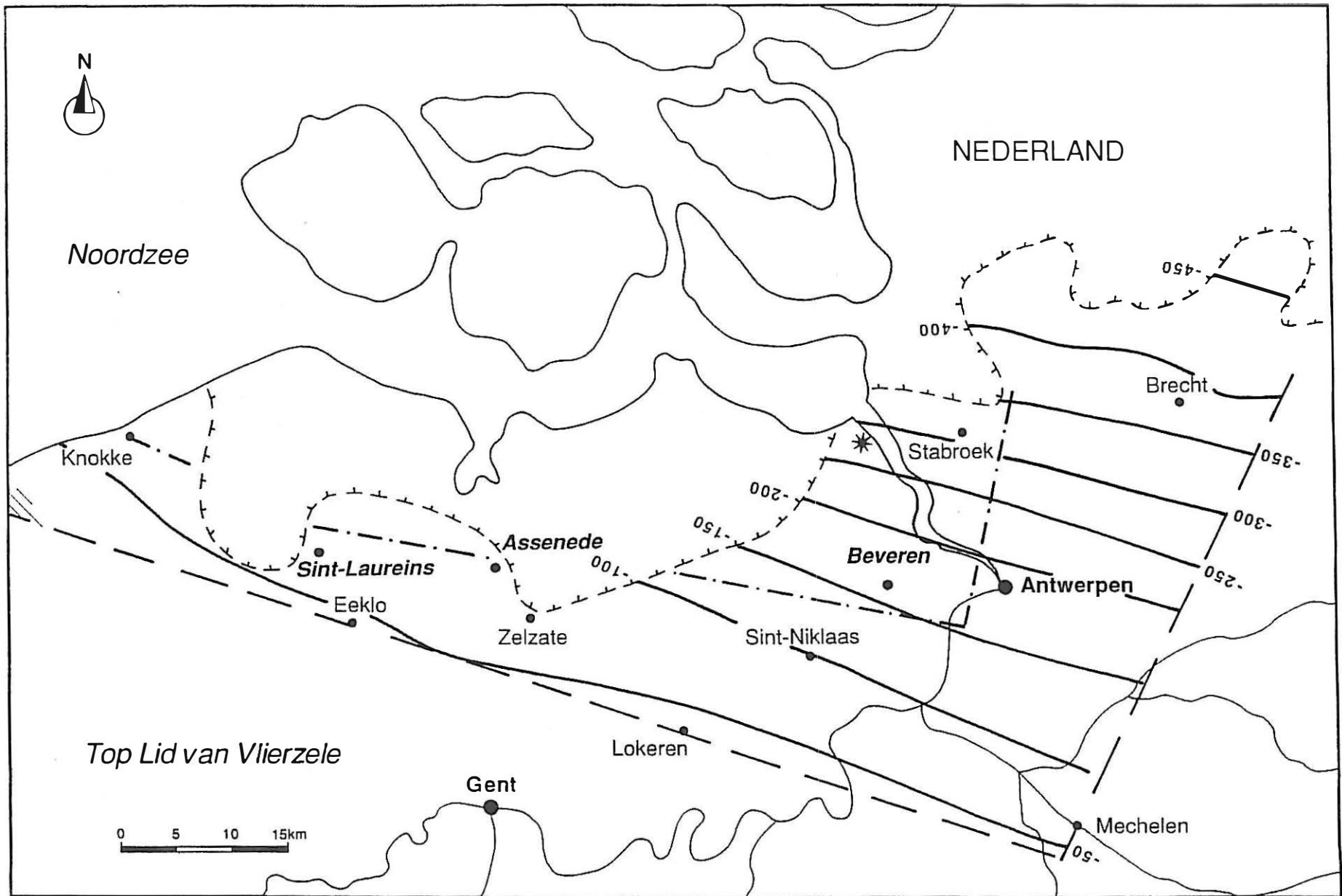


Fig. 25. Hypothese van de Top van het Lid van Vlierzele

Gebied Knokke

Ter hoogte van de boring te Knokke is het Lid van Vlierzele ongeveer 19 m dik. De onderste 8 m bestaan uit naar boven toe grover worden middelmatig tot grof zand. De bovenste 11 m is fijn zand met kleilaagjes en gesteentefragmenten in het onderste deel (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring te Assenede is het Lid van Vlierzele ongeveer 17 m dik. Het is een afwisselend sterk en minder kleihoudend fijn zand met schelpenresten en op bepaalde plaatsen zandsteensplinters.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring van Kallo bestaat het Lid van Vlierzele uit fijn grijs zand met silthoudende kleilaagjes die plaatselijk versteend zijn. De preciese dikte kan niet worden afgeleid omdat het Lid van Vlierzele ter plaatse moeilijk van de bovenliggende Formatie van Aalter kan worden onderscheiden.

Meer naar het oosten van het studiegebied toe wordt het Lid van Vlierzele minder belangrijk. Het is er wel aanwezig.

2.4.5. Zenne Groep

De lithologische opbouw van de Zenne Groep in de drie potentiële bergingsgebieden is voorgesteld in figuur 2.26.

Legende :

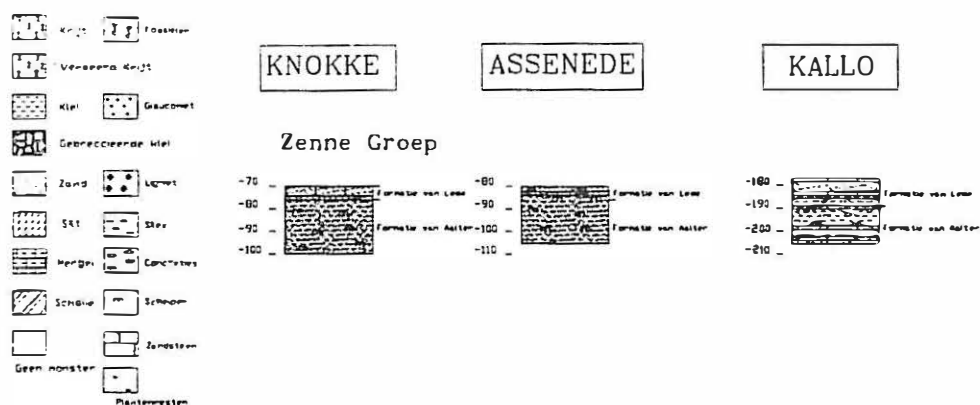


Fig. 2.26. Lithologie van de Zenne Groep in Knokke, Assenede en Kallo

De sedimenten van de Zenne Groep bestaan onderaan uit kleiige zanden, die naar boven toe overgaan in zuivere, dikwijls kalkhoudende zanden. Typisch is het voorkomen van verkiezelingen, zandige kalkstenen en kalkzandstenen. De Zenne Groep komt in het volledige studiegebied voor en kan onderverdeeld worden in de Formatie van Aalter, de Formatie van Brussel en de Formatie van Lede (MARECHAL & LAGA, 1988).

De Zenne Groep vormt samen met het onderliggende Lid van Vlierzele en het bovenliggende Lid van Wemmel een belangrijke watervoerende laag (verder de eocene watervoerende laag genoemd).

2.4.5.1. Formatie van Aalter

Gebied Knokke

In de boring te Knokke is Formatie van Aalter 26 m dik. Ze bestaat er uit fijn tot zeer fijn kleiig zand met glauconiet, zandstenen en schelpen.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

De begrenzingen van de verschillende formaties van de Zenne Groep werd afgeleid uit de boorgatmeting. In Assenede is de Formatie van Aalter ongeveer 11 m dik. Het is opgebouwd uit afwisselend sterk en minder kleiig fijn glauconiethoudend zand met bovenaan zandsteenresten en onderaan schelpengruis.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Door mislukte staalnames kon de Formatie van Aalter ter hoogte van Kallo niet worden onderscheiden. GULINCK (1969) veronderstelt dat het ter plaatse niet aanwezig is. In de Formatie van Woensdrecht komen deze zanden wel voor. Het is echter moeilijk om uit de oude boorbeschrijving de plaats van de grens met de Formatie van Gent af te leiden.

2.4.5.2. Formatie van Brussel

Gebied Knokke

In de boring te Knokke bestaat geen duidelijkheid over het overige gedeelte van de Zenne Groep (een 5 m dik zand met veel zandstenen). Het voorkomen van bepaalde fossielen wijst erop dat dit zandpakket tot de Formatie van Brussel behoort. Dit is echter in tegenspraak met de regionale geologie, op basis waarvan we eerder de Formatie van Lede verwachten (LAGA & VANDENBERGHE, 1990).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In de boring te Assenede komt de Formatie van Brussel waarschijnlijk niet voor.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het oosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren komt de Formatie van Brussel voor. Ze is 18 m dik te Woensdrecht. Het is niet duidelijk of ze ook ter hoogte van Kallo voorkomt. GULICK (1969) veronderstelt van niet.

2.4.5.3. Formatie van Lede

Gebied Knokke

In de boring te Knokke bestaat de Formatie van Lede uit een 5 m dikke laag zand met veel zandstenen. Het zou kunnen dat deze laag tot de Formatie van Brussel behoort (zie hierboven).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Uit de boorgatmeting werd afgeleid dat de Formatie van Aalter in Assenede ongeveer 6 m dik is. Het is opgebouwd uit fijn zand dat soms kleihoudend is. Het bevat zandstenen, schelpengruis en nummulieten.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

De Formatie van Lede is ongeveer 15 m dik te Kallo en bestaat uit fijn kalkrijk zand met kalksteenbanken.

2.4.6. Formatie van Maldegem

De lithologie van de Formatie van Maldegem in de referentieborings is voorgesteld in figuur 2.27.

Legende :

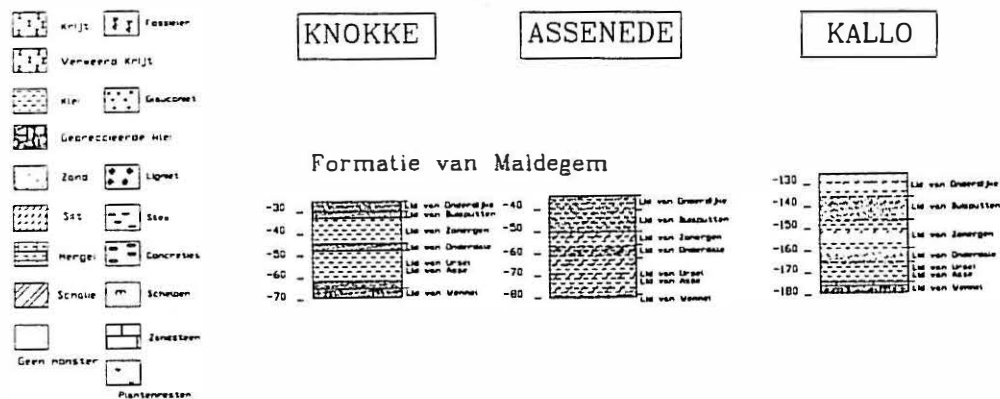


Fig. 2.27. Lithologie van de Formatie van Maldegem in Knokke, Assenede en Kallo

De Formatie van Maldegem is een afwisseling van geleidelijk in elkaar overgaande zanden en kleien (MARECHAL & LAGA, 1988). De formatie is aanwezig in het volledige studiegebied. Deze formatie vormt de eerste belangrijke kleilaag boven de Formatie van Kortrijk.

De Formatie van Maldegem is in haar geheel als een zeer slecht doorlatende laag te beschouwen. Ze speelt een hydrogeologisch belangrijke rol omdat ze de eocene van de oligocene watervoerende laag scheidt. In deze formatie komen enkele dunne watervoerende laagjes voor. Vooral het Lid van Asse en het Lid van Ursel vormen samen een zeer slecht doorlatende kleilaag, vroeger als "Bartoonklei" aangeduid. Het onderliggende Lid van Wommel vormt samen met de onderliggende Zenne Groep en het Lid van Vlierzele een watervoerende laag.

Te Knesselare-Ursel werd voor de slecht doorlatende Formatie van Maldegem een verticale doorlatendheid van $1,45 \cdot 10^{-9}$ m/d verondersteld. De verticale doorlatendheid van de kleiige leden werd afgeleid uit het simulatiemodel van de grondwaterstroming in het gebied Knesselare-Ursel en bedraagt $1,16 \cdot 10^{-9}$ m/s (WALRAEVENS, 1987). Bij een pompproef te Ursel werd in het Lid van Onderdale een horizontale doorlatendheid van $2,3 \cdot 10^{-6}$ m/s gemeten (VAN DIJCK et al., 1984).

Gebied Knokke

Ter hoogte van de referentiebooring Knokke vormt de Formatie van Maldegem (dikte : 33 m) de bovenste eenheid van het Tertiair. Het vormt er een zware klei-eenheid, waartussen glauconiethoudende kleiige zandlagen voorkomen. Het onderste lid van deze formatie is het Lid van Wommel. Het is een 2,5 m dik fijn glauconiethoudend kleilig zand en is bovenaan zeer rijk aan glauconiet ("bande noir"). Daarop volgt de klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel, de "Bartoonklei" met een totale dikte van 11,5 m. Het hieropvolgende zand van het Lid van Onderdale is ter plaatse 2 m dik. De erboven voorkomende klei van het Lid van Zomergem is 12 m dik en wordt van de 3 m dikke klei van het Lid van Onderdijke gescheiden door een 3 m dikke zandlaag, die behoort tot het Lid van Buisputten. Ter hoogte van de boring Knokke rust de Formatie van Maldegem onmiddellijk op het Kwartair.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In Assenede is de Formatie van Maldegem ongeveer 45 m dik. Uit de boorgatmeting werd afgeleid dat onderaan het 2,9 m dikke glauconietrijk schelphoudend zand van het Lid van Wommel voorkomt. Volgens LAGA (1990) is dit Lid echter ter plaatse afwezig en behoort deze zandlaag tot de Formatie van Lede. De daaropvolgende klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel bereiken samen een dikte van iets meer dan 17 m. Het Lid van Asse bevat meer sedimente van de zandfractie. De klei van het Lid van Ursel wordt van de klei van het Lid van Zomergem (met een dikte van ongeveer 8 m) gescheiden door een iets minder dan 4 m dikke kleiige zandlaag die behoort tot het Lid van Onderdale. Daarop

volgt het ter plaatse 6,5 m dikke kleihoudend zand van het Lid van Buisputten. Bovenaan komt de klei van het Lid van Onderdijke, met een dikte van ongeveer 11,00 m, voor.

Ten zuiden van het gebied Sint-Laureins - Assenede, ter hoogte van de boringen te Ursel en Maldegem, vormt de Formatie van Maldegem de bovenste tertiaire eenheid. Ze is er niet meer volledig aanwezig.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring te Woensdrecht is de Formatie van Maldegem 70 m dik terwijl ze ongeveer 60 m dik is ter hoogte van Kallo. In Kallo is deze formatie goed ontwikkeld. Deze boring gaf trouwens aanleiding tot de oudere term "Complex van Kallo", waartoe ook het bovenliggende Lid van Bassevelde behoorde.

In de boring Kallo komt eerst het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Wemmel voor. De klei van het Lid van Asse en het Lid van Ursel is er ongeveer 18 m dik. Deze wordt door het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Onderdale gescheiden van de 12 m dikke klei van het Lid van Zomergem. Hierop volgt het ongeveer 5 m dikke zand van het Lid van Buisputten en de ongeveer 8 m dikke klei van het Lid van Onderdijke.

Meer naar het oosten toe wordt de Formatie van Maldegem eveneens aangetroffen.

2.4.7. Tongeren Groep

2.4.7.1. Formatie van Zelzate

De lithologische opbouw van de Formatie van Zelzate in de potentiële bergingsgebieden wordt voorgesteld in figuur 2.28.

Legende :

- Krijt
- Fossielen
- Verweerd Krijt
- Klei
- Gruiswaaier
- Gebreccieerde klei
- Zand
- Ligmet
- Silt
- Silt
- MerGel
- Conglomerat
- Schalie
- Schraap
- Zandsteen
- Geen monster
- Mantelresten

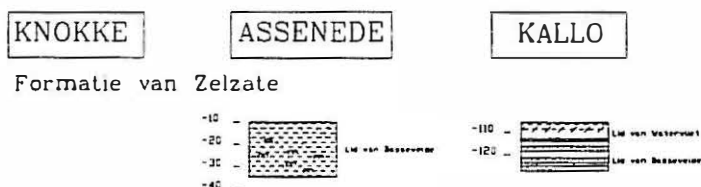


Fig. 2.28. Lithologie van de Formatie van Zelzate in Kallo - de Formatie van Zelzate komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

De Formatie van Zelzate bestaat in hoofdzaak uit middelmatig fijne zanden van het Lid van Bassevelde met erboven zandige klei van het Lid van Watervliet. Ze komt voor in het grootste gedeelte van het studiegebied. Het Lid van Bassevelde vormt een watervoerende laag.

Gebied Knokke

In het noorden van het gebied Knokke komt de Formatie van Zelzate waarschijnlijk nog voor. Ze is er overwegend zandig. Hierboven komen kwartaire afzettingen voor.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ter hoogte van de boring te Assenede is de Formatie van Zelzate ongeveer 23 m dik. Het Lid van Bassevelde bestaat er uit fijn kleihoudend zand dat plaatselijk sterk kleihoudend is. Het bovenste gedeelte van is kalkloos terwijl de onderste 8 m schelpenresten bevatten. Verder bevat het Lid van Bassevelde nummulieten, glimmers, glauconiethoudend, weinig pyrietconcreties en kleine zandsteenconcreties. Naar boven toe stijgt het kleigehalte en verschijnen meer kleihoudende laagjes. Bovenaan komt de kleilaag van het Lid van Watervliet voor, die echter afwezig is in Assenede. In Bassevelde is de Formatie van Zelzate ongeveer 25 m dik.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring te Kallo is de Formatie van Zelzate ongeveer 18 m dik. De klei van het Lid van Watervliet is er ongeveer 3 m dik.

Naar het oosten toe, wordt de Formatie van Zelzate dunner.

2.4.7.2. Formatie van Niel - Lid van Ruisbroek

De lithologische opbouw van de Formatie van Niel wordt voorgesteld in figuur 2.29.

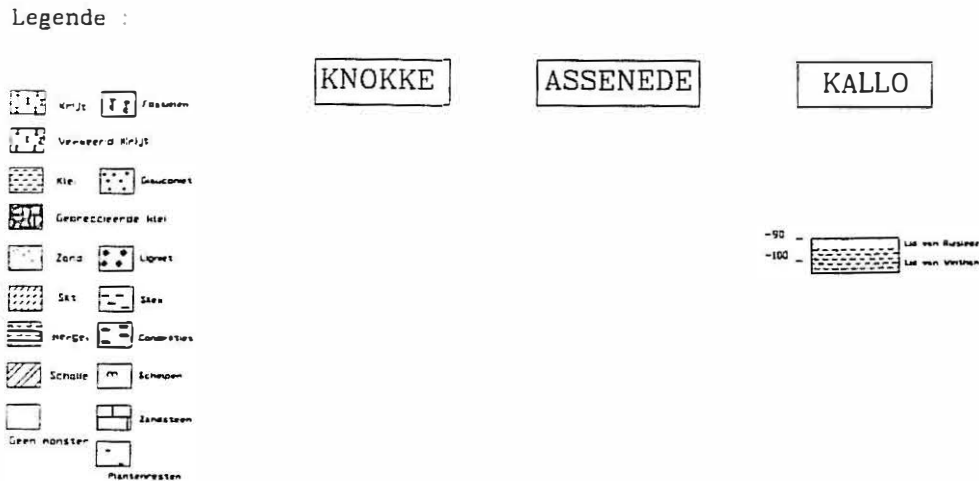


Fig. 2.29. Lithologie van de Formatie van Niel in Kallo - de Formatie van Niel komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

De term Formatie van Niel vervangt de oude term Lid van Ruisbroek. Het bestaat uit fossielrijke groengrijze zanden met soms grote oesterschelpen. Aan de basis van de formatie komt het siltige Lid van Wintham voor (STEURBAUT, 1992). De Formatie van Niel vormt een watervoerende laag. Ze wordt gescheiden van het Lid van Bassevelde door de dunne kleilaag van het Lid van Watervliet.

Gebied Knokke

In het gebied Knokke komt de Formatie van Niel niet voor.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Indien deze laag nog in het gebied Sint-Laureins - Assenede voorkomt, is de verbreiding en de dikte ervan beperkt.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is deze formatie ter hoogte van de boring te Kallo 7 tot 8 m dik.

2.4.8. Rupel Groep

2.4.8.1. Formatie van Bilzen

Deze formatie wordt in het studiegebied niet aangetroffen.

2.4.8.2. Formatie van Boom

De lithologische opbouw van de Formatie van Boom is voorgesteld in figuur 2.30.

De Formatie van Boom is een grijze siltige klei of kleiige silt met vrij constante chemische en mineralogische kenmerken. Deze klei is pyriet- en glauconiethoudend in de meeste siltige horizonten. Ze is zeer typisch geband (20-50 cm) door rhythmische veranderingen in siltgehalte (met geleidelijke overgangen), plantaardig organisch materiaal en carbonaten (met septaria ontwikkeling). Deze dunne banden komen voor in een welbepaalde verticale volgorde, die constant blijft doorheen het ontsluitingsgebied. De formatie dagzoomt in het Land van Waas en ten noorden van de Rupel en de Nete. In het gebied ten noorden van deze ontsluitingszone komt de klei in de ondergrond voor. De meest volledige sequentie wordt teruggevonden in de ondergrond van Noord-België (VANDENBERGHE, 1978).

De bandenstructuur komt tot uiting in kleurvariaties. De banden hebben een dikte van enkele tientallen cm tot hooguit 1/2 meter. Enkel aan de basis komen dikkere lagen met een dikte tot 1 m voor. Door afwisseling in korrelgrootte vinden we donker- en lichtgrijze banden. Donkere tot zwarte banden zijn aangerijkt met organisch materiaal en komen vooral voor in het bovenste gedeelte van de klei. Zeer bleke banden zijn aangerijkt met carbonaat en bezitten septaria. In de formatie komt ook een kenmerkende roze band voor, de kleur is ontstaan door oxidatie van ijzerhoudende mineralen. In het onderste deel van het Lid van Putte komt een dubbelband, bestaande uit twee grovere lagen, gescheiden door een dunne kleiband, voor (VANDENBERGHE, 1978).

Legende :

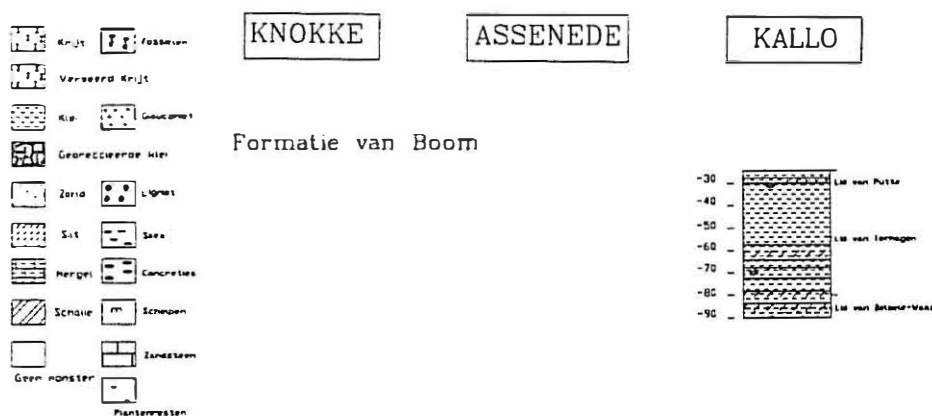


Fig. 2.30. Lithologie van de Formatie van Boom in Kallo - de Formatie van Boom komt niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

a. Lid van Belsele-Waas

Het Lid van Belsele-Waas omvat het onderste meer siltige deel van de Formatie van Boom, dat gekenmerkt is door de afwezigheid van zwarte organische banden en het voorkomen van twee zeer dikke siltige banden aan de basis (VANDENBERGHE, 1978). Het vangt aan met een grint van licht herwerkte verkitte fragmenten met een carbonaat-fosfaat cement (VANDENBERGHE, 1978).

b. Lid van Terhagen

Het Lid van Terhagen omvat het middenste gedeelte van de Formatie van Boom. Het bestaat uit een bleekgrijze klei, die met het minst silteuse pakket in de Formatie van Boom overeenstemt en slechts twee uitgesproken zwarte banden, rijk aan organisch materiaal, bevat. Het is onderaan kalkhoudend, maar het bovenste deel is ontkalkt en bezit een rozige tot bruine schijn (VANDENBERGHE, 1978).

c. Lid van Putte

Het Lid van Putte ligt boven het Lid van Terhagen en onderscheidt zich ervan door het systematisch voorkomen van zwarte banden rijk aan organisch materiaal en van meer siltige horizonten. De klei is donkerder dan het Lid van Terhagen, waarmee de grens steeds duidelijk waarneembaar is (VANDENBERGHE, 1978).

Gebied Knokke

De Formatie van Boom komt niet voor ter hoogte van Knokke.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede komt de Formatie van Boom niet voor.

Gebied Sint-Niklaas-Beveren

Ter hoogte van de boring Kallo is de Formatie van Boom ongeveer 60 m dik, in Woensdrecht 91 m. Door zijn constant lithologisch karakter, kunnen geen specifieke kenmerken voor dit gebied worden opgemerkt. In de boorbeschrijving van de boring Kallo (GULINCK, 1965), wordt melding gemaakt van bruingrijze tot grijsgroene glimmerhoudende zware klei met silthoudende laagjes, septaria, sporefossielen en soms breukjes. De onderste 10 m (Lid van Belsele-Waas) bestaat uit silt en silthoudende klei, afgewisseld met kleihoudend fijn zand. De klei van de Formatie van Boom vormt in het gebied een belangrijke zeer slecht doorlatende laag. Er wordt een verticale doorlatendheid van $1,13 \cdot 10^{-9}$ m/s voor verondersteld (WALRAEVENS et al., 1990).

2.4.8.3. Formatie van Eigenbilzen

Deze formatie komt in het studiegebied niet voor.

2.4.9. Neogene afzettingen

De neogene afzettingen bestaan vooral uit glauconiethoudende en veelal schelprijke zanden. Deze afzettingen komen voornamelijk voor in het noordelijk deel van ons land. De Antwerpse Kempen en de Roerdal Slenk zijn gebieden waar deze afzettingen goed ontwikkeld zijn. Deze formatie is enkel belangrijk in het oosten van het studiegebied. De lithologische opbouw is voorgesteld in figuur 2.31.

Gebied Knokke

In het gebied Knokke komen geen neogene afzettingen voor.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Ook in het gebied Sint-Laureins - Assenede komen geen neogene afzettingen voor.

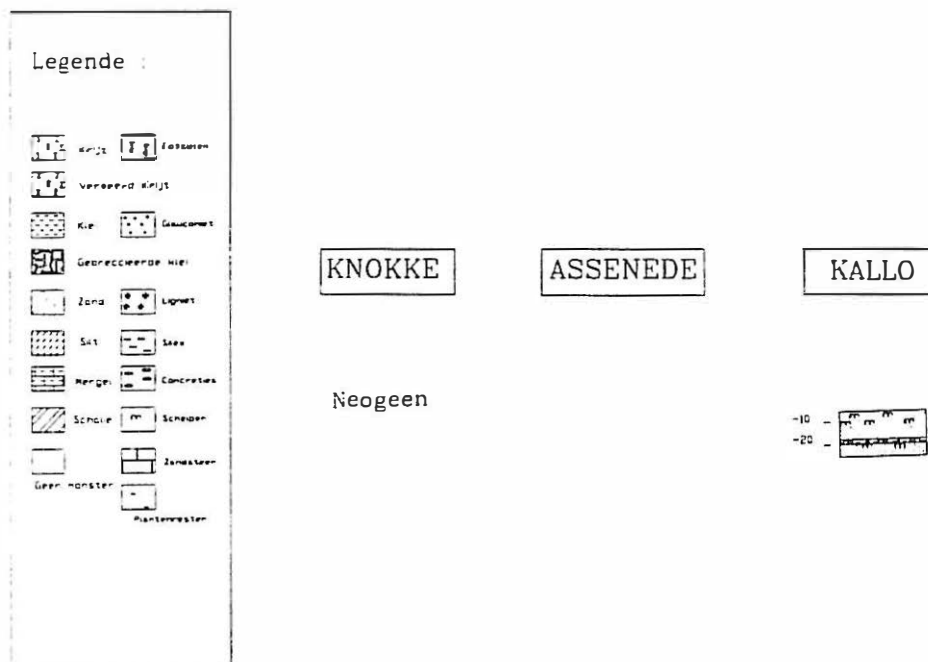


Fig. 2.31. Lithologie van het Neogeen in Kallo - de neogene afzettingen komen niet voor ter hoogte van Knokke en Assenede

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Antwerpen, bestaat het Neogeen uit 15 tot 30 m dikke afzettingen van de Formatie van Berchem. Deze formatie bestaat uit glauconiethoudend fijn zand dat plaatselijk kleihoudend kan zijn. Hierop volgt de Formatie van Kattendijk die bestaat uit glauconiethoudend weinig kleihoudend fijn zand. Aan de basis wordt meestal grint aangetroffen. Ter hoogte van Antwerpen is deze afzetting ongeveer 5 m dik. De daarop volgende Formatie van Lillo kan in vier leden worden onderverdeeld. Het Lid van Oorderen is 4 tot 7 m dik en bestaat uit glauconiethoudend fijn zand. Het Lid van Kruisschans bestaat uit een afwisseling van glauconiethoudende fijne zandlaagjes en laagjes donkergrijze klei, het is 2,5 tot 5 m dik. Het Lid van Merksem is 4 tot 11 m dik en bestaat uit glauconiethoudend fijn zand. Het uit glauconiethoudend fijn zand met kleilenzen bestaande Lid van Zandvliet is ter plaatse 2 tot 14 m dik (MAHAUDEN & DE BREUCK, 1990; DE SMET et al., 1994).

Ter hoogte van Kallo bestaan de neogene afzettingen uit een laag fijne, glauconiethoudende zanden met kleine keitjes, waarop grove schelpenrijke zanden, licht kleihoudend zand en fijn zand met wat schelpgruis volgen. Deze afzettingen zijn 22 m dik in Kallo. In Woensdrecht zijn deze zandige afzettingen 96 m dik.

Meer naar het oosten, ter hoogte van de boring te Rijkevorsel zijn de zandige afzettingen van het Neogeen al meer dan 150 m dik.

De neogene zandafzettingen vormen de meest uitgestrekte watervoerende laag van het land.

2.5. Kwartair

Vooral in het oosten van het studiegebied en aan de kust zijn de kwartaire afzettingen van belang. In beiden gebieden spelen ze hydrogeologisch een belangrijke rol.

Legende :

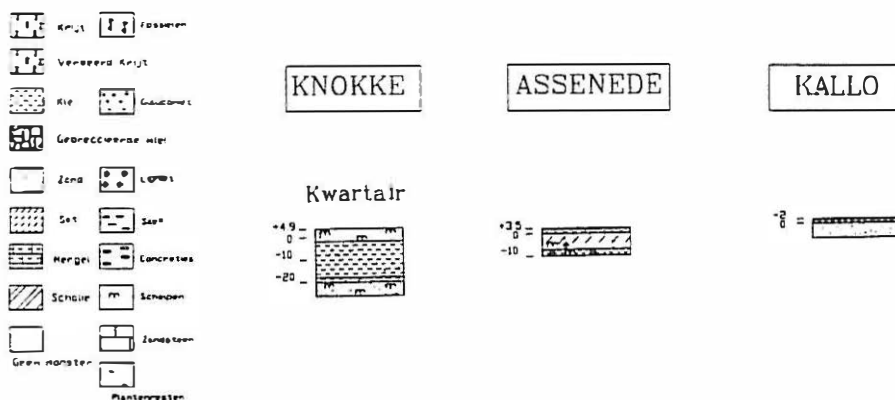


Fig. 2.32. Lithologie van het Kwartair in Knokke, Assenede en Kallo

De lithologische opbouw van de kwartaire afzettingen in de potentiële bergingsgebieden wordt voorgesteld in figuur 2.32.

Gebied Knokke

In Knokke wordt een 30 m dik kwartair pakket aangetroffen. Het bestaat vooral uit zandige, veelal gelaagde afzettingen. Het zijn estuariene en getijdenvlakte afzettingen van pleistocene ouderdom. Ze behoren tot de afzettingen van de Vlaamse Vallei (TAVERNIER & DE MOOR, 1974; PAEPE & VANHOORNE, 1967).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het Pleistoceen uit twee zandlagen, gescheiden van elkaar door een leemlaag. De holocene afzettingen zijn opgebouwd uit klei en silt (BOUGHRIBA, 1992).

Ter hoogte van Assenede bestaat het Pleistoceen voornamelijk uit siltig fijn zand dat soms kleihoudend en/of humeus is. Regelmatig komen er leemlagen in voor. Het onderste gedeelte van het Pleistoceen is minder silthoudend. Het is een fijn zand met schelpengruis, silex, grint, keitjes en zandsteen fragmenten. Het bovenliggende, is Assenede 1,5 tot 2 m dikke Holocene bestaat uit humeuze kleiige silt en klei.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Kallo bestaat het Pleistoceen uit zeer fijn zwart zand, waarboven kleiig veen voorkomt. Het Holocene bestaat er uit venige polderafzettingen.

In Woensdrecht vindt men een 16,2 m dik pakket pleistocene zandige afzettingen. Hierboven vindt men 8 m holocene afzettingen (zandige klei, klei en veen).

Meer naar het oosten toe, ter hoogte van Antwerpen komt onderaan 0 tot 15 m dik fijn tot middelmatig plio-pleistoceen zand, gevolgd door een 0 tot 12 m dik klei-veen complex, een 0 tot 6 m dikke zandlaag voor. Bovenaan vindt men een meestal minder dan 1 m dik leem-klei complex (polderafzettingen) (MAHAUDEN & DE BREUCK, 1990; DE SMET et al., 1994).

2.6. Besluit

Uit vergelijking van de geologische opbouw van de verschillende gebieden en uit de isohypsen- en isopachenkaartjes, blijkt dat :

- de geologische opbouw van de afzettingen onder de Landen Groep in de drie gebieden ongeveer gelijk is; de Formatie van Heers komt enkel in het gebied Sint-Niklaas-Beveren voor;
- de Formatie van Hannut heel dun is in het gebied Knokke, het is er opgebouwd uit zand, de klei van het Lid van Watervliet ontbreekt, een vrij gelijkaardige opbouw kan worden veondersteld in het gebied Sint-Laureins - Assenede;
- onder de Formatie van Kortrijk het heterogene Lid van Knokke in de drie gebieden voorkomt;
- de silt van het Lid van Mont-Héribu een onregelmatige verbreiding heeft;
- de homogene klei van het Lid van Saint-Maur meer dan 100 m dik is in het Gebied Knokke en waarschijnlijk ook in het Gebied Sint-Laureins - Assenede; in dit laatste gebied bevindt de top zich waarschijnlijk op een diepte van meer dan 200 m;
- zowel de dikte als de heterogeniteit van het Lid van Moen toeneemt naar het oosten toe;
- de homogene klei van het Lid van Aalbeke in de drie gebieden voorkomt;
- de silt van het Lid van Kortemark het dikst is in het gebied Sint-Niklaas - Beveren;
- het zand van het Lid van Egem het dikst is in het Gebied Sint-Niklaas - Beveren;
- de klei van het Lid van Merelbeke wordt gekenmerkt door zijn onregelmatig voorkomen;
- de tertiaire kleilaag, gevormd door de Formatie van Boom enkel voorkomt ter hoogte van het gebied Sint-Niklaas - Beveren.

Figuur 2.33 heeft een doorsnede van de geologie ter hoogte van Doel. Boringen reiken maar tot de top van de Formatie van Boom. De onderliggende grensvlakken werden afgeleid door extrapolatie en dienen niet als absoluut te worden beschouwd.

3. MINERALOGISCHE EN CHEMISCHE SAMENSTELLING

3.1. Inleiding

Gegevens over de globale mineralogische samenstelling van de Formatie van Kortrijk werden niet teruggevonden. Frequent wordt het voorkomen van bepaalde mineralen in publicaties vermeld, echter zelden vergezeld van percentages.

In de klei van de Formatie van Kortrijk komen lensvormige zandige en meer plastische zones voor. De zandige zones bevatten glimmers en zijn vaak glauconiethoudend. In de plastische zones vindt men vaak septaria, pyrietknollen en gipskristallen van sterk wisselende grootte (CAMERMAN, 1939).

Het Lid van Mont-Héribu bevat veel glauconiet, een autigeen gevormd mineraal dat typisch is voor het Tertiair. Het Lid van Saint-Maur bevat plaatselijk pyriethoudende vlekken en gepyritiseerde foraminiferen. Soms bevat het kleine septaria. Ook fosfaatconcreties komen erin voor. Het Lid van Moen bevat laagjes, rijk aan grove glauconietkorrels en soms fosfaatconcreties. Het Lid van Aalbeke is gewoonlijk glimmerhoudend; gipskristallen kunnen eveneens voorkomen (GEETS, 1988).

In de kleifractie van de Formatie van Kortrijk komen, geassocieerd met de kleimineralen, bijna altijd kwarts en veldspaat voor. Soms vindt men eveneens goethiet, hematiet, opaal-CT en clinoptilotiet terug (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1988).

Door LINSTER (1975) werd de kwalitatieve mineralogische samenstelling van het Lid van Aalbeke ten zuiden van Kortrijk onderzocht. Door middel van X-straaldiffractie werd afgeleid dat de silfracctie vooral glimmers, kwarts, veldspaten, chloriet en kaoliniet bevat. De kleifractie heeft een verschillende mineralogische samenstelling. Ze is vooral opgebouwd uit kwarts, glimmers, kaoliniet, smectiet van de montmorillonietgroep (zwellende kleien) en chloriet.

Het kwartsgehalte varieert tussen 20 en 50 % en bedraagt te Kallo meestal meer dan 30 % (MERCIER-CASTIAUX, 1982).

3.2. Kleimineralogie

3.2.1. Formatie van Kortrijk

In de Formatie van Kortrijk worden de volgende kleimineralen aangetroffen (MERCIER-CASTIAUX & DUPUIS, 1988) :

- de primaire mineralen chloriet en illiet;
- onregelmatig geïnterstratificeerde mineralen;
- smectieten;
- kaoliniet;
- vezelige kleimineralen.

De percentages van deze mineralen variëren sterk doorheen de stratigrafische kolom, maar ook regionale verschillen treden op.

De meeste kleimineralen worden gekenmerkt door hun hoge kationuitwisselingscapaciteit of CEC (tabel 3.1). Dit is evenals de zeer slechte doorlatendheid, een positieve factor voor het gebruik van klei als bergingsplaats voor hoogradioactief afval. Smectiet heeft de hoogste kationuitwisselingscapaciteit (CEC) : 80 tot 150 meq/100 g (SCHLUMBERGER, 1986). Een hoog gehalte aan smectiet is dus positief in functie van de geschiktheid voor berging van hoogradioactief afval. De kationuitwisselingscapaciteit van smectiet vermindert wel bij het opwarmen van de klei (DE PUTTER & CHARLET, 1994).

	Chloriet	Illiet	Kaoliniet	Smectiet
CEC (meq/100 g)	10-40	10-40	3-25	80-150

Tabel 3.1 - Kationuitwisselingscapaciteit van kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986)

Gebied Knokke

Ter hoogte van de referentiebooring Knokke kan de eigenlijk homogene kleilaag van de Formatie van Kortrijk in twee kleimineralogische zones worden onderverdeeld (zie faze 1). Het grootste deel behoort tot zone I, met volgende gemiddelde kleimineralogische samenstelling :

- 12 % chloriet;
- 24 % illiet;
- sporen onregelmatig geïnterstratificeerde mineralen;
- 52 % smectiet;
- 10 % kaoliniet.

De bovenste 35 m van de klei behoort tot zone II, met de volgende gemiddelde kleimineralogische samenstelling :

- 4 % chloriet;
- 19 % illiet;
- 74 % smectiet;
- 3 % kaoliniet.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Mineralogisch onderzoek van de Formatie van Kortrijk is ter plaatse niet gebeurd. Men kan aannemen dat de kleimineralogische samenstelling van de Formatie van Kortrijk ter plaatse niet al te sterk verschilt van de samenstelling in het gebied Knokke.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Zoals in de boring Knokke worden ook ter hoogte van de boring Kallo verschillende kleimineralogische zones onderscheiden. In het pakket, bestaande uit de Formatie van Kortrijk en het Lid van Kortemark, varieert de gemiddelde samenstelling van onder (zone I) naar boven (zone II). Algemeen vindt men dat :

- het chlorietgehalte afneemt van 16 % onderaan tot 5 % (soms minder) bovenaan;
- het illietgehalte afneemt van 30 % onderaan tot 20 % (op een bepaalde plaats zelfs 12 %) bovenaan;
- het smectietgehalte stijgt van 45 % onderaan tot 80 % bovenaan;
- het kaolinietgehalte onderaan 8 % bedraagt en dit mineraal naar boven toe verdwijnt.

3.2.2. Formatie van Tielt - Lid van Kortemark

In het ontginningsgebied worden de dikke kleilenzes, aanwezig in de silt van het Lid van Kortemark, gekenmerkt door een hoog gehalte aan smectieten (MOSTAERT, 1988).

3.3. Zware mineralen

LINSTER (1975) onderzocht de zware mineraleninhoud van o.a. het Lid van Aalbeke en het Lid van Moen, ten zuiden van Kortrijk. Het gehalte zware mineralen, afgescheiden uit de zandfractie van de monsters, was zeer gering : 1,59 % uit een monster van een zwak zandig laagje uit het Lid van Aalbeke en 0,94 % uit een monster van het Lid van Moen.

Ten zuiden van Kortrijk bleek de niet-opake zware mineralenfractie van het Lid van Aalbeke vooral uit granaat (25 %), zirkoon (15 %), epidoot (12 %) en alteriet (10 %) te bestaan. De niet-opake zware mineralen van het Lid van Moen bevatten ter plaatse evenveel zirkoon als granaat (25 %). Daarnaast komt eveneens alteriet (12 %) en epidoot (9 %) voor. Het hoge gehalte alteriet heeft waarschijnlijk te maken met de aard van de monstername. De monsters werden op kleine diepten en langs wanden genomen (LINSTER, 1984). Eveneens ten zuiden van Kortrijk onderzocht GEETS (1969) de zware mineralen uit het Lid van Aalbeke. Gemiddeld vindt hij ook vooral granaat (22 tot 42 %), zirkoon (13 tot 20 %), toermalijn (11 tot 34 %) en epidoot (5 tot 30 %).

Er dient op gewezen dat het hier gaat om plaatselijke studies. Meer algemene gegevens werden reeds vermeld in het verslag van faze 1.

3.4. Natuurlijke radioactiviteit

3.4.1. De kleimineralen

Bepaalde kleimineralen beïnvloeden sterk de signatuur van de natuurlijke gamma-log. Dit laatste is vooral afhankelijk van de hoeveelheid K^{40} -, U^{238} - en Th^{232} -isotopen die voornamelijk worden teruggevonden in kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986). De hoeveelheid van deze isotopen in verschillende kleimineralen en het aandeel in de natuurlijke radioactiviteit (de invloed op de natuurlijke gamma-log of GR) wordt gegeven in tabel 3.2.

	Chloriet	Illiet	Kaoliniet	Smectiet
Th ²³² (ppm)	0-8	10-25	6-19	14-25
U ²³⁸ (ppm)	17-36	9-12	4,5-7	4,3-7,7
K ⁴⁰ (gew %)	0-0,03	3,5-8,5	0-0,5	0-1,5
GR (API)	180-250	250-300	80-130	150-200

Tabel 3.2 - Natuurlijke radioactiviteit in kleimineralen (SCHLUMBERGER, 1986)

Uit tabel 3.2 blijkt dat kaoliniet veel minder invloed op de natuurlijk radioactiviteit heeft dan smectiet, chloriet en vooral illiet. Het meeste in de Formatie van Kortrijk voorkomende kleimineraal, smectiet, heeft eveneens een belangrijke invloed op de natuurlijke radioactiviteit van een geologische laag.

3.4.2. De mica's

In tabel 3.3 wordt het gehalte van de belangrijkste radioactieve elementen en de natuurlijke radioactiviteit van de mica's, die eveneens voorkomen in de Formatie van Kortrijk, gegeven. SCHLUMBERGER (1986) maakt geen melding van de invloed van glauconiet op de natuurlijke gamma-log, maar het hoge kaliumgehalte zal zeker tot de natuurlijke radioactiviteit bijdragen. Muscoviet en biotiet hebben eveneens een sterke invloed op de signatuur van de natuurlijke gamma-log, vergelijkbaar met deze van illiet, smectiet en chloriet.

	Glauconiet	Muscoviet	Biotiet
Th ²³² (ppm)	2-4	20-26	20-25
U ²³⁸ (ppm)		2-8	2-8
K ⁴⁰ (gew %)	3,2-6,8	7,8-9,8	6-50
GR (API)		- 270	200-350

Tabel 3.3 - Natuurlijke radioactiviteit in mica's (SCHLUMBERGER, 1986)

3.4.3. De veldspaten

Veldspaten bevatten gemiddeld 8 tot 12 ppm thorium en 10,5 tot 16 gew % kalium en beïnvloeden de natuurlijke gamma-log.

3.4.4. De zware mineralen

Het meest voorkomende zware mineraal in de Formatie van Kortrijk is zirkoon (30 tot 40 % van de zware mineralen). Zirkoon heeft een thoriumgehalte dat varieert van 50 tot 4 000 ppm en een uraniumgehalte gelegen tussen 300 en 3 000 ppm. Dit mineraal heeft duidelijk een hoog gehalte aan radioactieve elementen.

Ook granaat (10 tot meer dan 30 % van de zware mineralen) komt veel in de Formatie van Kortrijk voor. Granaat beïnvloedt de signatuur van de gamma-log echter weinig of niet. Hetzelfde geldt voor rutiel en toermalijn.

3.5. Chemische samenstelling

De chemische samenstelling van een kleisediment is afhankelijk van de aanwezige kleimineralen, de hoeveelheid vrij silicium en de aanwezigheid van pyriet, calciet, gips, sideriet, enz. De hoeveelheid SiO_2 wordt bepaald door het vrij silicium dat aanwezig is als kwartskorrels en amorf silicium en door silicium, voorkomend in kleimineralen (VANDENBERGHE, 1978)

Informatie over de chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk is enkel aanwezig voor de gebieden waar deze belangrijke kleilaag wordt uitgebraat voor o.a. baksteen- en dakpannenindustrie (vooral in het zuiden en het centrum van West-Vlaanderen).

Algemeen kan men stellen dat het Lid van Moen een zeer magere klei is met CO_2 -gehalte van 1 tot 6,4 %, SiO_2 -gehalte van ongeveer 78 % en Al_2O_3 -gehalte van ongeveer 10 % is. Het Lid van Aalbeke is een zeer zware klei met SiO_2 -gehalte tussen 70 en 57 % en Al_2O_3 -gehalte tussen 12,3 en 17,7 % (MOSTAERT, 1988).

BRYSSSE (1984) onderzocht de chemische samenstelling van 53 monsters van de Formatie van Kortrijk, ten zuiden van Kortrijk. De gemiddelde samenstelling wordt vermeld in tabel 3.4. Deze tabel bevat tevens analyseresultaten van DECLEER et al. (1981) en van CAMERMAN (1939). CAMERMAN (1939) onderzocht 4 stalen van de Formatie van Kortrijk uit de omgeving van Kortrijk en 5 uit de omgeving van Ieper. Van beide reeksen wordt het gemiddelde in tabel 3.4 vermeld.

	1	2	3	4		1	2	3	4
SiO ₂ (gew. %)	60,32	63,30	66,54	62,62	CO ₂ (%)	-	n.b.	n.b.	n.b.
Al ₂ O ₃ (gew. %)	14,91	13,90	16,29	17,51	SO ₄ ²⁻ (ppm)	14	n.b.	n.b.	n.b.
totaal Fe ₂ O ₃ (gew. %)	6,05	6,70	4,46	6,01	Co (ppm)	24	n.b.	n.b.	n.b.
FeO (gew. %)	1,46	n.b.	n.b.	n.b.	Cr (ppm)	118	n.b.	n.b.	n.b.
MnO (gew. %)	0,03	n.b.	n.b.	n.b.	Cu (ppm)	20	n.b.	n.b.	n.b.
CaO (gew. %)	0,96	0,90	1,45	0,90	Li (ppm)	60	n.b.	n.b.	n.b.
MgO (gew. %)	2,15	1,40	0,78	0,69	Ni (ppm)	54	n.b.	n.b.	n.b.
Na ₂ O (gew. %)	0,39	0,60	n.b.	n.b.	Rb (ppm)	122	n.b.	n.b.	n.b.
K ₂ O (gew. %)	2,96	n.b.	n.b.	n.b.	Sr (ppm)	114	n.b.	n.b.	n.b.
TiO ₂ (gew. %)	0,66	n.b.	n.b.	n.b.	Zn (ppm)	93	n.b.	n.b.	n.b.
T.C. (gew. %)	0,86	n.b.	n.b.	n.b.	pH	6,14-8,29	n.b.	n.b.	n.b.
O.C. (gew. %)	0,39	0,50	n.b.	n.b.	n.d. (%)	6,63-14,85	n.b.	n.b.	n.b.

T.C. = totaal koolstofgehalte,
 O.C. = organisch koolstofgehalte,
 n.d. = de som van H₂O, gloeiverlies en P₂O₅

(1 = BRYSSSE (1984); 2 = DECLEER et al. (1981); 3 = CAMERMAN (1939), omgeving Kortrijk; 4 = CAMERMAN (1939), omgeving Ieper)

Tab. 3.4 - Chemische samenstelling van de Formatie van Kortrijk

Het gehalte CO₂ kon met de volumetrische methode niet worden bepaald (BRYSSSE, 1984). Van de monsters uit de diepboring van Tielt kon het CO₂-gehalte wel worden bepaald. Het gehalte varieert tussen 0,09 en 2,12 %. Omdat het CO₂-gehalte in relatie staat met het carbonaatgehalte kan hierin een aanwijzing voor het bestaan van kalkarme en kalkrijke zones worden gevonden.

Volgen MERCIER-CASTIAUX (1982) is calciumcarbonaat enkel in bepaalde, eerder zeldzame lagen aanwezig. Het percentage loopt zelden op tot meer dan 5 %. Volgens GEETS (1988) is het Lid van Saint-Maur plaatselijk kalkhoudend. In het lid van Moen komen regelmatig schelpfragmenten (o.a. Turitella) voor. Volgens CAMERMAN (1939) bezit het soms aanzienlijke hoeveelheden FeCO₃. Het Lid van Aalbeke bevat eerder weinig schelpfragmenten.

Omdat de door BRYSSSE (1984) onderzochte 53 monsters een sterk wisselende chemische samenstelling vertonen, kon de correlatie tussen de chemische variabelen afgeleid worden. SiO₂ verhoudt zich omgekeerd met al de andere chemische bestanddelen. Al₂O₃ correleert

sterk met het totaal Fe_2O_3 -gehalte. Overige correlaties tussen de hoofdelementen wijzen op de aanwezigheid van een aantal zware mineralen (rutiel, amfibolen), veldspaten, smectieten en illiet. De goede correlatie van Li en Rb met K_2O wijst op het voorkomen van K-veldspaat in het sediment (BRY SSE, 1984).

Sporenelementen komen voornamelijk als bestanddeel van de in het sediment aanwezige mineralen voor (BRY SSE, 1984).

3.6. Organisch materiaal

De 53 door BRY SSE (1984) onderzochte monsters ten zuiden van Kortrijk bevatten gemiddeld 0,39 % organisch koolstof. Aanalyses van DECLEER et al. (1981) gaven een gehalte van 0,50 % aan. Uit deze gegevens kan een relatief laag gehalte organisch materiaal worden afgeleid.

Uit boorbeschrijvingen kan worden afgeleid dat het Lid van Saint-Maur plaatselijk humushoudend is. In het Lid van Aalbeke zijn wortelresten, houtresten en humeuze vlekken eerder zeldzaam (GEETS, 1988).

De kennis van het gehalte aan organisch materiaal is vrij interessant. Organisch materiaal heeft namelijk de eigenschap een doeltreffend agens te zijn voor het vangen van gemobiliseerd uranium. Zowel recent gevormd organisch materiaal dat gedeeltelijk in ontbinding is (veen) als duidelijk meer geëvolueerd fossiel organisch materiaal (bitumen) bezit het vermelde retentievermogen (DE PUTTER & CHARLET, 1994).

3.7. Besluit

Uit bovenstaande kan men besluiten dat :

- absolute gegevens over de kwantitatieve mineralogische samenstelling van de Formatie van Kortrijk niet gekend zijn;
- smectiet en in mindere mate illiet de twee belangrijkste kleimineralen in de Formatie van Kortrijk zijn;
- de kleimineralen in de Formatie van Kortrijk een hoge kationuitwisselingscapaciteit vertonen (vooral smectiet);
- de Formatie van Kortrijk in hoofdzaak mineralen bevat, die van nature een niet onbelangrijke radioactiviteit vertonen (kleimineralen, glimmers, veldspaten, zware mineralen);
- de belangrijkste voorkomende chemische elementen in de Formatie van Kortrijk SiO_2 , Al_2O_3 en Fe_2O_3 zijn;
- de weinige beschikbare gegevens wijzen op een relatief laag gehalte organisch materiaal in de Formatie van Kortrijk.

4. WATERVOERENDE LAGEN

4.1. Inleiding

Het derde basis criterium, dat de geschiktheid van een geologische laag voor de berging van hoogradioactief afval bepaalt, houdt verband met de hydrogeologie en in het bijzonder met de mogelijkheid van grondwaterstroming in de formaties. Algemeen wordt aangenomen dat de eventuele terugkeer van de radionucliden naar de biosfeer grotendeels afhankelijk is van de hydrogeologische toestand rond de bergingsruimte. Het verwerven van kennis inzake de stromingsregimes in de watervoerende lagen boven en onder de kleilaag is in dit verband noodzakelijk. De lagen die boven en onder de voor berging geschikte laag voorkomen dienen bij voorkeur te bestaan uit ondoorlatende plastische gesteenten (SAFIR, 1984).

Radionucliden die eventueel in het grondwater zouden terechtkomen, zullen zich, afhankelijk van de richting en de snelheid van de grondwaterstroming, verspreiden. Hierbij dient rekening gehouden worden met het feit dat het natuurlijke grondwaterstromingspatroon door exploitatie van de watervoerende lagen grondig kan gewijzigd zijn.

In het studiegebied zijn er geen hydraulische parameters van de onder en boven de Formatie van Kortrijk voorkomende watervoerende lagen gekend. Uiteraard is de grote voorkomingsdiepte hiervoor de oorzaak. Waar deze lagen zich in de ondiepe ondergrond bevinden, kunnen de hydraulische parameters wel bepaald worden. Wegens mogelijke veranderingen in lithologie, kunnen deze echter niet naar andere gebieden worden overgedragen (LEBBE, pers. meded.). Bovendien moet rekening gehouden worden met de steeds grotere druk van bovenliggende gesteenten bij diepere begraving, wat een grotere samendrukbaarheid tot gevolg heeft.

Gegevens over de vergunde grondwaterwinningen in en rond de potentiële bergingsgebieden werden ons door de AMINAL ter beschikking gesteld. Ze werden opgenomen in tabellen en verder in de tekst besproken. Ook sommige niet vergunde winningen zijn bij de AMINAL gekend. De gebieden waarvoor de vergunde grondwaterwinningen werden opgevraagd zijn voorgesteld op figuur 4.1. Ze werden steeds ruimer genomen dan de eigenlijke potentiële bergingsgebieden.

Het is aangewezen ook gegevens over de kwaliteit van het grondwater in de verschillende watervoerende lagen na te gaan. Dit met het oog op een mogelijke toekomstige waterwinning, die de toestand nabij een bergingsplaats zou kunnen wijzigen.

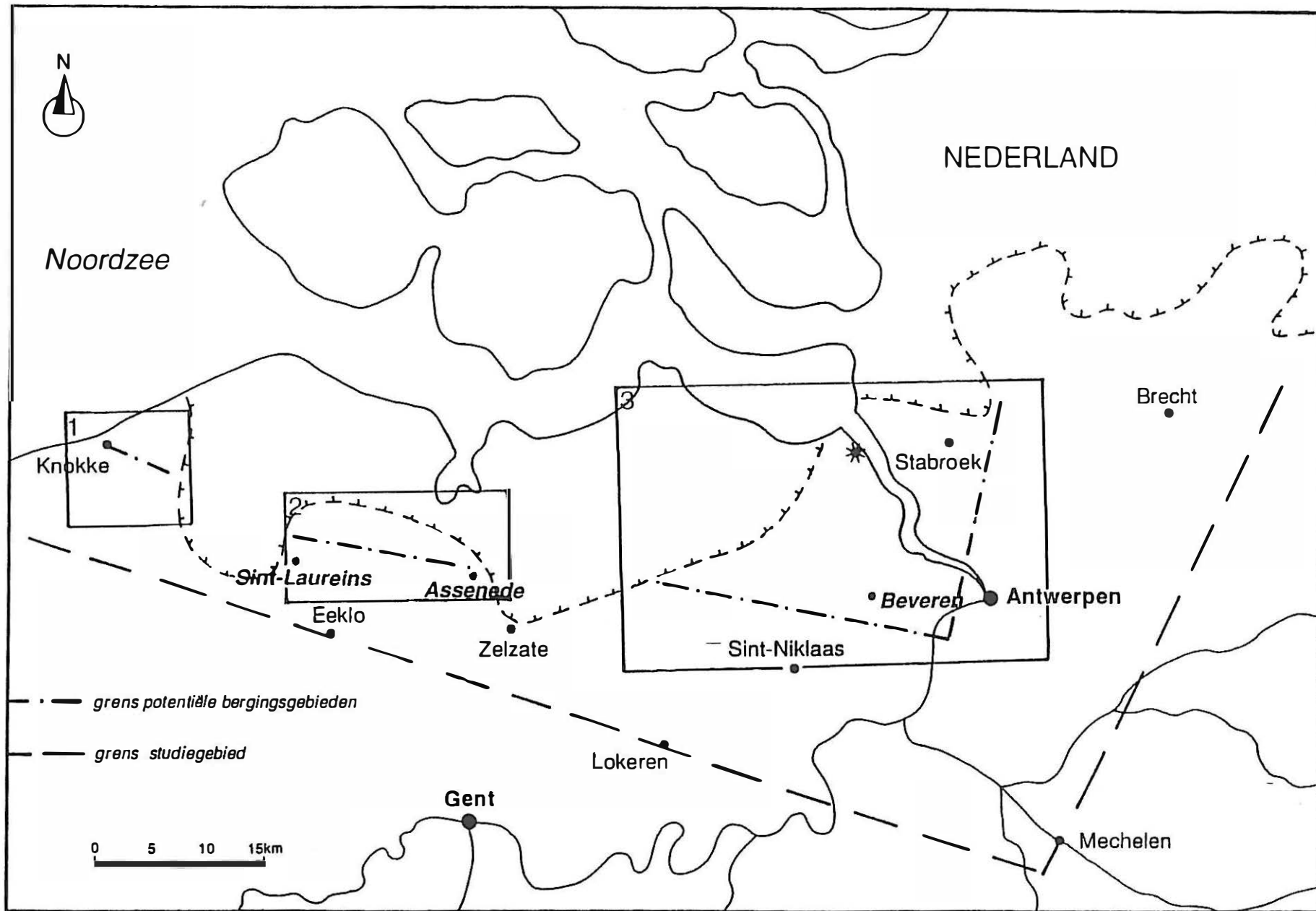


Fig. 4.1. Zones, waarbinnen vergunde waterwinningen werden opgevraagd :

- 1) X (70 000, 82 000), Y (220 000, 230 000);
- 2) X (90 000, 110 000), Y (212 000, 223 000);
- 3) X (120 000, 158 000), Y (206 000, 233 000).

4.2. Paleozoïsche Sokkel

4.2.1. Inleiding

De diepste watervoerende laag in het studiegebied wordt gevormd door de gesteenten van het Massief van Brabant van Cambro-Siluur ouderdom. Dit bestaat uit vaste gesteenten waarvan de top, omwille van de aanwezigheid van spleten, een belangrijke watervoerende laag vormt. Het debiet dat uit deze gesteenten kan gewonnen worden hangt af van de dichtheid en de uitbreiding van de spleten. Beiden nemen normaal met de diepte af. Het niet gespleten gedeelte van de Paleozoïsche Sokkel is zeer slecht doorlatend en vormt de basis van het watervoerend pakket.

In het studiegebied komen deze gesteenten op een grote diepte voor, waardoor er praktisch geen water uit wordt onttrokken. Bovendien zijn er voldoende andere watervoerende systemen in het gebied aanwezig.

De Carboon-kalkstenen vormen in gebieden met intense verkarsting een belangrijke watervoerende laag. De doorlatendheid in de bovenste 50 m is groot en in de buurt van Wuustwezel wordt deze laag gebruikt voor de opslag van aardgas.

4.2.2. Grondwaterstromingspatroon

Aan de hand van de gekende opgepompte debieten werd een mathematisch model opgesteld (LEBBE et al., 1987), waarmee de natuurlijke grondwaterstroming in het Massief van Brabant gesimuleerd werd. De stijghoogtelijnen worden voorgesteld in figuur 4.2. Het grondwater stroomde vanuit het zuidoosten in noordelijke en westelijke richting. De voeding van de beschouwde watervoerende laag gebeurde in natuurlijke toestand hoofdzakelijk in de hoger gelegen gebieden, door de Formatie van Kortrijk heen. In het studiegebied deed zich een opwaartse stroming voor (Fig. 4.3).

Door exploitatie van het Massief van Brabant zijn er, vooral in de streek rond Roeselare, rond Waregem en rond Aalst, afpompingsrechters ontstaan. Hierdoor is het natuurlijke grondwaterstromingspatroon verstoord (De Ceuckelaire et al., 1986). Met behulp van het hydrogeologisch mathematisch model werd afgeleid dat het huidige horizontale grondwaterstromingspatroon in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede naar het zuidwesten is gericht (Fig. 4.4) (LEBBE et al., 1987). In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de stijghoogtelijnen beschikbaar. In figuur 4.5. is de verticale stroming tussen de Paleozoïsche Sokkel en de Landen Groep voorgesteld (LEBBE et al., 1987). In de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede doet zich een neerwaartse stroming voor.

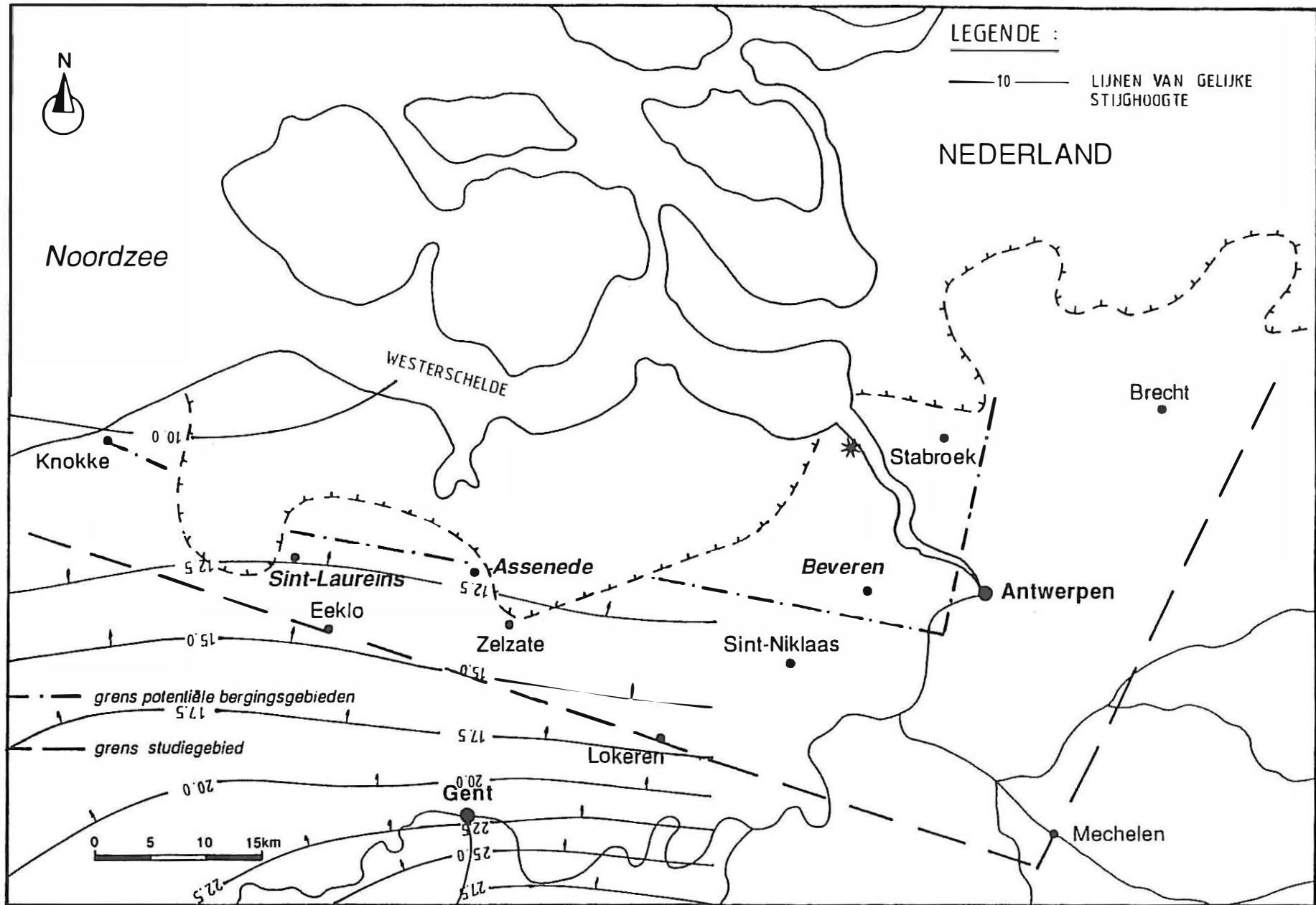


Fig. 4.2. Stijghoogten in de Paleozoïsche Sokkel - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)

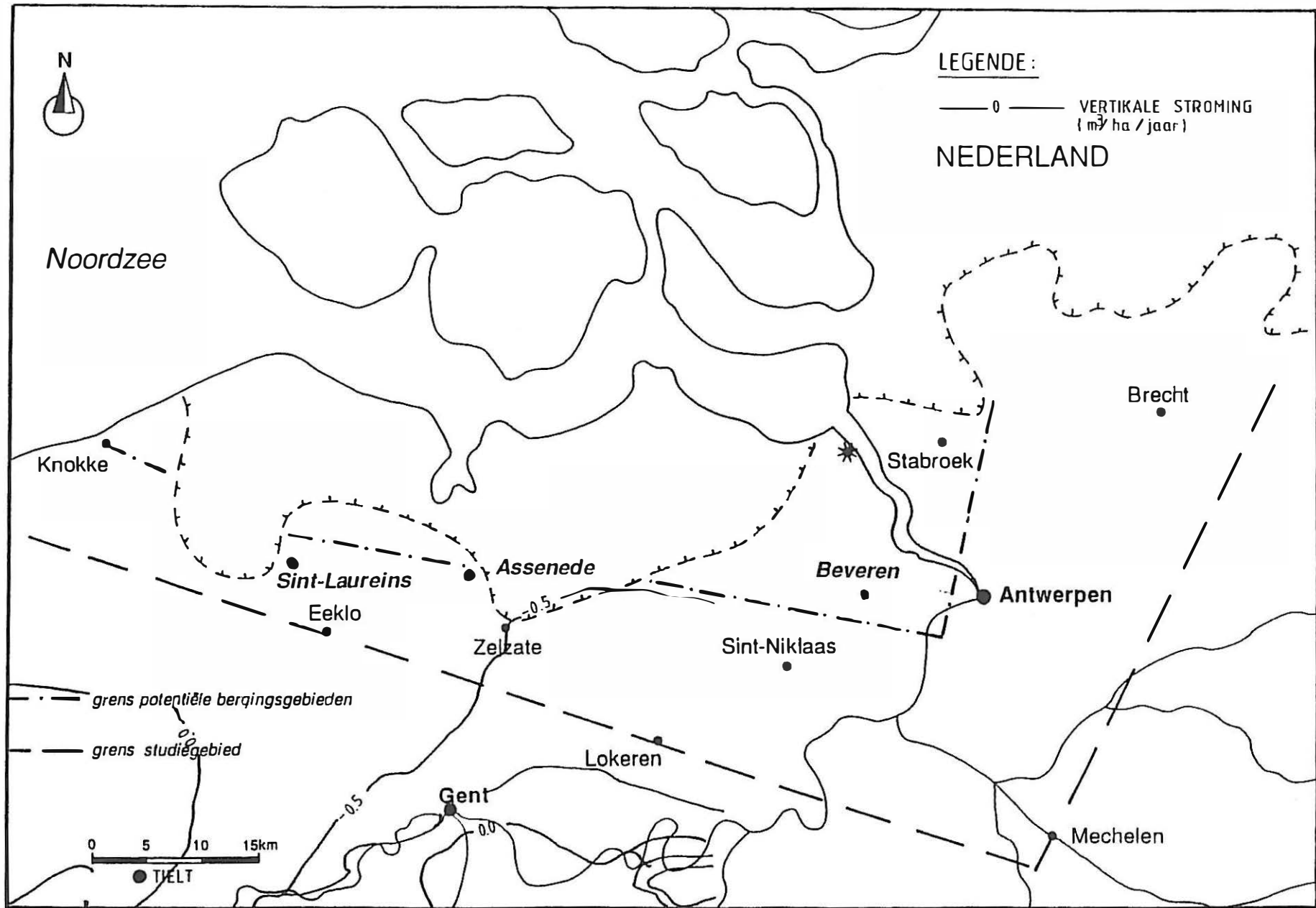


Fig. 4.3. Vertikale stroming tussen Sokkel en Landen Groep - natuurlijke toestand (naar LEBBE et al., 1987)

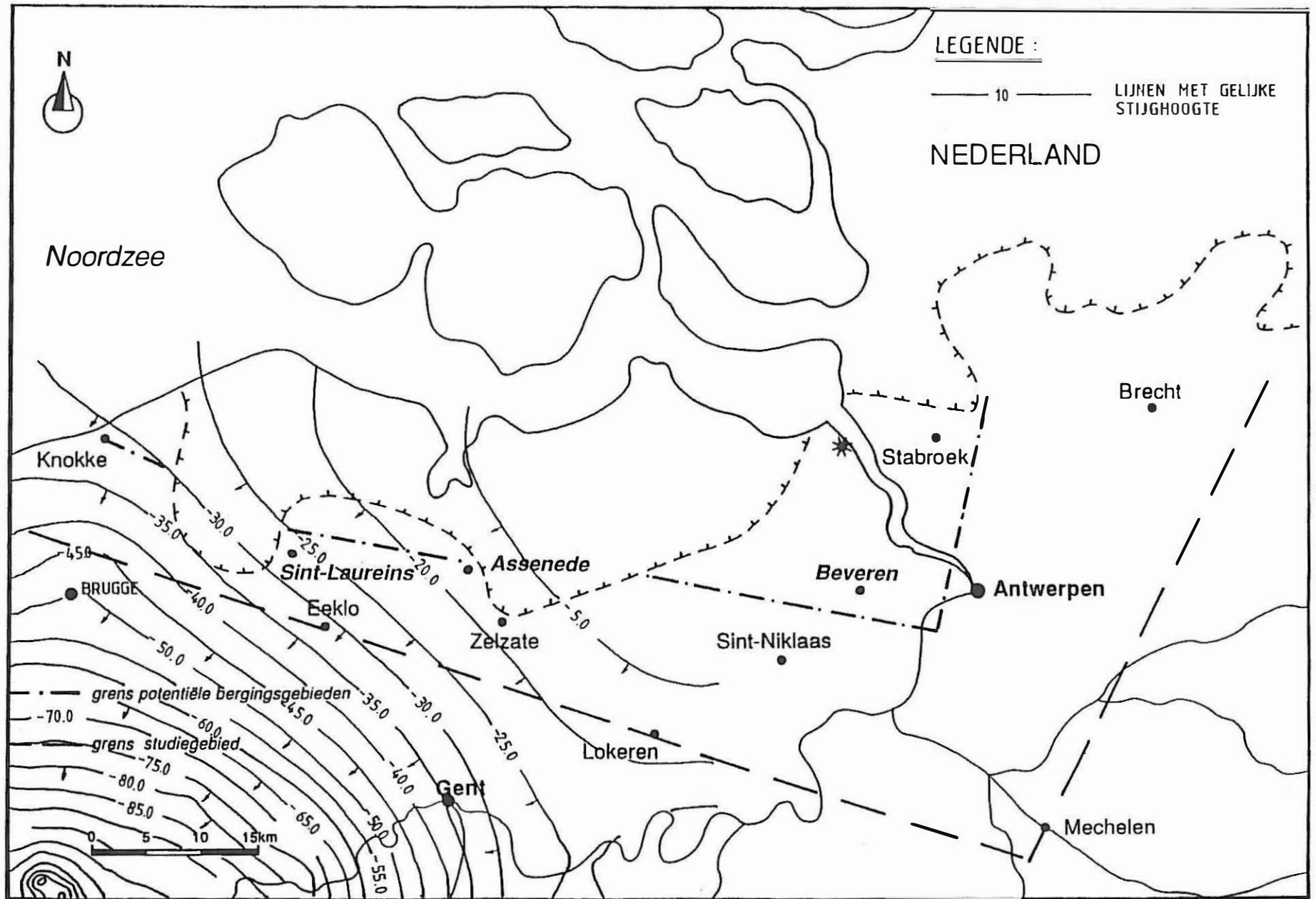


Fig. 4.4. *Stijghoogten in de Paleozoïsche Sokkel - toestand met waterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)*

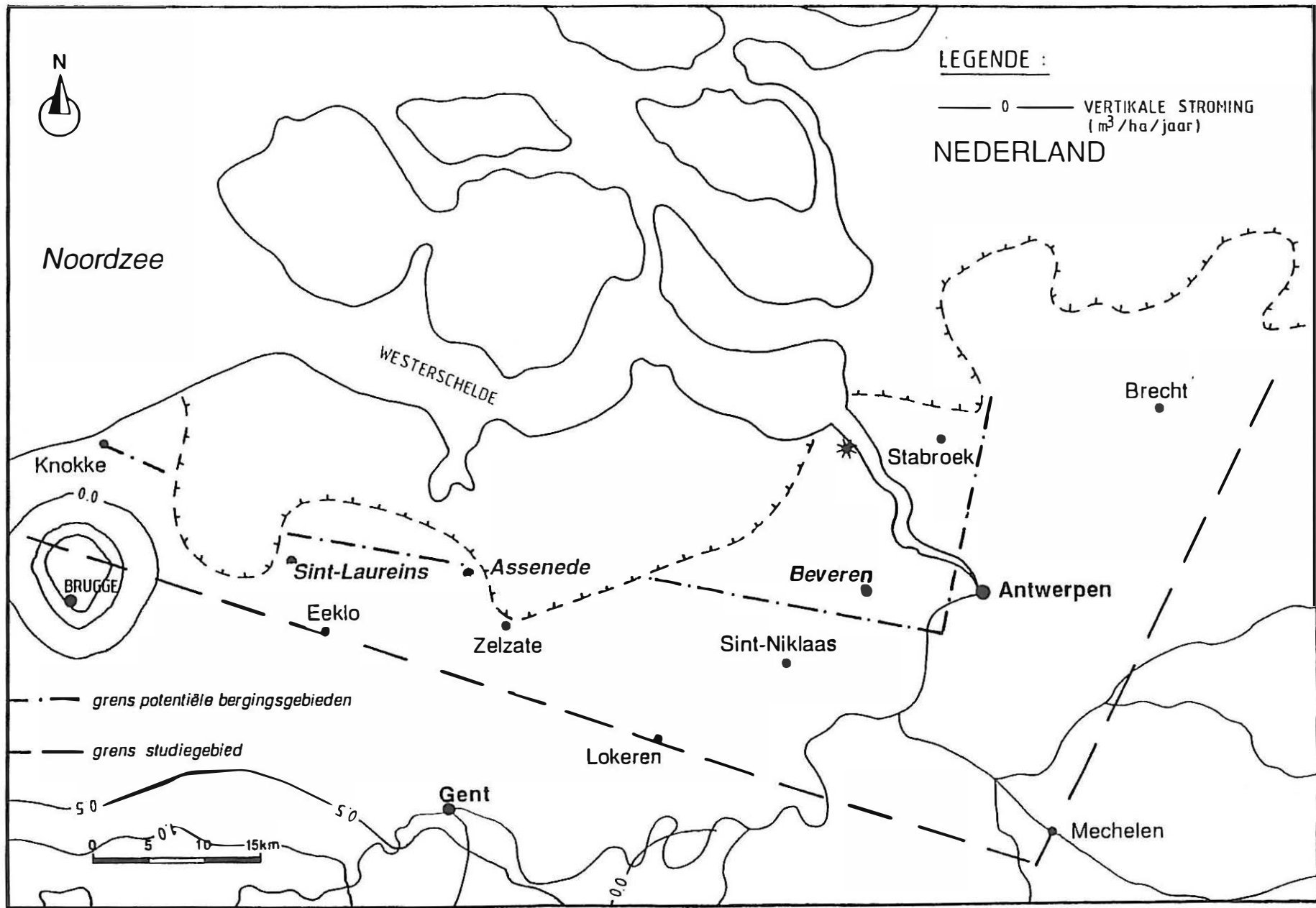


Fig. 4.5. Vertikale stroming tussen Sokkel en Landen Groep - toestand met waterwinnin-
 gen (naar LEBBE et al., 1987)

4.2.3. Doorlatendheid

De doorlatendheid van de Sokkel hangt af van de gespletenheid van de gesteenten. Deze gespletenheid daalt met de diepte. In het gebied Knokke en het gebied Sint-Laureins - Assenede werd door middel van het mathematische model een transmissiviteit van $5,79 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ afgeleid (LEBBE et al., 1987). Deze gegevens mogen echter niet als absoluut worden beschouwd. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn er geen gegevens beschikbaar.

4.2.4. Grondwaterwinningen

In de potentiële bergingsgebieden zijn geen grondwaterwinningen vergund in de Paleozoïsche Sokkel.

4.2.5. Grondwaterkwaliteit

De kwaliteit van het grondwater (Fig. 4.6) is het resultaat van de vermenging van fossiel zeewater met in het voedingsgebied infiltrerend zoet water. Ze is gekoppeld aan de kationuitwisseling van infiltrerend water met de aanwezige kleilagen in de ondergrond.

De waarnemingspunten van de grondwaterkwaliteit van de Sokkel zijn geconcentreerd in het zuidoostelijk deel van Vlaanderen. In het overige deel kan de kwaliteitsverdeling slechts bij benadering bepaald worden (WALRAEVENS et al., 1989).

De gegevens voor de potentiële bergingsgebieden zijn eerder beperkt.

Gebied Knokke

In het gebied Knokke zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit in het Massief van Brabant beschikbaar. Men kan veronderstellen dat de mariene invloed er minstens even groot is als in het gebied Sint-Laureins - Assenede (zie verder) en dat het grondwater dus verzilt is.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het zuidwestelijk deel van het gebied Sint-Laureins - Assenede valt binnen het gebied waar de sterkste mariene invloed op het grondwater uit het Massief van Brabant geldt (WALRAEVENS et al., 1989). Het bevat brak tot zout, zeer zacht water van het NaCl-type. Het grondwater van de Sokkel bevat er voor meer dan 50 % van de anionensom chloride-ionen (Fig. 4.6). Voor het overige gedeelte zijn geen gegevens beschikbaar. Men kan echter veronderstellen dat de mariene invloed er minstens even groot is.

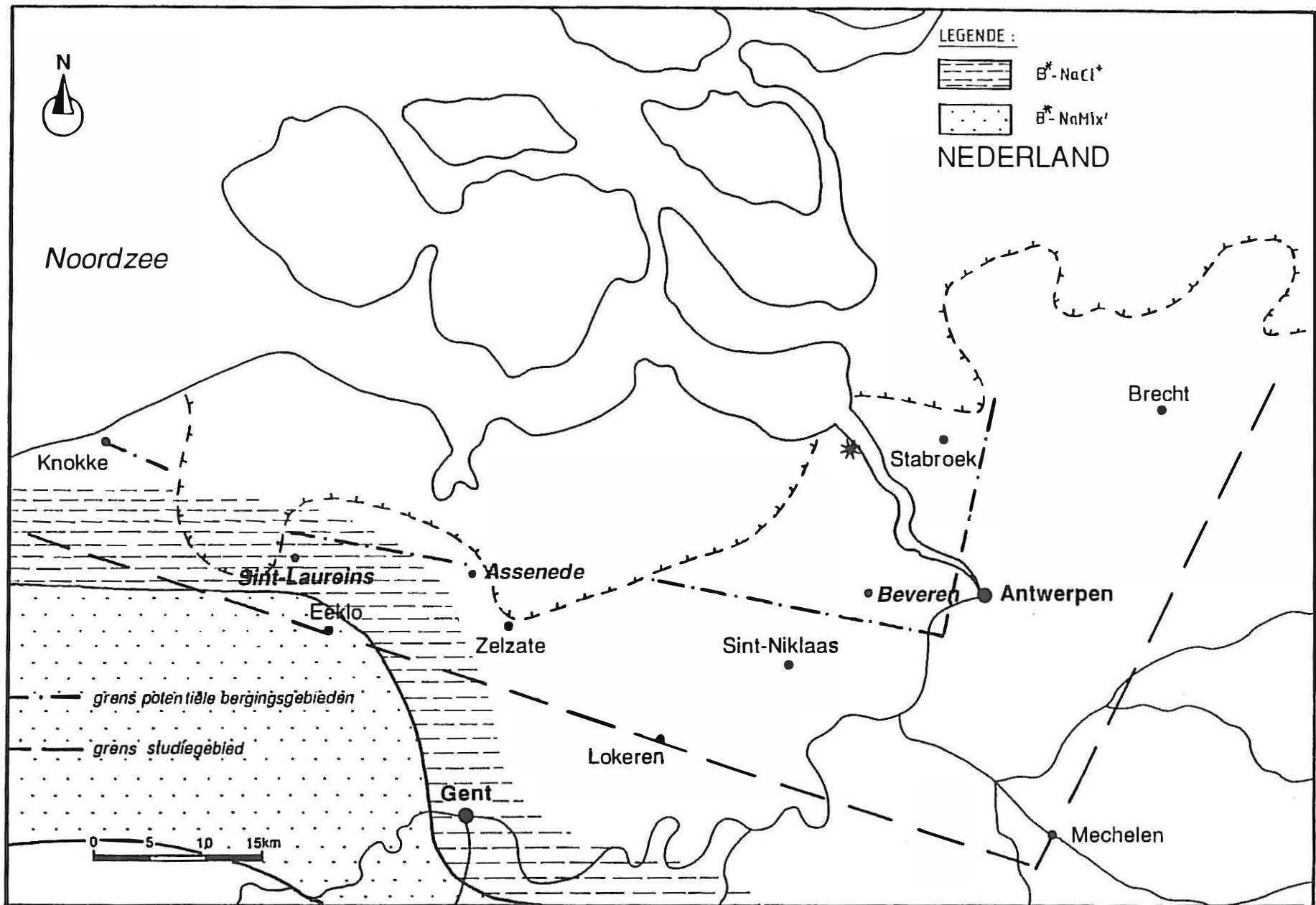


Fig. 4.6. Voorkomen van de verschillende watertypes in de Sokkel (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS et al., 1990)

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit in het Massief van Brabant beschikbaar. Men kan veronderstellen dat het grondwater uit de Paleozoïsche Sokkel er eveneens verzilt is.

4.3. Paleocene watervoerende laag

De hydrogeologie van de Landen Groep werd reeds uitgebreid behandeld tijdens fase 1. Het onderste slecht doorlatende gedeelte van de Formatie van Hannut bestaat voornamelijk uit klei (Lid van Waterschei) en silt (Lid van Halen). Het bovenste gedeelte van de Formatie van Hannut (Lid van Grandglise) is watervoerend.

De doorlatendheid van de Formatie van Tienen hangt samen met de sterk variërende lithologische samenstelling. De zandige lagen zijn watervoerend. De heterogene samenstelling van de Formatie van Tienen geeft aanleiding tot een eerder doorlatend karakter. De doorlatendheid is echter kleiner dan deze van het zand van het Lid van Grandglise.

De zanden van de Landen Groep (paleocene watervoerende laag genoemd) worden gevoed doorheen de Formatie van Kortrijk (WALRAEVENS et al., 1990). De stijghoogtelijnen van de watervoerende laag van de Landen Groep (huidige toestand) worden voorgesteld in figuur 4.7 (LEBBE et al., 1987). De natuurlijke toestand werd reeds in fase 1 behandeld.

Gebied Knokke

Ter hoogte van de boring Knokke is de Formatie van Hannut zeer dun. Ze is opgebouwd uit kleiig zand. De heterogene Formatie van Tienen is ter plaatse voornamelijk opgebouwd uit fijn zand en kan als doorlatend beschouwd worden. Er zijn geen gegevens over de doorlatendheid beschikbaar. In het gebied Knokke is het grondwater uit de Landen Groep brak tot zout en hard. Een klein deel in het zuiden van het gebied bevat brak, zeer zacht grondwater.

In het gebied Knokke is de huidige horizontale grondwaterstroming zuidwestwaarts gericht, terwijl de natuurlijke stroming naar het noordwesten was gericht.

Volgens de gegevens van de AMINAL is er in Heist-aan-Zee een waterwinning, klasse A (vergund debiet : 10 950 m³/d), in de Landen Groep vergund. Omdat de opgegeven diepte (135 m) niet in overeenstemming is met de diepte waarop de Landen Groep in dit gebied voorkomt, werd deze put buiten beschouwing gelaten.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In dit gebied zijn geen gegevens over de Landen Groep beschikbaar. Via extrapolatie kan men veronderstellen dat ze ter plaatse gelijkaardig is als ter hoogte van Knokke en voornamelijk uit fijn zand is opgebouwd. In het gebied Sint-Laureins - Assenede zijn geen gegevens over de grondwaterkwaliteit beschikbaar. Het water zal er waarschijnlijk een brakke of/tot zoute samenstelling hebben.

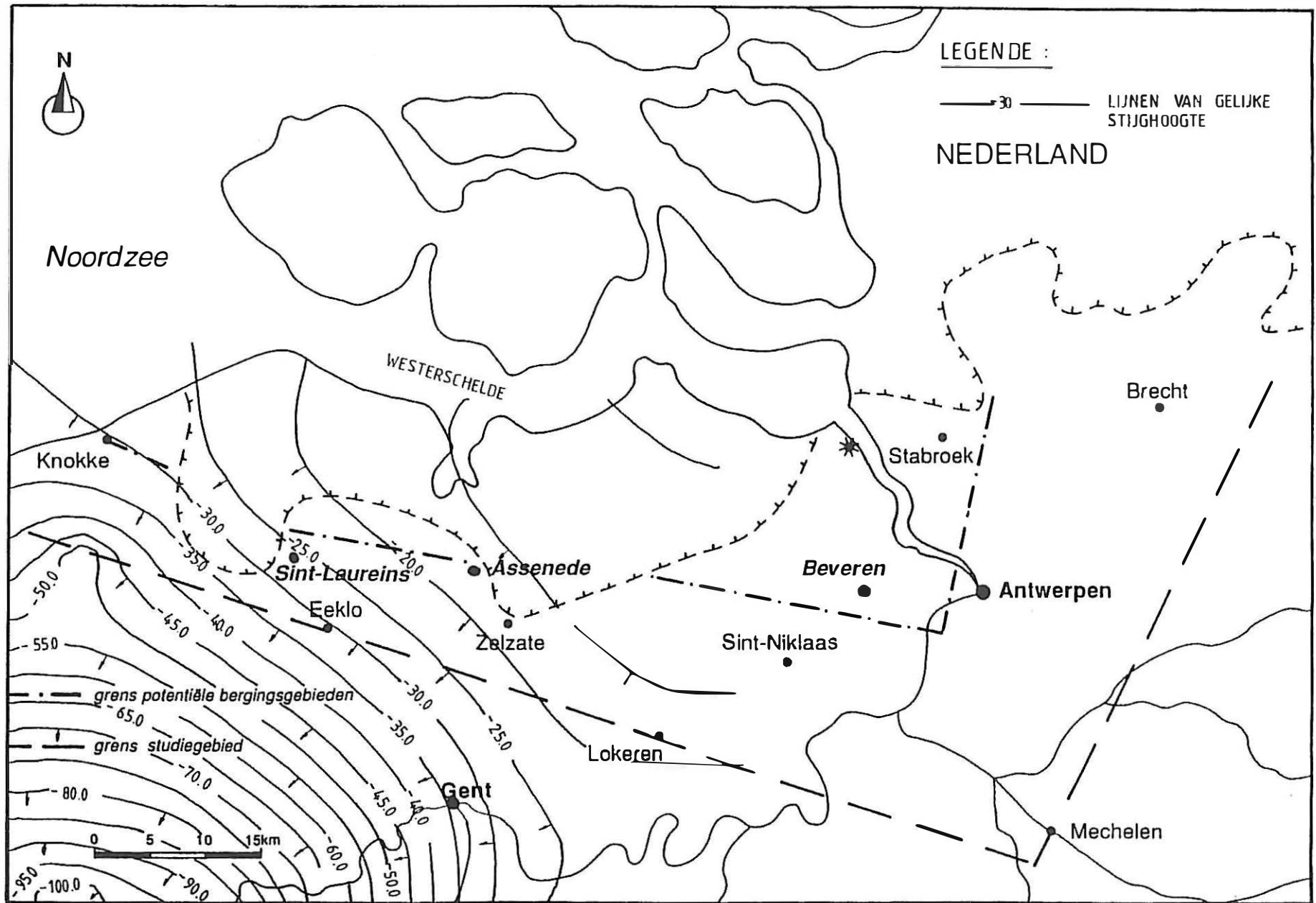


Fig. 4.7. Stijghoogte in de zanden van de Landen Groep - toestand met grondwaterwinningen (naar LEBBE et al., 1987)

In het gebied Sint-Laureins - Assenede is de huidige horizontale grondwaterstroming naar het zuidwesten gericht. In natuurlijke toestand verliep het grondwaterstromingspatroon noordwestwaarts.

In het gebied zijn er geen waterwinningen in de Landen Groep vergund.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van de boring te Kallo is de Formatie van Hannut ongeveer 43 m dik. Ze bestaat er van onder naar boven uit een 26 m dik pakket harde schilferachtige klei, een 11 m dik pakket siltsteen en een 6 m dik pakket silteus zand. Dit laatste kan als watervoerend worden beschouwd. De bovenliggende Formatie van Tienen bestaat uit een 24 m dik pakket heterogene afzettingen, waarvan de fijnzandige lagen watervoerend zijn. De onderste 12 m bestaat vooral uit silt en klei terwijl erboven een afwisseling van klei- en zandrijke lagen voorkomt. Er zijn geen gegevens over de doorlatendheid ter plaatse beschikbaar. Dit geldt ook voor de grondwaterkwaliteit. Men kan aannemen dat het water er brak of/tot zout is.

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren zijn geen gegevens over de richting van de horizontale grondwaterstroming beschikbaar.

In het gebied zijn geen waterwinningen in de Landen Groep vergund.

4.4. Watervoerende laag van het Lid van Egem

4.4.1. Inleiding

De watervoerende laag van het Lid van Egem werd reeds uitgebreid behandeld tijdens faze 1. Het vormt de eerste watervoerende laag boven de Formatie van Kortrijk. Hierdoor is het van belang de nodige aandacht aan zijn hydrogeologische kenmerken te schenken. Uit het Lid van Egem wordt enkel water gewonnen wanneer er geen andere mogelijkheden voorhanden zijn. In het noorden van België is dit vooral het geval in gebieden waar de eocene watervoerende laag niet voorkomt of verzilt is.

4.4.2. Grondwaterstromingspatroon

De natuurlijke horizontale stroming (Fig. 4.8) in het Lid van Egem verloopt in dezelfde richting als deze in de bovenliggende eocene watervoerende laag, die naar het noordwesten is gericht (zie verder). De grondwaterstroomsnelheid is, vergeleken met deze in de eocene watervoerende laag, echter een stuk kleiner.

Door waterwinningen uit de eocene watervoerende laag is het grondwaterstromingspatroon in de streek van de Gentse Kanaalzone en rond Waasmunster - Sint-Niklaas grondig gewijzigd (Fig. 4.9) (WALRAEVENS, 1987).

Ook het natuurlijke verticale stromingspatroon is gewijzigd. In het grootste deel van het studiegebied doet zich een neerwaartse stroming voor omdat de stijghoogteverlagingen in de bovenliggende eocene watervoerende laag zich ook doorzetten in de watervoerende laag van het Lid van Egem (Fig. 4.9).

4.4.3. Doorlatendheid

De doorlatendheid van het Lid van Egem varieert sterk van plaats tot plaats. Naast deze laterale heterogeniteit, wordt het Lid van Egem tevens gekenmerkt door een verticale heterogeniteit. Gekende gegevens (echter buiten het studiegebied gelegen) vermelden een doorlatendheid die varieert van $2,3 \cdot 10^{-8}$ m/s tot $1,13 \cdot 10^{-5}$ m/s (zie faze 1). Ten zuiden van de Gentse agglomeratie bedraagt de doorlatendheid $2,31 \cdot 10^{-5}$ m/s (VAN BURM et al., 1983).

4.4.4. Grondwaterkwaliteit

Van het grondwater uit het Lid van Egem zijn geen systematische analyseresultaten beschikbaar. Algemeen kan men stellen dat de verzilting toeneemt naar het noorden toe. In het noorden van West-Vlaanderen bevat dit grondwater een hoog natuurlijk zoutgehalte.

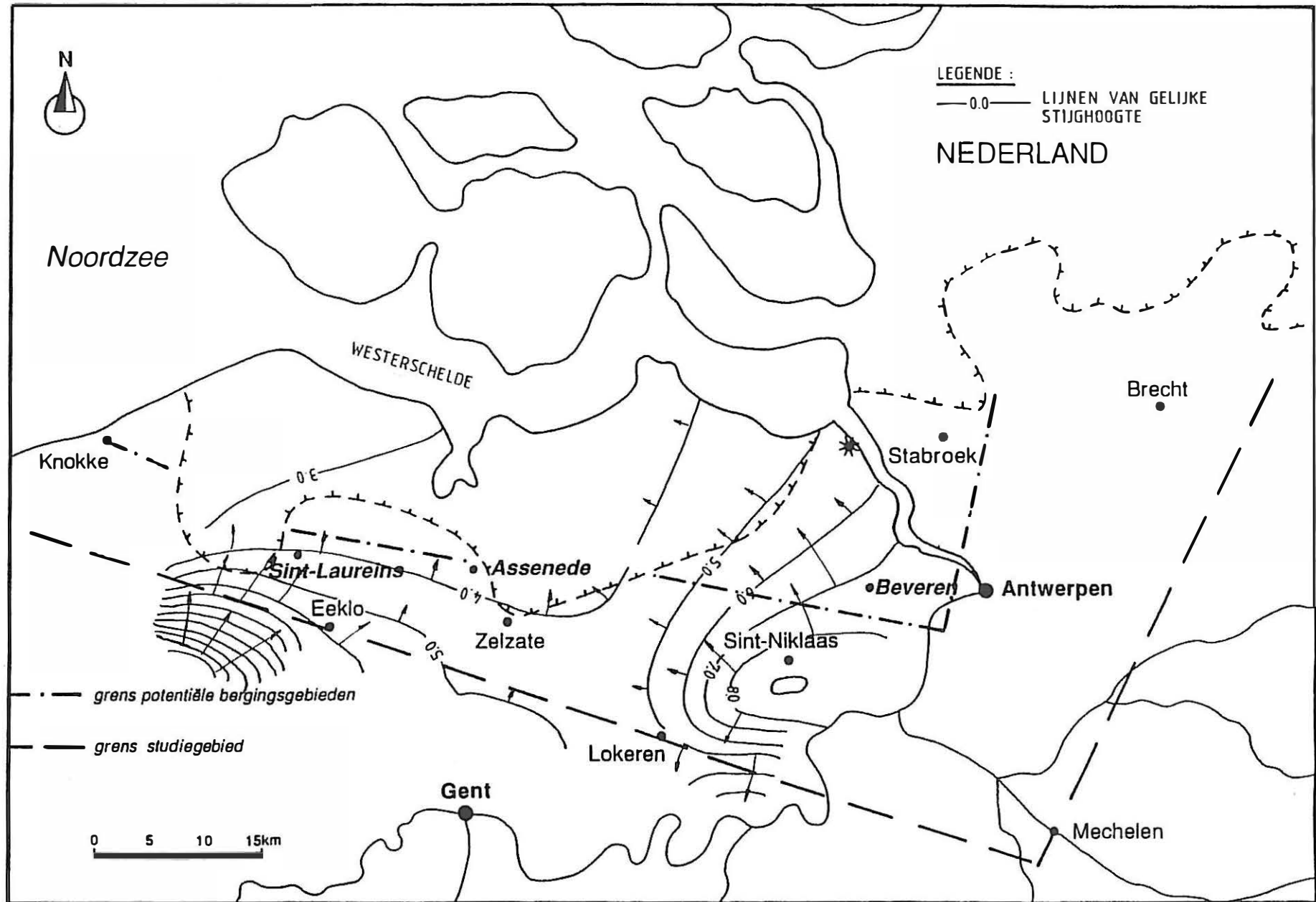


Fig. 4.8. Stijghoogte in het Lid van Egem - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)

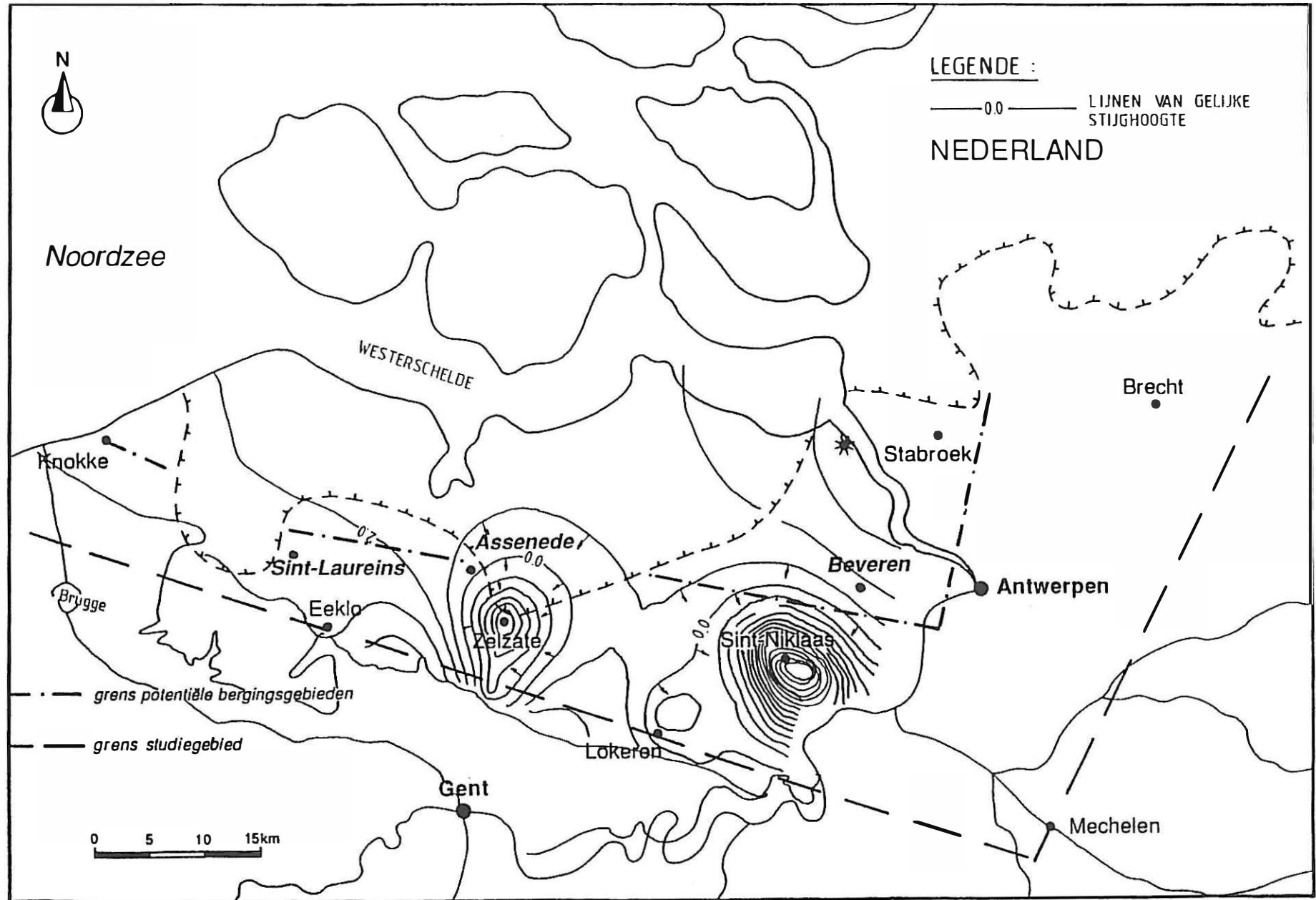


Fig. 4.9. Stijghoogte in het Lid van Egem - toestand met grondwaterwinningen
 (naar WALRAEVENS, 1987)

4.4.5. Potentiële bergingsgebieden

Gebied Knokke

Wegens de geringe dikte is de watervoerende laag van het Lid van Egem in dit gebied maar van weinig belang. Volgens de gegevens van de AMINAL is er in en in de omgeving van het beschouwde gebied slechts één waterwinning uit het Lid van Egem vergund. Het gaat om een bedrijf, klasse B, gelegen in Zeebrugge (buiten het eigenlijke potentiële bergingsgebied).

Dorp	Naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	Maasveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Brugge	Zeebrugse Behandelingsmas	70 135	223 040	3,50	100	175 200	B

Tabel 4.1 - Vergunde grondwaterwinningen uit het Lid van Egem in het gebied Knokke

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Uit de stijghoogtekaartjes (WALRAEVENS, 1987) kan worden afgeleid dat de natuurlijke grondwaterstroming in het Gebied Sint-Laureins - Assenede noordwaarts gericht was. De grondwaterstroomsnelheid neemt af van zuid naar noord.

Door grondwaterwinningen varieert de grondwaterstroomrichting van noordwaarts in het westen van het gebied tot zuidoostwaarts in het oosten. De snelheid van de grondwaterstroming neemt toe naar het oosten toe.

In natuurlijke toestand was de verticale grondwaterstroming opwaarts gericht. Deze toestand is niet gewijzigd in het westen van het gebied. In het oosten is de verticale grondwaterstroming, wegens ontrekkingen uit de eocene watervoerende laag in de Genste Kanaalzone, echter neerwaarts gericht.

Volgens de gegevens van de AMINAL wordt er in dit gebied geen grondwater uit het Lid van Egem (vergund) gewonnen.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ter hoogte van Kallo is het zand van het Lid van Egem 20 m dik.

In het gebied Sint-Niklaas - Assenede was het natuurlijke grondwaterstromingspatroon zeer gevarieerd. Voeding trad op in het gebied Waasmunster - Sint-Niklaas. Van daaruit stroomde het grondwater zowat in alle richtingen. In het noorden van het gebied westwaarts. De huidige grondwaterstroming is voornamelijk zuidwaarts gericht (in de richting van Waasmunster - Sint-Niklaas). In het zuidwesten is de stroming meer oostwaarts, in het oosten zuidwestwaarts. De verticale stroming is in het gebied voornamelijk neerwaarts gericht.

Volgens de AMINAL zijn er geen grondwaterwinningen uit het Lid van Egem in het gebied vergund.

4.5. De eocene watervoerende laag

4.5.1. Inleiding

Hydrogeologisch vormt de Zenne Groep één watervoerend geheel met het onderliggende Lid van Vlierzele van de Ieper Groep en het bovenliggende Lid van Wemmel van de Formatie van Maldegem. Vooral in het noorden van de provincies Oost- en West-Vlaanderen is deze watervoerende laag van groot belang voor de drinkwatervoorziening. In de provincie Antwerpen wordt er enkel in het uiterste zuiden water uit gewonnen. De hydrogeologie van deze watervoerende laag werd reeds besproken tijdens fase 1.

De isohypsen van de top van de eocene laag werden voorgesteld in figuur 4.10, de isopachen in figuur 4.11. In het noorden van het studiegebied kan deze eocene watervoerende laag een dikte van meer dan 100 m bereiken. Over het algemeen is de dikte van deze laag wel kleiner.

4.5.2. Grondwaterstromingspatroon

In natuurlijke toestand (Fig. 4.12) werd het grondwaterreservoir hoofdzakelijk gevoed in twee zones : het heuvelgebied Oedelem-Zomergem en het zuidelijk gedeelte van het Land van Waas. In beide hoger gelegen gebieden treedt er neerwaartse stroming op. De aanwezigheid van de bovenliggende kleilagen van de Formatie van Maldegem remt de stroming wel af maar houdt ze niet tegen (WALRAEVENS, 1987).

Vanaf de infiltratiegebieden stroomde het water hoofdzakelijk in noordwestelijke richting. In de richting van de grondwaterstroming nemen de horizontale snelheden toe voor zover de voeding aanhoudt, waardoor geleidelijk een groter debiet doorheen de laag stroomt. De neerwaartse stroming vertraagt naarmate het reliëf daalt. Onder de polders wordt de stroming opwaarts gericht zodat hier uitstroming optreedt. Het debiet in de eocene watervoerende laag neemt hierbij geleidelijk af, zodat de horizontale snelheden verkleinen. Nabij de noordzeekust zijn deze zeer klein geworden (WALRAEVENS, 1987).

Door grondwaterwinningen in de Gentse Kanaalzone en in de streek van Sint-Niklaas en Waasmunster zijn er afpompingsrechters ontstaan waardoor het horizontale stromingspatroon in het oosten van het gebied Sint-Laureins - Assenede en in het gebied Sint-Niklaas - Beveren grondig is gewijzigd (Fig. 4.13). In deze gebieden doet zich een neerwaarts gerichte verticale stroming voor .

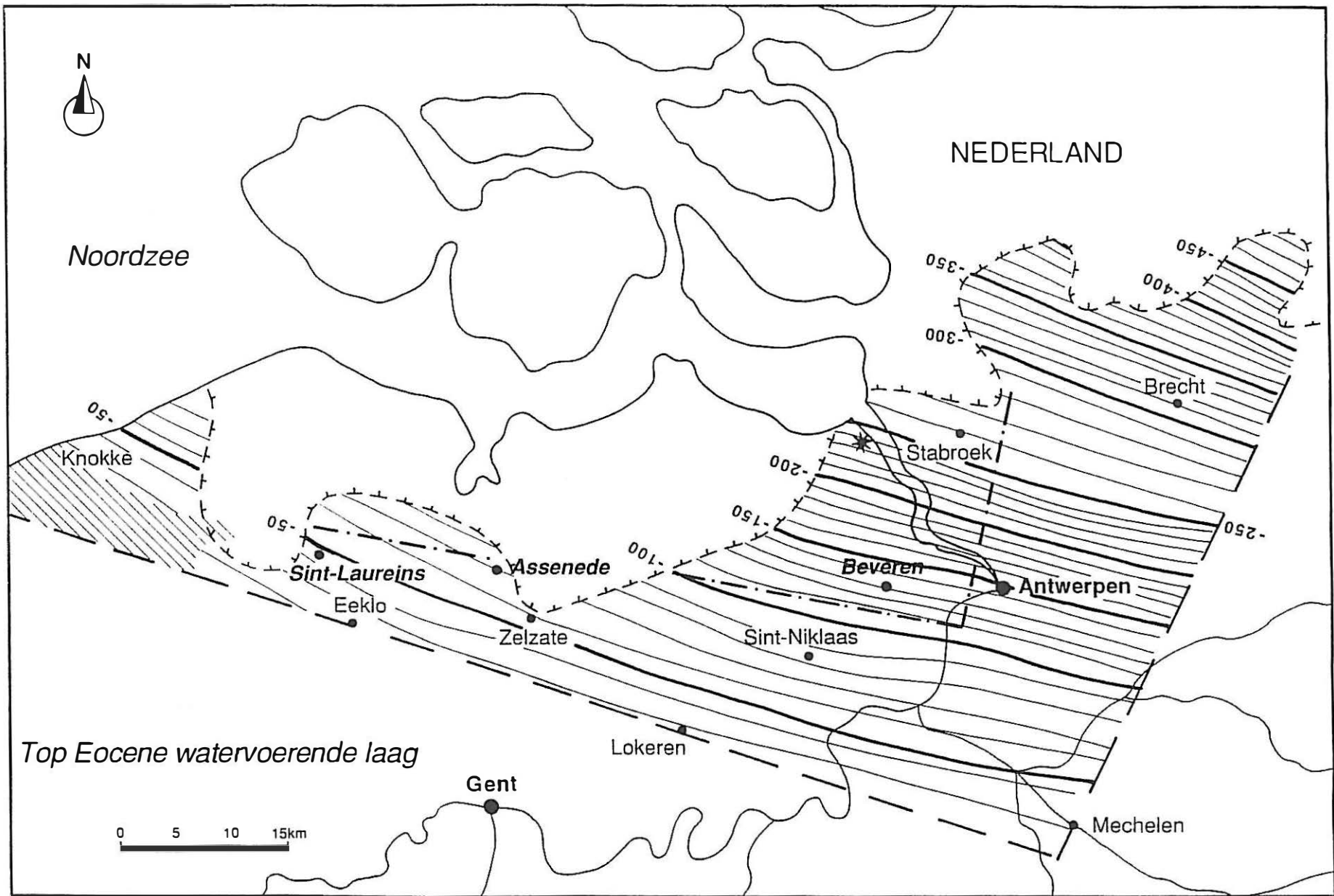


Fig. 4.10. Isohysen van de top van de eocene watervoerende laag (naar WALRAEVENS, 1987), in het gearceerde gebied behoort deze laag tot het freatisch grondwaterreservoir

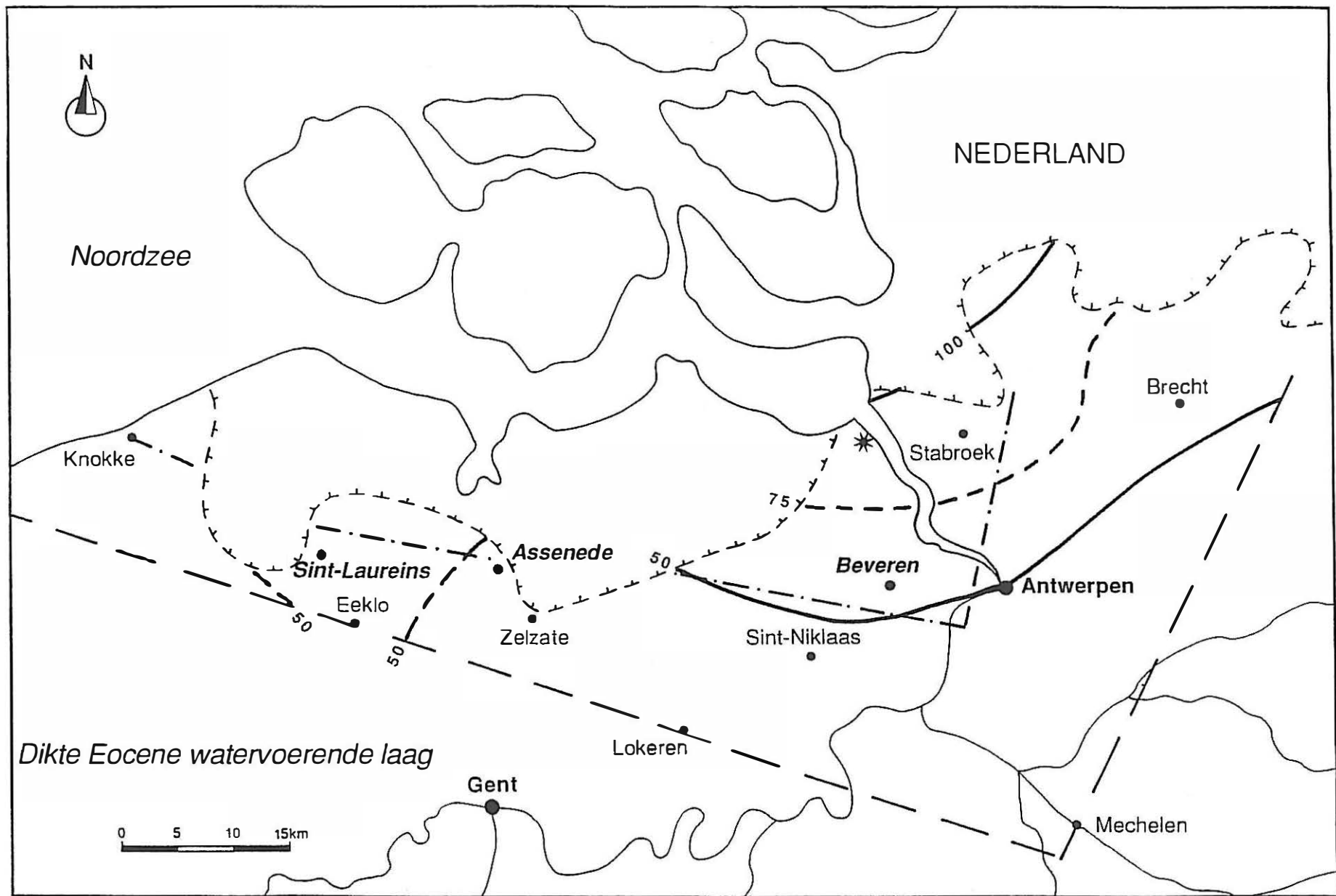


Fig. 4.11. Isopachen van de eocene watervoerende laag
(naar WALRAEVENS, 1987)

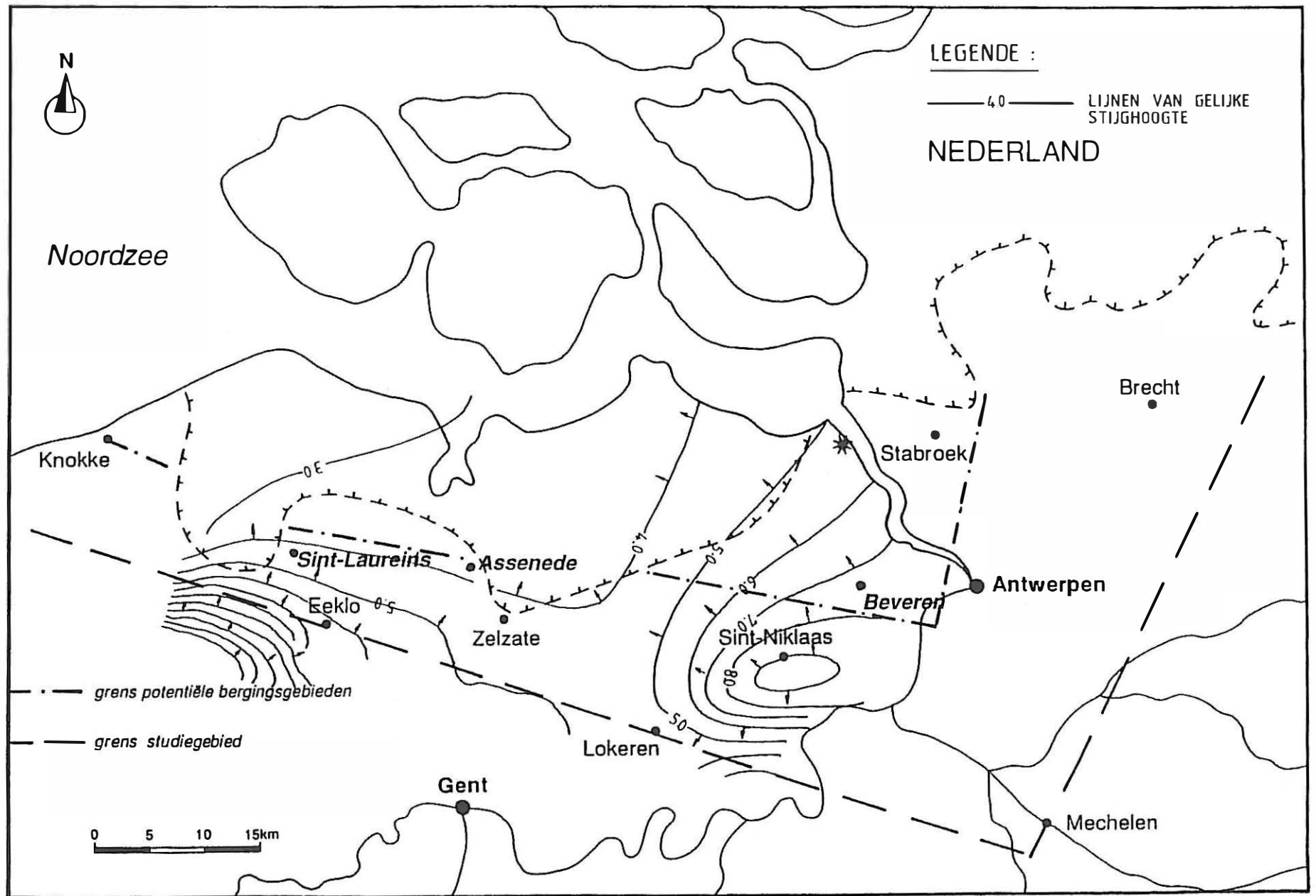


Fig. 4.12. *Stijghoogte in de eocene watervoerende laag - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)*

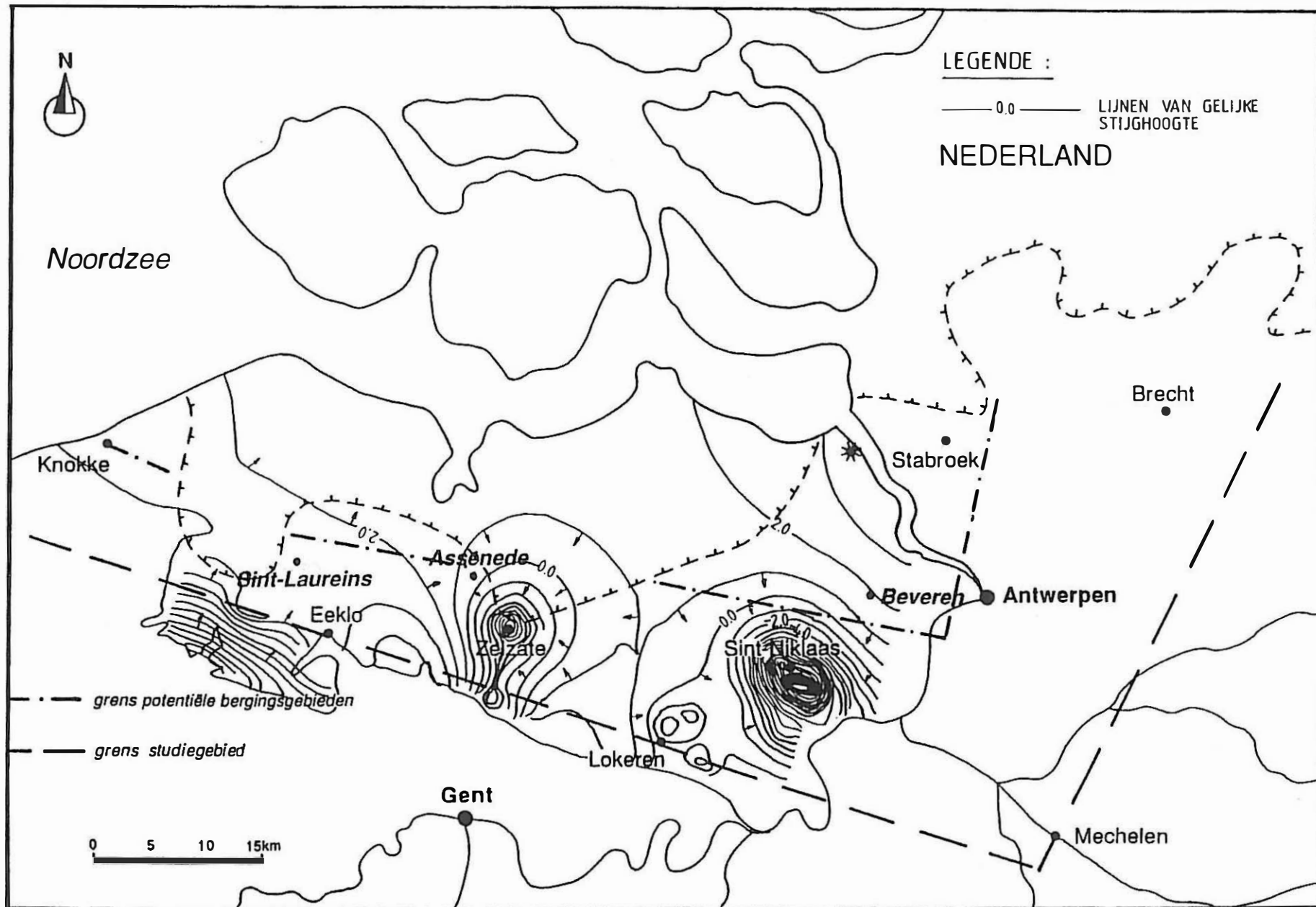


Fig. 4.13. Stijghoogte in de eocene watervoerende laag - toestand met grondwaterwinning (naar WALRAEVENS, 1987)

Gebied Knokke

Ter hoogte van de duinen bij Knokke doet er zich, in tegenstelling tot de stroming in het omringende gebied, een neerwaartse stroming voor (Fig. 4.12). Dit veroorzaakt een eerder lokaal stromingspatroon met een zuidwaartse stroming, dat zich superponeert op de regionale stroming die in noordelijke richting gebeurt. Tussen Zeebrugge en Oostkerke gebeurt uitstroming naar de freatische zone ten gevolge van de stroming, geïnduceerd door de voeding in het duingebied bij Knokke. Dit kan een verklaring zijn voor de ter plaatse vastgestelde ontziltling in het Kwartair (DE BREUCK et al., 1974). Het actuele grondwaterstromingspatroon is ter plaatse identisch aan het natuurlijke (Fig. 4.13) (WALRAEVENS, 1987).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In tegenstelling tot de toestand in de omgeving, doet er zich ter hoogte van de stuifzandrug Maldegem-Stekene eveneens een neerwaartse stroming voor (door het hoger reliëf). Dit veroorzaakt een lokaal stromingspatroon met een noordwaartse stroming, dat zich superponeert op de regionale stroming die er eveneens in noordwaartse richting gebeurt (Fig. 4.12) (WALRAEVENS, 1987).

In de heuvelzone Oedelem-Knesselare-Zomergem is het natuurlijke stijghoogtepatroon grotendeels bewaard (Fig. 4.13). Enkel te Maldegem-Adegem en te Eeklo zijn belangrijke dalingen vastgesteld. In de huidige toestand is de verticale grondwaterstroming over het algemeen neerwaarts gericht (WALRAEVENS, 1987).

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Doorheen de vaste stijghoogtegrens ten noorden van Antwerpen gebeurt instroming vanuit de provincie Antwerpen. In de provincie Antwerpen is de grondwaterstroming oost-west gericht (PATYN, 1982). In het gebied Sint-Niklaas - Beveren varieerde de natuurlijke grondwaterstroomrichting van noordwaarts in het zuiden tot westnoordwestwaarts in het noorden van het gebied (Fig. 4.12). De stroming was neerwaarts gericht in het zuiden van het gebied en opwaarts in het noorden.

In de actuele toestand (Fig. 4.13) is de grondwaterstroming zuidwestwaarts gericht in het noorden en naar de afpompingsstrecter ter hoogte van Sint-Niklaas-Waasmunster toe in het zuiden. De verticale stroming is over het algemeen neerwaarts gericht.

4.5.3. Doorlatendheid

De eocene watervoerende laag heeft een gemiddelde horizontale doorlatendheid van $3,21 \cdot 10^{-5}$ m/s : $6,9 \cdot 10^{-6}$ m/s in het Lid van Wemmel (pompproef te Ursel); $2,31 \cdot 10^{-5}$ m/s in de Formatie van Aalter (pompproef te Ursel); $4,92 \cdot 10^{-5}$ m/s in het Lid van Vlierzele (monster) (WALRAEVENS, 1987).

4.5.4. Grondwaterwinningen

West- en Oost-Vlaanderen

In onderstaande tabel zijn de vergunde debieten (m³/jaar) in West- en Oost-Vlaanderen voor 1990 weergegeven (gegevens AMINAL).

	landbouw	industrie	drinkwatermaatschappijen
Oost-Vlaanderen	221 856	7 357 647	0
West-Vlaanderen	5 500	1 373 495	4 745 000
Totaal	227 356	8 731 142	4 745 000

*Tabel 4.2 - Vergunde debieten in de eocene watervoerende laag in West- en Oost-Vlaanderen
(uit BOLLE & DE BREUCK, 1992)*

Van 1987 tot 1990 wisselden de opgepompte debieten sterk van jaar tot jaar in West-Vlaanderen en in mindere mate in Oost-Vlaanderen. Er kan niet gesproken worden van een duidelijke trend. Er is een zeer kleine daling van het vergund debiet merkbaar in Oost-Vlaanderen; in West-Vlaanderen blijft dit gelijk. Het opgepompte debiet in Oost-Vlaanderen benadert het vergunde debiet (83,9 %). Voor West-Vlaanderen bedraagt het opgepompte debiet voor de beschouwde periode gemiddeld slechts 47,1 % van het vergunde debiet. De Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) beschikt in West-Vlaanderen over twee drinkwatervoorzieningen (Snelligem en Beernem) (BOLLE & DE BREUCK, 1992).

Gebied Knokke

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in het gebied Knokke 2 waterwinningen uit de eocene watervoerende laag vergund (tabel 4.3). Het gaat om een vergunning van klasse B (ziekenhuis) en één van klasse A (particulier). De vergunde debieten zijn relatief klein.

dorp	naam	X-coördi- naat	Y-coördi- naat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Knokke-Heist	Verheye	75 120	227 350	5,00	20	1 000	A
Knokke-Heist	Kliniek O.L.V. Ter Linden	75 793	225 515	5,00	90	30 000	B

Tabel 4.3 - Vergunde grondwaterwinningen uit de eocene watervoerende laag in het gebied Knokke

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in het geselecteerde gebied (Fig. 4.1) 5 waterwinningen uit de eocene watervoerende laag vergund. Het gaat om vergunningen van klasse A. De vergunde debieten zijn eerder gering.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Bassevelde	De Grootte	101 600	212 700	0.00	72	1 825	A
Boekhoutte	Coussens	104 700	214 600	0.00	82	1 825	A
Sint-Laureins	Van Hijfte	93 600	215 300	0.00	62	2 750	A
Sint-Jan-in-Eremo	Windey	95 600	215 900	0.00	67	1 800	A
Watervliet	De Muur	94 040	219 540	3.00	80	2 500	A

Tabel 4.4 - Vergunde grondwaterwinningen uit de eocene watervoerende laag in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 11 grondwaterwinningen uit de eocene watervoerende laag vergund. 10 zijn vergunningen van klasse B. De 4 winnigen met het grootste vergunde debiet zijn buiten het eigenlijke potentiële bergingsgebied, in de stad Antwerpen, gelegen. De overige winningen, waarvan sommige met een relatief groot vergund debiet, zijn gelegen in Sint-Niklaas.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Antwerpen	Union Minière NV	147 560	206 260	14	150	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 535	206 490	11,00	125	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 500	208 085	0,00	160	580 000	B
Antwerpen	Union Minière NV	147 500	206 400	0,00	152	580 000	B
Sint-Niklaas	Stadsbestuur	137 600	207 220	17,00	130	60 000	B
Sint-Niklaas	De Backer	135 135	206 930	17,00	131	4 994	A
Sint-Niklaas	NVG NV	134 635	207 175	16,00	130	60 000	B
Sint-Niklaas	Filteint NV	133 470	206 750	15,00	114	1 450 m ³ /dag	B
Sint-Niklaas	Al-Appret	135 740	207 240	16,00	122	6 250	B
Sint-Niklaas	Schoeters Retorderie NV	134 965	206 430	19,00	120	80 300	B
Sint-Niklaas	Janssens	133 125	207 335	13,50	110	1 000 m ³ /dag	B

Tabel 4.5 - Vergunde grondwaterwinningen uit de eocene watervoerende laag in en rondom het gebied Sint-Niklaas - Beveren

Zuid-Nederland

In Zeeland wordt heel wat water uit de eocene watervoerende laag gewonnen (7 vergunde winningen nabij het gebied Knokke). Ze zijn allen in westelijk Zeeuws-Vlaanderen gelegen. De jaarlijkse opgepompte debieten zijn eerder gering : ze variëren van 12 tot 5395 m³/jaar per winning (VERMOORTELT, 1994).

4.5.5. Grondwaterkwaliteit

Vlaanderen

De kwaliteit van het grondwater (Fig. 4.14) is sterk plaatsafhankelijk. In België bedraagt het zoutgehalte (ongeveer 2 maal het chloridegehalte) minder dan 1000 mg/l in West-Vlaanderen en ongeveer 1 400 mg/l in Oost-Vlaanderen. Nabij de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt het zoutgehalte in het grondwater 2 000 tot 3 000 mg/l (VERMOORTELT, 1994).

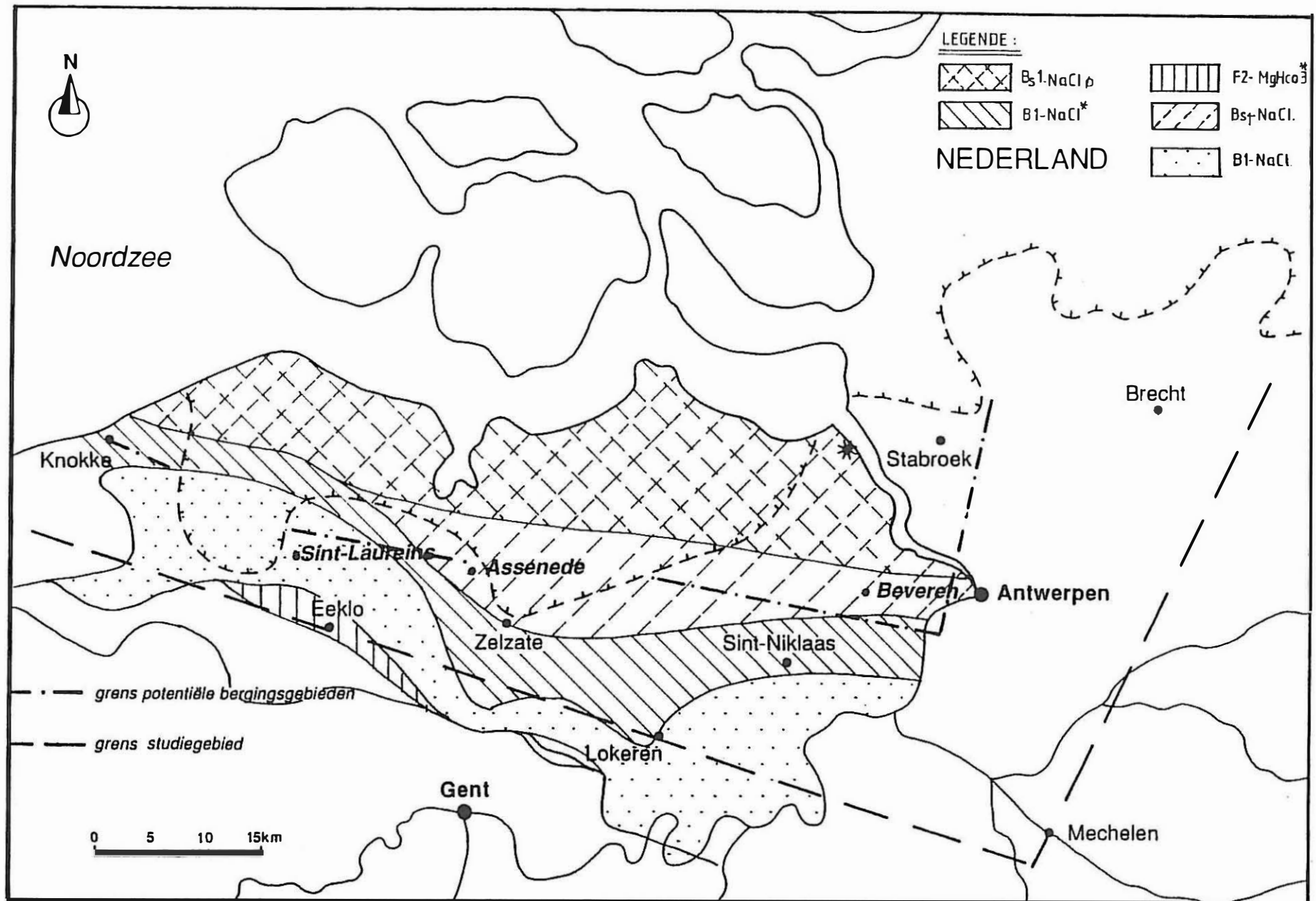


Fig. 4.14. Voorkomen van de verschillende watertypes in de eocene watervoerende laag (classificatie volgens STUYFZAND, 1986) (naar WALRAEVENS, 1987)

Gebied Knokke

In het gebied Knokke bevat de eocene watervoerende laag brak tot zout-brak, matig hard water van het NaCl-type. In het uiterste zuidwesten van het gebied komt de bovenliggende Formatie van Maldegem niet voor en vormt deze laag één watervoerend reservoir met het bovenliggende Kwartair (VERMOORTELT, pers. meded.).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

Het gebied Sint-Laureins - Assenede bevat brak tot zout-brak matig hard water van het NaCl-type. In het zuidwesten van dit gebied is het eoceen grondwater zoet tot zoet-brak en matig zacht (NaHCO₃-type).

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Het grootste deel van het gebied Sint-Niklaas - Beveren bevat brak tot zout-brak, matig hard tot zacht eoceen grondwater van het NaCl-type. Het uiterste zuidoosten bevat zoet tot zoet-brak, zeer zacht water van het NaHCO₃-type.

Zuid-Nederland

Grondwateranalysen in Zeeuws-Vlaanderen geven een chloridegehalte tussen 71 en 1718 mg/l aan. In Kortgene (Noord-Beveland) is een zoutgehalte van meer dan 25 000 mg/l gemeten. In Walcheren en Beveland is het eocene grondwater relatief zout (2 000 tot 13 000 mg/l chloride), in Zeeuws-Vlaanderen relatief zoet 300 tot 2 000 mg/l chloride. De rest van Zuid-Nederland bevat meestal brak tot zout eoceen grondwater (VERMOORTELT, 1994).

4.6. Oligocene watervoerende laag

Boven de Formatie van Maldegem komen de overwegend zandige afzettingen van de formaties van Zelzate en Niel (met het Lid van Ruisbroek) voor. Deze kunnen beschouwd worden als doorlatende lagen, alhoewel het dunne Lid van Watervliet in werkelijkheid slecht doorlatend is. Niettegenstaande dat de Formatie van Zelzate eigenlijk tot het Laatste Eoceen behoort, wordt het totaal van deze watervoerende afzettingen in het vervolg de oligocene watervoerende laag genoemd.

Voor de horizontale doorlatendheid van het Lid van Bassevelde werden de volgende waarden afgeleid (VERMOORTELT, 1994) :

- $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s (WALRAEVENS, 1987);
- $4,05 \cdot 10^{-5}$ m/s (TISON, 1954);
- $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s te Sint-Niklaas (LEBBE, 1975);
- $1,62 \cdot 10^{-5}$ m/s te Kemzeke (DE BREUCK et al., 1974);
- $1,56 \cdot 10^{-5}$ m/s (PEDE);
- $1,69 \cdot 10^{-5}$ m/s (Assenede) tot $1,64 \cdot 10^{-5}$ m/s (Boekhoute) (BOUGHRIBA, 1992);

Voor de doorlatendheid van het Lid van Watervliet werden volgende waarden afgeleid (VERMOORTELT, 1994) :

- $2,3 \cdot 10^{-6}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid door LEBBE (1984) (pompproef);
- $1,03 \cdot 10^{-8}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid en $2,89 \cdot 10^{-5}$ m/s voor de verticale doorlatendheid (lab-test) in het bestek van het onderzoek voor de Westerschelde-Oever-Verbinding (WOV);
- $1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s voor de horizontale doorlatendheid, afgeleid uit een pompproef te Kemzeke (DE BREUCK et al., 1974).

In het studiegebied wordt uit de Leden van Bassevelde en Ruisbroek vooral in het Land van Waas en in de Rupelstreek water onttrokken.

Gebied Knokke

De oligocene watervoerende laag komt ter hoogte van de referentieboring Knokke niet voor, maar is wel aanwezig in het noorden van het gebied. Ze behoort er tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir.

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede behoort de oligocene watervoerende laag tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren was de natuurlijke verticale grondwaterstroming in de oligocene watervoerende laag neerwaarts gericht in het zuiden en opwaarts gericht in het noorden van het gebied. De horizontale stroming varieerde van noordwaarts in het zuiden tot westwaarts in het noorden (Fig. 4.15).

De richting van de grondwaterstroming is in de huidige toestand, met grondwaterwinningen, praktisch onveranderd gebleven (Fig. 4.16). De grondwatersnelheid is in het zuiden wel kleiner.

Volgens de AMINAL wordt in en rondom het gebied Sint-Niklaas - Beveren op 4 plaatsen grondwater uit het Lid van Bassevelde en op 34 plaatsen uit het Lid van Ruisbroek gewonnen. De winningen uit het Lid van Bassevelde zijn vergunningen voor een eerder gering debiet (klasse A). Van de watervoerende lagen die onder de klei van de Formatie van Boom zijn gelegen is het Lid van Ruisbroek de laag waaruit in het gebied Sint-Niklaas - Beveren het meeste winningen gebeuren. Dit heeft natuurlijk te maken met de eerder geringe voorkomingsdiepte. Zeer grote debieten kunnen uit deze laag niet onttrokken worden. Van de gekende winningen zijn er 14 in Sint-Niklaas, 5 in Beveren-Waas, 4 in Sint-Gillis-Waas en 4 in Stekene gelegen. Er wordt ook gewezen op het op te hoogte zijn van 6 niet vergunde winningen in het gebied.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Wilrijk	RMS Wilrijk	151 900	206 550	18.00	90	2 000	A
Zwijndrecht	Finaneste	146 740	215 380	2.00	96	15 m ³ /d	A
Zwijndrecht	Dredging International	145 750	214 310	0.00	102	20 m ³ /d	A
Temse	Van Hocx NV	141 280	206 540	13.00	28	15 000	B

Tabel 4.6 - Vergunde grondwaterwinningen uit het Lid van Bassevelde in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren

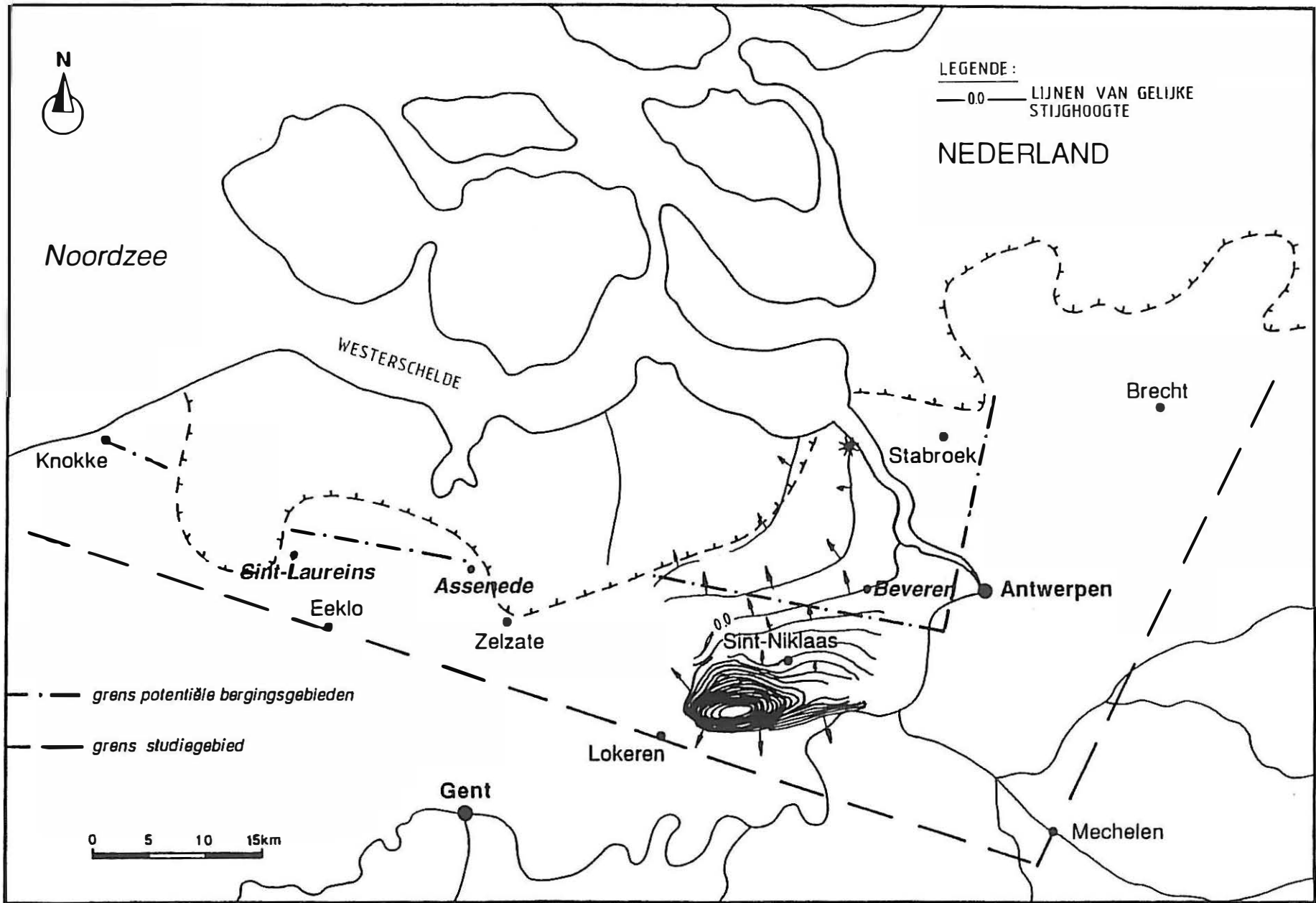


Fig. 4.15. Stijghoogte in de oligocene watervoerende laag - natuurlijke toestand (naar WALRAEVENS, 1987)

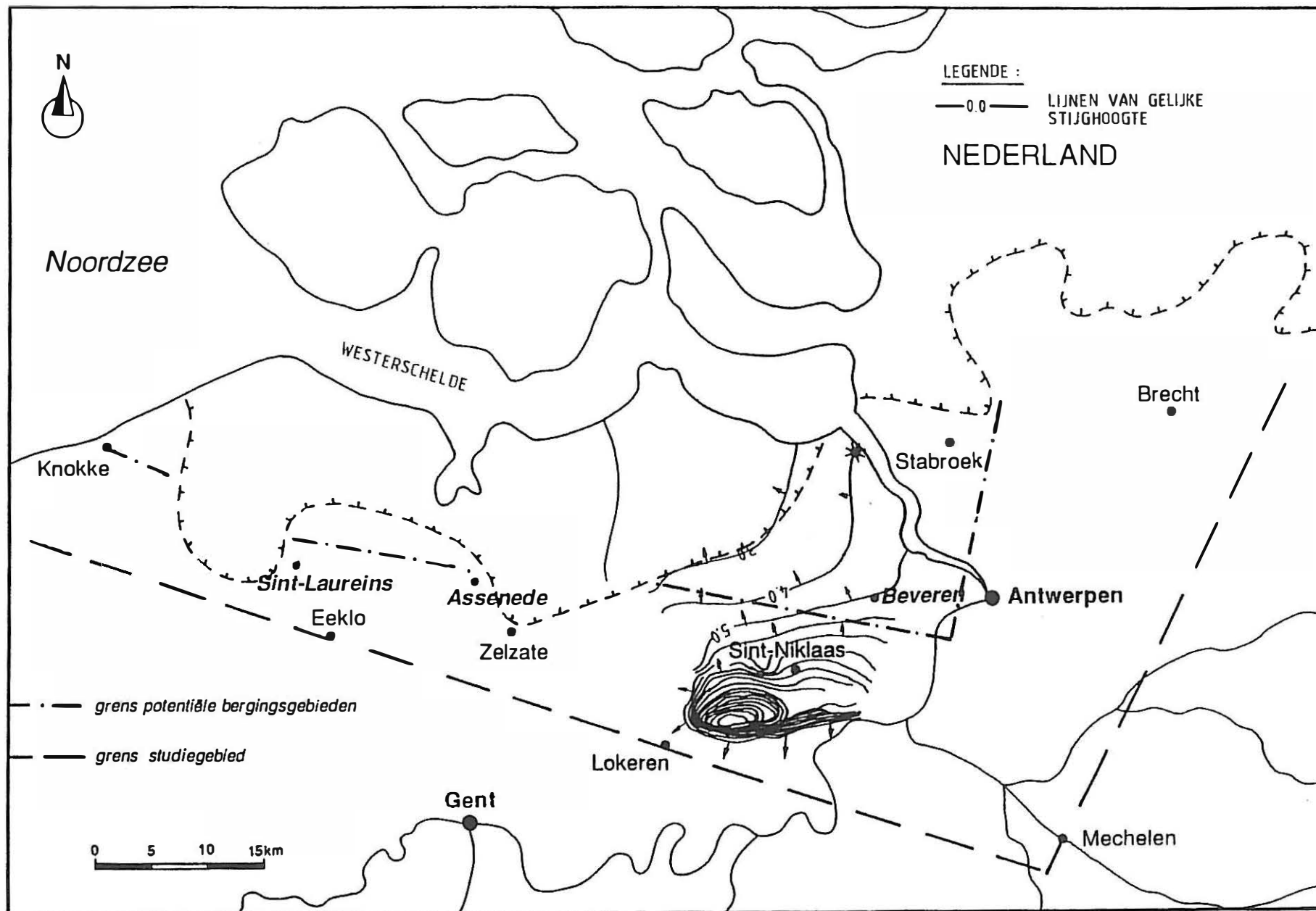


Fig. 4.16. Stijghoogte in de oligocene watervoerende laag - toestand met grondwaterwinningen (naar WALRAEVENS, 1987)

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld	diepte	debiet	
Antwerpen	Indaver B.	148 765	222 929	5,8	52	800 000	B
Hoboken	De Bruyn & Gouffeau	148 685	207 840	7,00	90	15 m ³ /dag	A
Wilrijk	Antwerpco	151 240	207 350	22,00	70	115 m ³ /dag	B
Mortsel	Sint-Amadeus Psych Ce	155 700	208 300	0,00	32	0	0
Zwijndrecht	Zelfwasserij Kristal	148 600	210 900	0,00	75	0	0
Zwijndrecht	Gralex	146 400	208 500	5,00	56	96 m ³ /dag	A
Sint-Gillis-Waas	Van Buynder	132 430	210 120	8,00	40	11 700	A
Beveren-Waas	Algemeen Ziekenhuis	141 760	211 095	12,80	76	14 600	A
Kieldrecht	Wasserij Poppe	136 305	220 295	2,00	98	30 m ³ /dag	A
Beveren	Manufact de Biscuits	143 080	212 155	8,00	97	100 m ³ /d	B
Beveren-Waas	Krijgsmacht	138 575	208 600	15,00	60	34 000	A
Sint-Gillis-Waas	Kliniek Sint-Helena	132 900	216 00	0,00	43	0	0
Beveren-Waas	Krijgsmacht	138 620	208 570	15,00	63	34 000	A
Sint-Gillis Waas	OCMW	132 860	212 605	5,00	43	30 m ³ /d	A
Sint-Gillis-Waas	Bosomec	133 395	211 575	5,00	52	7 600	A
Sint-Niklaas	Waasse Botel Mij	136 960	207 010	21,00	44	20440	A
Sint-Niklaas	Waasse Botel Mij	136 995	206 980	21,00	44	8 800	A
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 020	206 515	20,10	50	36 000	B
Sint-Niklaas	Arsenaal Materieel MVL	138 600	208 600	0,00	60	0	0
Sint-Niklaas	Foodmachin Europe NV	135 190	206 540	19,00	46	24 000	B
Sint-Niklaas	Filteint NV	133 400	206 700	15,00	42	1 450 m ³ /d	B
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 080	206 450	20,00	50	51 000	B
Sint-Niklaas	Mi-Wa Intercomm Huisv	132 380	207 000	13,00	38	113 800	B
Sint-Niklaas	Bad St. Michel	133 700	207 300	0,00	45	1 400	A
Sint-Niklaas	Reychler	134 535	206 525	17,00	46	18 000	A
Sint-Niklaas	Schoeters Retorderie NV	134 910	206 270	19,00	40	80 300	B
Stekene	Camping "Vlassard"	124 600	208 380	7,50	21	7 500	A
Stekene	De Paep	129 000	213 100	0,00	40	30 000	A
Stekene	Van Steen Transport NV	126 700	209 900	0,00	40	300	A
Sint-Niklaas	Janssens	133 310	207 195	13,50	42	1 000m ³ /d	B
Sint-Niklaas	Fuji Hunt	136 120	206 470	0,00	50	15 000	B

Tabel 4.7 - Bij de AMINAL gekende grondwaterwinningen uit het Lid van Ruisbroek in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren

4.7. Neogene zandafzettingen

De neogene zandafzettingen vormen de meest uitgestrekte watervoerende laag van het land. Alhoewel dit watervoerend pakket als één geheel beschouwd wordt, dient men verschillende zones te onderscheiden vernits al deze zanden door een verschillende dikte en een verschillende doorlatendheid gekenmerkt worden.

In de het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de watervoerende laag van het Neogeen en het Kwartair tesamen ongeveer 25 m dik ter hoogte van Kallo en 120 m dik ter hoogte van Woensdrecht. Ze wordt dikker naar het oosten toe.

Door het LTGH werden in dit gebied en iets meer naar het oosten toe verschillende hydrogeologische studies uitgevoerd, waarbij vaak doorlatendheden werden bepaald. Het gaat om de studies te Beveren - Zwijndrecht (pompproef ten behoeve van de stormvloedkering op de linkerscheldeoever), te Antwerpen, BASF (pompproef door DE SMET et al., 1994), te Brecht (pompproef door MAHAUDEN et al., 1990) en in de Kalmthoutse Heide (pompproef door VAN DIJCK et al., 1989). Door TRACTEBEL (1980) werden de doorlatendheden aan de hand van laboratoriumtesten bepaald te Doel. De resultaten van deze studies zijn samengevat in tabel 4.8.

Formatie	Lid	Doel	Beveren Zwijndrecht	Kalmthout Essen	Brecht	Antwerpen
Lillo	Zandvliet Merkssem	1,1 10 ⁴ - 4,4 10 ²	1,6 10 ⁴	2,5 10 ⁴ - 2,7 10 ⁴	1,5 10 ⁴	1,8 10 ⁴
	Kruisschans					2 10 ⁷
	Oorderen					
Kattendijk		3,7 10 ³ - 6,9 10 ²		3,3 10 ³ - 8,2 10 ⁴		5,31 10 ³
Diest						
Berchem		3,7 10 ³ - 6,9 10 ²				

Tabel 4.8 - Doorlatendheden van de neogene formaties en leden (in m/s)

Ter hoogte van Beveren-Zwijndrecht is het grondwater in de Formatie van Kattendijk zeer brak tot matig zout (BOLLE et al., 1989). Nagenoeg de volledige Formatie van Kattendijk zou in de Melselepolder gevuld zijn met dergelijk grondwater. LEBBE & DE BREUCK (1974) bepaalde in 1974 de ligging van de verziltingsgrens in het Land van Waas. Ruwweg kan men deze situeren volgens een lijn die loopt ten noorden van Meerdonk en ten zuiden van Kallo. Buiten de verzilde gebieden zijn de waters van het freatisch reservoir matig oet en matig hard, sulfathoudend in ijzerrijk. In Antwerpen (BASF, DE SMET et al., 1994) bevat de watervoerende laag, bestaande uit neogene afzettingen brak tot zout, verzilt water.

Volgens de gegevens van de AMINAL worden er in en rond het potentieel bergingsgebied Sint-Niklaas - Beveren op 58 plaatsen water uit de miocene afzettingen gewonnen. Het grootste deel van deze winningen is gelegen in of in de omgeving van de stad Antwerpen, die niet binnen het potentiële bergingsgebied is gelegen. Omdat de miocene afzettingen van de onderliggende watervoerende lagen zijn gescheiden door de belangrijke kleilaag

van de Formatie van Boom, werden enkel de waterwinningen van klasse C (drinkwatermaatschappijen) in tabel 4.9 opgenomen. De PIDPA bezit 3 vergunde waterwinningen in het gebied (1 en Essen en 2 in Kapellen). Ook de effectief binnen het potentiële bergingsgebied gelegen vergunde waterwinningen van klasse A en B staan in de tabel vermeld. Het gaat om twee winningen van klasse B en één van klasse A, allen gelegen in Stabroek.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Essen	PIDPA	154 260	235 200	0.00	130	7 300 000	C
Kapellen	PIDPA	153 180	227 170	0.00	80	5 475 000	C
Kapellen	PIDPA	153 180	227 170	0.00	80	3 750 000	C
Stabroek	Van de Poel & Co	149 750	224 330	5.00	52	219 000	B
Stabroek	Wasserij Stabroek	149 480	224 670	5.00	41	40 m ³ /dag	A
Stabroek	Mouterij Dingemans	149 280	224 310	5.00	50	60 000	B

Tabel 4.9 - Vergunde grondwaterwinningen uit de miocene afzettingen in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het geselecteerde gebied zijn er volgens de gegevens van de AMINAL 4 grondwaterwinningen uit de Formatie van Kattendijk vergund. In het eigenlijke potentiële bergingsgebied zijn 2 vergunningen van klasse B gelegen (Beveren en Kieldrecht). Beiden hebben een relatief hoog vergund debiet (tabel 4.10).

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Kieldrecht	De Meyer-Van Lacre-Belona	139 400	218 500	2.00	26	2 750 000	B
Beveren	Piet Heintunnelcombinatie	139 500	218 350	2.00	30	491 436	B

Tabel 4.10 - Vergunde grondwaterwinningen uit de Formatie van Kattendijk in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 11 grondwaterwinningen uit de Formatie van Lillo aanwezig. Enkel de in het eigenlijke gebied gelegen winningen werden in tabel 4.11 opgenomen. Ze zijn gelegen in Kapellen, Zwijndrecht en Sint-Gillis-Waas. 4 ervan zijn niet vergund. Van de overige behoren er 4 tot klasse A en 1 tot klasse B. De vergunde debieten zijn eerder klein.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Kapellen	Gomoli	153 680	222 500	8,00	35	20 m ³ /dag	A
Kapellen	OO Van Ostra	154 025	222 720	9,00	40	90 m ³ /dag	A
Kapellen	Schuchard	155 080	222 960	10,00	30	12 400	A
Kapellen	Royal Antwerp Golf-club	156 590	225 900	19,00	33	120 m ³ /dag	B
Kapellen	Jonathan BVBA	154 700	220 900	0,00	50	0	0
Zwijndrecht	D'Hollander	147 250	213 000	5,50	12	2 260	A
Zwijndrecht	D'Hollander	147 200	213 000	0,00	9	0	0
Sint-Gillis-Waas	Kamping Fort Bedmar	131 800	217 200	0,00	30	0	0
Sint-Gillis-Waas	Kamping Fort Bedmar	131 800	217 200	0,00	7	0	0

Tabel 4.11 - Vergunde grondwaterwinningen uit de Formatie van Lillo in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

4.8. Kwartaire afzettingen

Vooraf in het oosten van het studiegebied en aan de kust vormen de kwartaire afzettingen vanuit hydrogeologische standpunt een belangrijke laag.

Gebied Knokke

De kwartaire zandige sedimenten zijn doorlatend in het gebied Knokke. Ze vormen er het ondiep freatisch grondwaterreservoir. In de omgeving van Zeebrugge (nabij Heist) werden de doorlatendheden van de kwartaire eenheden bepaald aan de hand van hun granulometrische kenmerken (DEPRET, 1983). Van onder naar boven vindt men :

- de afzettingen van Kaprijke met een doorlatendheid van $1,74 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Moerkerke met een doorlatendheid van $1,16 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Zeebrugge (zandig pakket) met een doorlatendheid van $1,15 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Damme met een doorlatendheid van $1,04 \cdot 10^{-4}$ m/s;
- de afzettingen van Eeklo (zandig pakket) met een doorlatendheid van $3,47 \cdot 10^{-5}$ m/s;
- de afzettingen van Duinkerken met een doorlatendheid van $1,11 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Algemeen kan men stellen dat het kwartair grondwaterreservoir is opgebouwd uit :

- een doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Damme, Zeebrugge, Moerkerke en Kaprijke (MARTENS et al., 1995);
- een relatief slecht-doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Eeklo;
- een doorlatende laag bestaande uit de afzettingen van Duinkerken.

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Knokke 7 grondwaterwinningen uit het kwartair reservoir aanwezig. 6 ervan zijn gelegen in Knokke-Heist, waarvan er 3 vergunningen van klasse C (waterbedrijf Knokke-Heist) zijn. Eén is niet vergund en de twee overige zijn bronbemalingen. 1 waterwinning van klasse A is gelegen in Heist-aan-Zee (tabel 4.12).

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Knokke-Heist	Saelens	72 300	226 300	3,75	5	144 000	D
Knokke-Heist	Saelens	74 750	226 830	3,75	5	144 000	D
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	76 000	226 150	0,00	23	1 050 000	C
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	73 400	226 200	0,00	23	1 050 000	C
Knokke-Heist	Waterbedrijf Knokke-Heist	76 000	226 150	0,00	23	1 050 000	C
Heist-aan-Zee	Vandaele	72 000	225 835	4,00	30	1 000	A
Knokke-Heist	Casino Knokke- Heist	72 970	226 150	4,50	9	0	0

Tabel 4.12 - Vergunde waterwinningen uit het Kwartair reservoir in en rond het gebied Knokke

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het gebied Sint-Laureins - Assenede is het freatisch grondwaterreservoir opgebouwd uit kwartaire afzettingen en de oligocene watervoerende laag.

Het Kwartair wordt er van onder naar boven opgebouwd uit een slecht doorlatende laag, een doorlatende laag (met een doorlatendheid van $2,66 \cdot 10^{-9}$ m/d), een slecht doorlatende leemlaag en een zeer dunne doorlatende laag (BOUGHRIBA, 1992).

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er twee waterwinningen, klasse A, in Boekhoute en in Assenede vergund (tabel 4.13).

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Boekhoute	Neyt	102 000	216 000	0,00	11	1 348	A
Assenede	NV Constructie Industrie	104 400	212 100	0,00	10	7 300	A

Tabel 4.13 - Vergunde grondwaterwinningen uit het kwartair reservoir in en rond het gebied Sint-Laureins - Assenede

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren vormen de kwartaire afzettingen samen met de neogene formaties één belangrijke watervoerende laag. Ter hoogte van Kallo komt er bovenaan een ongeveer 1 tot 2 m dikke holocene veenlaag voor. In Woensdrecht zijn de slecht doorlatende holocene afzettingen (klei en veen) 7,8 m dik.

De voor de neogene afzettingen vermelde studies (zie hierboven) vermelden ook de doorlatendheden voor de bovenliggende kwartaire afzettingen. De doorlatendheid van het Kwartair werd in Beveren - Zwijndrecht bepaald in het laboratorium ((BOLLE et al., 1989). Deze studies maken onderscheid tussen verschillende kwartaire lagen, die elk worden gekenmerkt door verschillende doorlatendheden. De resultaten werden samengevat in onderstaande tabel.

	Doel	Beveren - Zwijndrecht	Antwerpen
leem - klei : k ^v	2 10 ⁴ - 2,1 10 ³	1,5 10 ⁸	1 10 ⁷
fijn zand : k ^b	7,7 10 ⁴ - 2,46 10 ³		2,2 10 ³
veen - klei : k ^v	2,67 10 ⁴ - 3 10 ³	6,1 10 ⁸	2 10 ⁷
zand : k ^b		1,6 10 ⁴	1,8 10 ⁴

Tabel 4.14 - doorlatendheden van de kwartaire afzettingen in en in de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren (in m/s)

De resultaten betreffende de grondwaterkwaliteit, vermeld bij de neogene zanden gelden voor het volledige freatische grondwaterreservoir dat is opgebouwd uit kwartaire en neogene afzettingen.

Volgens de gegevens van de AMINAL zijn er in en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren 22 grondwaterwinningen uit de kwartaire afzettingen aanwezig. Wegens de dikte van de afzettingen die zicht tussen het Kwartair en de eigenlijke potentiële bergingslaag van de Formatie van Kortrijk bevindt, werden enkel de waterwinningen in het potentiële bergingsgebied in tabel 4.15 opgenomen. Een waterwinning van de VMW uit het kwartaire reservoir is gelegen in Sint-Niklaas. Verder zijn er 4 waterwinningen van klasse A en 1 van klasse B in het gebied gelegen. Ook 3 niet-vergunde waterwinningen zijn door de AMINAL gekend. De waterwinningen zijn gelegen in Beveren-Waas, Sint-Gillis-Waas, Sint-Niklaas en Stekene.

dorp	naam	X-coördinaat	Y-coördinaat	maaiveld (m TAW)	diepte (m)	debiet (m ³ /jaar)	klasse
Beveren-Waas	Joris	141 900	211 600	0,00	6	0	0
Sint-Gillis-Waas	Smet	124 400	210 700	0,00	35	0	0
Sint-Gillis-Waas	Smet	124 400	210 700	0,00	5	0	0
Zwijndrecht	Cellenbeton Burcht	147 200	209 600	9,00	10	1000 m ³ /dag	B
Sint-Niklaas	VMW	122 450	210 250	0,00	13	2 555 000	C
Sint-Niklaas	Reychler	134 500	206 500	17,00	23	18 000	A
Stekene	De Bock-Van Haer- vermaet	123 900	211 600	0,00	20	2 190	A
Stekene	camping "Vlasaard"	124 760	208 430	7,50	9	7 500	A
Stekene	VKT Camping Rei- naert	124 500	208 400	7,00	12	13 000	A

Tabel 4.15 - Grondwaterwinningen uit het kwartair reservoir in het gebied Sint-Niklaas - Beveren

4.9. Verzilting

Gebied Knokke

In het grootste deel van het gebied Knokke is de bovenste watervoerende laag verzilt. In een deel van het gebied (zuidwesten) wordt een ontzilting in het Kwartair vastgesteld (DE BREUCK et al., 1974).

Gebied Sint-Laureins - Assenede

In het grootste gedeelte van het gebied Sint-Laureins - Assenede is de bovenste watervoerende laag verzilt. Dit is niet het geval voor het uiterste noordwesten.

Gebied Sint-Niklaas - Beveren

Ook in het grootste deel van het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de bovenste watervoerende laag verzilt. Dit geldt niet voor het zuiden en het noordoosten.

4.10. Besluit

De hydrogeologische opbouw van het gebied Knokke en het gebied Sint-Laureins - Assenede is ongeveer dezelfde (Fig. 4.17 en 4.18). In beide gebieden vindt men onder de Formatie van Kortrijk twee watervoerende lagen (het bovenste gedeelte van de Paleozoïsche Sokkel en het grootste gedeelte van de Landen Groep), gescheiden door een slecht doorlatende laag (voornamelijk Krijt en onderste deel van de Landen Groep). Boven de Formatie van Kortrijk komt het slecht doorlatende Lid van Kortemark voor. Daarop volgt de watervoerende laag van het Lid van Egem, die gescheiden is van de eocene watervoerende laag door het onderste slecht-doorlatende gedeelte van de Formatie van Gent. De eocene watervoerende laag wordt door de Formatie van Maldegem gescheiden van het freatisch grondwaterreservoir (Kwartair ter hoogte van de boring Knokke, Kwartair en oligocene watervoerende laag in Assenede).

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren wordt grotendeels dezelfde hydrogeologische opbouw teruggevonden. De Landen Groep is er echter opgebouwd uit een onderste slecht doorlatend en een bovenste watervoerend gedeelte. In dit gebied komt boven de Formatie van Maldegem de oligocene watervoerende laag voor, die hier artesisch is. Deze laag wordt van de neogene en kwartaire watervoerende afzettingen gescheiden door de zeer slecht doorlatende klei van de Formatie van Boom.

In de potentiële bergingsgebieden bevinden de Sokkel en de Landen Groep zich op een te grote diepte voor grondwaterwinning. Bovendien is het grondwater uit beide lagen er verzilt. In en in de onmiddellijke omgeving van de potentiële bergingsgebieden wordt geen water uit de Sokkel en de Landen Groep gewonnen.

Op figuur 4.12 is eveneens de verticale grondwaterstroming in natuurlijke omstandigheden voorgesteld, figuur 4.13 toont de verticale grondwaterstroming in de huidige omstandigheden.

In natuurlijke omstandigheden werden zowel Sokkel als Landen Groep in het zuidelijk gedeelte van Vlaanderen gevoed doorheen de Formatie van Kortrijk. In de actuele toestand treedt er, door grondwaterwinningen, bijna overal neerwaartse stroming op. De horizontale grondwaterstroming in de Paleozoïsche Sokkel en de Landen Groep, die noordwaarts was gericht in natuurlijke omstandigheden, is eveneens gewijzigd. Exacte stijghoogtegegevens zijn in de potentiële bergingsgebieden niet beschikbaar, maar via een model (LEBBE et al., 1987) werd afgeleid dat het water uit beide lagen in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede naar het zuidwesten stroomt. Het gebied Sint-Niklaas - Beveren werd niet in dit model opgenomen.

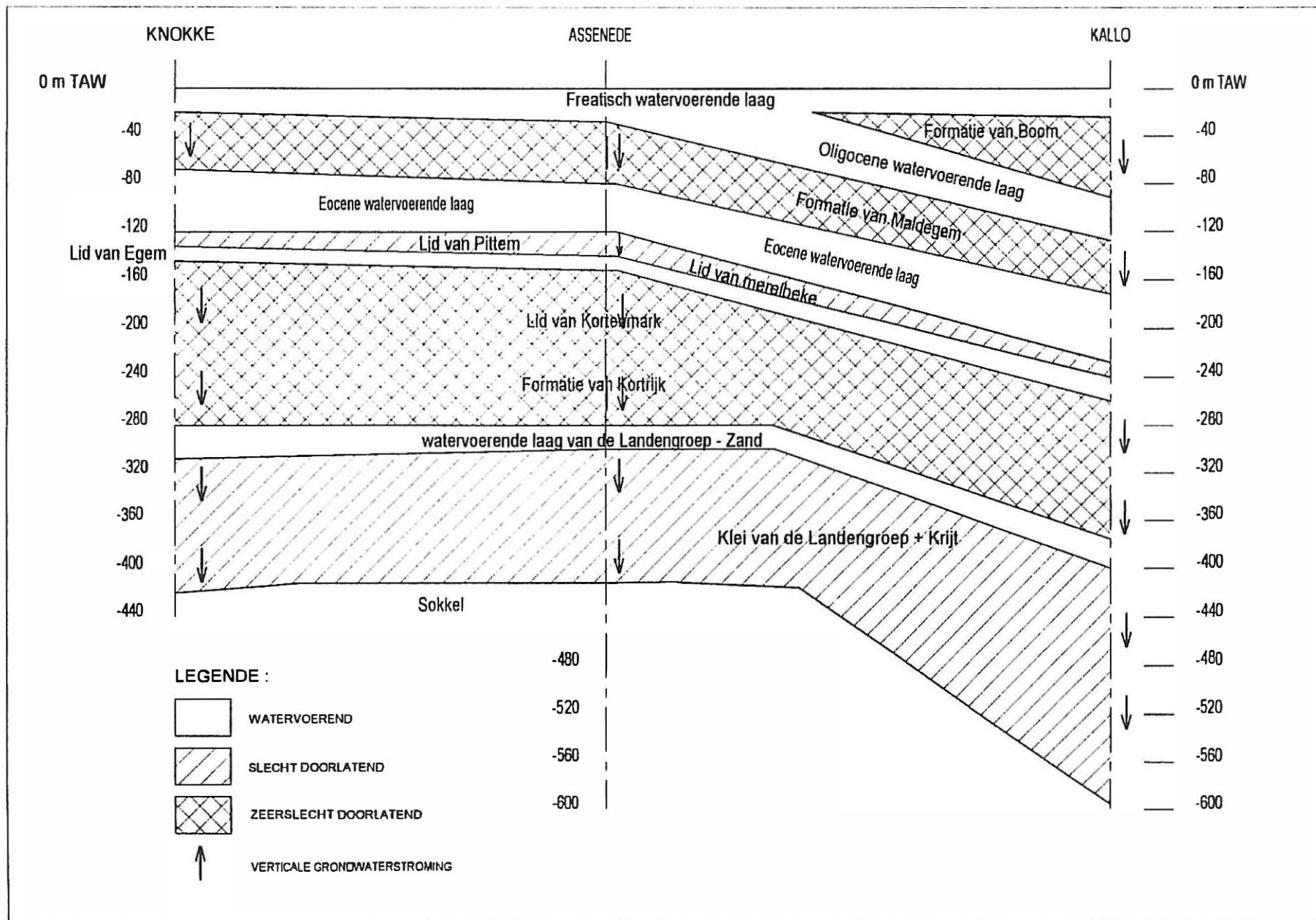


Fig. 4.17. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Vertikale grondwaterstroming in natuurlijke omstandigheden

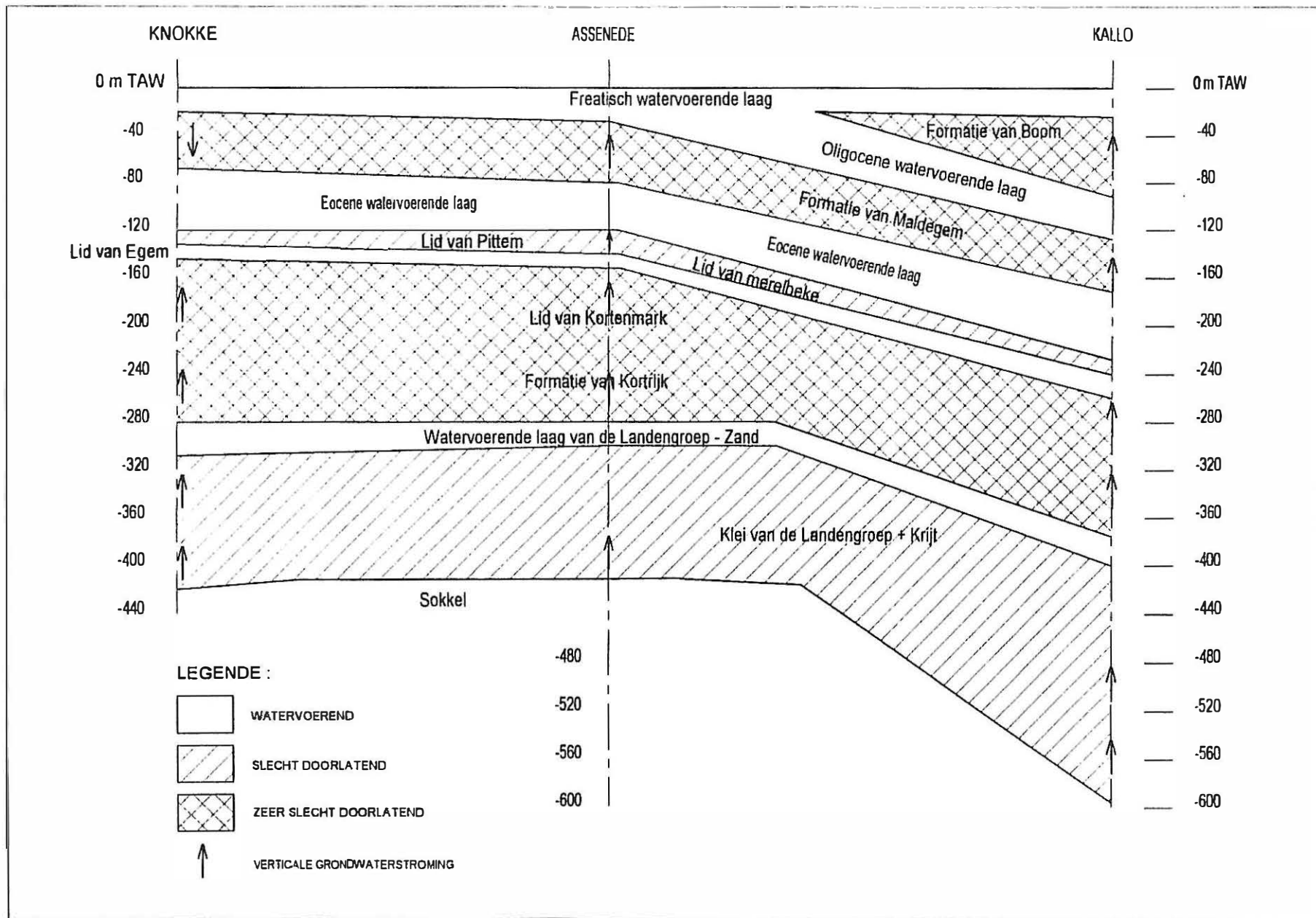


Fig. 4.18. Hydrogeologische opbouw van het studiegebied - Vertikale grondwaterstroming in de huidige omstandigheden

Uit de watervoerende laag van het Lid van Egem wordt er in de potentiële bergingsgebieden praktisch geen water gewonnen. Volgens de gegevens van de AMINAL is er in en in de omgeving van de potentiële bergingsgebieden slechts één waterwinning (klasse B), vergund. Ze is gelegen in de omgeving van het gebied Knokke, in Zeebrugge. Het grondwaterstromingspatroon is grotendeels identisch aan dat in de bovenliggende eocene watervoerende laag.

De eocene watervoerende laag is een belangrijke watervoerende laag in het noorden van West- en Oost-Vlaanderen. Hoewel in natuurlijke toestand in een groot gedeelte van het studiegebied ook opwaartse stroming optrad, is de grondwaterstroming in de huidige omstandigheden meestal neerwaarts gericht. In het gebied Knokke is het huidige grondwaterstromingspatroon vooral zuidwaarts gericht. In het gebied Sint-Laureins - Assenede is de stroming sterk beïnvloedt door verschillende afpompstrecters. In het zuidwesten van het gebied Sint-Laureins - Assenede en in het zuidoosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren is het water zoet tot brak. In het overige gedeelte van de potentiële bergingsgebieden is het grondwater in de eocene watervoerende laag verzilt.

Volgens de gegevens van de AMINAL vinden er in het gebied Knokke 2 en in het gebied Sint-Laureins - Assenede 5 grondwaterwinningen uit de eocene watervoerende laag plaats. Het gaat meestal om vergunningen van klasse A, met een relatief klein vergund debiet. In en rond de omgeving van het gebied Sint-Niklaas - Beveren daarentegen zijn er 11 waterwinningen met een relatief belangrijk debiet vergund. ze zijn gelegen in Antwerpen en Sint-Niklaas.

Zowel in het gebied Knokke als in het gebied Sint-Laureins - Assenede behoort de oligocene watervoerende laag tot het ondiep freatisch grondwaterreservoir. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de laag artesisch. In natuurlijke omstandigheden was de stroming naar het noordwesten gericht, de verticale stroming was opwaarts in het noorden en neerwaarts in het zuiden. Deze toestand is vandaag nog grotendeels actueel.

In en rond het gebied Sint-Niklaas - Beveren wordt er relatief veel water uit de oligocene watervoerende laag gewonnen. Op 4 plaatsen wordt er water gewonnen uit het Lid van Bassevelde, op 34 uit het Lid van Ruisbroek. De debieten die uit de oligocene watervoerende laag worden gewonnen zijn eerder gering.

De bovenste freatisch watervoerende laag bestaat vooral uit kwartaire afzettingen in het gebied Knokke. In het uiterste noordoosten maakt ook het Lid van Bassevelde deel uit van deze watervoerende laag. In dit gebied kunnen de 30 m dikke kwartaire afzettingen in hun geheel als doorlatend worden beschouwd. 7 waterwinningen zijn in het gebied aanwezig, drie ervan zijn winningen door de drinkwatermaatschappij van Knokke-Heist. In het gebied Sint-Laureins - Assenede bestaat het freatisch reservoir uit afzettingen van het kwartair en van het Lid van Bassevelde. Voor de waterwinning is het kwartair in dit gebied niet belangrijk : slechts 2 vergunningen van klasse A bevinden zich in het gebied.

De bovenste watervoerende laag in het gebied Sint-Niklaas - beveren bestaat uit neogene en kwartaire afzettingen. Ten noorden van een lijn die loopt ten zuiden van Kallo en ten noorden van Meerdonk is het freatisch reservoir verzilt (LEBBE & DE BREUCK, 1974). De neogene afzettingen kunnen globaal als watervoerend worden beschouwd. In veel studies wordt het Lid van Kruisschans van de Formatie van Lillo als relatief slecht doorlatend beschouwd. In en rond het gebied zijn er 73 winningen uit de neogene afzettingen door de AMINAL gekend. De PIDPA wint water uit het Mioceen in Essen en in Kapellen. Het Kwartair bestaat in het gebied Sint-Niklaas - Beveren uit 2 zandige watervoerende lagen die worden gescheiden door een veen-klei laag. Bovenaan komt een leem-klei complex voor. In en rond het gebied zijn er 22 waterwinningen uit het Kwartair aanwezig. De VMW wint grondwater uit het Kwartair in Sint-Niklaas.

5. SAMENVATTING EN ALGEMEEN BESLUIT

De gebieden, waar de Formatie van Kortrijk op grond van geometrische en lithologische criteria het meest geschikt blijkt voor de diepe berging van hoogradioactief afval (faze 1), werden in het bestek van deze faze meer in detail onderzocht. Het betreft :

- het gebied Knokke;
- het gebied Sint-Laureins - Assenede;
- het gebied Sint-Niklaas - Beveren.

De algemene opbouw van de ondergrond kan worden afgeleid aan de hand van een aantal diepe referentieboringen in of in de nabijheid van deze gebieden. Wegens het gering aantal gegevens in de potentiële bergingsgebieden, werd het eigenlijke studiegebied ruimer genomen. De beschikbare boorbeschrijvingen en boorgatmetingen werden geïnterpreteerd en gecorreleerd. Op basis van de gegevens werden isohypsen en isopachen van verschillende geologische lagen getekend. Extrapolatie was hierbij noodzakelijk, vooral in het gebied Sint-Laureins - Assenede waar tot nu toe enkel de formaties boven de Formatie van Kortrijk werden aangeboord.

De geologische opbouw van de verschillende gebieden werd geïllustreerd aan de hand van de referentieboringen. De lijn Knokke - Assenede ligt ongeveer evenwijdig met de strekking van het Tertiair in het Belgische Bekken. Op basis hiervan kan men voor het Tertiair een min of meer gelijkaardige geologische opbouw in het gebied Knokke en in het gebied Sint-Laureins - Assenede verwachten. In Assenede bevinden de eenheden zich wel iets dieper.

In het gebied Knokke bestaat de Formatie van Kortrijk uit een homogene kleilaag, waarin de afzonderlijke leden moeilijk kunnen worden onderscheiden. De onderste zeer homogene laag, die waarschijnlijk tot het Lid van Saint-Maur behoort, is meer dan 100 m dik. Op basis van de beschikbare gegevens, kan worden verondersteld dat het Lid van Saint-Maur in het gebied Sint-Laureins - Assenede eveneens uit een homogene kleilaag is opgebouwd. Waarschijnlijk is het hier eveneens dikker dan 100 m. De top van het Lid van Saint-Maur bevindt zich in dit gebied waarschijnlijk meer dan 200 m diep.

Op basis van de beschikbare lithologische en geometrische kenmerken wordt het Lid van Saint-Maur in de gebieden Knokke en Sint-Laureins - Assenede als potentiële bergingsplaats voor hoogradioactief afval behouden. Verder onderzoek is uiteraard noodzakelijk. In beide gebieden wordt het Lid van Saint-Maur bovenaan begrensd door de meer heterogene klei van het Lid van Moen, waarboven de homogene klei van het Lid van Aalbeke voorkomt. Samen bereiken zij een dikte van 26 m te Knokke en 30 tot 40 in het gebied Sint-Laureins - Assenede. Daarop volgt de slecht-doorlatende silt van het Lid van Kortemark dat 5 m dik is te Knokke en waarschijnlijk ongeveer 10 m dik in het gebied Sint-Laureins - Assenede. Het volledige pakket bestaande uit het Lid van Moen, het Lid van Aalbeke en het Lid van Kortemark kan dienst doen als bijkomende barrière.

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de situatie anders. Hier is de Formatie van Kortrijk minder homogeen. Ter hoogte van Kallo is het homogene Lid van Saint-Maur slechts 44 m dik. Het wordt wellicht dikker naar het noordwesten toe. Ter hoogte van Kallo wordt de volledige Formatie van Kortrijk als potentiële bergingslaag voor hoogradioactief afval behouden. Hiertoe behoort ook het heterogene Lid van Moen dat overwegend uit fijne silt bestaat en in ieder geval minder geschikt is als bergingsplaats voor hoogradioactief afval dan het Lid van Saint-Maur. De Formatie van Kortrijk is in bijna het volledige gebied dikker dan 100 m, behalve in een strook ten oosten van Lillo, gesitueerd rond de lijn Lillo - Sint-Gravenwezel. In bijna het volledige gebied Sint-Niklaas - Beveren bevindt de top van de Formatie van Kortrijk zich meer dan 200 m diep.

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren kan de bovenliggende silt van het Lid van Kortemark dienst doen als bijkomende barrière. Dit lid is 10 tot 30 m dik in het gebied (23 m ter hoogte van Kallo).

De belangrijkste kleimineralen in de Formatie van Kortrijk zijn, in volgorde van belangrijkheid, smectiet, illiet en chloriet. Deze mineralen, vooral smectiet, bezitten een hoge kationuitwisselingscapaciteit, een positieve factor voor de geschiktheid als gastgesteente voor hoogradioactief afval. De Formatie van Kortrijk bevat in hoofdzaak mineralen met een niet onbelangrijke natuurlijke radioactiviteit (kleimineralen, glimmers, veldspaten, zirkoon). Over het gehalte aan organisch materiaal is weinig bekend. De beschikbare gegevens wijzen op een relatief laag percentage.

Over de kleitektonische vervormingen, waaraan de nodige aandacht werd besteed in het verslag van fase 1, zijn geen gegevens in de potentiële bergingsgebieden beschikbaar. Uiteraard speelt de grote voorkomingsdiepte hierin een belangrijke rol. In de boring te Knokke werd op bepaalde plaatsen wel gebreccieerde klei waargenomen, maar grotere breuken zijn in een boring niet waarneembaar. Over de invloed van de kleitektonische breuken op de doorlatendheid van de klei bestaat geen eenduidigheid.

Algemeen wordt aangenomen dat de eventuele terugkeer van de radionucliden naar de biosfeer grotendeels afhankelijk is van de hydrogeologische toestand rond de bergingsruimte. Kennis van de stromingsregimes in de watervoerende lagen boven en onder de kleilaag is in dit verband noodzakelijk.

In de huidige toestand is deze stroming voornamelijk neerwaarts gericht. De aanwezigheid van de watervoerende laag van de Landen Groep onmiddellijk onder de Formatie van Kortrijk is hierdoor uiteraard nadelig. Ter hoogte van Knokke kan de volledige Landen Groep als doorlatend beschouwd worden. Ze bereikt er een dikte van ongeveer 23 m. In het gebied Sint-Laureins - Assenede zijn geen gegevens over de Landen Groep beschikbaar, maar op grond van de beschikbare gegevens kan men eenzelfde lithologische opbouw verwachten.

In het gebied Sint-Niklaas - Beveren is de opbouw van de Landen Groep verschillend. Bovenaan kan de als doorlatend te beschouwen Formatie van Tienen worden onderscheiden. Ze is 21 m dik in Kallo en 30 m dik in Woensdrecht. De aanwezigheid van deze laag onmiddellijk onder de potentiële bergingslaag is een nadelige factor. In tegenstelling tot de twee overige gebieden komt in het gebied Sint-Niklaas - Beveren onder deze watervoerende laag de te Kallo 44 m dikke Formatie van Hannut voor. De top van deze laag is eveneens doorlatend, maar het overige uit klei en silt opgebouwde gedeelte is slecht doorlatend en remt verdere doorsijpeling naar de onderliggende watervoerende lagen af.

De lithologische samenstelling van de krijtgesteenten is in functie van het gestelde probleem eerder nadelig. In West- en Oost-Vlaanderen wordt het Krijt als slecht-doorlatend beschouwd (LEBBE et al., 1987). Naar het oosten toe vormt het bovenste gedeelte van het Krijt samen met de Formatie van Heers een watervoerende laag. Wegens verzilting is deze laag in het gebied Sint-Niklaas - Beveren ongeschikt voor drinkwaterwinning.

De top van de onderliggende Paleozoïsche Sokkel is gespleten en vormt eveneens een watervoerende laag.

De watervoerende lagen van de Sokkel en Landen Groep worden gevoed met water dat doorheen de Formatie van Kortrijk heeft gesijpeld. In de potentiële bergingsgebieden wordt geen grondwater uit Sokkel en Landen Groep gewonnen. De huidige horizontale grondwaterstroming voert het grondwater uit Sokkel en Landen Groep in de richting van het zuidwesten. In het zuiden van België zijn beide lagen echterwel belangrijk voor de drinkwatervoorziening.

In tegenstelling tot het huidige grondwaterstromingspatroon, was de natuurlijke grondwaterstroming in de potentiële bergingsgebieden voornamelijk opwaarts gericht. In natuurlijke toestand komt het grondwater dat zeer traag doorheen de Formatie van Kortrijk migreert in de bovenliggende watervoerende lagen terecht. De tussenliggende kleilagen vertragen weliswaar dit proces. De natuurlijke grondwaterstroming in het Lid van Egem, in de eocene watervoerende laag en in de oligocene watervoerende laag is naar het noordwesten gericht.

De eerste boven de Formatie van Kortrijk en het Lid van Kortemark voorkomende watervoerende laag is het Lid van Egem, dat het dikst is in het gebied Sint-Niklaas - Beveren. Uit het Lid van Egem wordt vooral water gewonnen als er geen andere mogelijkheden beschikbaar zijn. Dit is vooral het geval in gebieden die ten zuiden van de potentiële bergingsgebieden, waar de eocene watervoerende laag niet voorkomt, zijn gelegen.

Het Lid van Egem wordt van de bovenliggende eocene watervoerende laag gescheiden door de Leden van Pittem en Merelbeke.

De eocene watervoerende laag is, vooral in het noorden van West- en Oost-Vlaanderen, belangrijk voor de grondwatervoorziening. De laag is, behalve in het uiterste zuidoosten, verzilt in het gebied Knokke. In het zuidwesten van het gebied Sint-Laureins - Assenede en in het uiterste zuidoosten van het gebied Sint-Niklaas - Beveren komt er zoet-brak tot zoet water in voor. Er dient opgemerkt dat er ook in een gedeelte van Zeeland (Nederland) grondwater uit deze laag wordt gewonnen.

Boven de eocene laag komt de slecht doorlatende Formatie van Maldegem die de grondwaterstroming naar de oligocene watervoerende laag toe vertraagt. De oligocene watervoerende laag is enkel artesisch in het gebied Sint-Niklaas - Beveren, waar ze bovenaan wordt afgeschermd door de belangrijke zeer slecht-doorlatende kleilaag van de Formatie van Boom.

In het gebied Knokke is het ondiep freatisch grondwaterreservoir vooral opgebouwd uit Kwartaire sedimenten. In het zuidwesten van het gebied Knokke, ter hoogte van het duingebied te Knokke is deze laag ontzilt. De drinkwatermaatschappij van Knokke-Heist wint er zijn water uit. In het gebied Sint-Laureins - Assenede wordt het freatisch grondwaterreservoir opgebouwd uit Kwartair, Neogeen, Lid van Ruisbroek en Formatie van Zelzate. In dit gebied is deze laag bijna volledig verzilt, behalve in het noordwesten. In het gebied Sint-Niklaas - Beveren bestaat het freatisch grondwaterreservoir uit kwartaire en neogene sedimenten. Ten noorden van een lijn die loopt ten zuiden van Kallo en ten noorden van Meerdonk is de laag verzilt. In Essen en in Kapellen wint de PIDPA water uit de miocene sedimenten. In Sint-Niklaas wint de VMW grondwater uit de kwartaire sedimenten.

De bovenste watervoerende laag is ontzilt ter hoogte van het duingebied te Knokke. In het gebied Sint-Laureins- Assende is het bijna volledig verzilt. In het zuiden van het gebied Sint-Niklaas - Beveren is deze laag niet verzilt.

REFERENTIES

BEEUWSAERT, E. & DE BREUCK, W. (1992). *BOORGATMETINGEN TE OOSTDUINKERKE*. GENT, LABORATORIUM VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE EN HYDROGEOLOGIE (RUG). TGO 92/56.

BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST : archieven.

BOLLE, I.; VAN BURM, P. & DE BREUCK, W. (1989). *Hydrogeologisch onderzoek in de Melselepolder (Beveren - Zwijndrecht)*. Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 88/12, 44 pp.

BOLLE, I.; VAN CAMP, M.; DE CEUCKELAIRE, M.; LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1990). *Hydrogeologisch onderzoek van de industriële stortplaats Fabelta en omgeving te Zwijnaarde*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 86/76.

BOLLE, I.; LEBBE, L., VAN CAMP, M.; DE CEUCKELAIRE, M. & DE BREUCK, W. (1991). *Hydrogeologische studie van de klasse II stortplaats van de Intercommunale DDS te Dendermonde*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 91/21.

BOLLE, I. & DE BREUCK, W. (1993). *Inventarisatie van de watervoerende systemen in de provincies Oost- en West-Vlaanderen, Antwerpen en West-Limburg. Voorstelling en interpretatie van gegevens met betrekking tot het grondwaterbeleid*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 93/05, 162 pp.

BOUGHRIBA, M. (1992). *La salinisation dy système aquifère oligo-pleitocène dans la région de Boekhoute et d' Assenede (Belgique)*. RUG, doctoraatsthesis, 248 pp.

BRONDERS, J. EN DE SMEDT, F. (1991). Geostatistische analyse van de hydraulische geleidbaarheid van watervoerende lagen in Midden-België. *Water*, 59, 127-132.

BRYSE, Y. (1984). *Chemisch-granulometrische evaluatie van de Klei van Ieper ten zuiden van Kortrijk als grondstof voor de grofkeramische industrie*. RUG, licentiaatsthesis, 60 pp.

CAMERMAN, C. (1939). Données sur la constitution chimique des argiles belges. *Bull. Soc. belge de Géol.*, 49, 104-108.

CNUUDE, J.P. & DE BREUCK, W. (1986). *Studie over een grondwaterwinning voor de Home Boudewijn*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 86/16.

CNUDE, J.P.; DE SMET, D. & DE BREUCK, W. (1990). *Hydrogeologisch en technisch verslag betreffende het gebruik van de Sokkelput 227S1478 ten behoeve van de firma INEX te Bavegem (Sint-Lievens-Houtem)*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 89/41a.

DE BATIST, M. (1989). *Seismostratigrafie en structuur van het Paleogeen in de zuidelijke Noordzee*. RUG, doctoraatsthesis, 107 pp.

DE BREUCK, W., DE MOOR, G., MARECHAL, R. EN TAVERNIER, R. (1974). Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgisch kustgebied (1963-1973). SWIM 4.

DE BREUCK, W., VAN BURM, P., STEYAERT, M. & VAN CAMP, M. (1988). *Hydrogeologische studie van de Sokkel en het Landenaan onder het oostelijk gedeelte van Oost-Vlaanderen en het westelijk gedeelte van Vlaams-Brabant*. Eindverslag. Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), 34 pp.

DE BREUCK, W., FOBE, B., LEBBE, L., STEURBAUT, E., VAN DYCK, E. EN WALRAEVENS, K. (1989). *De boringen van Ursel en Maldegem (kaartblad Knesselare 39W nrs. 212 en 213). Bijdrage tot de kennis van het Eoceen in Noordwest-België*. Professional Paper, 236, 98 pp.

DE CEUCKELAIRE, M., WALRAEVENS, K. & VAN BURM, P. (1992). *Evolutie van de stijghoogten in het Landenaan en de Sokkel vanaf de eeuwwisseling tot 1986 (West-Vlaanderen en aangrenzend deel Oost-Vlaanderen)*. Geologische Dienst van België, Prof. Paper 257.

DE GEYTER, G. (1980). *Bijdrage tot de kennis van de sedimentpetrologie en de litostratigrafie van de Formatie van Landen in België*. Doctoraatsthesis, RUG, 204 pp.

DE GEYTER, G. (1987). "The Landen Formation". *Bulleting van de Belgische Vereniging voor Geologie*, 96, 353-356

DEPRET, M. (1983). *Studie van de lithostratigrafie van het Kwartair en van het tertiaire substraat te Zeebrugge onder meer met diepsonderingen*. Professional Paper Belg. Geol. Dienst 201, 235 pp.

DE PUTTER, T. & CHARLET, J.-M. (1994). *Natuurlijke analogieën in klei - een bibliografische synthese*. NIRAS, 183 pp.

DE SMET, D.; MAHAUDEN, M., LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1994). *Hydrogeologische studie van de bedrijfsterreinen van BASF Antwerpen NV*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 90/11, 99 pp.

DE VOS, W., VERNIERS, J., HERBOSCH, A. & VANGUESTAINE, M. (1993). A new geological map of the Brabant Massif, Belgium. *Geological Magazine*, **130**, 605-611.

DISTRIGAZ. Interne documenten. Boorgatmetingen Oostmalle, Rijkevorsel, Sint-Lenaarts en Wuustwezel.

GAUS, I. (1994). *Koppeling van geofysische boorgatparameters aan de interpretatie van een dubbele pompproef uitgevoerd te Ronse*. Licentiaatsthesis, RUG, 123 pp.

GEETS, S. (1969). *Bijdrage tot de sedimentologische kennis van het Paniseliaan*. Doctoraatsthesis, RUG.

GEETS, S. & DE BREUCK, W. (1982). De zware-mineraleninhoud van Belgische mesozoïsche en cenozoïsche afzettingen. D. Onder-Eoceen. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, **64**, 3-25.

GEETS, S. (1988). The evolution of the grain-size distribution in the sediments of the Ieper Formation in Belgium. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 451-456.

GEETS, S. (1993). The "abnormal" heavy-mineral distribution at the base of the Kortrijk Formation (Ieper Group). *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **102 (1-2)**, 165-173.

GULINCK, M. (1969). Coupe résumée des terrains traversés au sondage de Kallo et profil géologique NS passant par Woansdrecht-Kallo-Halle. In : Le sondage de Kallo (au Nord-Ouest d'Anvers). *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische kaart en Mijnkaart van België*, **11**, 3-7.

JACOBS, P., MARÉCHAL, M. DE CEUCKELAIRE, M., SEVENS, E., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1993). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 13, Brugge*. Belgische Geologische Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

JACOBS, P., DE CEUCKELAIRE, M., DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1993). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 14, Lokeren*. Belgische Geologische Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

JACOBS, P.; DE CEUCKELAIRE, M.; DE BREUCK, W. & DE MOOR, G. (1995). *Geologische kaart van België - Vlaams Gewest - Toelichtingen en databank - Kaartblad 22, Gent*. Belgische Geologische Dienst en Bestuur Natuurlijke Rijkdommen en Energie.

KING, C. (1988). Stratigraphy of the Ieper Formation and argile de Flandres (Early Eocene) in Western Belgium and Northern France. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 349-372.

LAGA, P. & VANDENBERGHE, N. (1990). The Knokke Well (11E/138) with a description of the Den Haan (22W/276) and Oostduinkerke (35E/142) wells. *Toelichtende Verhandelingen bij de Geologische en Mijnkaarten van België*, **29**, 118 pp.

LALIEUX, PH. (1994). *Potentialité des argiles de l' Yprésien en matière d' évacuation profonde. Cadre géologique et plan de travail*. Organisme National de déchets radioactifs et de matières fissiles enrichies, 14 pp.

LEBBE, L. (1974). *Hydrogeologie van de stad Sint-Niklaas en omgeving* (intern rapport). Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), 76 pp.

LEBBE (1975). *Hydrogeologie van de stad Sint-Niklaas en omgeving (fase 2)* (intern rapport). Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG).

LEBBE, L., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M., VAN BURM, P., & DE BREUCK, W. (1987). *Hydrogeologische matematick model van de grondwaterstromingen in de gedeeltelijk afgeloten watervoerende lagen onder West-, Oost-, Zeeuws- en Frans-Vlaanderen*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 86053.

LEBBE, L., VAN CAMP, M., VAN BURM, PH., DE CEUCKELAIRE, M., WATTIEZ R. & DE BREUCK, W. (1988). Het grondwater in de paleozoïsche sokkel en in het Landeniaan in West- en Oost-Vlaanderen. *Water*, **41**, 104-108.

LEBBE, L.; MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1989). *Resultaten van de boorgatmetingen en de pompproef bij "Blisrapack" te Wetteren*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 89/09.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1989). *Pompproeven en waterstaalnamen in gespleten vaste gesteenten (Oost- en West-Vlaanderen). Resultaten van de pomp- en stijgproef bij het Klooster van de Zusters Benidictinessen te Poperinge*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 89/53, 39 pp.

LEBBE, L., MAHAUDEN, M. & DE BREUCK, W. (1990). *De pompproefresultaten en berekening van de winbare grondwaterhoeveelheden in de watervoerende lagen van Landeniaan en Sokkel, te Hoegaarden*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 90/34, 58 pp.

MAHAUDEN, M.; VAN BURM, P. & DE BREUCK, W. (1990). *Verslag van de booractiviteiten aan de RUG-gebouwen te Merelbeke (veearsenij)*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 89/61.

MARTENS, K., WALRAEVENS, L. EN DE BREUCK, W. (1995). *Ecosysteemvisie voor de Vlaamse Kust - deelstudie : hydrogeologie*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 94/42, 110 pp.

MERCIER-CASTIAUX, M. & DUPUIS, C. (1988). Clay mineral association in the Ypresian formations in the NW European Basin - time and geographical variations - interpretations. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 441-450.

MOSTAERT, F. (1988). *De leem- en kleibevoorrading in West- en Oost- Vlaanderen met betrekking tot de huidige gewestplannen*. Administratie Economie en Werkgelegenheid, Dienst Natuurlijke Rijkdommen en Energie, 92 pp.

NIRAS. Interne documenten.

PAEPE, R. EN VANHOORNE, R. (1967). The stratigraphy and palaeobotany of the Late Pleistocene in Belgium. *Toel. Verh. Geol. Kaart en Mijnkaart van België*, **8**, 96 pp.

PATUN, J. (1982). *Etude géologique et hydrogéologique des Sables de Berg (Belgique) - Application du Modèle NEWSAM*, 79 + 10 p. Mol : studiecetrum voor Kernenergie (SCK).

SCHLUMBERGER (1986). *Advanced interpretation of wireline logs*, 295 pp.

SCKS, TIJDELIJKE VERENIGING STORMVLOEDKERING SCHELDEBEKKEN (1980). *Gegevens uit de deelrapporten 5, 8, 9 en 1 "Geologie-Geotechniek"*.

STEURBAUT, E. & NOLF, D. (1986). Revision of Ypresian stratigraphy of Belgium and northwestern France. *Meded. Werkgr. Tert. Geol.*, **23**, 115-172.

STEURBAUT, E. (1987). The Ypresian in the Belgian Basin. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **96**, 339-351.

STEURBAUT, E. (1988). Ypresian calcareous nannoplankton biostratigraphy and paleogeography of the Belgian Basin. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 251-285.

STEURBAUT, E. & NOLF, D. (1988). Ypresian teleost otoliths from Belgium and North-western France. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 321-347.

STUYFZAND, P. (1986). *A new hydrochemical classification of watertypes : principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherland*. Paper presented at the 9th Salt Water Intrusion Meeting, Delft 12-16 May 1986.

TAVERNIER, R. EN DE MOOR, G. (1974). L' évolution du Bassin de l' Escaut. In : P. MACAR : *L' évolution Quaternaire des bassins fluviaux de la Mer du Nord Méridionale*, Soc. Géol. Belg, Liège, 159-231.

TESCH, P. (1912). De diepboring te Woensdrecht. *Jaarverslag der Rijksopsporing voor Delfstoffen*, 11-22

TISON, G. (1954). Les ressources aquifères de la Belgique, *A.I.H.S.* 37, 455-459.

TRACTEBEL (1980). C.N. Doel III. Synthèse Geotechnique, 46 pp.

VAN BURM, P. & VAN CAMP, M. (1983). *Hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 81/07, 243 pp.

VAN BURM, P.; BOLLE, I. & DE BREUCK, W. (1989). *Grondmechanische kaart 22.2.5. Gent-Gentbrugge*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 87/95.

VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1992). *Studie van de grondwaterstanden in het Nederlands - Belgisch grensgebied van de Kalmthoutse Heide*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 91/47, 43 pp.

VAN DIJCK, E.; LEBBE, L. & DE BREUCK, W. (1981). *Hydrogeologische, bodemkundige en ekologische studie van de "Kalmthoutse Heide" en de omliggende landbouwgronden. Hydrogeologische studie*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 79/05, 94 pp.

VAN DIJCK, E., LEBBE, L. EN WALRAEVENS, K. (1984). *Hydrogeologische studie van de Ledo-Paniseliaanlaag onder het Drongengoed te Ursel (Knesselare)*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 81/09, 147 pp.

VAN DIJCK, E.; VAN CAMP, M. & DE BREUCK, W. (1985). *Hydrogeologische kaartenatlas Kalmthout - Essen* (kaartbladen N.G.I. nrs. 1/7, 1/8, 7/3 en 7/4). Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG). TGO 81/08a, 103 pp.

VAN DEN BERGHE, N., LAGA, P., VANDORMAEL, C. & ELEWAUT, E. (1988). The geophysical log correlations in the Ieper Clay sections in Belgium. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, 97, 437-440.

- VANDENBERGHE, N. (1974). *Een sedimentologische studie van de Boomse Klei*. Doctoraatsthesis, KUL, 187 pp.
- VANDENBERGHE, N. (1978). Sedimentology of the Boom Clay (Rupelian) in Belgium. *Verh. van de Koninklijke Academie voor Wetenschappen, Letteren en Schone Kunsten van België*, **147**. (jaargang XL).
- VANDENBERGHE, N., DUSAR, M., LAGA, P. & BOUCKAERT, J. (1988). The Meer Well in North Belgium. *Toelichtende Verhandelingen voor de Geologische en Mijnkaarten van België*, **25**, 23 pp.
- VANDENBERGHE, N., LAGA, P., STEURBAUT, E., HARDENBOL, J. EN VAIL, P., in press. Sequence Stratigraphy of the Tertiary at the southern border of the North Sea Basin in Belgium.
- VAN VAERENBERH, W. (1987). *Struktuurgeologische studie van de Ieperse klei*. RUG, licentiaatsthesis, 136 pp.
- VERMOORTELE, Y., MAHAUDEN, M., BOLLE, I. EN DE BREUCK, W. (1992). *Inventarisatie van de grondwatervoorraden ter hoogte van de geplande centrale te Zeebrugge*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (RUG), TGO 91/46, 47 pp.
- VERMOORTELE, Y. & DE BREUCK, W. (1994). *Grondwateronderzoek Diepe Zandlagen, Fase 1*. Gent, Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, RUG, TGO, 93045, 98 pp.
- WALRAEVENS, K. (1987). *Hydrogeologie en hydrochemie van het Ledo-Paniseliaan van het Ledo-Paniseliaan in Oost- en West-Vlaanderen*. doctoraatsthesis, RUG, 350 p.
- WALRAEVENS, K., VAN CAMP, M., DE CEUCKELAIRE, M., VAN BURM, P., LEBBE, L., DE BREUCK, W., GERARD, P. & VERPLAETSE, H. (1989). Hydrochemisch onderzoek van de gedeeltelijk afgeloten watervoerende lagen van de sokkel, het Krijt en het Landenian onder West-, Oost- en Frans-Vlaanderen. *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift*, **71**, 53-73.
- WALRAEVENS, K., VAN BURM, P., VAN CAMP, M., LEBBE, L., DE CEUCKELAIRE, M. EN DE BREUCK, W. (1990). Modélisation hydrodynamique des nappes aquifères du socle paléozoïque et du Landénien dans les Flandres belges et française. *Ann. Soc. Géol. Nord*, **59**, 73-85.
- WATERSCHOOT VAN DER GRACHT, W., TESCH, P. EN HALET, M.F. (1913). Le sondage de Woensdrecht (Pays-Bas)". *Bulletin de la Société Belge de Géologie, de paléontologie et d'hydrologie*, **27**, 169-176.

WILLEMS, W. & MOORKENS, T. (1988). The Ypresian stage in the Belgian Basin. *Bulletin van de Belgische Vereniging voor Geologie*, **97**, 231-249.

WOUTERS, L. & VANDENBERGHE, N. (1994). *Geologie van de Kempen - een synthese*. NIRAS, 208 pp.