

Appendix A

Maken en plaatsen alternatieve elektrodenkabel

Het uitgevoerde werk voor de alternatieve plaatsing van de elektroden bestaat uit de volgende onderdelen:

- het vaststellen van de, vooral voor de CPT relevante, technische randvoorwaarden voor de test elektrode-kabel;
- het ontwerpen van 1 test elektrode-kabel;
- het maken van 1 test elektrode-kabel;
- het ontwerpen van een verbindingkast die tussen de test elektrode-kabel en het geoelektrische meetapparaat (ABEM-Sas4000) komt;
- het maken van vier verbindingkasten (2 reserve);
- het plaatsen van de test elektrode-kabel met een CPT op een proeflocatie;
- het testen van de elektrode-kabel op de proeflocatie.

Randvoorwaarden voor de multi-elektrodekabel:

- de kabel moet ruim in de sondebuis (binnendiameter van 25 mm) passen;
- de elektrodes moeten stevig op kabel zitten i.v.m. 'schuren' tegen de binnenkant van de stalen sondebuis bij het plaatsen;
- de elektrodes, en vooral de verbinding tussen de individuele elektrodes en de stroomdraden, moeten corrosie/oxidatie bestendig zijn zodat de kabel tenminste tot 1 jaar na plaatsing beschikbaar blijft voor monitoring;
- het oppervlak van de elektrodes moet zo groot mogelijk zijn voor een goed contact met de ondergrond en het grondwater;
- de bovenkant van de elektrode-kabel moet door de holle sondebuis passen (de kabel dus niet van te voren worden afgewerkt met stekkers).

Technische uitvoering van de sondering:

- er wordt 'voor' gesondeerd met de 'standaard' diameter (15 mm binnendiameter) tot de einddiepte hierbij wordt ook de conus en de kleef gemeten;
- vervolgens wordt er in hetzelfde gat een sondering uitgevoerd met een bredere buis (binnendiameter van de holle pijp is 25 mm);
- in deze brede sondeerbuis wordt de slang met de elektrodes geplaatst tot op de 'verloren punt' (kunststof om de ERT-meting niet te beïnvloeden);
- vervolgens worden de stalen sondeerbuizen, waarin de kabel zit, 1 voor 1 omhoog getrokken waarbij de elektrodekabel in de grond blijft zitten;
- einde sondering.

Op donderdag 29 september 2005 is op een terrein van Grontmij in Lieren nabij Apeldoorn een veldtest uitgevoerd. Zie fotos in deze appendix. De sondeerkabel is succesvol geplaatst op diepte volgens de hierboven beschreven procedure (sondering tot 7,5 m-mv, duur 40 minuten). De bovenste elektrode zat onder de grondwaterspiegel (~ 2 m-mv). De sondeerkabel zat relatief 'los' in het gat en was makkelijk uit de grond te trekken. Uit ervaring (Grontmij) is de verwachting dat de grond in het gat zich binnen ~ 1 dag beter aan de slang zal gaan hechten. Het nummeren van de 26 elektrodekabels en het bevestigen van de 26 bananenstekkers kost relatief veel tijd (ruim 1 uur). Deze actie kan echter niet van tevoren worden uitgevoerd omdat de kabel door de holle sondeerbuis moet. Kleine technische verbeterpunten naar aanleiding van de veldtest:

- De onderkant van de slang moet schuin (hoek ~ 45 graden) afgeschraapt worden zodat hij makkelijker door de sondeerbuis geduwd kan worden.
- Alle 26 stroomdraden pasten maar net in de HDPE slang, voor het praktisch inpassen van de stroomdraden in de HDPE slang is het makkelijker om met iets dunnere stroomdraden te werken (0.34 i.p.v. 0.5 mm²) de maximale stroomcapaciteit van de draad blijft ruim voldoende (4 i.p.v. 6 Ampere).
- Iedere meter boven de bovenste elektrode moet een markering komen, gemaakt met een witte verfstift. Tevens moet de kant waar de elektrodes zitten gemarkeerd worden met een lijn omdat de elektrodes georienteerd moeten worden richting het andere meetpunt (actie voor Janelco).
- Het is aan te bevelen om 5 cm dieper te sonderen dan de geplande einddiepte en dan de kabel ietsje omhoog te trekken zodat de elektroden op het gewenste NAP niveau zitten.
- Er is een stuk 'loos' HDPE pijp (~ 1.5 m lang) nodig om de 26 aderig stroomdraad te beschermen tegen afschrapen tijdens het omhoogtrekken van de sondeerstangen om dezelfde reden is tevens is besloten om de HDPE slang met 1 m te verlengen (11 i.p.v. 10 m).
- Voordat er gemeten wordt is het aan te raden de sondeerkabel minsten een halve dag in de grond te laten zitten om de grond zich beter om de sondeerkabel te laten hechten zodat de elektrodes beter op positie blijven.

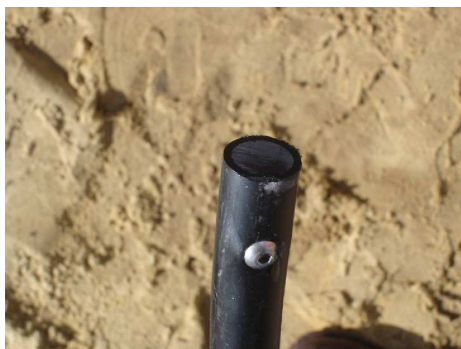
Bij de elektrode test met de geofysische meetapparatuur bleek dat alle elektrodes werkten en dat de 2 al beschikbare verbindingkasten tussen het meetapparaat en de kabel goed functioneerden. De maximale stroomsterkte die via de elektrodes de grond in gebracht kon worden was echter laag (20 mA en op enkele elektrodes 50 mA, in het eerdere ERT onderzoek was dit 100 of 200 mA). Een lage stroomsterkte maakt een meting zeer storingsgevoelig en daarom heeft het gebruik van hogere stroomsterktes de voorkeur. De volgende factoren zijn hier zeer waarschijnlijk medeoorzaak van:

1. De ondergrond bestaat uit grof zand (hellingafzettingen van de stuwwal) en heeft een hoge elektrische weerstand ($\sim 200 \text{ Ohm-m}$). De weerstand van het drogere zand aan het oppervlak was dermate hoog dat het ook niet mogelijk om vanaf het oppervlak met de 'tentharing' elektrodes een stroom de grond in te brengen;
2. Het contactoppervlak van de 'sondeer' elektrode is relatief klein ($\sim 0.6 \text{ cm}^2$) vergeleken met het contact oppervlak van de ronde elektrodes op de elektrodekabel die gebruikt is in het eerste ERT SKB Project ($\sim 7 \text{ cm}^2$).

Het belangrijkste actiepunt is dus het elektrode oppervlak te vergroten binnen de beperkingen van de plaatsingsmethode; de elektrode moet door de stalen sondeerbuis kunnen zonder dat het beschadigd. Uiteindelijk is gebruik gemaakt van een RVS plaatje bevestigd met behulp van een RVS bout en moer. Zie tabel hieronder.

materiaal slang	HDPE slang (ook gebruikt voor minifilters)
slangdiameter	20.5 mm (slang) + ~ 1.5 mm (elektrode)
elektrodes	RVS bout met moer. De top van de bout zit aan buitenkant van de slang tegenover bout zit een gat in de buis voor aanbrengen elektrode (~ 0.6 cm ²). Onder de bout zit een RVS plaatje die het contact oppervlak vergroot tot minstens 6 cm ² (zoals voorbeeld gestuurd naar Grontmij)
slang inhoud	een 25 aderige draad, bovendien is over het traject waar de elektrodes zitten de slang opgevuld met een flexibele 2 componenten gietmassa voor: 1) versteviging, 2) opvullen geboorde gaten en 3) afschermen van corrosie gevoelige verbinding tussen de elektrode en de elektrodedraden
lengte slang	11 m
aantal elektrodes	25
kern afstand elektrodes	0.192 m, dus traject waarover de elektrodes zitten van 0.02 m boven de punt (elektrode 1) tot 4.62 m boven de punt (elektrode 25)
onderkant slang	punt met dezelfde diameter als de slang de zijkant van de punt is schuin (~ 45 graden) afgeschraapt, onderste elektrode zit 0.02 m boven de afgetopte punt
bovenkant slang	25 genummerde draadjes die uit de slang komen, de onderste elektrode is nummer 1 (in het veld wordt deel van slang die boven de grond uit steekt afgeknipt, rekening houdend met het draadje binnen in de slag en er worden bananenstekker geplaatst op de 26 draadjes die verbonden zijn met de elektrodes)
slang markeringen	iedere m boven de bovenste elektrode moet de afstand tot de bovenste elektrode gemarkeerd worden, tevens moet de kant waar de elektrodeplaatjes zitten gemarkeerd worden met een lijn zodat de elektrodes in het veld georienteerd kunnen worden richting het andere meetpunt (bijvoorbeeld met een witte verfstift)
kenmerken draad	20 m lang, 25 aderig, minimaal 0,34 mm ² per draadje (max. cap. ~ 4 Ampère)

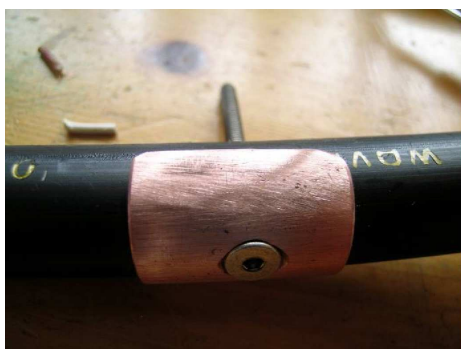
Figure A.1: Kenmerken van de multielektrode sondeerkabel, zoals gebruikt op de demonstratie locatie te Losser.



(a) Onderkant slang, onderste elektrode.



(b) Onderkant slang met 3 elektrodes.



(c) Prototype grotere elektrode, materiaal wordt van RVS.



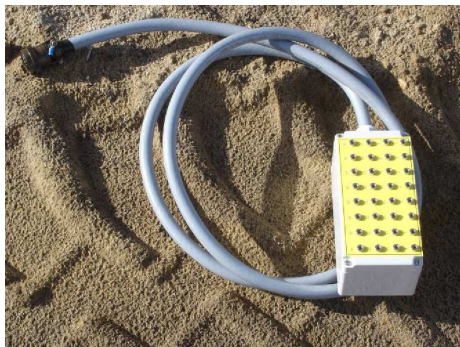
(d) Sondeerwagen met elektrode kabel.



(e) Elektrode kabel wordt via het dak van de sondeerwagen in de sondeerbuis geplaatst.



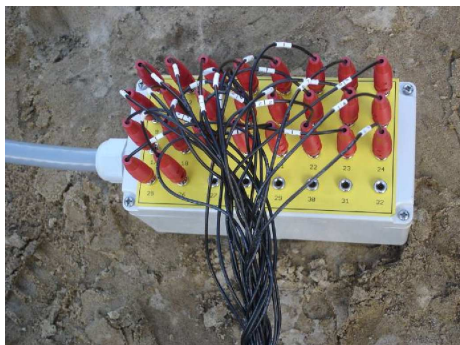
(f) In de sondeerwagen met elektrode kabel (grijs) die uit de slang (zwart) komt.



(g) Verbindingskast tussen de elektrode kabel (bananenstekkers) en het geo-elektrische meetapparaat.



(h) Het aanbrengen van 26 bananenstekkers op de sondeerkabel.



(i) De 26 bananenstekkers in de meetkast.



(j) Het testen van de elektrodes met het geo-elektrische apparaat.

Figure A.2: Foto's alternatieve elektrodenkabel.

Appendix B

ERT modellen 2006-2008

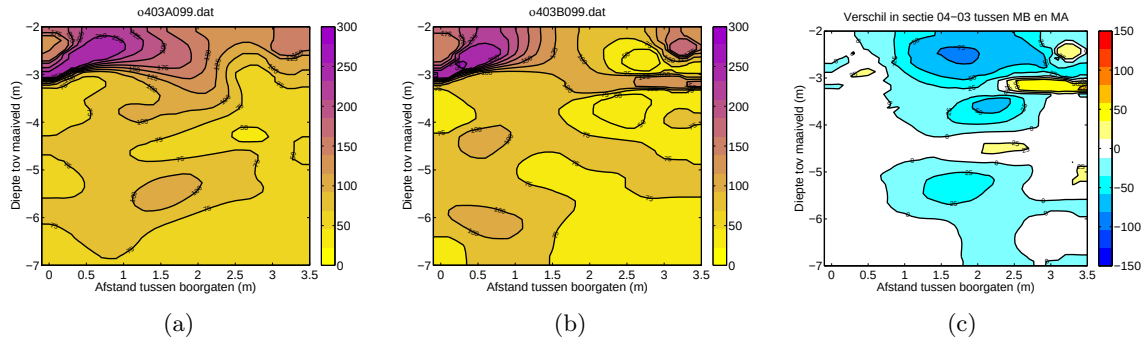


Figure B.1: ERT sectie 04-03 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

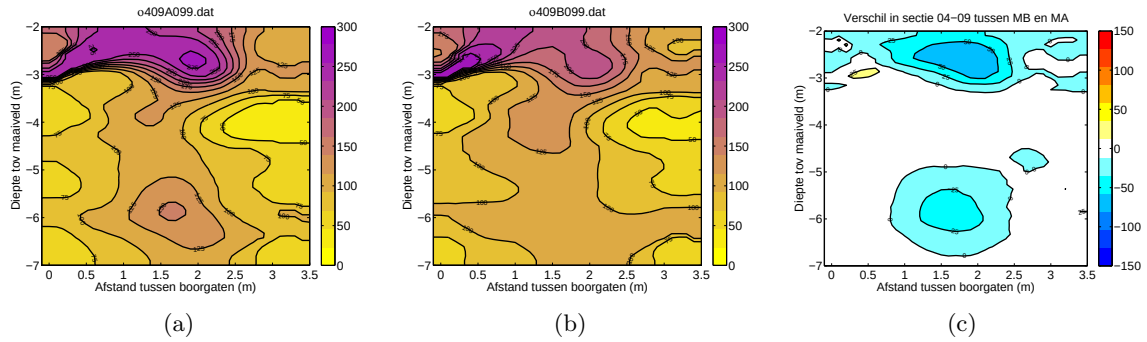


Figure B.2: ERT sectie 04-09 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

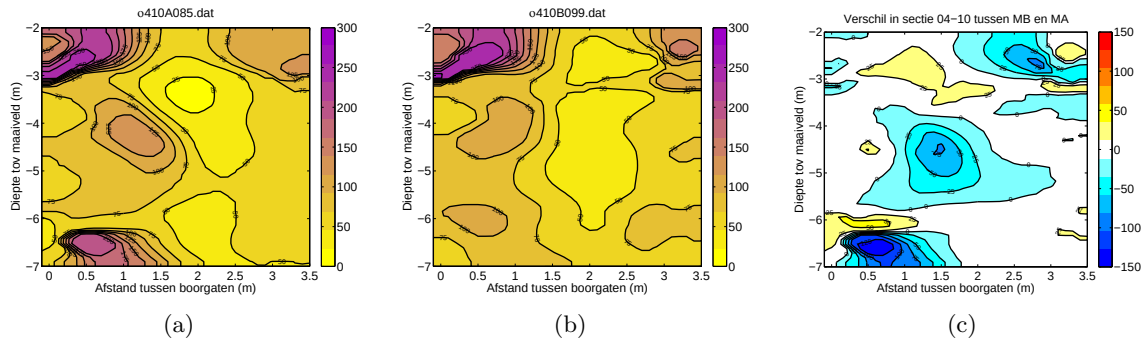


Figure B.3: ERT sectie 04-10 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

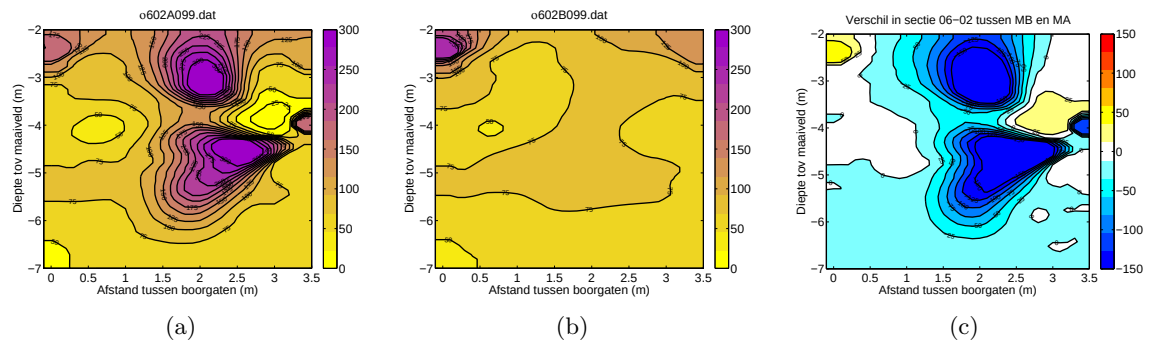


Figure B.4: ERT sectie 06-02 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

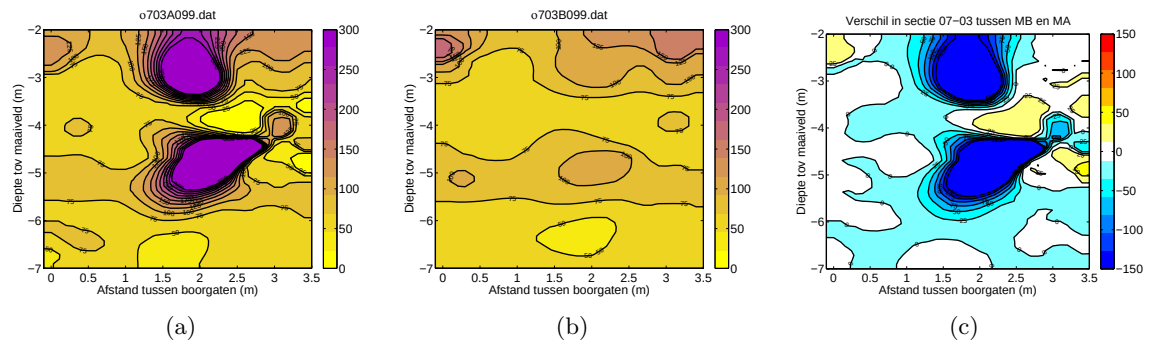


Figure B.5: ERT sectie 07-03 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

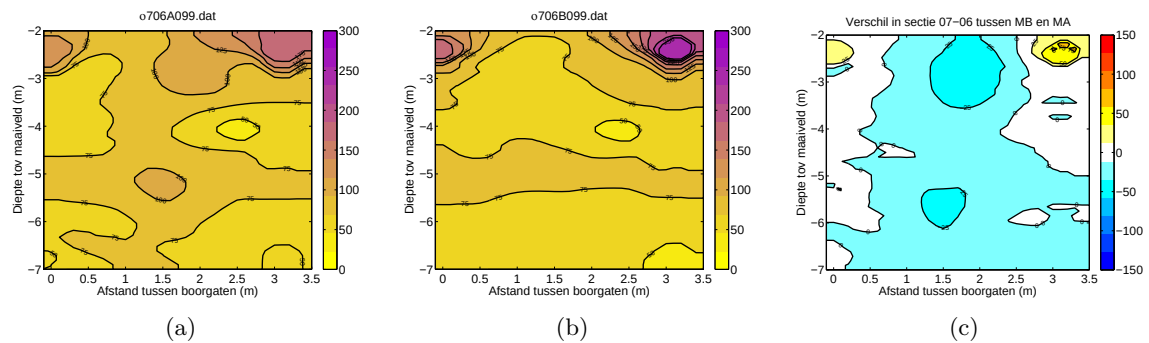


Figure B.6: ERT sectie 07-06 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

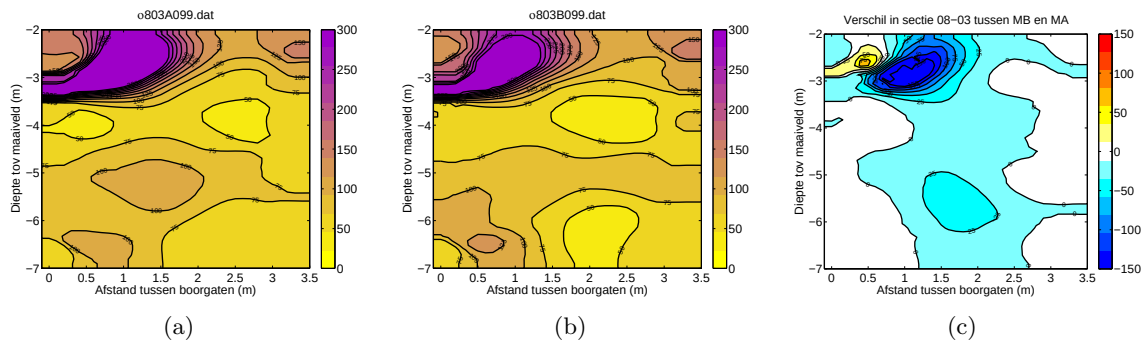


Figure B.7: ERT sectie 08-03 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

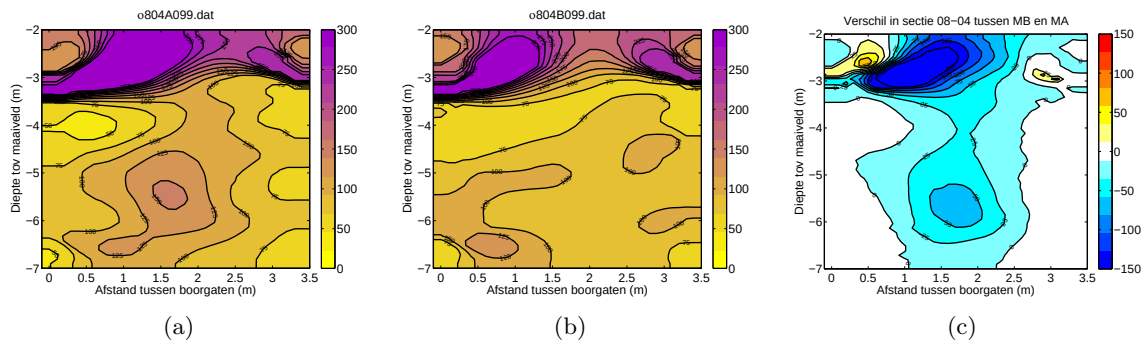


Figure B.8: ERT sectie 08-04 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

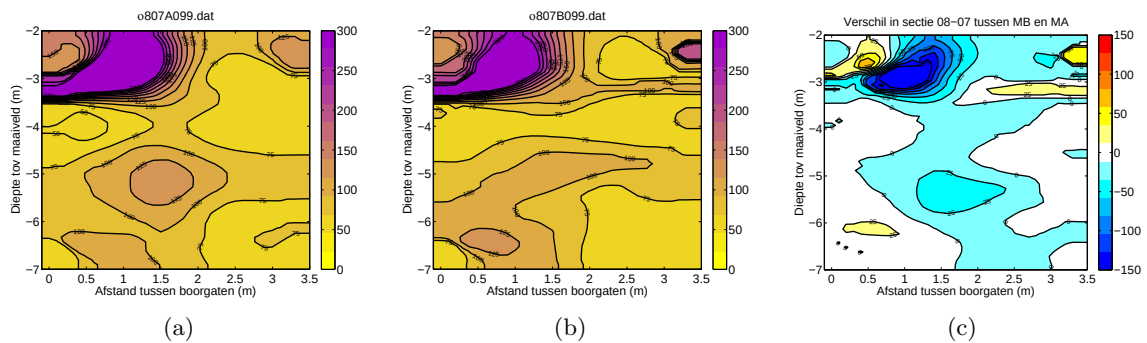


Figure B.9: ERT sectie 08-07 juli 2006 (a), mei 2008 (b) en verschil (c).

Appendix C

Data fit ERT nulmetingen

ERT 04-03	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	10.87	0.00
Model MA	1.89	10.59
Model MB	8.17	7.09

Figure C.1: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-03.

ERT 04-09	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	6.24	0.00
Model MA	1.69	6.26
Model MB	6.38	1.45

Figure C.2: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-09.

ERT 04-10	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	15.46	0.00
Model MA	8.78	12.17
Model MB	13.76	6.67

Figure C.3: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-10.

ERT 06-02	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	32.67	0.00
Model MA	24.25	18.97
Model MB	32.64	1.07

Figure C.4: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 06-02.

ERT 07-03	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	45.68	0.00
Model MA	42.51	14.72
Model MB	45.82	1.19

Figure C.5: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 07-03.

ERT 07-06	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	21.23	0.00
Model MA	1.08	17.93
Model MB	21.21	1.11

Figure C.6: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 07-06.

ERT 08-03	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	7.78	0.00
Model MA	2.04	7.58
Model MB	7.95	1.71

Figure C.7: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-03.

ERT 08-04	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	7.18	0.00
Model MA	2.01	7.10
Model MB	7.34	1.74

Figure C.8: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-04.

ERT 08-07	Data MA	Data MB
Data MA	0.00	.
Data MB	11.82	0.00
Model MA	2.16	11.22
Model MB	11.25	4.54

Figure C.9: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-07.

Appendix D

ERT modellen monitoring

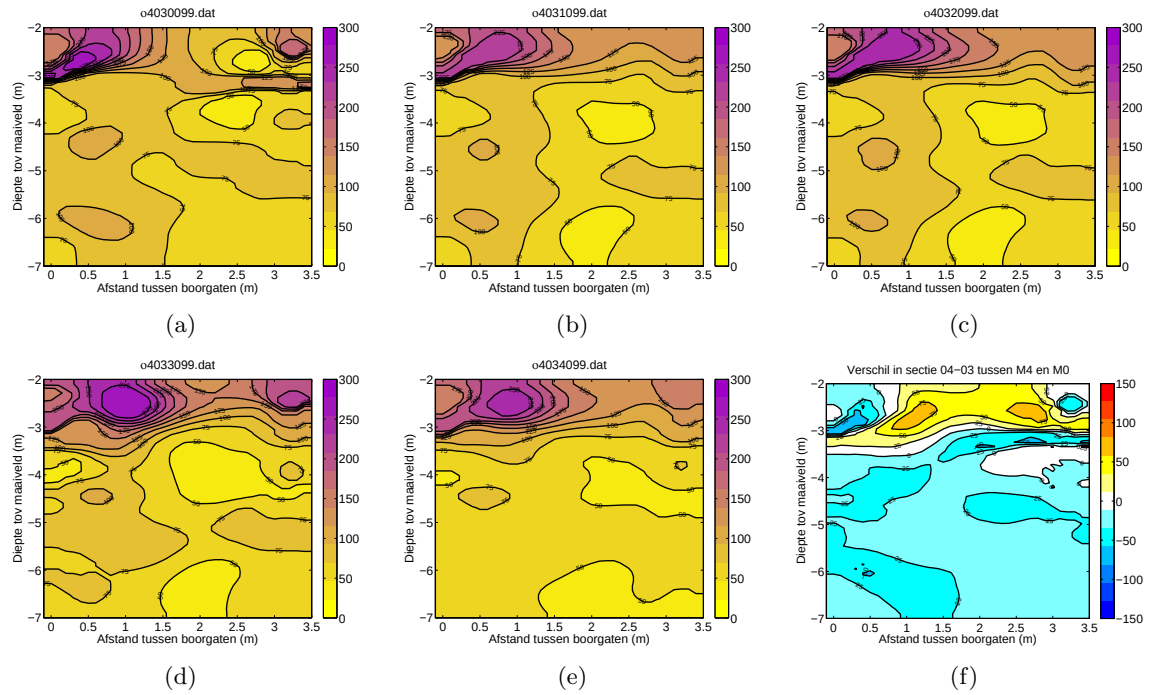


Figure D.1: ERT sectie 04-03; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

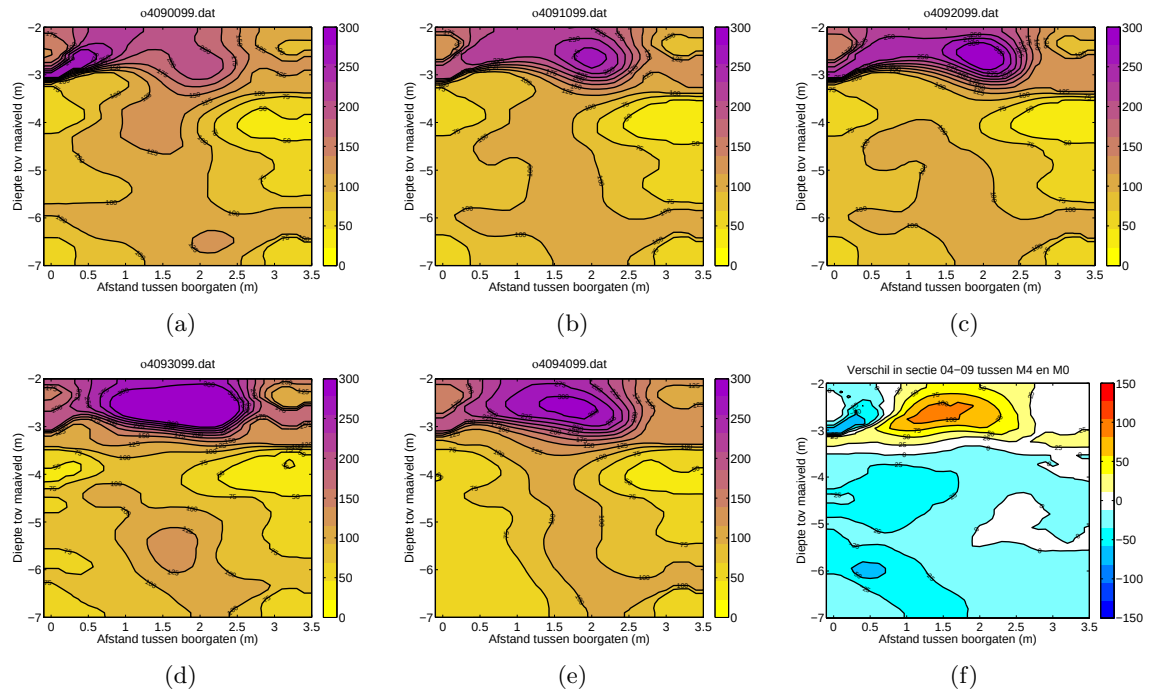


Figure D.2: ERT sectie 04-09; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

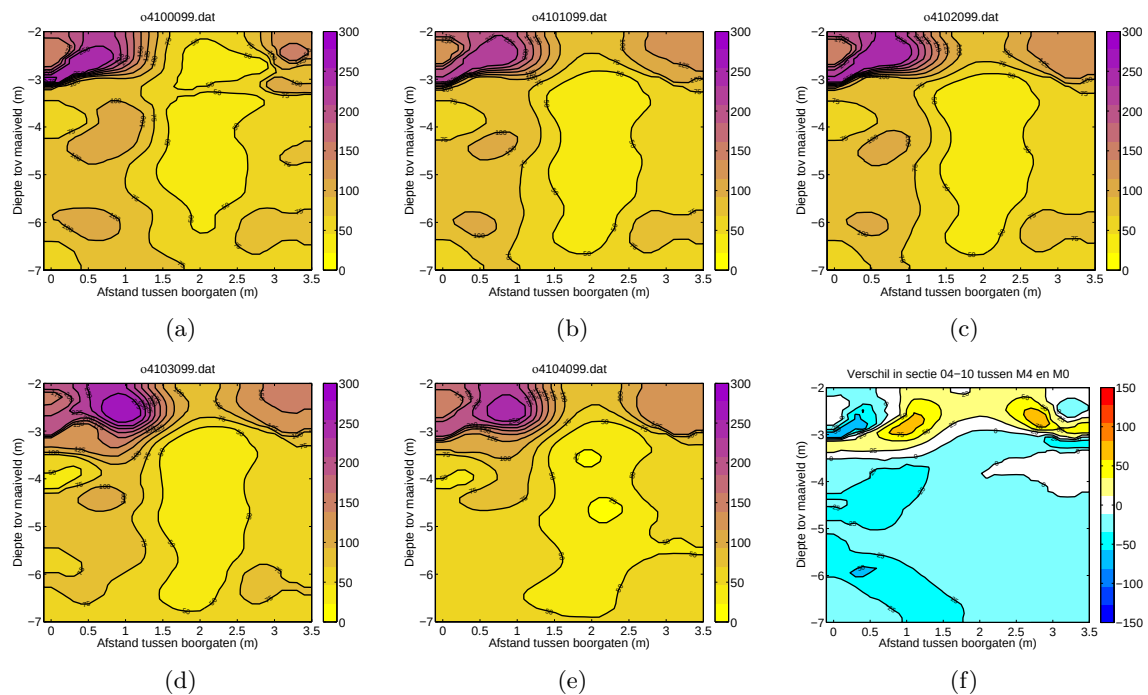


Figure D.3: ERT sectie 04-10; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

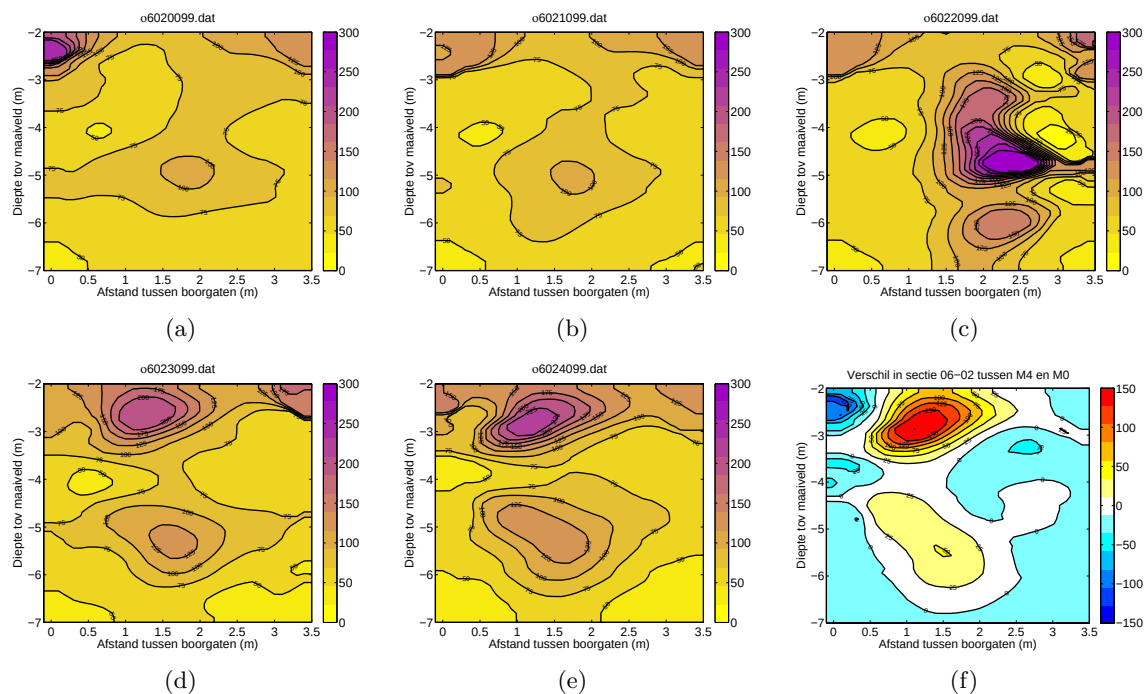


Figure D.4: ERT sectie 06-02; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

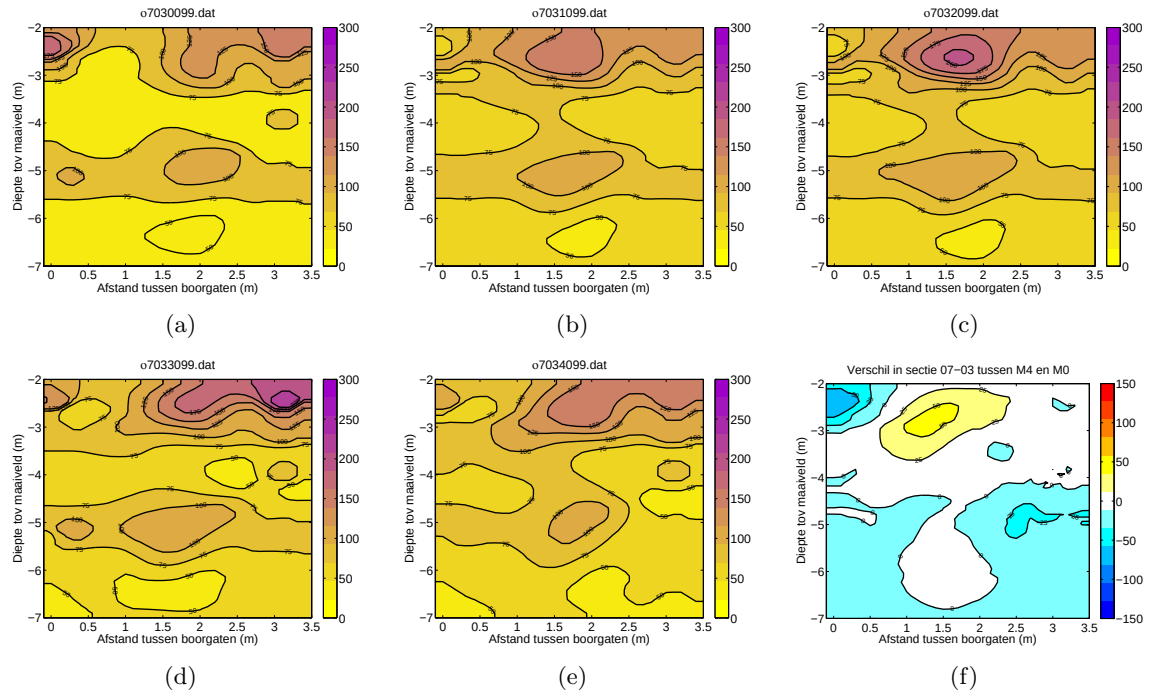


Figure D.5: ERT sectie 07-03; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

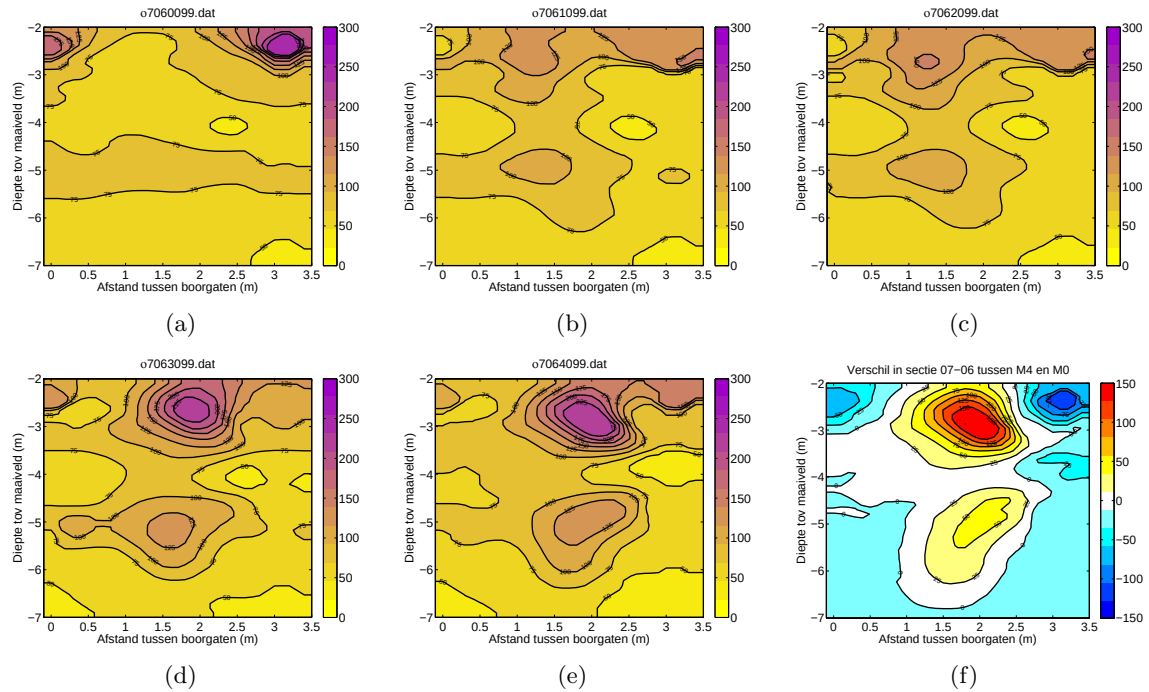


Figure D.6: ERT sectie 07-06; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

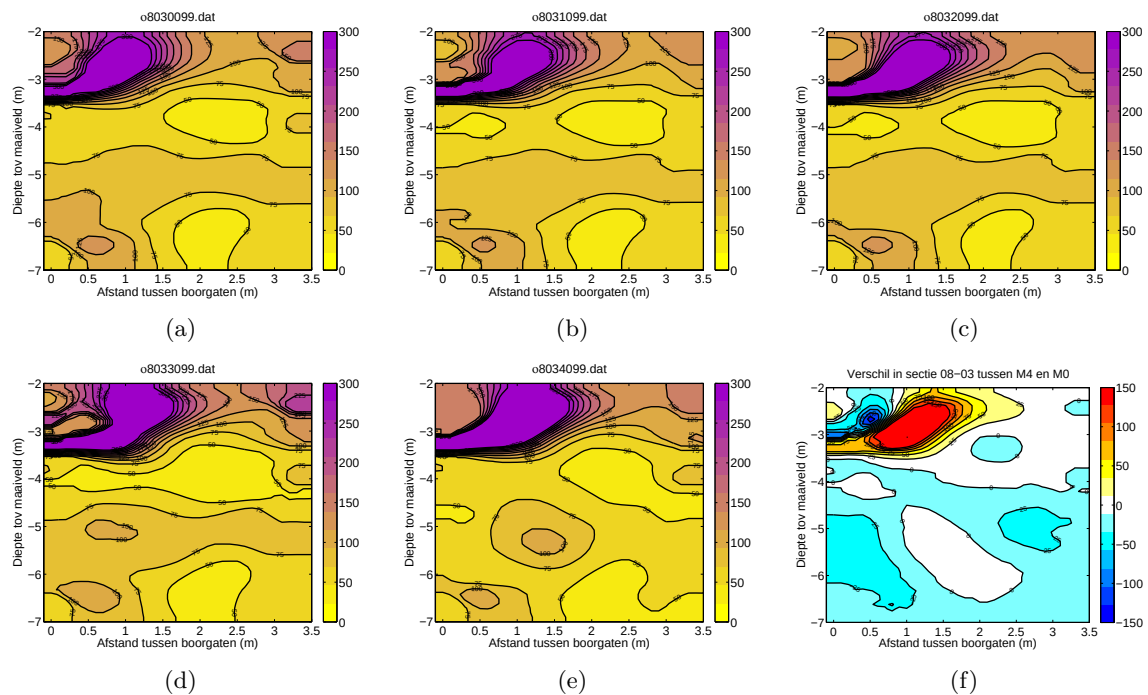


Figure D.7: ERT sectie 08-03; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

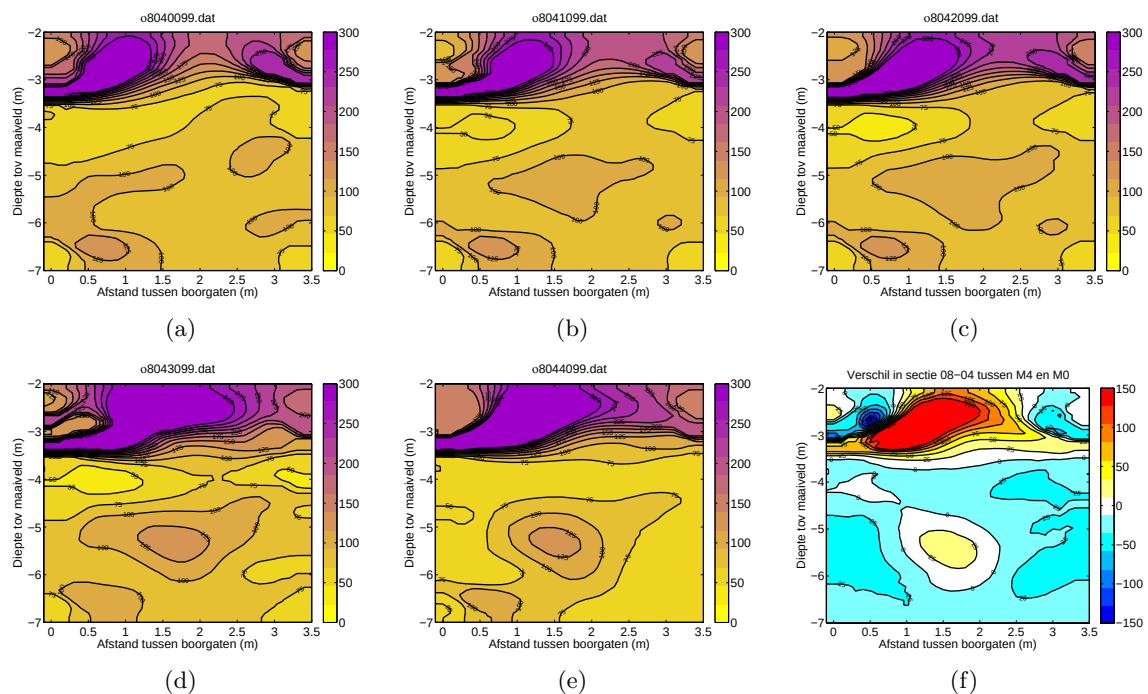


Figure D.8: ERT sectie 08-04; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

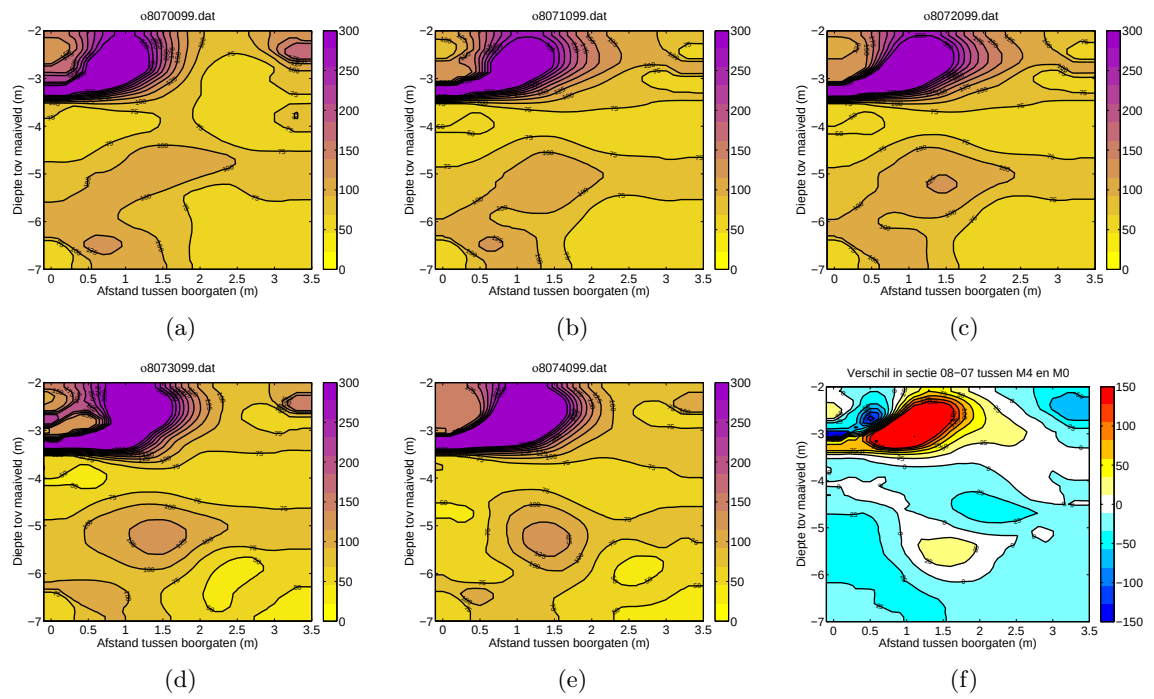


Figure D.9: ERT sectie 08-07; 27-5-2008 M0 (a), 9-9-2008 M1 (b), 19-9-2008 M2 (c), 27-11-2008 M3 (d), 30-3-2009 M4 (e) en verschil tussen M4 en M0 (f).

Appendix E

Data fit ERT monitoringsmetingen

ERT 04-03	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	10.80	0.00	.	.	.
Data M2	10.22	8.45	0.00	.	.
Data M3	25.22	30.68	23.79	0.00	.
Data M4	15.45	13.86	12.55	19.46	0.00
Model M0	7.11	8.43	7.13	21.12	14.29
Model M1	10.96	1.22	8.04	25.04	13.66
Model M2	10.30	8.47	1.30	20.79	13.21
Model M3	25.25	30.67	23.80	1.22	23.48
Model M4	15.54	13.90	12.62	19.50	1.09

Figure E.1: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-03.

ERT 04-09	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	5.79	0.00	.	.	.
Data M2	5.56	8.15	0.00	.	.
Data M3	17.08	19.89	12.65	0.00	.
Data M4	11.94	12.10	9.85	11.99	0.00
Model M0	1.48	6.01	5.51	15.49	11.97
Model M1	6.06	1.51	7.85	17.29	11.66
Model M2	5.63	8.19	1.53	11.75	10.07
Model M3	17.06	19.90	12.71	1.63	13.27
Model M4	12.05	12.19	9.98	12.06	1.11

Figure E.2: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-09.

ERT 04-10	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	9.07	0.00	.	.	.
Data M2	9.86	8.59	0.00	.	.
Data M3	14.36	14.00	6.32	0.00	.
Data M4	13.92	10.45	9.91	11.37	0.00
Model M0	6.83	6.39	7.20	11.90	12.58
Model M1	9.32	1.52	8.27	12.67	10.48
Model M2	10.01	8.62	1.64	6.11	10.54
Model M3	14.43	14.03	6.48	1.44	12.62
Model M4	14.04	10.53	10.04	11.45	1.33

Figure E.3: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 04-10.

ERT 06-02	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	34.14	0.00	.	.	.
Data M2	33.68	18.80	0.00	.	.
Data M3	40.12	13.09	20.37	0.00	.
Data M4	29.55	15.08	21.20	21.59	0.00
Model M0	1.07	46.13	42.39	53.83	39.77
Model M1	34.13	0.96	17.62	12.97	14.87
Model M2	31.26	8.11	14.85	14.25	15.08
Model M3	40.05	12.75	20.39	1.74	21.45
Model M4	29.58	14.89	21.14	21.55	1.56

Figure E.4: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 06-02.

ERT 07-03	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	30.73	0.00	.	.	.
Data M2	31.88	4.70	0.00	.	.
Data M3	25.17	43.79	41.12	0.00	.
Data M4	24.14	21.55	20.19	21.05	0.00
Model M0	1.20	38.95	39.84	23.84	28.06
Model M1	30.72	1.18	4.76	32.63	19.71
Model M2	31.88	4.87	1.26	31.10	18.74
Model M3	25.18	43.72	41.06	1.31	25.85
Model M4	24.17	21.52	20.15	21.09	1.23

Figure E.5: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 07-03.

ERT 07-06	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	39.37	0.00	.	.	.
Data M2	38.86	4.78	0.00	.	.
Data M3	37.28	24.77	27.94	0.00	.
Data M4	32.58	18.99	18.65	19.75	0.00
Model M0	1.09	59.61	58.50	53.96	46.75
Model M1	39.31	1.37	4.73	23.59	17.73
Model M2	38.82	5.06	1.20	26.82	17.61
Model M3	37.26	24.61	27.80	1.59	19.56
Model M4	32.60	18.77	18.46	19.78	1.71

Figure E.6: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 07-06.

ERT 08-03	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	16.99	0.00	.	.	.
Data M2	12.09	7.11	0.00	.	.
Data M3	22.65	37.63	30.95	0.00	.
Data M4	14.75	28.67	21.68	20.30	0.00
Model M0	1.72	19.77	13.43	20.21	14.87
Model M1	17.02	1.89	7.03	28.97	24.87
Model M2	12.10	7.33	1.86	24.98	19.73
Model M3	22.28	37.50	30.81	2.97	22.75
Model M4	14.67	28.68	21.72	20.39	2.06

Figure E.7: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-03.

ERT 08-04	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	15.35	0.00	.	.	.
Data M2	12.31	10.69	0.00	.	.
Data M3	11.19	22.04	13.20	0.00	.
Data M4	14.35	24.80	18.89	13.48	0.00
Model M0	1.75	17.31	12.87	10.74	14.67
Model M1	15.41	1.87	10.06	18.99	22.52
Model M2	12.32	10.77	1.74	12.37	18.58
Model M3	10.47	21.83	12.91	3.00	14.05
Model M4	14.27	24.81	18.94	13.62	1.92

Figure E.8: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-04.

ERT 08-07	Data M0	Data M1	Data M2	Data M3	Data M4
Data M0	0.00	.	.	.	.
Data M1	30.43	0.00	.	.	.
Data M2	29.98	7.23	0.00	.	.
Data M3	13.32	30.24	27.43	0.00	.
Data M4	23.31	31.11	25.78	15.04	0.00
Model M0	2.82	39.90	38.43	14.30	26.20
Model M1	30.44	2.13	7.40	25.10	26.75
Model M2	29.97	7.50	2.19	23.29	22.70
Model M3	12.68	29.99	27.19	3.54	15.37
Model M4	23.26	31.09	25.79	15.22	2.40

Figure E.9: % RMS verschil tussen gemeten data en data behorende bij de ERT sectie 08-07.

Appendix F

Resultaten van de Boorgatmetingen

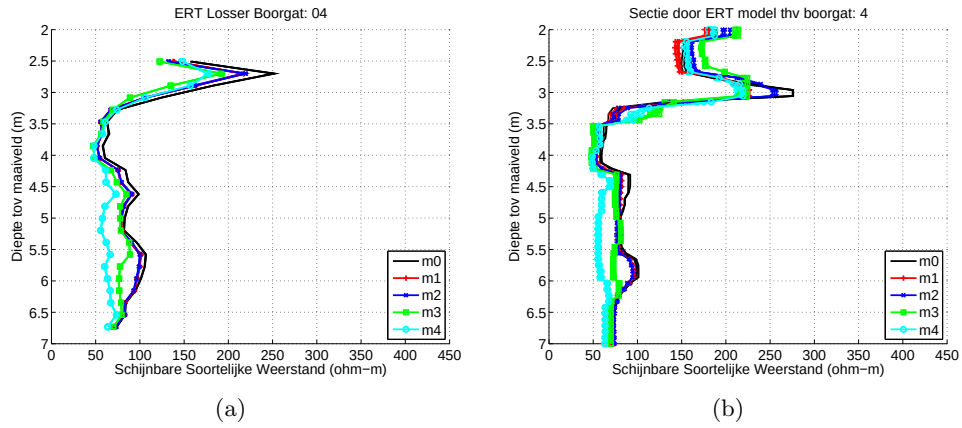


Figure F.1: Boorgatmetingen (a) in boorgat 4 en waarde uit de ERT modellen (b) uit de opvolgende meetronden.

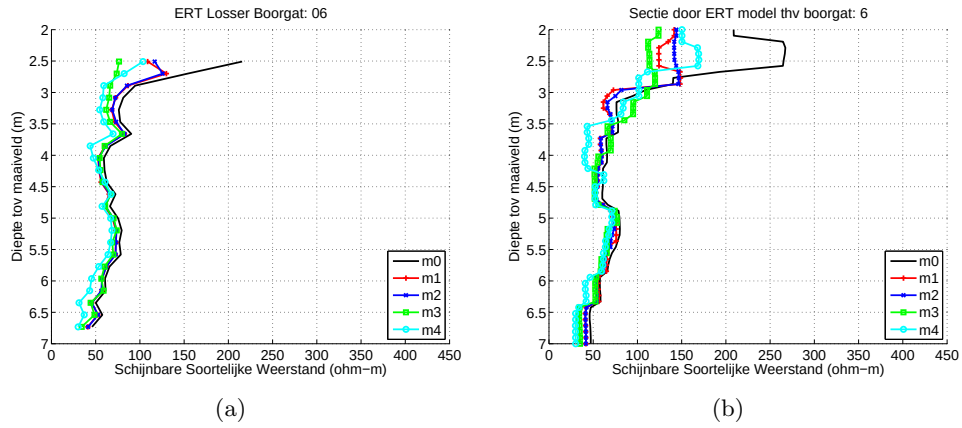


Figure F.2: Boorgatmetingen (a) in boorgat 6 en waarde uit het ERT model (b) uit de opvolgende meetronden.

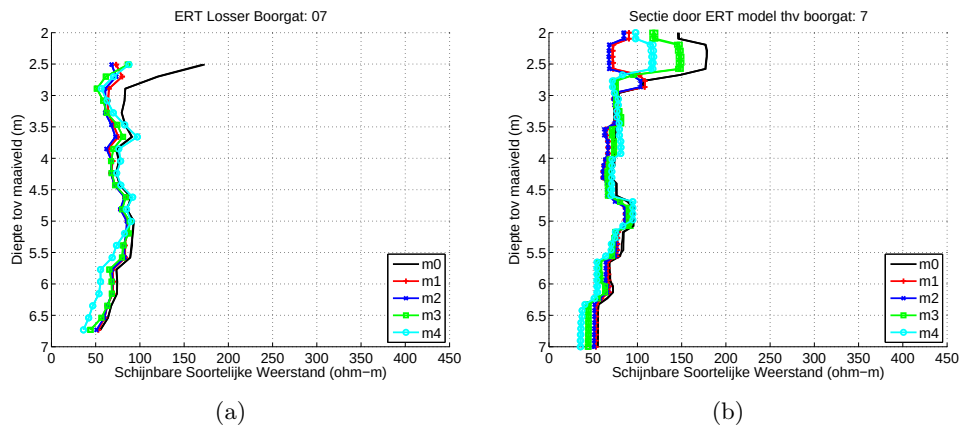


Figure F.3: Boorgatmetingen (a) in boorgat 7 en waarde uit het ERT model (b) uit de opvolgende meetronden.

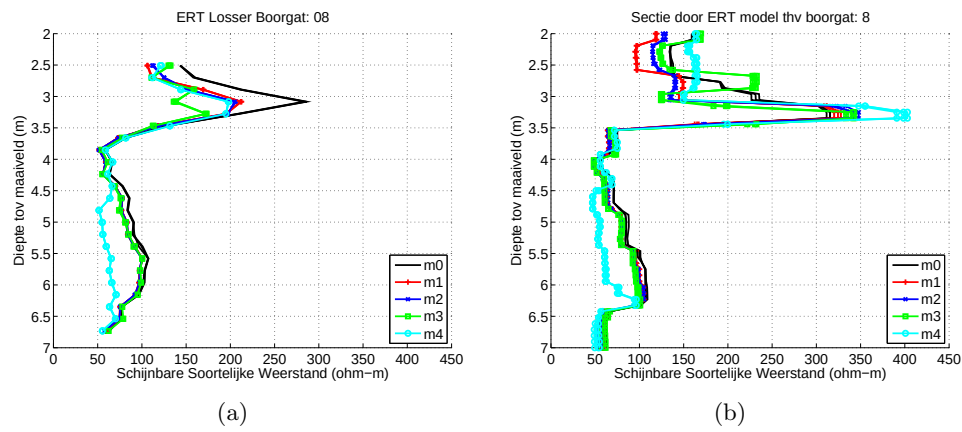


Figure F.4: Boorgatmetingen (a) in boorgat 8 en waarde uit het ERT model (b) uit de opvolgende meetronden.

