1491 - 169

Planstudie/MER Schiphol-Amsterdam-Almere

Deelrapport Grondwatermodel
Bijgewerkte versie van bijlagerapport
Grondwater uit de MER Eerste Fase

Definitief

Rijkswaterstaat Noord-Holland en IJsselmeergebied

Grontmij Nederland bv
Houten, 19 april 2006

P1491-169

Verantwoording

Titel	:	Planstudie/MER Schiphol-Amsterdam-Almere
Projectnummer	:	206154
Documentnummer	:	13/99067476/RJ
Revisie	:	D1
Datum	:	19 april 2006

Auteur(s)	:	J. Beemster
e-mail adres	:	jos.beemster@grontmij.nl
Gecontroleerd	:	M.P. Hartog
Paraaf gecontroleerd	:	
Goedgekeurd	:	R.J. Jonker
Paraaf goedgekeurd	:	
Contact	:	De Molen 48 3994 DB Houten Postbus 119 3990 DC Houten T +31 30 634 47 00 F +31 30 637 94 15 E midwest@grontmij.nl

Inhoudsopgave

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Leeswijzer	7
1.3	Relatie grondwater met ruimtelijke functies	7
2	Beschrijving van het grondwatermodel	8
2.1	Algemeen	8
2.2	Geohydrologie en bodemopbouw	8
2.3	Oppervlaktewater- en polderpeilen	10
2.4	Grondwateraanvulling	10
2.5	Grondwateronttrekkingen	11
2.6	Grondwaterstandsgegevens	12
2.7	Bouw en calibratie van het grondwatermodel	12
2.8	Evaluatie calibratieresultaat	16
2.9	Autonome ontwikkeling	18
3	Effectberekeningen	19
3.1	Inleiding	19
3.2	Aanleg principes	20
3.3	Permanente effecten	20
3.3.1	Stroomlijnalternatief	20
3.3.2	Verbindingsalternatieven	22
3.4	Evaluatie permanente effecten	28
4	Gevoeligheidsanalyse	31
4.1	Inleiding	31
4.2	Tijdelijke effecten tijdens aanleg van de tunnelvarianten	31
4.3	Zandbanen in de deklaag	34
4.4	Alternatieve locaties tunnelmonding variant T2x3	39
4.5	Verticale weerstand in het watervoerende pakket	41
5	Conclusies	44
	Literatuur	46

Bijlage 1
Onttrekkingsgegevens

Bijlage 2
Modelnetwerk

Bijlage 3

Inhoud (vervolg)

kD en c waarden modellagen

Bijlage 4
Calibratie resultaat

Samenvatting

Naar aanleiding van vragen van de waterbeheerders en de Commissie voor de milieu-effectrapportage is verdieping uitgevoerd van de in het MER eerste fase opgenomen analyse van het grondwater. De geuite zorg betreft vooral de analyse van de mogelijke tunnelvarianten bij het Naardermeer, en de denkbare effecten van wijzigingen in grondwaterstand of – stromingen op de natuur in en rond het Naardermeer.

De nadere uitwerking is uitgevoerd op basis van een modeldetaillering en tevens zijn enkele andere varianten voor de ligging van de geboorde tunnel geanalyseerd.

Voor landbouw- en natuurgebieden is afgeleid dat effecten optreden als:
- in landbouwgebied meer dan 5 cm stijging van de grondwaterstand optreedt;
- in natuurgebieden een kwelfluxafname van meer dan 0.1 mm/dag optreedt.

Grondwaterstanden en kwelfluxen
In de verbindingsalternatieven is de verandering van de grondwaterstand maximaal 2 cm en maximale fluxverandering is ongeveer 0.5 mm/dag nabij het tracé(variant boortunnel T 2x3).
De grootste effecten in absolute zin treden op bij de verdiepte variant (V5-2w-5) van het stroomlijntracé, met maximaal 20 cm verlaging langs de Gaasperdammerweg en kwelfluxveranderingen tot 1,5 mm/dag langs het aquaduct in het AR kanaal.

Functies landbouw en natuur
Het permanente effect van de verdiepte variant op het stroomlijntracé (V5-2w-5) overlapt voor een groot deel met bebouwd gebied. Er is geen overlap met natuurgebieden. Het effect op landbouwgebied wordt verwaarloosbaar geacht.
De permanente effecten van de verbindingsalternatieven treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met als functie landbouw en zijn dermate gering (toename < 2 cm) dat geen significant effect op de opbrengstcijfers te verwachten zijn. Alleen de lange boortunnel heeft een klein negatief effect op bestaande en nieuwe natuur ter hoogte van het Afwateringskanaal van het Naardermeer. Er is geen effect in de Habitatrichtlijngebieden.

Zoet/zout grensvlak
Uit een aanvullende studie van TNO volgt dat autonome processen het zoet/zout grensvlak de komende 250 jaar aanzienlijk beïnvloeden, waarbij het effect van de tunnel verwaarloosbaar is.

Tijdens aanleg
Mogelijke tijdelijke effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen tijdens aanleg van de tunnelvarianten dienen 100% gemitigeerd te worden door aanvoer van oppervlaktewater uit Vecht of AR kanaal.

Zandbanen in deklaag
Aanwezigheid van zandbanen in de holocene deklaag ter plaatse van de tunnelmonding in de Nieuwe Keverdijksche Polder hebben een gering lokaal effect op met name kwelfluxveranderingen, maar is van geen betekenis voor de functies landbouw en natuur in de omgeving.

Verticale weerstand in watervoerend pakket
Het effect van een grotere verticale weerstand in het watervoerende pakket versterkt de effecten op kwelfluxen en grondwaterstanden. In een 'worst case' scenario met maximale weerstandswaarden in het watervoerend pakket, bedraagt de verhoging nabij het tracé maximaal 5 cm. De effecten treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met een landbouwfunctie. Ondanks een toename van effecten bij grotere weerstand in het watervoerend pakket, zijn deze qua omvang en grootte zo gering dat geen significant effect op landbouwopbrengsten te verwachten zijn.

Alternatieve locaties boortunnel
Alternatieve locaties (subvarianten A en C) van de tunnelmonding van de korte tunnel variant (T 2x3) veroorzaken vergelijkbare geringe effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen als de oorspronkelijke variant. Wel worden de effecten in noordwestelijke richting verschoven. Ook hier vindt vrijwel uitsluitend landbouw plaats, waarbij geen nadelige gevolgen voor opbrengstcijfers te verwachten zijn.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van de Planstudie Schiphol-Amsterdam-Almere is in januari 2006 een MER eerste fase en een Alternatieven- en Variantennota gepubliceerd.
Vervolgens is een consultatieronde gehouden.
Naar aanleiding van vragen van de waterbeheerders en de Commissie voor de milieu-effectrapportage is een verdieping uitgevoerd van de in het MER eerste fase opgenomen analyse van het grondwater. De geuite zorg betreft vooral de analyse van de mogelijke tunnelvarianten bij het Naardermeer, en de denkbare effecten van wijzigingen in grondwaterstand of – stromingen op de natuur in en rond het Naardermeer.

De nadere uitwerking is uitgevoerd op basis van een modeldetaillering, en tevens zijn enkele andere varianten voor de ligging van de geboorde tunnel geanalyseerd. In de modeldetaillering is gebruik gemaakt van een nadere analyse naar de invloed van een ingreep op het zoet-zoutgrensvlak door TNO-NITG. (NITG/TNO, 2006)

1.2 Leeswijzer

Onderhavig deelrapport is een bewerkte versie van het bijlagerapport Grondwatermodel dat bij het MER eerste fase is opgenomen. In hoofdstuk 2 is beschreven welke elementen in het model zijn opgenomen en hoe het model is gebouwd en gecalibreerd.
Hoofdstuk 3 geeft de uitkomsten van de modelberekeningen. De invloed op grondwaterstanden en kwelfluxen is in kaartbeelden gepresenteerd.
In hoofdstuk 4 is een gevoeligheidsanalyse opgenomen; wat zijn belangrijke aannames in de modellering, en wat gebeurt er met de uitkomst als er anders met die aannames wordt omgegaan. In hoofdstuk 5 zijn samenvattende conclusies opgenomen.

1.3 Relatie grondwater met ruimtelijke functies

De resultaten van de vergelijking van de tunnelvarianten zijn ook gerapporteerd in het rapport Quick scan aanvullende varianten (Grontmij, april 2006). In dat rapport wordt ook nader ingegaan op de mogelijke invloed van de veranderingen in grondwaterstand en kwelflux op de functies in het gebied: natuur en agrarisch. De conclusie is dat de effecten op deze functies zeer beperkt zijn.

2 Beschrijving van het grondwatermodel

2.1 Algemeen

Voor de effectbepaling op het deelaspect grondwater is een grondwatermodel voor het onderzoeksgebied en de ruime omgeving hiervan opgesteld.
Doel van het grondwatermodel is mogelijke effecten te bepalen van de aanleg/aanpassing in diverse varianten van het Stroomlijn- en het Verbindingsalternatief binnen de planstudie. Deze mogelijke effecten betreffen veranderingen van grondwaterstanden en stijghoogten en veranderingen van kwel- en infiltratiefluxen. De hydrologische effecten vormen mede de basis voor de effectbepaling op ecologie en bodem.

Het grondwatermodel is opgezet met het hydrologische rekenprogramma MicroFEM. MicroFEM is een hydrologisch computer programma voor modellering van stationaire en niet-stationaire verzadigde grondwaterstroming in een gelaagd, heterogeen grondwatersysteem, gebaseerd op de eindige elementen methode (Hemker & de Boer, 2005). Voor deze studie zijn stationaire berekeningen gemaakt voor een gemiddelde hydrologische situatie over de periode 1995-2002. De calibratie is uitgevoerd door middel van automatische parameteroptimalisatie. Hiervoor is gebruik gemaakt van het programma PEST (Watermark Numerical Computing, 2005).

2.2 Geohydrologie en bodemopbouw

Gegevens met betrekking tot de geohydrologie en de bodemopbouw zijn ontleend aan het Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS) van TNO/NITG.

Ten behoeve van de grondwatermodellering wordt de bodem onderverdeeld in watervoerende pakketten, die van elkaar gescheiden kunnen zijn door slechtdoorlatende lagen. De goed doorlatende watervoerende pakketten bestaan overwegend uit zand en/of grind, terwijl de slecht doorlatende lagen veen, klei of leem bevatten. Watervoerende pakketten worden gekarakteriseerd door het doorlaatvermogen (kD-waarde), dit is het product van de horizontale doorlatendheid of doorlaatfactor (k_h) en de dikte van het pakket (D). Slechtdoorlatende lagen worden gekarakteriseerd door de hydraulische weerstand of c-waarde. Dit is het quotiënt van de dikte van de slecht doorlatende laag (D) en de verticale doorlatendheid (k_v).
De regionale bodemopbouw en de geohydrologische indeling in goed en slechtdoorlatende lagen is samengevat in tabel 2.1.

Tabel 2.1 ***Bodemopbouw en geohydrologische schematisering***

Dikte	Textuur	Geohydrologische indeling	Formatie	kD (m²/dag) of c (dagen) REGIS	kD (m²/dag) of c (dagen) na calibratie
0-20	Veen /klei	Deklaag	Holoceen Complex	c=0-3200 kD=0-90	c=0-1600 kD=0-90
0-50	Matig fijn tot matig grof zand	Eerste watervoerende laag	Boxtel, Kreftenheije	k=2-16 kD=0-2400	k=2-16 kD=0-2400
0-45	Klei	Eerste slecht doorlatende laag	Eem	C=0-17.000	C=0-17.000
0-45	Matig grof zand	Tweede watervoerende laag	Eem, Drente	k≈15 kD= 0-650	k≈30 kD= 0-1300
0-50	(Bekken)klei en keileem	Tweede slecht doorlatende laag	Drente	C=0-250.000	C=0-250.000
0-85	Grof tot zeer grof zand	Gestuwde watervoerende laag	Divers	-	k≈60 kD=0-5.500
0-80	Grof tot zeer grof zand	Derde watervoerende laag	Urk	k=10-20 kD= 0-12.50	k=20-40 kD= 0-2.500
0-67	Klei	Derde slecht doorlatende laag	Sterksel,Waalre	c= 0-6.000	c= 0-6.000
50-220	Grof zand	Vierde watervoerende laag	Sterksel, Peize, Waalre	k=12.5-22.5 kD=25-4.250	k=12.5-22.5 kD=25-4.250
	Kleiig zand en zandig klei	Geohydrologische basis	Maassluis complex	-	-

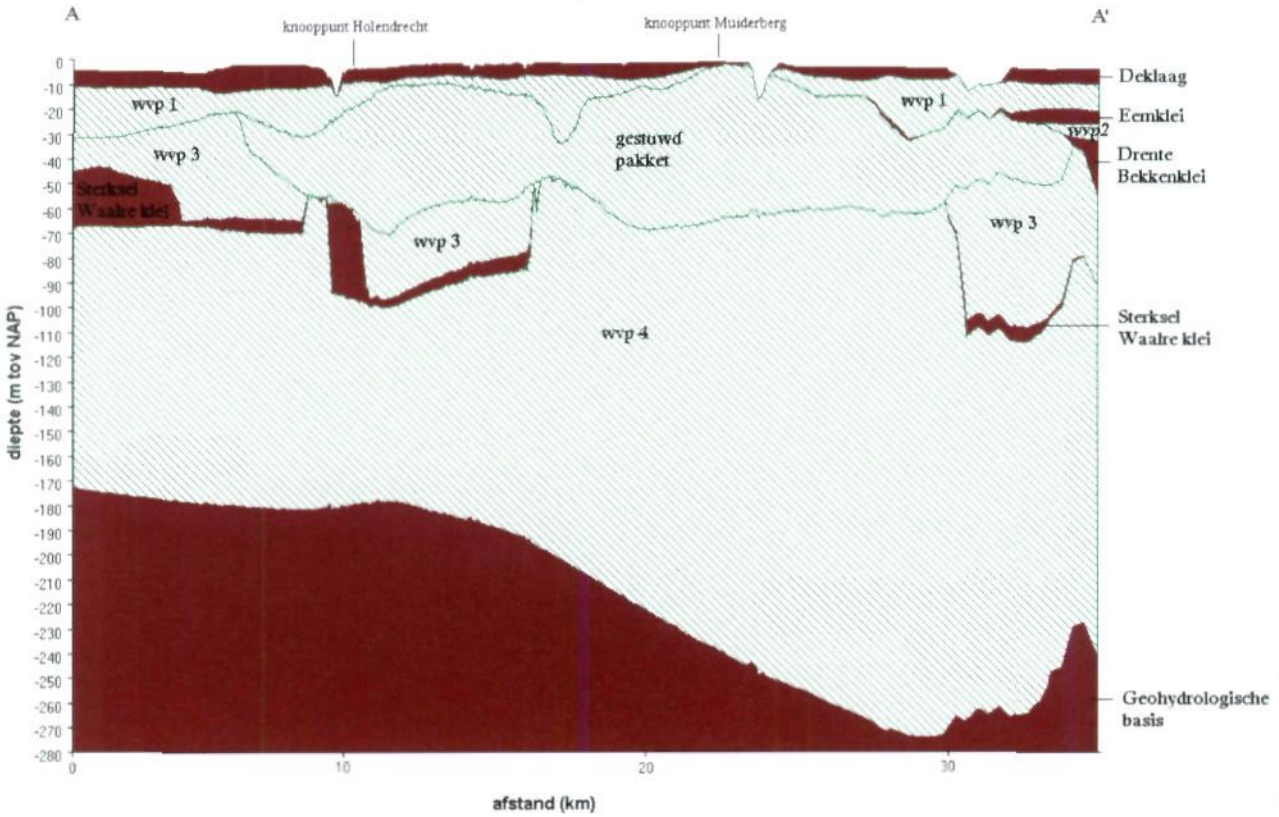
De transmissiviteit (kD-waarden) van watervoerende pakketten en weerstanden van scheidende lagen zijn vermeld, zoals overgenomen uit REGISII. Ook is het calibratieresultaat in tabel 2.1 samengevat (zie paragraaf 2.7). In REGISII is voor de deklaag geen weerstand of k-waarde opgenomen en voor het gestuwde pakket geen k-waarde. Voor het poldergebied ten westen van de Utrechtse Heuvelrug en ten Zuiden van IJ is voor de weerstand en kD-waarde van de deklaag gebruik gemaakt van een interpolatie door RIZA op basis van metingen door TNO/NITG. In verder weggelegen poldergebieden (Flevoland, Eem Vallei, Waterland) is voor de weerstand van het topsysteem een globale drainageweerstand afgeleid op basis van de dikte van de deklaag. Voor de k-waarde van het gestuwde pakket is een constante waarde verondersteld. Tijdens calibratie zijn genoemde parameterwaarden geoptimaliseerd.

Een dwarsdoorsnede van de geohydrologische indeling is afgebeeld in figuur 2.1. De ligging van het dwarsprofiel is weergegeven met de lijn A-A' in figuur 2.4. Zoals zichtbaar is in figuur 2.1 is de verbreiding van slecht doorlatende lagen niet continu, waardoor bijvoorbeeld eerste en tweede watervoerende pakket grotendeels samenvallen. In het centrale, gestuwde deel zijn in het geheel geen continue slechtdoorlatende lagen te onderscheiden, waardoor hier sprake is van één groot watervoerend pakket tot op de hydrologische basis.

Anisotropie

Door stuwing zijn watervoerende lagen (met inbegrip van klei/veenlenzen) binnen het gestuwde watervoerende pakket plaatselijk scheefgesteld. Deze scheefstelling is binnen het modelgebied bekend op o.a. de Utrechtse Heuvelrug. Door de scheefstelling is de horizontale doorlatendheid in de strekkingsrichting van de lagen groter dan in de richting loodrecht hierop. Dit verschijnsel heet anisotropie. Gegevens over anisotropie zijn overgenomen uit het VPC-model dat in het kader van verplaatsing van drinkwaterwinningen in de provincie Utrecht is gemaakt. (Grontmij, 2004). Op de Utrechtse Heuvel-

rug komt de grootste mate van anisotropie op, waarbij de doorlatendheid in de stuwingsrichting terug kan lopen tot 5% van de doorlatendheid hier loodrecht op.



Figuur 2.1 Dwarsdoorsnede geohydrologische indeling (zie figuur 2.3 voor ligging A-A')

2.3 Oppervlaktewater- en polderpeilen

De oppervlaktewater- en polderpeilen (zomer- en winterpeilen) zijn in het inventariserend vooronderzoek door Witteveen & Bos opgevraagd bij de betrokken waterschappen. Bij de Dienst Waterbeheer en Riolering (DWR) van het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht zijn meer recente inventarisaties opgevraagd. In kaarten 8.1 en 8.2 bij het MER eerste fase is een overzicht gegeven van gebruikte peilen. De peilen zijn verwerkt in het grondwatermodel.

2.4 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling wordt gedefinieerd als het netto neerslagoverschot.
Het netto neerslagoverschot is de neerslag minus verdamping en (evt.) interceptie. Neerslag- en (referentiegewas)verdampingsgegevens zijn afkomstig van het KNMI, meteostation Abcoude (neerslag) en meteostation Schiphol (referentiegewasverdamping).

Voor landbouwgronden is het netto neerslag overschot de neerslag minus de actuele (gewas)verdamping. Interceptie van neerslag speelt voor landbouwgronden geen rol van betekenis. Door het KNMI worden verdampingscijfers voor een zogenoemd referentiegewas berekend (conform de methode van Makkink). Hieruit kan met behulp van gewasfactoren de potentiële verdamping voor diverse gewassen berekend worden.
Voor de modelberekeningen is het gemiddelde neerslagoverschot (NOV) bepaald voor de periode 1995-2002. De betreffende gegevens zijn vermeld in de tabellen 2.2 en 2.3. Het landgebruik is afgeleid van LGN4-bestanden in combinatie met landgebruikskaarten van het CBS (BGG-bestanden). Het landgebruik is gegeneraliseerd naar de typen zoals vermeld in tabel 2.3. In tabel 2.3 is qua verdamping onderscheid gemaakt tussen lage en hoge gebieden. Hoge gebieden betreft percelen, waar de grondwaterstand dieper staat dan 2 m -mv. In tabel 2.3 is ook een klimaatscenario opgenomen voor het jaar 2050, afkomstig van het KNMI. Dit klimaatscenario is gebruikt voor de autonome ontwikkeling en wordt in paragraaf 2.8 nader toegelicht.

Tabel 2.2 Meteogegevens KNMI voor periode 1995-2002

Jaar	Neerslag Abcoude (mm)	Referentie verdamping Schiphol (mm)	NOV-gras (mm)
1995	784.5	623.7	160.8
1996	647.3	556.8	90.5
1997	678.7	591.4	87.3
1998	1219	529.8	689.2
1999	990.5	606.3	384.2
2000	1092.2	569.8	522.4
2001	1113.1	588.6	524.5
2002	988.1	578.3	409.8
gemiddeld	939.2	580.6	358.6

Tabel 2.3 Berekend neerslagoverschot

Gewas	gewas factor laag/hoog	NOV lage gebieden (mm/dag) 1995-2002	2050	NOV hoge gebieden (mm/dag) 1995-2002	2050
Gras	1.0/0.86	0.98	1.00	1.21	1.23
Akker	0.85/0.75	1.22	1.25	1.38	1.41
Stedelijk	1.1/1.09	0.82	0.83	0.84	0.85
Loofbos	0.95/0.94	1.06	1.08	1.08	1.10
Naaldbos	1.27/1.26	0.55	0.55	0.57	0.57
open water	1.25/1.25	0.58	0.58	-	-

2.5 Grondwateronttrekkingen

Bij de betrokken provincies (Noord Holland, Utrecht, Flevoland) zijn grondwateronttrekkingsgegevens opgevraagd voor de periode 1995-2002. Deze gegevens zijn gemiddeld over de rekenperiode en verwerkt in het grondwatermodel. In bijlage 1 zijn de gebruikte onttrekkingsdata vermeld.

2.6 Grondwaterstandsgegevens

Voor de calibratie van het grondwatermodel zijn peilbuisgegevens opgevraagd uit het grondwaterarchief DINO van TNO. Voor de beschouwde rekenperiode 1995-2002 zijn gemiddelde grondwaterstanden en stijghoogten bepaald. Alleen de reeksen met een meetinterval van 14 dagen zijn gebruikt. Bovendien zijn incomplete reeksen verwijderd (minder dan 7 jaar van de beschouwde 8 jaar). In totaal zijn metingen van 317 peilbuizen geselecteerd.

2.7 Bouw en calibratie van het grondwatermodel

Op basis van de regionale geohydrologische bodemopbouw afkomstig uit REGIS (zie tabel 2.1) zijn in het grondwatermodel vijf watervoerende lagen en vier slechtdoorlatende lagen (inclusief de deklaag) onderscheiden. De gestuwde watervoerende laag en de derde watervoerende laag uit tabel 2.1 zijn in het grondwatermodel als twee afzonderlijke watervoerende lagen gemodelleerd, die echter niet gescheiden zijn door een weerstandslaag. In het gestuwde pakket is informatie over anisotropie toegevoegd. De geohydrologische basis van het grondwatermodel wordt gevormd door matig doorlatende lagen van de Formatie van Maassluis.

Ligging van watergangen, polders en kustlijnen zijn verwerkt in modelnetwerk. De knooppuntafstand varieert van circa 400 meter aan de randen van het model tot plaatselijk minder dan 2,5 m ter plaatse van de onderzochte snelwegtracés. In bijlage 2 is het modelnetwerk weergegeven. Ook is hierin een detail van het netwerk opgenomen ter plaatse van een tunnel toerit.

De stijghoogten op de randen van het model in het derde watervoerende pakket zijn gefixeerd op waarden die zijn geïnterpoleerd uit gemiddelde peilbuiswaarnemingen binnen en buiten het modelgebied over de beschouwde rekenperiode.
Het grondwatermodel is gecalibreerd voor een langjarige gemiddelde stationaire situatie. Als calibratieperiode is het interval 1995-2002 geselecteerd.

Er is bij calibratie voor een langjarige gemiddelde situatie gekozen opdat niet-stationaire effecten, zoals seizoenseffecten in grondwaterstanden en het naijlen van de grondwaterstand op het neerslagoverschot, worden uitgemiddeld. Calibratie op voorjaarsgrondwaterstanden wordt niet geschikt geacht, omdat genoemde effecten dan een grotere rol spelen en omdat bovendien het neerslagoverschot dan als extra te optimaliseren parameter wordt geïntroduceerd.

Over deze periode zijn van gemeten grondwaterstanden, onttrekkingshoeveelheden, neerslagoverschot en peilen in het oppervlaktewater (zie paragrafen 2.3 t/m 2.6) gemiddelde waarden bepaald en ingevoerd in het model.

De calibratie is uitgevoerd met behulp van het programma PEST (Watermark Numerical Computing, 2005). PEST is een programma voor automatische parameteroptimalisatie. Bij de calibratie wordt het model binnen fysisch verantwoorde grenzen aangepast, zodanig dat gemeten grondwaterstanden/stijghoogten zo goed mogelijk overeenkomen met berekende grondwaterstanden en stijghoogten. In het calibratieproces met PEST worden gevoeligheden ('sensitivities') berekend van de te optimaliseren modelparameters. De gevoeligheid van een parameter is een (gewogen) gemiddelde van het quotiënt van de resulterende verandering van de stijghoogte (dh) op de meetlocaties gedeeld door de verandering van de bewuste parameter (dx).

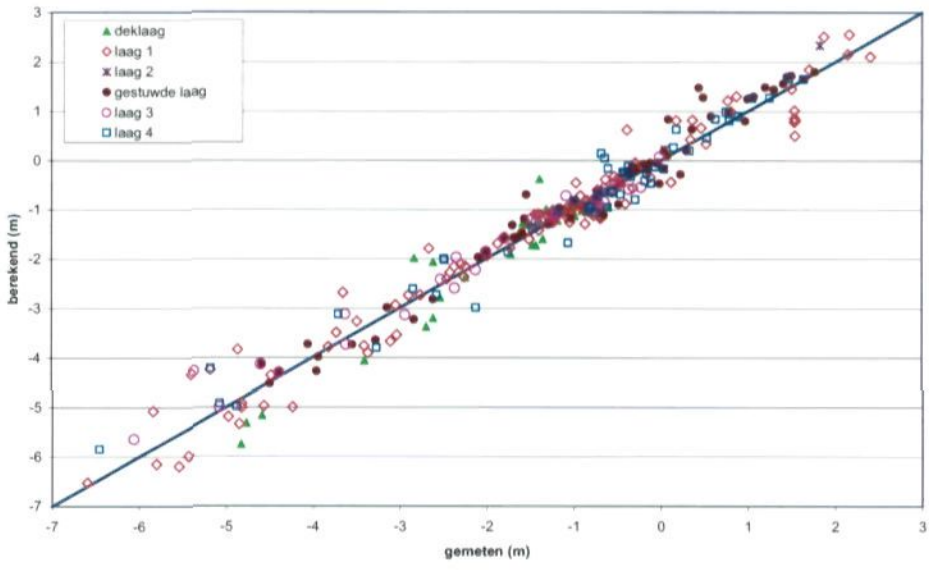
Allereerst zijn de watervoerende lagen bij de optimalisatie betrokken. Omdat slechtdoorlatende lagen in het onderzoeksgebied vrijwel ontbreken, is de weerstand van de deklaag een belangrijke parameter in het calibratieproces. Deze parameter is daarom bij de calibratie onderverdeeld in vijf deelgebieden: het onderzoeksgebied in ruime zin (het poldergebied westelijk van de Heuvelrug, in het noorden begrensd door het IJ, zuidelijk en westelijk door de modelgrens), Waterland, Flevoland, de Eemvallei en het IJsselmeer. De berekende gevoeligheden zijn weergegeven in tabel 2.4.

Tabel 2.4 Gevoeligheidsanalyse

Parameter	Relatieve gevoeligheid
kD wvp1	5.823424E-3
kD gestuwd pakket	6.121718E-3
kD wvp3	3.853280E-3
kD wvp4	1.577908E-2
c-deklaag onderzoeksgebied	8.635038E-3
c-deklaag Waterland	4.175334E-3
c-deklaag Flevoland	3.275245E-3
c-deklaag Eemvallei	1.319305E-3
c-deklaag IJsselmeer	7.301547E-4

De gevoeligheid van de kD in wvp4 blijkt het grootst, wat mede verklaard wordt door het feit dat deze laag gebiedsdekkend aanwezig is en de overige watervoerende pakketten niet. De gevoeligheid van de deklaagweerstand in het onderzoeksgebied volgt op de tweede plaats, wat logisch is gezien het ontbreken van andere scheidende lagen ter plaatse. Onderlinge verschillen in gevoeligheid tussen de parameters worden relatief gering geacht, waardoor geen sprake is van uitgesproken gevoelige of ongevoelige parameters die meer of minder geschikt zijn voor optimalisatie.

Voorafgaand aan de calibratie zijn peilbuizen met evident foute meetwaarden en peilbuizen nabij grote onttrekkingen verwijderd. In totaal zijn voor de calibratie 301 waarnemingsfilters gebruikt. Een overzicht van het calibratieresultaat voor alle watervoerende lagen, inclusief de holocene deklaag, is weergegeven in figuur 2.2.



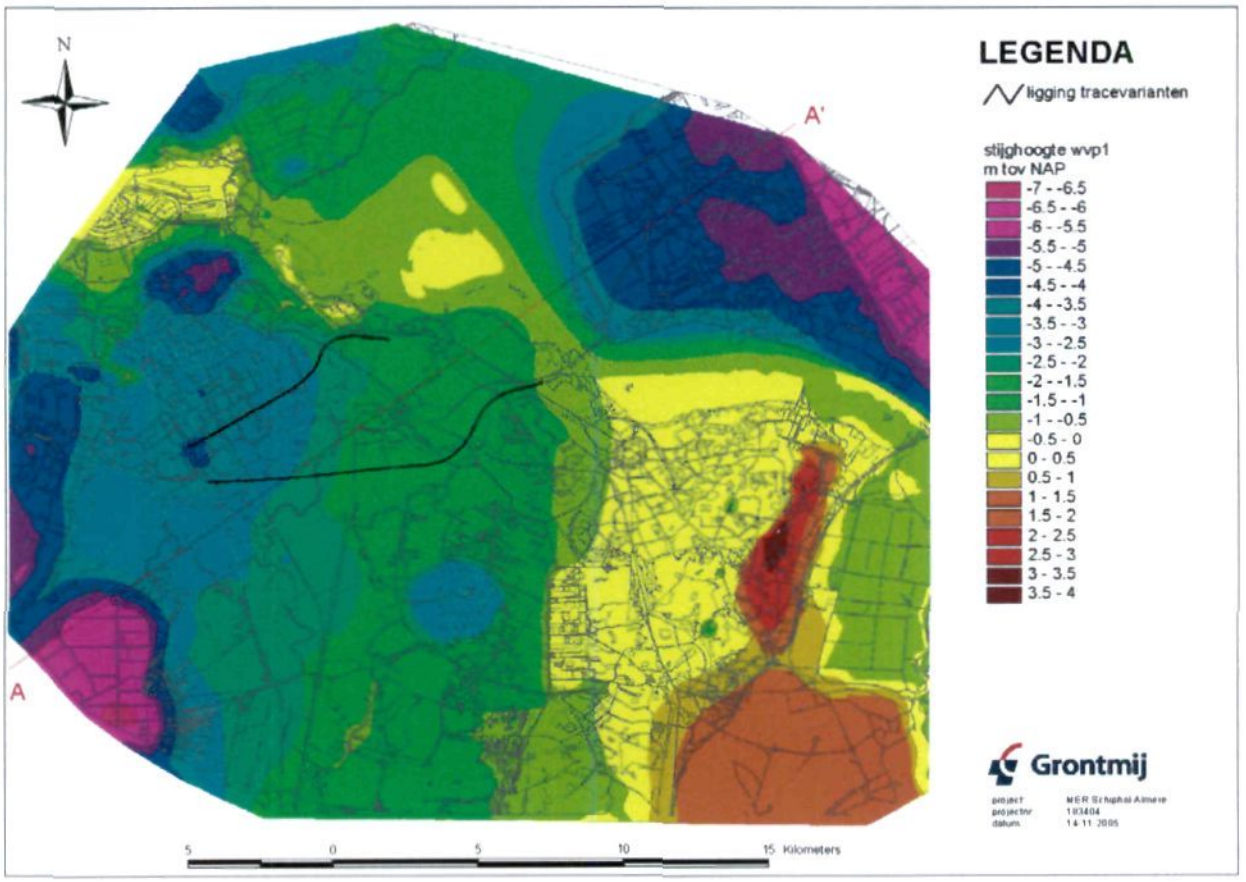
Figuur 2.2 Calibratieresultaat

Voor infiltratie- en drainageweerstanden van polders, plassen en watergangen zijn aanvangswaarden geschat en tijdens het calibratieproces aangepast. Deze infiltratie- en drainageweerstanden zijn in het topsysteem van MicroFEM verwerkt. In tabel 2.5 zijn de afgeleide infiltratie- en drainage weerstanden samengevat. De berekende weerstand van de deklaag en kD-waarden van watervoerende pakketten zijn verwerkt in tabel 2.1. Het ruimtelijke beeld van kD- en c-waarden van het gecalibreerde model is weergegeven in bijlage 3. Het calibratieresultaat van de verschillende modellagen binnen het studiegebied is weergeven in bijlage 4. Modellaag 2 komt niet voor binnen het studiegebied en is daarom niet in bijlage 4 opgenomen.

Tabel 2.5 Door calibratie afgeleide infiltratie- drainageweerstanden

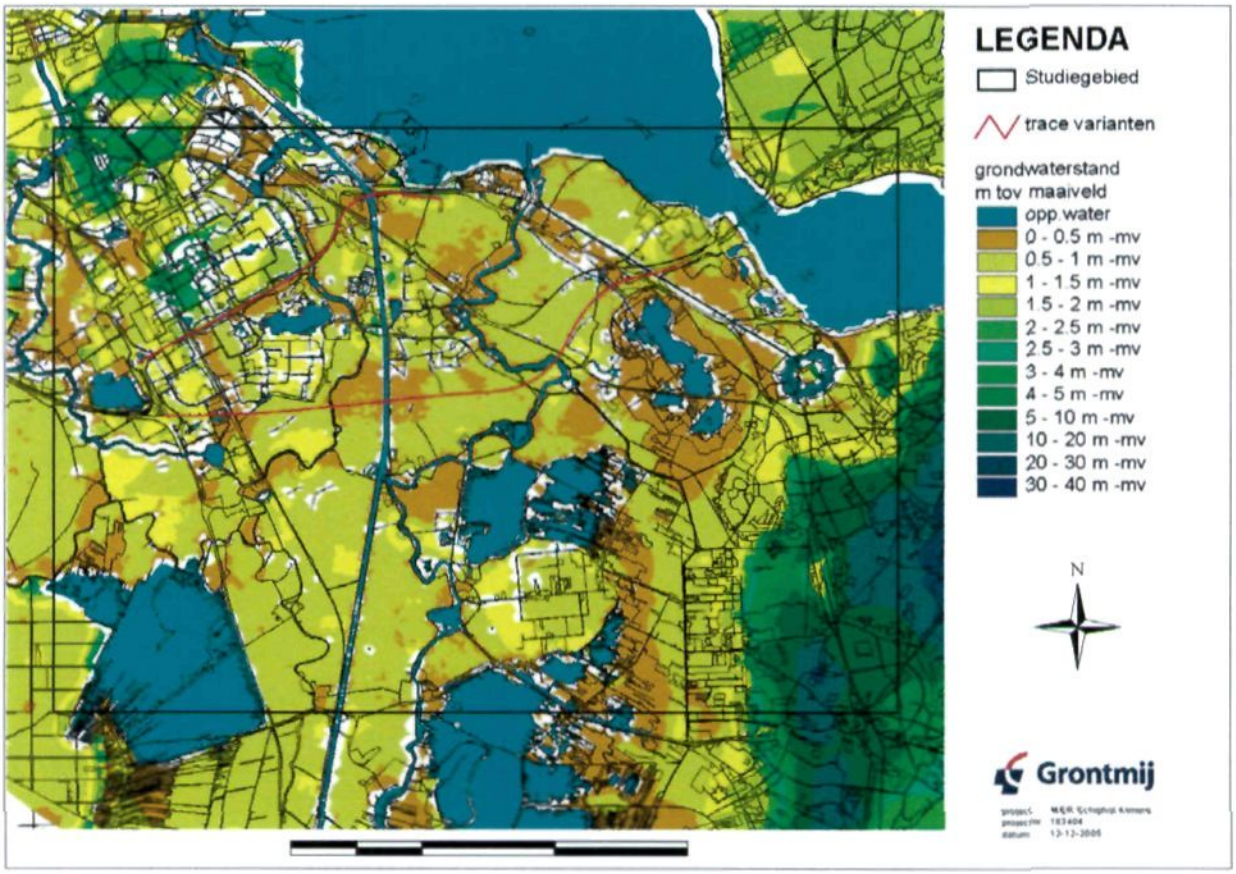
Eenheid	Drainageweerstand (dagen)	Infiltratieweerstand (dagen)
Polders	25-150	50-300
Watergangen +plassen	15-30	30 -60

In figuur 2.3 is de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket voor het gecalibreerde model (de nulsituatie) weergegeven. In deze figuur is tevens de profiellijn A-A' van figuur 2.1 afgebeeld.

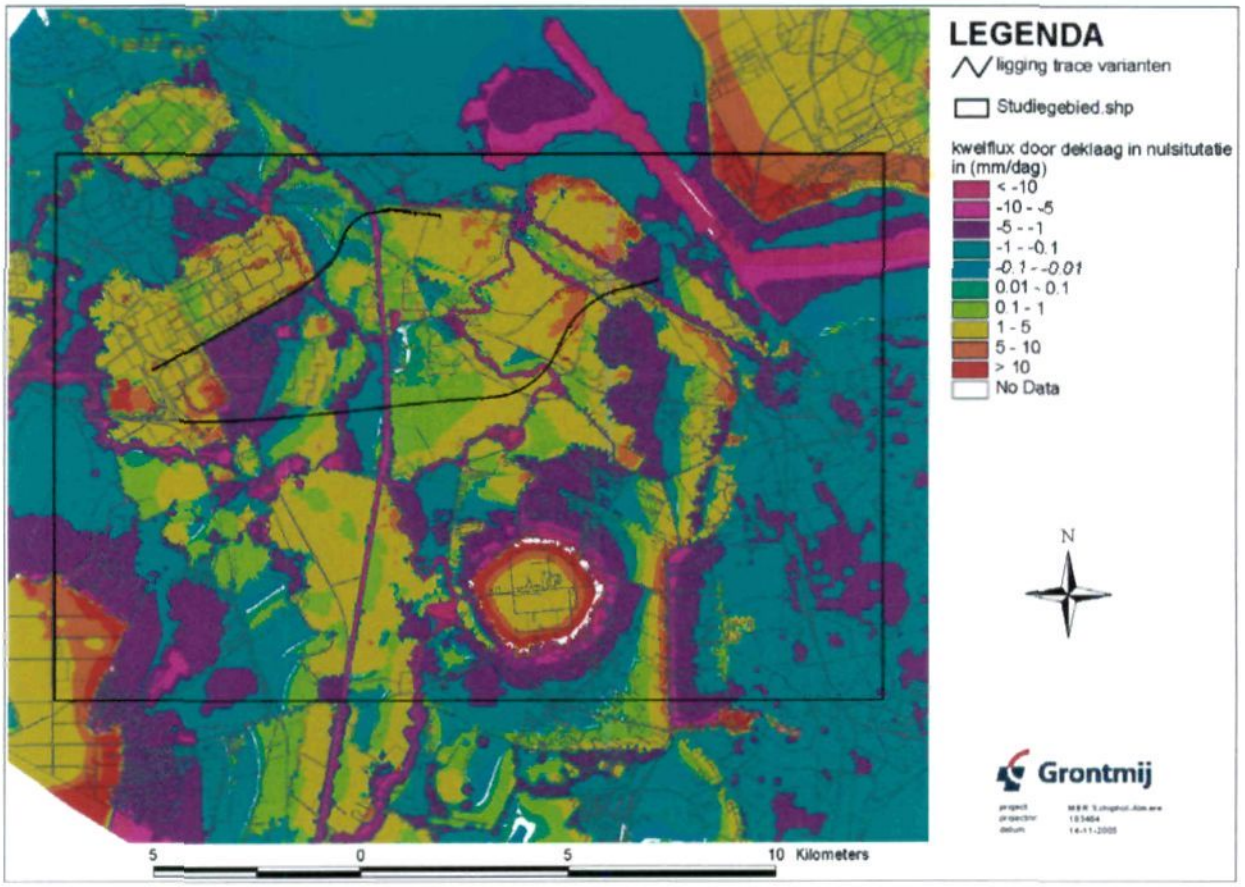


Figuur 2.3 Stijghoogte eerste watervoerende pakket in de nulsituatie

In figuur 2.3 zijn gemiddelde grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld binnen het studiegebied afgebeeld. In figuur 2.4 zijn kwel- en infiltratiefluxen voor de nulsituatie in het studiegebied weergegeven. Het detailniveau van figuur 2.4 wordt plaatselijk beperkt door de celgrootte van het netwerk. Kwelfluxen hebben een positieve waarde (lichtgroene tot rode kleuren), infiltratiefluxen zijn negatief (blauwgroen tot paars). Opvallende kwelgebieden zijn de Mijdrecht polder, de Horstermeer Polder en Flevoland. Opvallende infiltratiegebieden zijn de boezemwateren (Amsterdam-Rijnkanaal, Vecht) en (de vaargeul in) het IJsselmeer.



Figuur 2.4 Grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld



Figuur 2.5 Kwel- en infiltratiefluxen in de nulsituatie

2.8 Evaluatie calibratieresultaat

Peilbuizen aanwezig in de deklaag zijn niet gelijkmatig verdeeld over het modelgebied, maar met name geconcentreerd rond het Naardermeer en de polders rond Ankeveen. In de polders ten westen van het Naardermeer zijn berekende grondwaterstanden aan de lage kant. Aan de zuidzijde, in de Ankeveense Polders, aan de hoge kant. Het calibratieresultaat van het eerste watervoerende pakket, direct onder de deklaag, is op genoemde plaatsen beduidend beter. De afwijking is dus niet gerelateerd aan afwijkingen in diepere watervoerende lagen. De afwijking is deels te verklaren doordat grondwaterstanden in een slechtdoorlatende (dek)laag per definitie moeilijk zijn te berekenen: afhankelijk van de weerstandsverdeling binnen de deklaag, de exacte diepte van de peilbuis in dit pakket kunnen gemeten grondwaterstanden sterk variëren. Ook de afstand van een peilbuis tot het afwateringssysteem (poldersloten) is een belangrijke factor.
Belangrijkste bron van de bodemopbouw in dit onderzoek betreft REGIS data van TNO. REGIS bevat momenteel geen informatie over de opbouw en samenstelling van de deklaag. Op de tracés van beide snelwegvarianten zijn weliswaar boorprofielen en sonderingen beschikbaar (Geodelft, 2005), maar deze zijn onvoldoende om voor het gehele modelgebied uitspraken te doen over variabele bodemopbouw van deklaag. In de gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 4.3) wordt wel het effect gewogen van inhomogeniteiten in de deklaag (zandbanen) op grondwaterstanden en kwelfluxen nabij het snelwegtracé.

De berekende stijghoogten in diepere watervoerende pakketten in het centrale deel van het onderzoeksgebied (globaal tussen de twee de tracé varianten) zijn gemiddeld te hoog. Een verklaring hiervoor is dat in dit deel van het onderzoeksgebied op diepte brak en zout grondwater voorkomt (zie bv figuur 3.7 in hoofdstuk 3). De gemeten stijghoog-

ten zijn bij de modelcalibratie niet gecorrigeerd voor het zoutgehalte, omdat hierover voor het gehele modelgebied onvoldoende data voorhanden zijn. Door de grotere dichtheid van zout grondwater zullen berekende zoetwaterstijghoogten hoger zijn dan gemeten zoutwaterstijghoogten. Als voorbeeld is TNO-buis B25G0390 genomen die centraal tussen de twee tracévarianten nabij het AR kanaal ligt. In het filter op circa NAP -98 m (watervoerend pakket 3) bedraagt het chloridegehalte 5.000 mg/l. Uitgaande van een verdunde zeewatersamenstelling bedraagt de dichtheid op deze diepte circa 1.0065. Op de buislengte van 100 m zal de zoetwaterstijghoogte circa 65 cm hoger zijn dan de gemeten (zoutwater)stijghoogte. De berekende stijghoogte is 49 cm te hoog (zie bijlage 4). Het modelresultaat is ter plaatse dus beduidend beter dan de gemeten (zoutwater)stijghoogte doet vermoeden. Deze geschatte afwijking van de stijghoogte door dichtheidseffecten komt goed overeen met de aanvullende berekeningen door TNO (NITG/TNO, 2006).

De tijdens het calibratieproces afgeleide drainageweerstanden voor de polders (bijlage 3) zijn relatief laag in het onderzoeksgebied: 25-50 dagen.
Deze lage waarden hangen deels samen met de keuze voor een stationaire modelberekening èn verwaarlozing van het effect van zoutwaterstijghoogten (geen correctie voor dichtheidsverschillen). In een stationaire, gemiddelde hydrologische situatie zal het topsysteem uitsluitend draineren via watervoerende sloten. Ondiepe greppels zullen niet actief zijn. In de werkelijkheid zal echter bij hoge neerslagintensiteiten, met name in het winterseizoen, tijdelijk afvoer via greppels optreden. In een gemiddeld model wordt aldus minder water afgevoerd dan in werkelijkheid. Om dit te compenseren zal bij stationaire calibratie op gemiddelde grondwaterstanden, de gemiddelde drainageweerstand van poldersloten lager uitvallen dan in een niet-stationair model. Het niet corrigeren van stijghoogten in gebieden met zout grondwater leidt ter plaatse tot te lage gemeten grondwaterstanden. Tijdens calibratie kan dit leiden tot verlaging van drainageweerstanden om dit effect te neutraliseren.

De gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten grondwaterstanden, c.q. stijghoogten voor het gehele modelgebied bedraagt +2,9 cm, dat wil zeggen dat de berekende waarden gemiddeld 2,9 cm te hoog zijn. De absoluut gemiddelde afwijking tussen berekende en gemeten waarden voor het gehele modelgebied bedraagt 25 cm. Binnen het studiegebied (binnen zwarte kader in figuur 1.5) is het calibratieresultaat beduidend beter: de gemiddelde afwijking bedraagt +4,8 cm en de gemiddelde absolute afwijking is 17,5 cm. De grotere (positieve) modelafwijking in het onderzoeksgebied ten opzichte van het totale modelgebied, is te verklaren met het hierboven beschreven fenomeen van zoutwaterstijghoogten.

Ondanks de beperkingen van een stationaire berekening en het verwaarlozen van dichtheidsverschillen bij aanwezigheid van zout grondwater, wordt het gecalibreerde model voor het beoogde doel (verschilberekeningen tussen grondwaterstanden en verandering van kwel- en infiltratiefluxen in de bestaande en een toekomstige situatie) voldoende nauwkeurig geacht.

2.9 Autonome ontwikkeling

Voor de autonome ontwikkeling tot 2030 zijn drie aspecten beschouwd:

- voorgenomen wijzigingen van polderpeilen
- verwachte klimaatveranderingen
- voorgenomen wijzigingen in drinkwaterwinningen

De voorgenomen wijzigingen van polderpeilen zijn opgevraagd bij de Dienst Waterbeheer en Riolering (DWR) van het Hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht. Voor de Broekzijdse polder, Aetsveldsepolder Oost Heintjesrak en Broekerpolder en polder de Rondehoep zijn nieuwe peilbesluiten vastgesteld. Deze zullen op relatief korte termijn (jaren) worden ingesteld. Daarom zijn deze peilaanpassingen verwerkt in de autonome ontwikkeling.

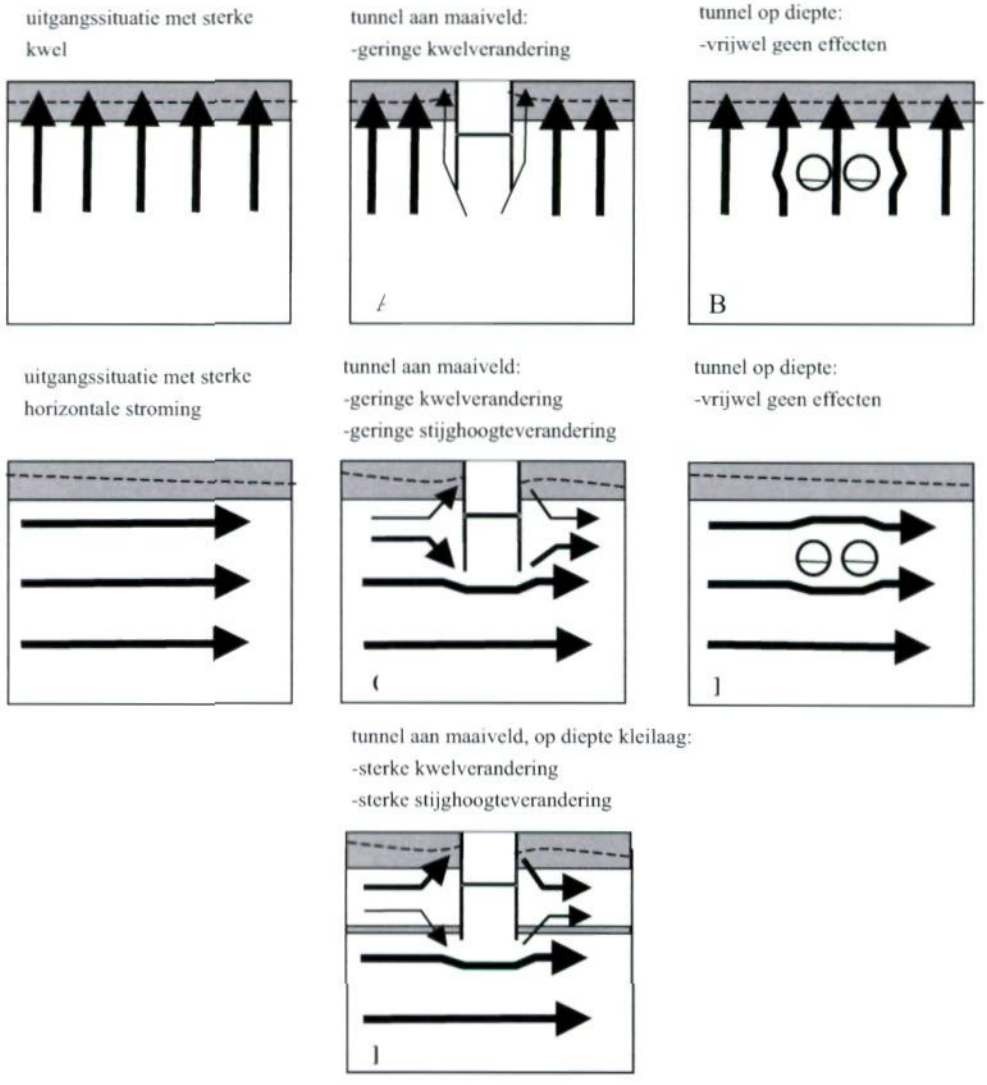
Ter evaluatie van de verwachte klimaatverandering is gebruik gemaakt van de klimaatscenario's van het KNMI (Können, 2001). Uit deze scenario's is gekozen voor het 'midden' scenario, met een verwachte toename van de gemiddelde neerslag met 3 % en een verwachte toename van de verdamping met 3.9 % in 2050. Deze klimaatsveranderingen zijn per landgebruikstype omgerekend naar de verandering van het netto neerslag overschot Het effect op het neerslagoverschot varieert tussen een afname van 0.3 % voor naaldbos en een toename van 2.3% voor akkerbouwgrond. Deze veranderingen zijn dermate gering dat in een stationair grondwatermodel geen effect van belang optreedt bij de berekening van **verandering** van grondwaterstanden en kwelfluxen **door aanleg van de snelwegvarianten**. Daarom zijn klimaatscenario's in de autonome ontwikkeling verder buiten beschouwing gelaten.

Op de Utrechtse Heuvelrug bevinden zich diverse drinkwateronttrekkingen. Drinkwaterbedrijf Hydron Midden Nederland sluit c.q. reduceert in het kader van antiverdrogingsmaatregelen enkele van haar winningen. Binnen het modelgebied zal pompstation Baarn gesloten worden. Daarom is in de autonome ontwikkeling deze winning beëindigd.

3 Effectberekeningen

3.1 Inleiding

Door aanleg van de snelwegvarianten zullen deels tijdelijke en deels permanente effecten optreden op de grondwaterstand en op kwel c.q. infiltratie door de deklaag. Enkele karakteristieke effecten op grondwaterstand en kwelstroming zijn geïllustreerd in figuur 3-1.

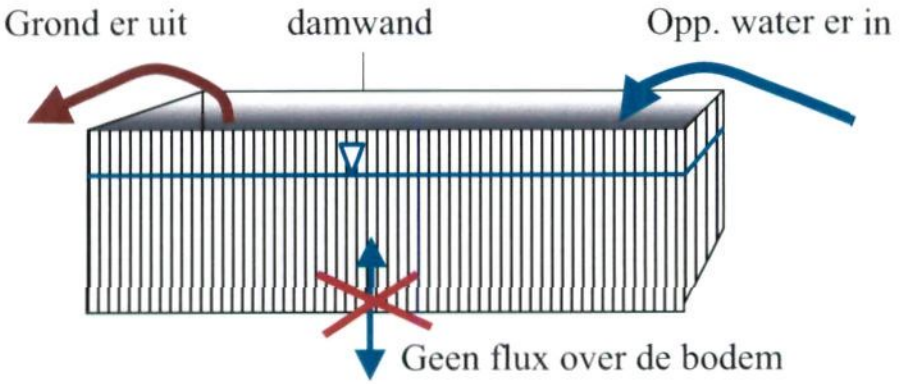


Figuur 3-1 Karakteristieke stromingssituaties rond tunnel

Permanente effecten treden met name op door barrièrewerking van de kunstwerken aan maaiveld. Aan de bovenstroomse zijde van een kunstwerk zal stuwing optreden waardoor de grondwaterstand stijgt (figuur 2.1: situatie C en E). Als de grondwaterstand stijgt, zal de tegelijkertijd de kwelflux toenemen of (in sporadische gevallen) de infiltratie afnemen. Aan de benedenstroomse zijde van een kunstwerk treedt het tegenovergestelde effect op.
Ook kunnen permanente effecten optreden doordat het maaiveld waterdicht wordt afgesloten door een wegconstructie, waardoor verticale barrièrewerking optreedt (figuur 3.1: situatie A). Ter plaatse kan geen kwel (of infiltratie) meer optreden. De kwel wordt zijwaarts afgebogen.

3.2 Aanleg principes

Voor alle ondergrondse varianten geldt dat damwanden en/of diepwanden worden geplaatst, waarbij uitgangspunt is dat deze damwanden waterdicht zijn. De diepte van de damwanden is globaal twee keer de diepte van het aan te leggen wegvak. In de meeste gevallen worden de damwanden blijvend in de constructie van het wegvak verwerkt. Tijdens ontgraving van grond moet binnen de bouwkuipen water aangevoerd om een constant waterpeil te handhaven, zodat de afvoer van grond niet leidt tot een vorm van grondwateronttrekking. Nadat de bouwkuip op diepte is en onderwaterbeton is aangebracht wordt de bouwkuip definitief waterdicht en kan deze leeggepompt worden. In onderstaande figuur is e.e.a. grafisch verbeeld.



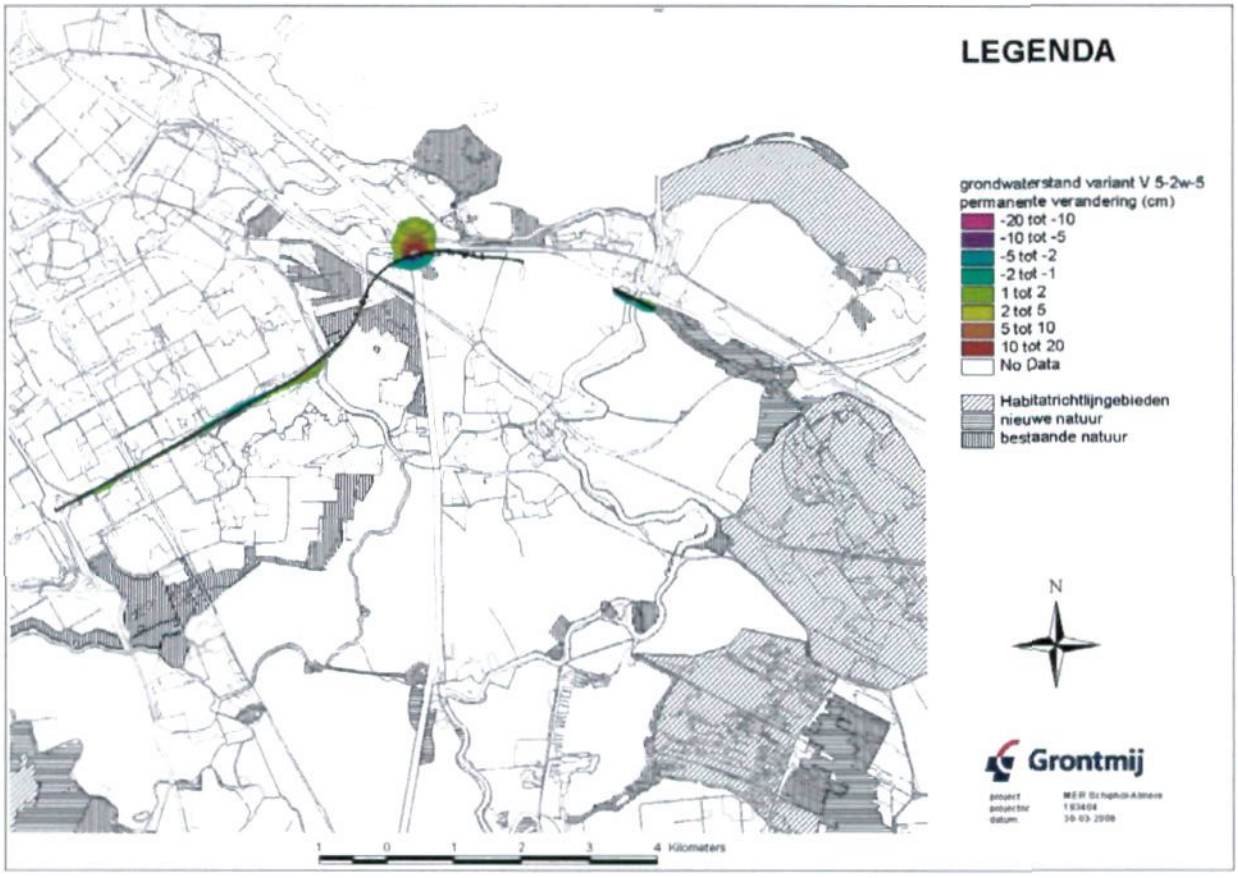
Ter plaatse van waterdichte constructies aan maaiveld (tunnelbakken en tunnel toeritten) wordt het neerslagoverschot afgevoerd via een rioleringsysteem. Op deze plaatse is in het model het neerslagoverschot tot nul gereduceerd.

3.3 Permanente effecten

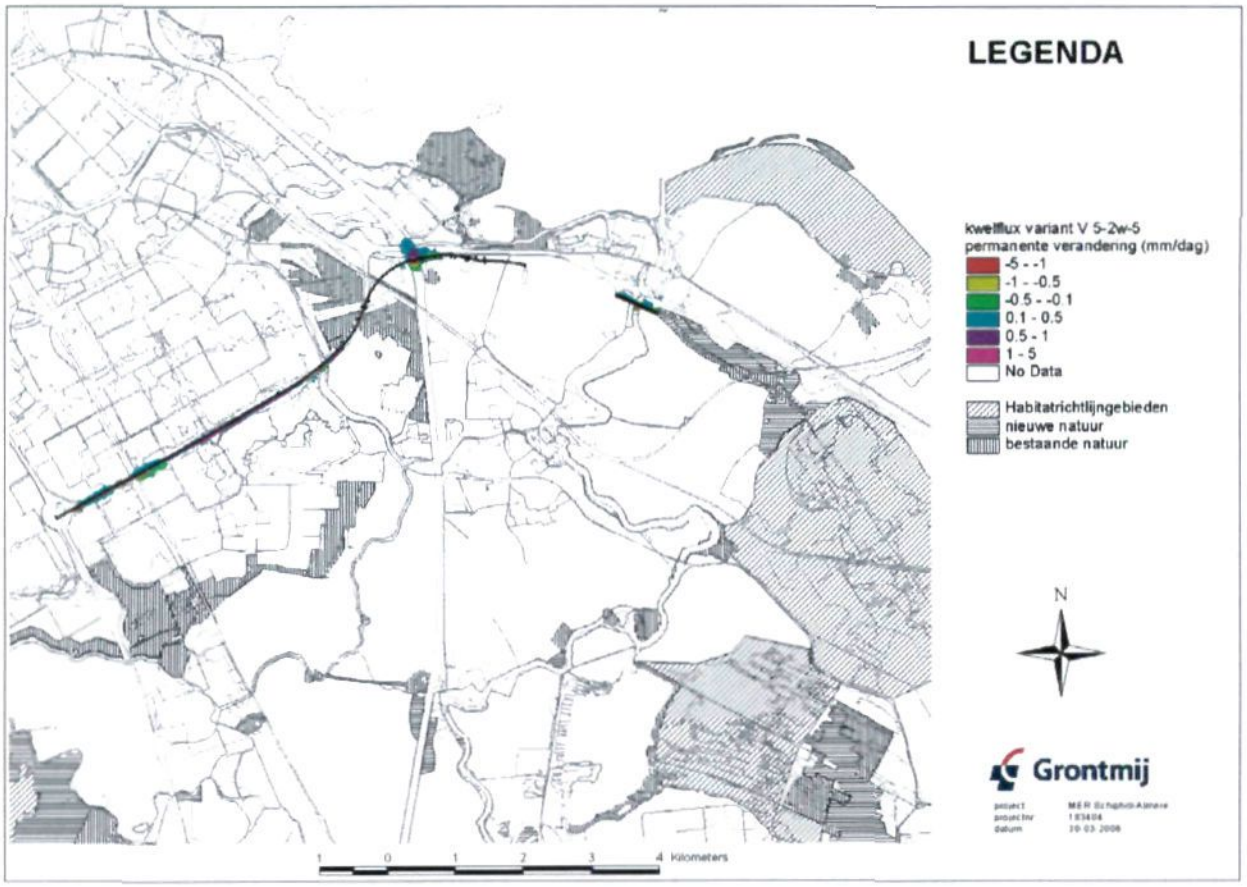
3.3.1 Stroomlijnalternatief

Bij het stroomlijnalternatief wordt de A1 in zuidelijke richting verlegd.
Bij de **verdiepte variant (V 5-2w-5)** wordt het tracé in de Bijlmermeer in een open tunnelbak aangelegd, waarbij de onderkant van de tunnelbak tot NAP -11 m reikt. Bij de aanleg worden damwanden tot NAP -22 m geplaatst die in de constructie worden verwerkt (dus permanent zijn). Er komen aquaducten onder Vecht en Amsterdam-Rijnkanaal. Deze aquaducten reiken tot NAP -16 m. Bij de aanleg worden damwanden tot NAP -32 m geplaatst die in de constructie worden verwerkt (dus permanent zijn).

Het blijvend effect van het verdiepte stroomlijnalternatief op de grondwaterstand en de kwelfluxen is weergegeven in respectievelijk de figuren 3.2. en 3.3. Positieve waarden in figuur 3.2 zijn (kleuren groen tot rood) geven een verhoging van de grondwaterstand weer, negatieve waarden (kleuren blauw tot paars) een verlaging. Positieve waarden in figuur 3.3 duiden op een toename van de kwel c.q. afname van de infiltratie; negatieve waarden in figuur 3.3 duiden op een afname van de kwel c.q. toename van de infiltratie. Grootste effecten zijn zichtbaar bij de aquaducten onder het AR kanaal, onder de Vecht en onder de Gaasp. De effecten zijn grotendeels te verklaren door stuwing tegen de damwanden. Het relatief grote effect langs het aquaduct in het AR-kanaal is te verklaren door aanwezigheid van een scheidend laagje (Eem klei) op circa NAP -30 m, waardoor de barrièrewerking van het aquaduct veel groter is dan op plaatsen waar deze laag afwezig is (vergelijk figuur 3.1: situatie E).
Bij de Gaasperdammerweg speelt het feit dat deze weg een grens is tussen twee polders: ten noorden een peil van NAP -4.2 m en ten zuiden een peil van NAP -2.7 m. De (dijkse) kwel wordt hier verminderd door aanwezigheid van de tunnel en damwanden.



Figuur 3-2 *Permanente verandering grondwaterstand in stroomlijnvariant Verdiept (V 5-2w-5)*



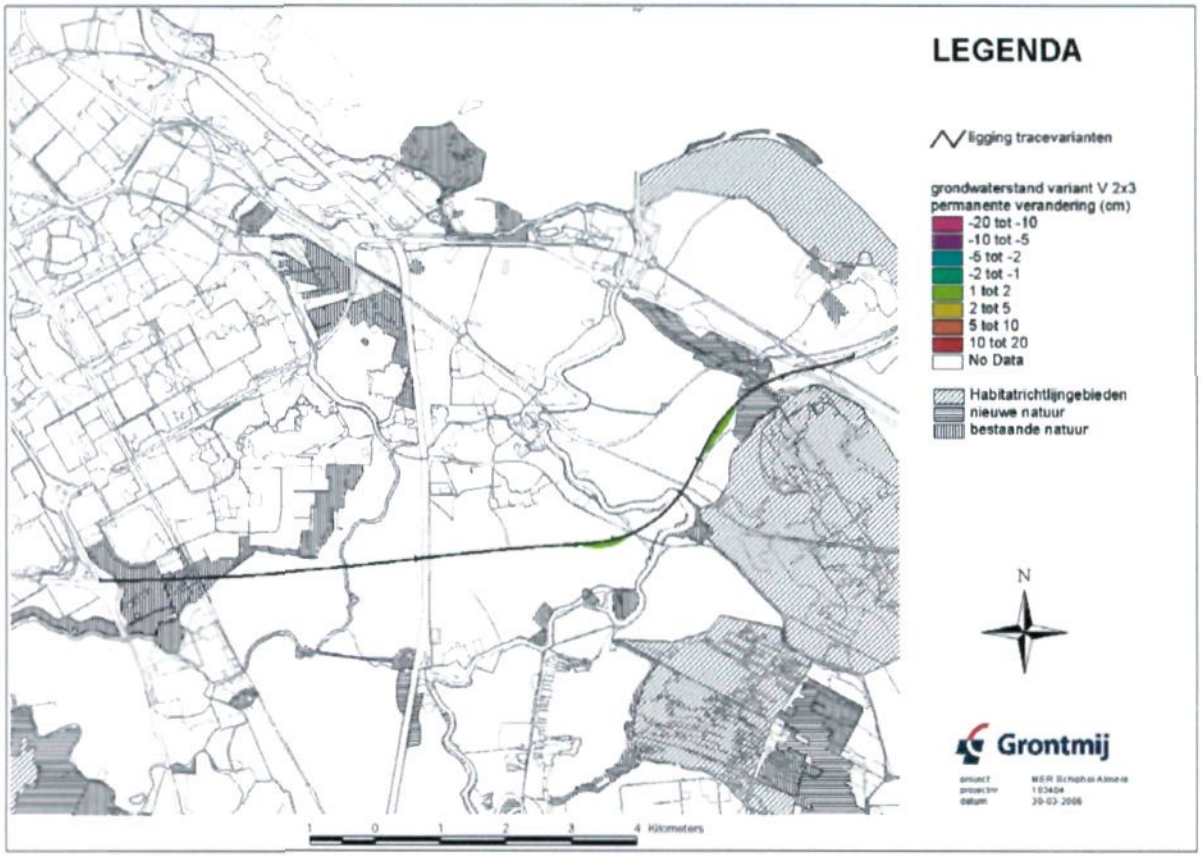
Figuur 3-3 Permanente verandering kwelfluxen in stroomlijnalternatief Verdiept (V 5-2w-5)

3.3.2 Verbindingsalternatieven

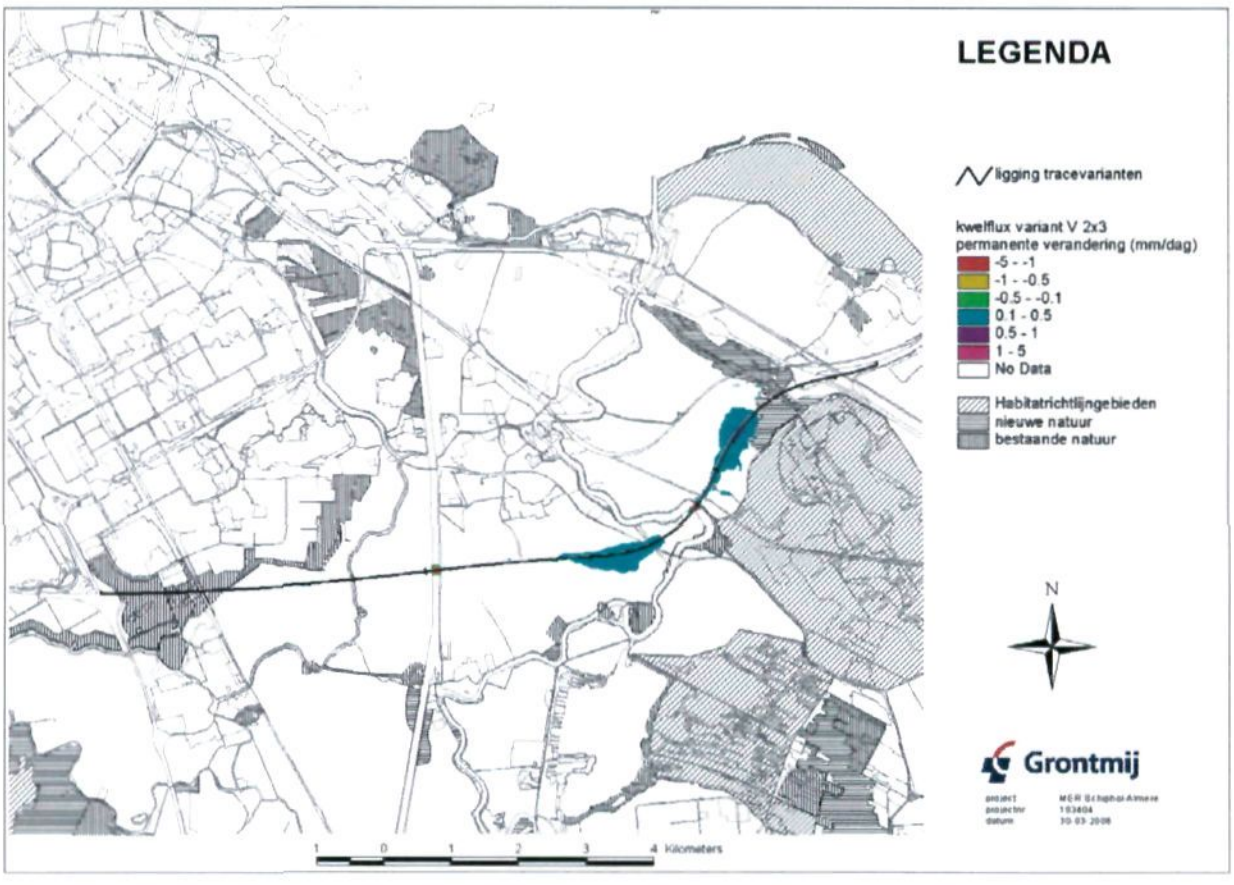
Bij het **verbindingsalternatief verdiept (V2x3)** ligt de bovenkant op maaiveldniveau. De onderkant van de open tunnelbak ligt op NAP -11 m. Bij aanleg worden damwanden geplaatst tot NAP -22 die in de constructie worden verwerkt. Het blijvend effect van het verbindingsalternatief verdiepte tunnel op de grondwaterstand is weergegeven in figuur 3.4. De verandering van kwelfluxen is weergegeven in figuur 3.5.

Langs een groot deel van het tracé is nauwelijks een effect te zien van de verdiepte tunnelvariant. In de omgeving van de Vecht is de maximale reikwijdte van de verhogingscontour van 1 cm circa 100 m. De maximale reikwijdte van de kweltoenamecontour met 0.1 mm/dag is hier cira 300 m.

De interpretatie van figuur 3.5 is enigszins afwijkend van figuur 3.3. De kwelfluxen nemen namelijk aan beide zijden van het tracé licht toe. Het isohypsenpatroon in figuur 2.4 toont dat de grondwaterstroming goeddeels parallel aan het verbindingstracé verloopt, waardoor stuwingseffecten, zoals op het stroomlijntracé in figuur 3.2 en 3.3, nauwelijks een rol spelen.
In de polders, waar de kwel aan beide zijden van tracé toeneemt, treedt van nature al een vrij sterke kwelstroom op (zie figuur 2.5). Door aanleg van de snelweg zal de kwel op het tracé tot nul gereduceerd worden en worden verdrongen naar het aangrenzende gebied (vergelijk figuur 3.1: situatie A).

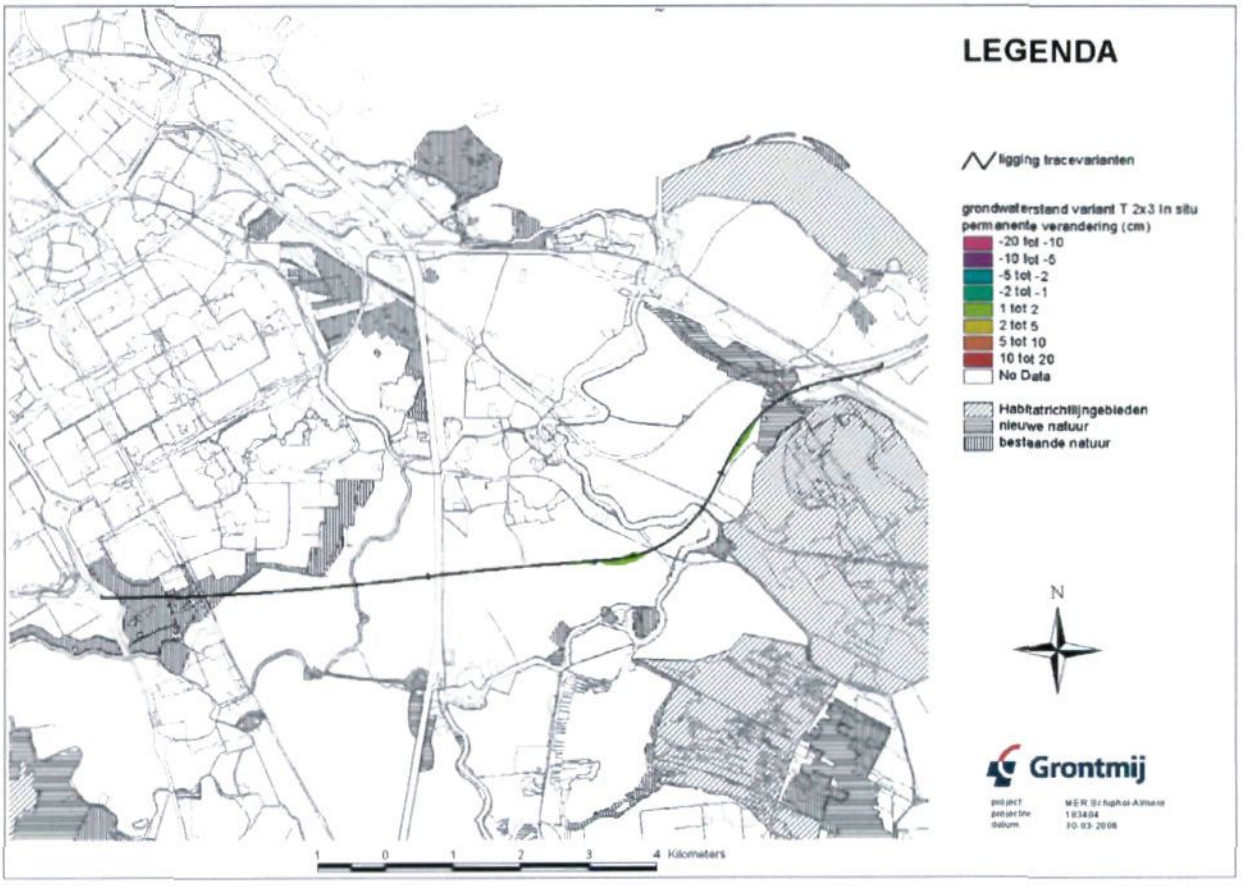


Figuur 3-4 *Permanente verandering grondwaterstand in verbindingsalternatief Verdiept (V 2x3)*

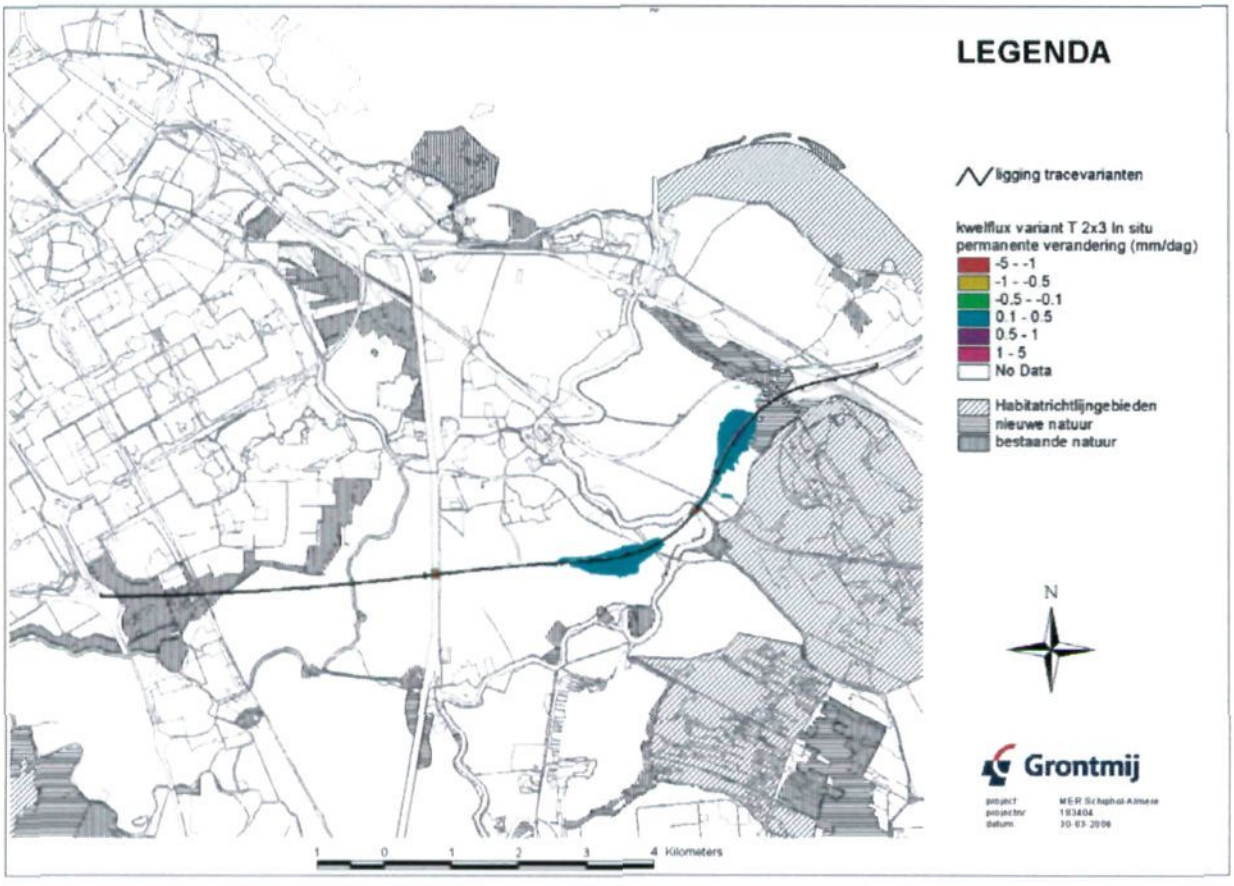


Figuur 3-5 *Permanente verandering kwelfluxen in verbindingsalternatief Verdiept (V 2x3)*

Bij het **verbindingsalternatief in situ tunnel (T2x3 In situ)** komt de onderkant van de tunnelschacht op een diepte van circa NAP - 15 m. Tijdens aanleg worden damwanden geplaatst tot een diepte van NAP -30 m, die in de constructie worden verwerkt. Het blijvend effect van het verbindingsalternatief in situ tunnel op de grondwaterstand is weergegeven in figuur 3.6. Het blijvend effect van het verbindingsalternatief in situ tunnel op de kwelfluxen is weergegeven in figuur 3.7. De interpretatie van figuren 3.6 en 3.7 is conform de figuren 3.4 en 3.5.

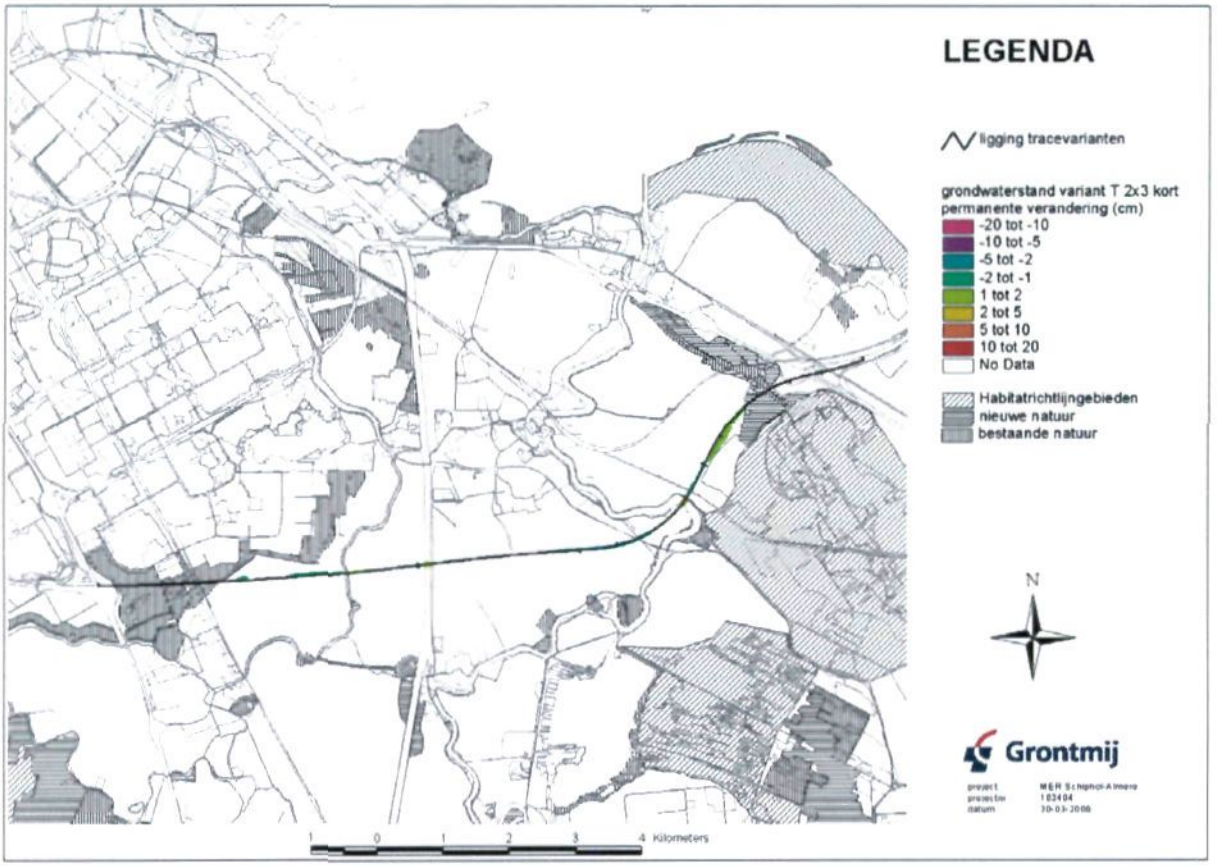


Figuur 3-6 *Permanente verandering grondwaterstand in verbindingsalternatief In situ (T2x3 In situ)*

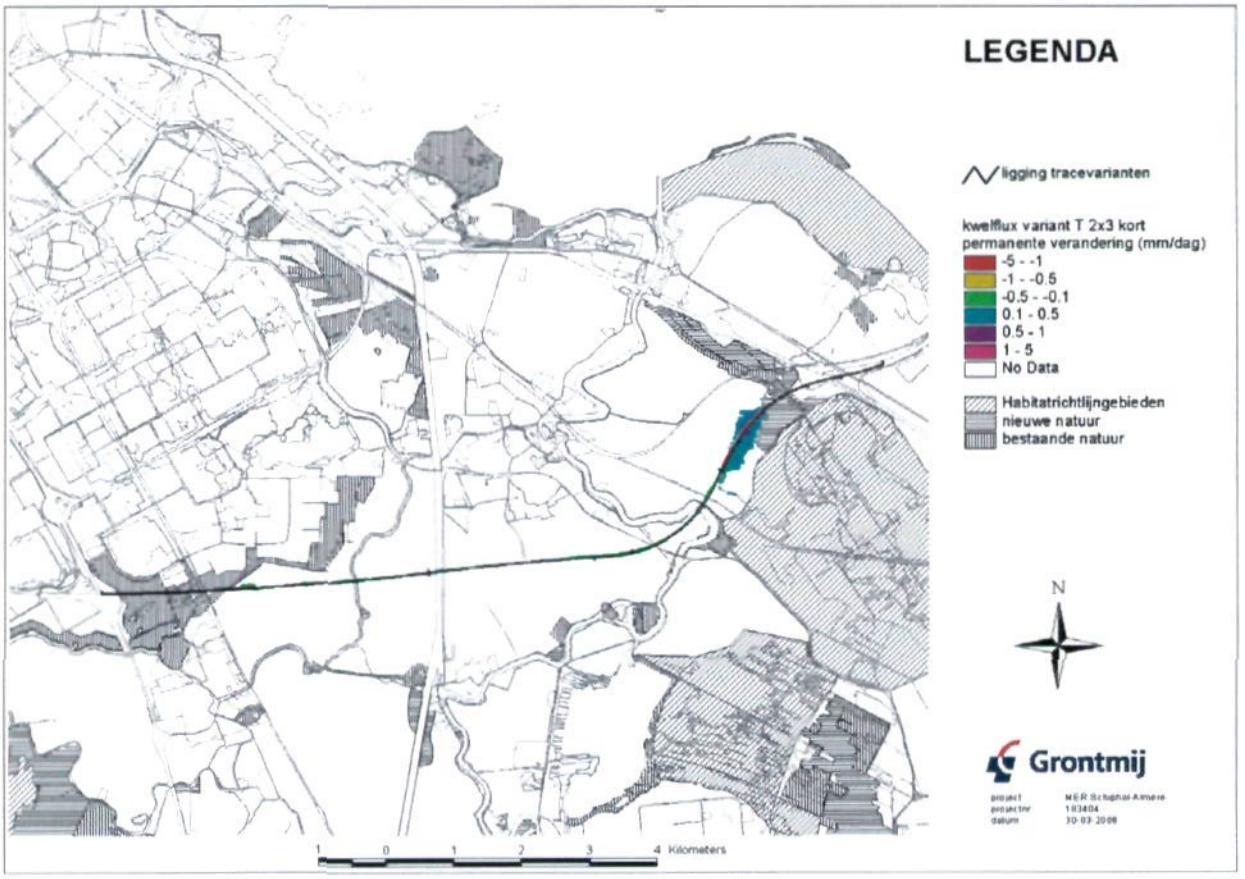


Figuur 3-7 *Permanente verandering kwelflux in verbindingsalternatief In situ (T 2x3 In situ)*

Bij het **verbindingsalternatief boortunnel (T2x3)** wordt een tunnel geboord over een afstand van circa 8 km. De maximale diepte van de boortunnel bedraagt circa 35 m. De toeritten van de tunnelmonden worden binnen damwanden aangelegd. De maximale diepte van de toeritten bedraagt circa NAP -35 m. De maximale diepte van damwanden bedraagt NAP -45 m. De damwanden worden in de constructie van de toeritten verwerkt. Het blijvende effect van het verbindingsalternatief boortunnel op de grondwaterstand is afgebeeld in figuur 2.8. De verandering van kwelfluxen is weergegeven in figuur 3.9. De interpretatie van deze figuren is deels conform figuren 3.4 en 3.5. De toename van de kwel treedt echter uitsluitend ter plaatse van de tunnelmond op, ten oosten van de Vecht. De maximale verbreiding van de verhogingscontour van 1 cm bedraagt circa 125 m. De maximale verbreiding van de kweltoenamecontour met 0.1 mm/dag bedraagt 230 m.

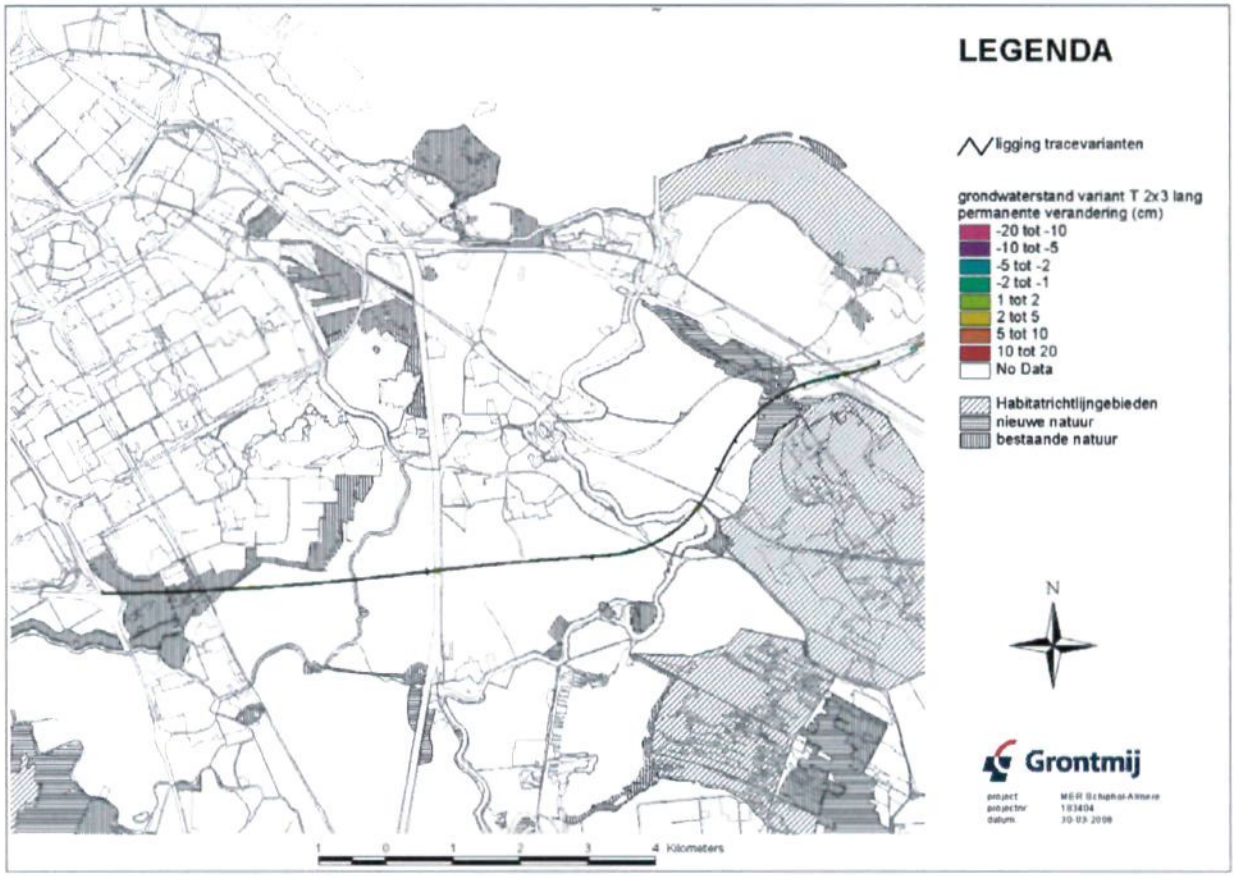


Figuur 3-8 *Permanente verandering grondwaterstand in verbindingsalternatief boortunnel (T 2x3)*

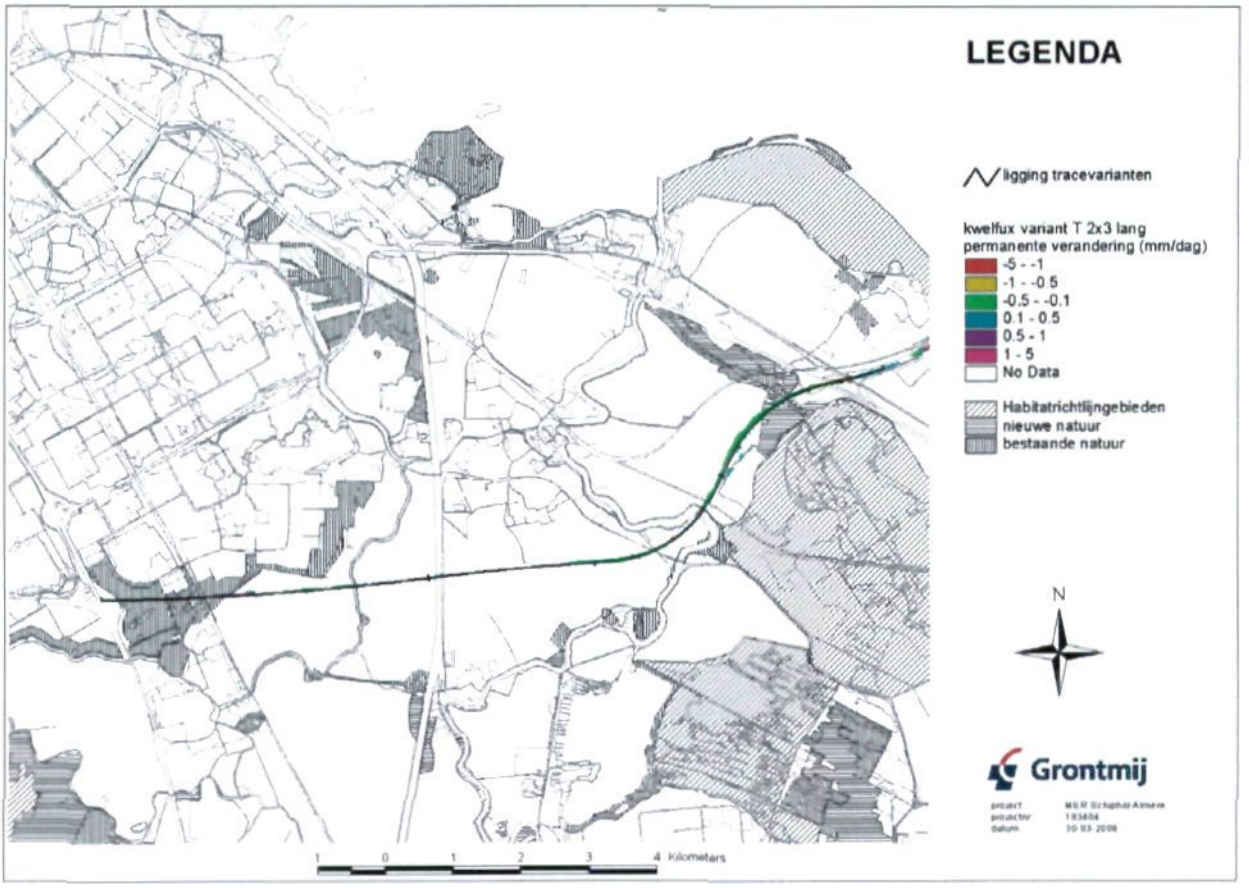


Figuur 3-9 *Permanente verandering kwelflux in verbindingsalternatief boortunnel (T 2x3)*

Bij het **verbindingsalternatief lange boortunnel (T2x3 lang)** wordt de tunnel over een afstand van 10 km geboord. In een aanvullende variant komt een extra boorschacht ten westen van de Vecht. Deze variant met extra boorschacht is doorgerekend. Het blijvende effect van het verbindingsalternatief lange boortunnel op de grondwaterstand is afgebeeld in figuur 3.10. Het blijvend effect van het verbindingsalternatief lange boortunnel met extra boorschacht op de kwelfluxen is weergegeven in figuur 3.11. Duidelijk is dat kwelflux- en grondwaterstandsveranderingen in deze variant marginaal zijn, waardoor ook geen effecten op de functies landbouw of natuur te verwachten zijn.



Figuur 3-10 *Permanente verandering grondwaterstand in verbindingsalternatief lange boortunnel (T 2x3 lang)*



Figuur 3-11 Permanente verandering kwelflux in verbindingsalternatief lange boortunnel (T 2x3 lang)

3.4 Evaluatie permanente effecten

Invloedsgebied van effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen
In de verbindingsalternatieven bedraagt de verandering van de grondwaterstand maximaal 2 cm nabij het tracé. De maximale reikwijdte van de verlagingscontour met 1 cm is circa 125 m (variant boortunnel T 2x3).
De maximale fluxverandering in de verbindingsalternatieven is ongeveer 0.5 mm/dag nabij het tracé (variant boortunnel T 2x3). De maximale reikwijdte van een fluxverandering van 0,1 mm bedraagt circa 300 m (varianten V 2x3 en T 2x3 In Situ verbindingstracé).

De grootste effecten in absolute zin treden op bij de verdiepte variant (V5-2w-5) van het stroomlijntracé, met grondwaterstandsveranderingen tot 20 cm langs de Gaasperdammerweg en kwelfluxveranderingen tot 1,5 mm/dag langs het aquaduct in het AR kanaal. De maximale reikwijdte van de verlagingscontour met 1 cm reikt tot circa 500 m vanaf het aquaduct. De maximale verbreiding van de fluxverandering met 0.1 mm/dag bedraagt hier circa 300 m. Het effect langs het aquaduct in het AR kanaal wordt verklaard door aanwezigheid van een scheidend laagje (Eem klei) op circa NAP -30 m. De grens van deze laag is bij TNO door interpolatie van boorgegevens bepaald, wat een mate van onzekerheid met zicht meebrengt. Het is daarom goed mogelijk dat het effect in werkelijk niet optreedt doordat het laagje onder het aquaduct afwezig is.

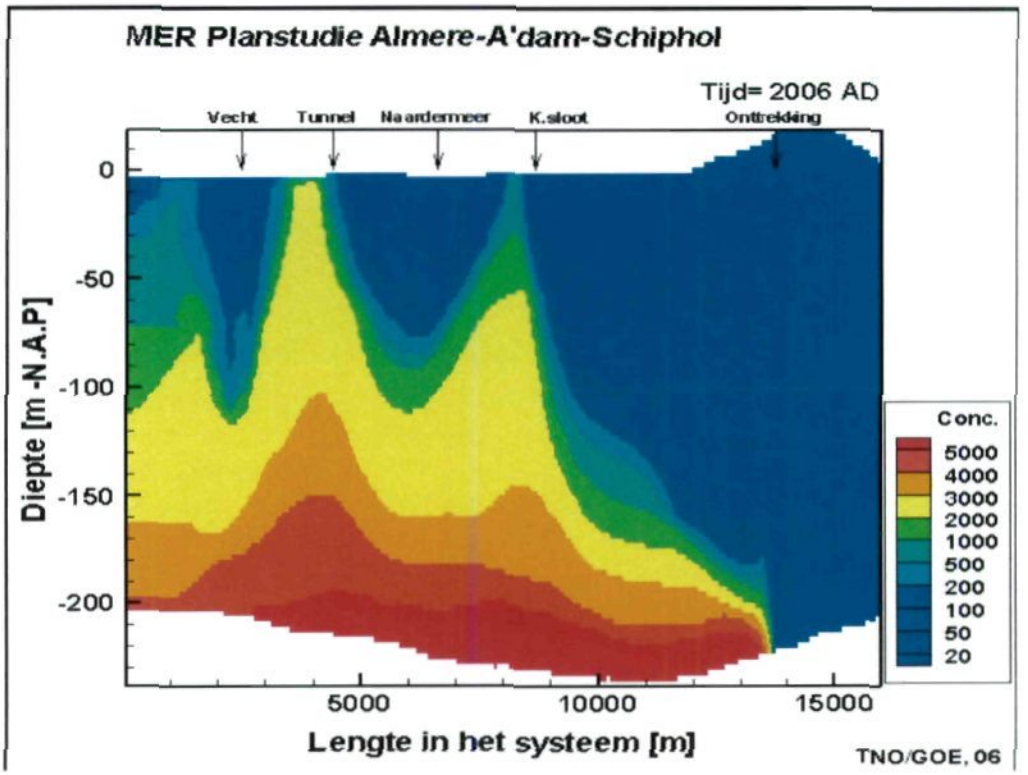
Effecten op functies landbouw en natuur
De effecten op het grondwater hebben een beperkte betekenis los van de functie van het gebied waarin deze effecten optreden. In natuurgebieden is vernatting veelal gunstig; in landbouwgebieden niet. De resultaten van de vergelijking van de tunnelvarianten zijn ook gerapporteerd in het rapport Quick scan aanvullende varianten (Grontmij, april 2006). In dat rapport wordt ook nader ingegaan op de mogelijke invloed van de veranderingen in grondwaterstand en kwelflux op de functies in het gebied: natuur en agrarisch. Voor landbouw en natuur is afgeleid dat effecten optreden als:

- in landbouwgebied meer dan 5 cm stijging van de grondwaterstand optreedt;
- in natuurgebieden een kwelfluxafname van meer dan 0.1 mm/dag optreedt.

Het permanente effect van de verdiepte variant op het stroomlijntracé (V5-2w-5) overlapt voor een groot deel met de snelweg A1 en met het Amsterdam-Rijnkanaal. Er is geen overlap met natuurgebieden. Het gebied ten noorden van de A1 betreft voornamelijk industriegebied. Het effect op landbouwgebied ten zuiden van de A1 wordt verwaarloosbaar geacht.

De permanente effecten van de verbindingsalternatieven treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met als functie landbouw en zijn dermate gering (toename < 2 cm; minder dan 5 cm stijging geen negatief effect voor landbouw) dat geen significant effect op de opbrengstcijfers te verwachten zijn.
Alleen de lange boortunnel heeft een klein negatief effect (afname kwelflux) waar de tunnel de Afwatering van het Naardermeer kruist.

Zoet/zout grensvlak
De permanente veranderingen van grondwaterstanden en kwelfluxen kunnen in theorie de ligging van het zoet/zout grensvlak beïnvloeden. Dit vlak wordt gedefinieerd door een chloridegehalte van het grondwater van 1.000 mg/l.
In een aanvullende studie van TNO zijn de effecten van de verdiepte aanleg op het zoet/zout grensvlak gekwantificeerd nabij de oostelijke tunnelmond van het boortunnelalternatief (NITG/TNO, 2006). Figuur 3.12 is afkomstig uit deze studie en toont de huidige chloridegehalten van het grondwater in een west-oost georiënteerde raai langs de oostelijke tunnelmond.Uit deze studie volgt dat een geringe verandering van de zoet-zout verdeling optreedt in de directe omgeving (50 meter aan beide kanten) van de tunnelmond: onder de de tunnel zal een geringe verzoeting optreden. Ter plaatse van het Naardermeer zijn geen effecten te verwachten qua kwelintensiteit en zoutbelasting door aanleg van een tunnelvariant. Autonome processen zullen de zoutbelasting van het oppervlaktewater in de komende 250 jaar aanzienlijk verlagen, waarbij het effect van de tunnel verwaarloosbaar is.



Figuur 3-12 *Chloridegehalten in het grondwater rond de oostelijke tunnelmond van verbindingsalternatief boortunnel (NITG/TNO, 2006)*

In tabel 3.1 zijn de effecten van de diverse varianten op het grondwater samengevat.

Tabel 3.1 ***Samenvatting permanente effecten op grondwater***

	Stroomlijn		Verbinding		
	verdiept (V5-2w-5)	verdiept (V2x3)	Insitu tunnel (T2x3 in situ)	boortunnel (T2x3)	lange tunnel (T2x3 lang)
beïnvloeding grondwaterstanden	Δ Δ*	0	0	0	0
beïnvloeding van kwel- en infiltratiefluxen	Δ Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
aantasting grondwaterbeschermingsgebieden	0	0	0	0	0
Beïnvloeding zoet/zout grensvlak	Δ	0	0	0	0
Effecten van wijzigingen in grondwater op landbouw	0	0	0	0	0
Effecten van wijzigingen in grondwater op natuur	0	0	0	0	Δ

*Δ = gering lokaal effect
Δ Δ = matig lokaal effect

4 Gevoeligheidsanalyse

4.1 Inleiding

Enkele aspecten van de in hoofdstuk 3 onderzochte tunnelvarianten worden in dit hoofdstuk nader beschouwd:

- tijdelijke effecten tijdens aanleg van de tunnelvarianten
- effect van de zandbanen in de holocene deklaag ter plaatse van de tunnelvarianten
- effect van verticale weerstand in het watervoerende pakket over het dieptetraject waarin de tunnel met damwanden wordt aangelegd.
- alternatieve locaties van de tunnelmonding van de korte tunnel variant (T 2x3)

Onderzoek van de tijdelijke effecten betreft in feite een risico-inschatting als tijdens de werkzaamheden in het geheel geen water wordt aangevoerd.

Voor het vast stellen van het effect op het grondwatersysteem van de zandbanen in de holocene deklaag en verticale weerstand in het watervoerende pakket wordt een gevoeligheidsanalyse verricht op de betreffende parameters.

Tot slot worden alternatieve locaties onderzocht voor de boortunnelvariant (T2x3) nabij het Naardermeer.

4.2 Tijdelijke effecten tijdens aanleg van de tunnelvarianten

Uitgangspunt bij aanleg van de snelwegvarianten is dat geen bouwputbemaling wordt toegepast. Alle werken worden uitgevoerd binnen waterdichte damwanden.
Tijdelijke effecten op de grondwaterstand en de kwelfluxen tijdens de aanleg zullen zoveel mogelijk gemitigeerd worden door aanvoer van (oppervlakte)water. Dit water dient uit ruim oppervlaktewater in de omgeving (AR kanaal, Vecht) aangevoerd te worden. Als uitgegaan wordt van een ontgravingssnelheid van circa 2500 m^3 grond per dag (info RWS), leidt dit tot een wateraanvoerbehoefte van circa 2000 m^3/dag. De draineerbare porositeit van de grond is hierbij gesteld op 20 %.
Uitgaande van een achturige werkdag, betekent dit een aanvoerbehoefte van circa 70 liter/seconde. Tijdens de uitvoering zal de pompcapaciteit van een aan te leggen aanvoerbuis minimaal aan deze eis moeten voldoen.

Om een indruk te krijgen van de potentiële effecten tijdens aanleg, **indien in het geheel geen water wordt aangevoerd**, is een aanvullende niet-stationaire berekening uitgevoerd. Als voorbeeld is gekozen voor aanleg van de oostelijke toerit van variant **verbindingsalternatief boortunnel (T2x3)**. Voor de aanleg van de toeritten van de boortunnel moet in deze variant het diepst gegraven en ook de meeste grond worden afgevoerd. De oostelijke toerit van variant T2x3 ligt bovendien op relatief korte afstand van het Naardermeer.

De toerit van een tunnelmond bestaat uit drie gedeelten:
- een open toerit (zonder dak)
- een gesloten toerit (met dak)
- de startschacht van waaruit de boorinstallatie start met boren.

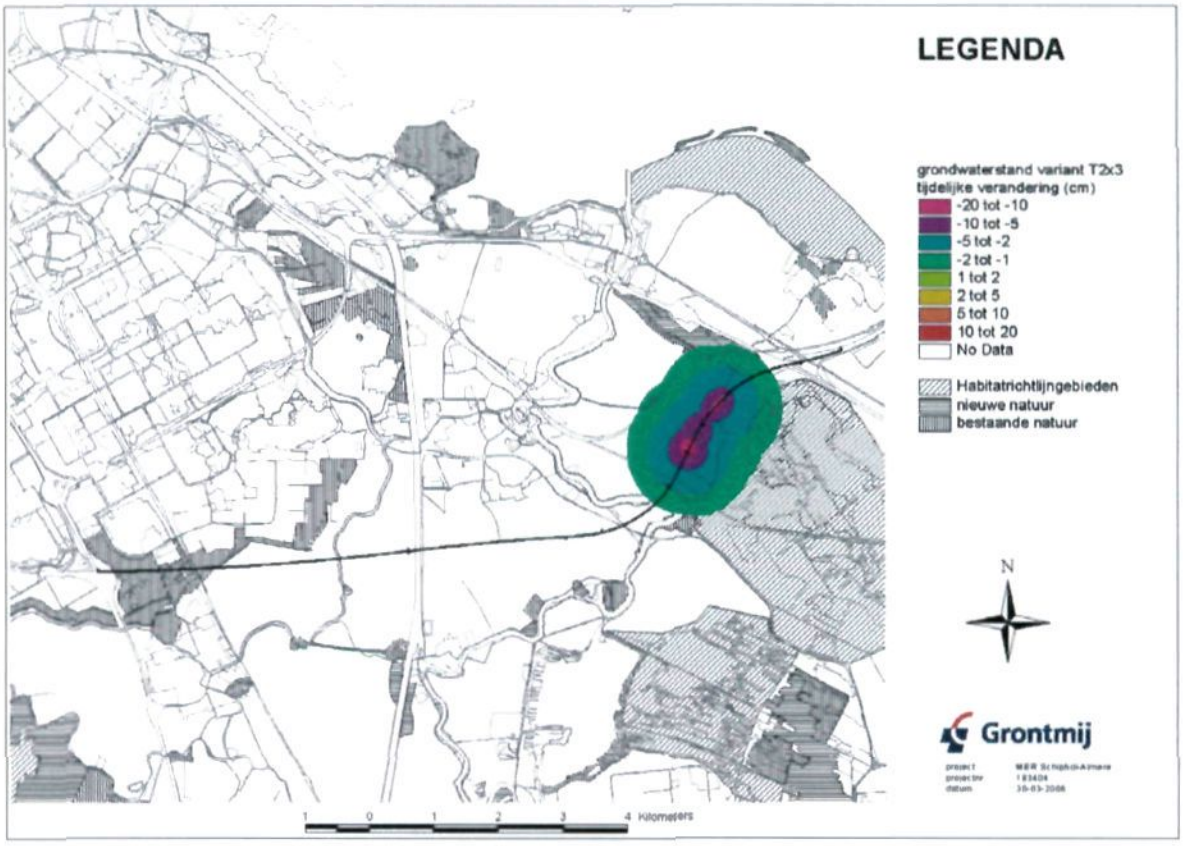
Enkele dimensies van de oostelijke toerit van variant T2x3 zijn vermeld in tabel 4.1

Tabel 4.1 Dimensies oostelijke toerit boortunnelvariant T2x3

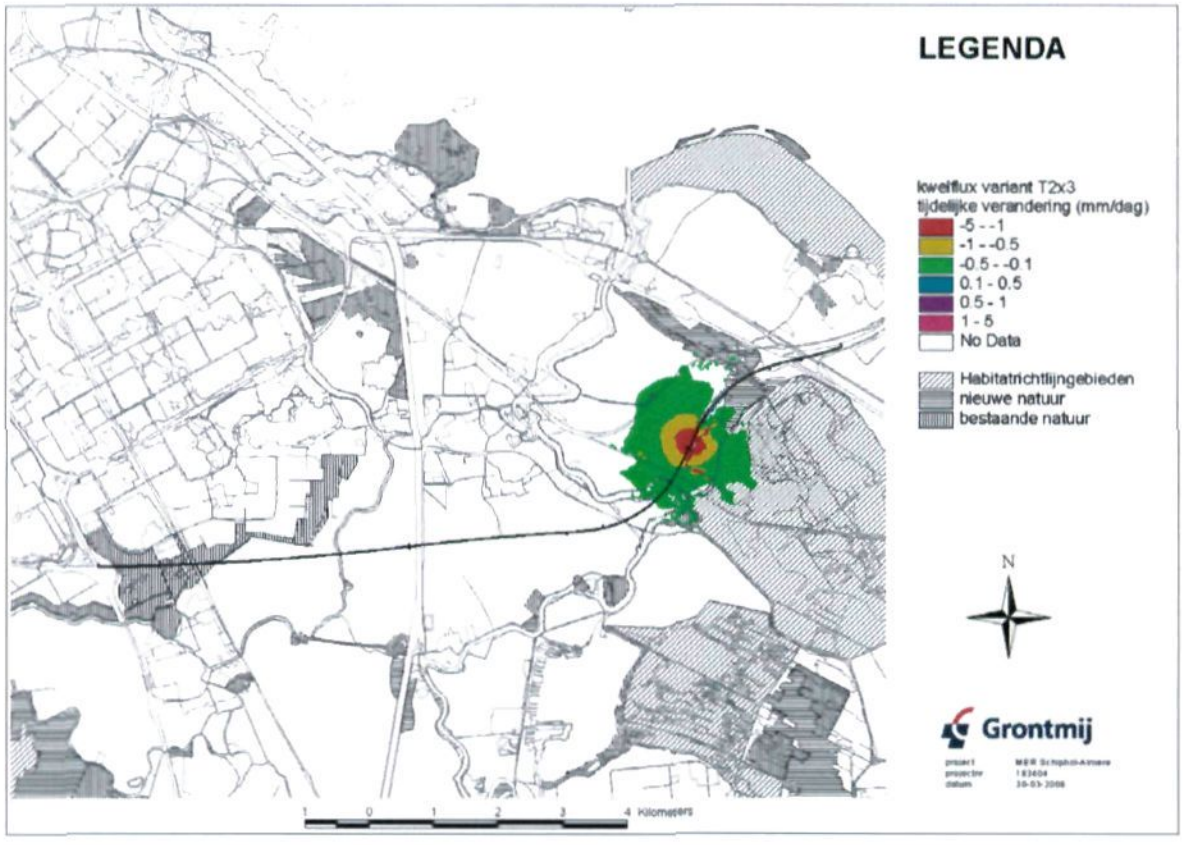
	Open Toerit	Gesloten Toerit	Startschacht	Totaal
Lengte (m)	420	540	50	1010
Diepte (m)	0-8	12-27	34	-
Breedte (m)	45	45	45	-
Volume grond(m^3)	76.000	474.000	76.500	626.500
Ontgravingsduur (dagen)	31	190	31	252

Bij bepaling van de ontgravingsduur is uitgegaan van een graafsnelheid van 2.500 m^3/dag. De niet-stationaire berekening is uitgevoerd met de aanname dat achtereenvolgens de open toerit, de gesloten toerit en de startschacht ontgraven worden.

Het maximaal tijdelijke effect van de aanleg van de oostelijke toerit van het verbindingsalternatief T2x3 op de grondwaterstand is voor drie tijdsmomenten (einde bemaling open toerit, einde bemaling gesloten toerit en einde bemaling startschacht) gecombineerd weergegeven in figuur 4.1. Deze verlagingen treden dus niet gelijktijdig op. In figuur 4.2 is het maximaal tijdelijke effect op de kwelflux afgebeeld aan het eind van de aanlegperiode van de tunnelmond. Na stopzetting van de bemaling zal de verlaging geleidelijk worden geneutraliseerd door toestroming van grondwater en infiltrerend oppervlaktewater. Uit aanvullende berekeningen blijkt dat na circa 5 weken het effect geheel is verdwenen.
Uit de figuren 4.1 en 4.2 blijkt dat tijdelijke effecten aanzienlijk groter zullen zijn dan de permanente effecten (met kwelfluxveranderingen tot 0.1 mm/dag langs het Naardermeer), **indien geen water in de bouwkuip wordt aangevoerd**. De noodzaak tot wateraanvoer is hiermee voldoende aangetoond.



Figuur 4-1 Maximaal tijdelijke verandering grondwaterstand bij aanleg van de oostelijke tunnelmond (open toerit, gesloten toerit en startschacht) in variant T 2x3, indien geen water wordt aangevoerd



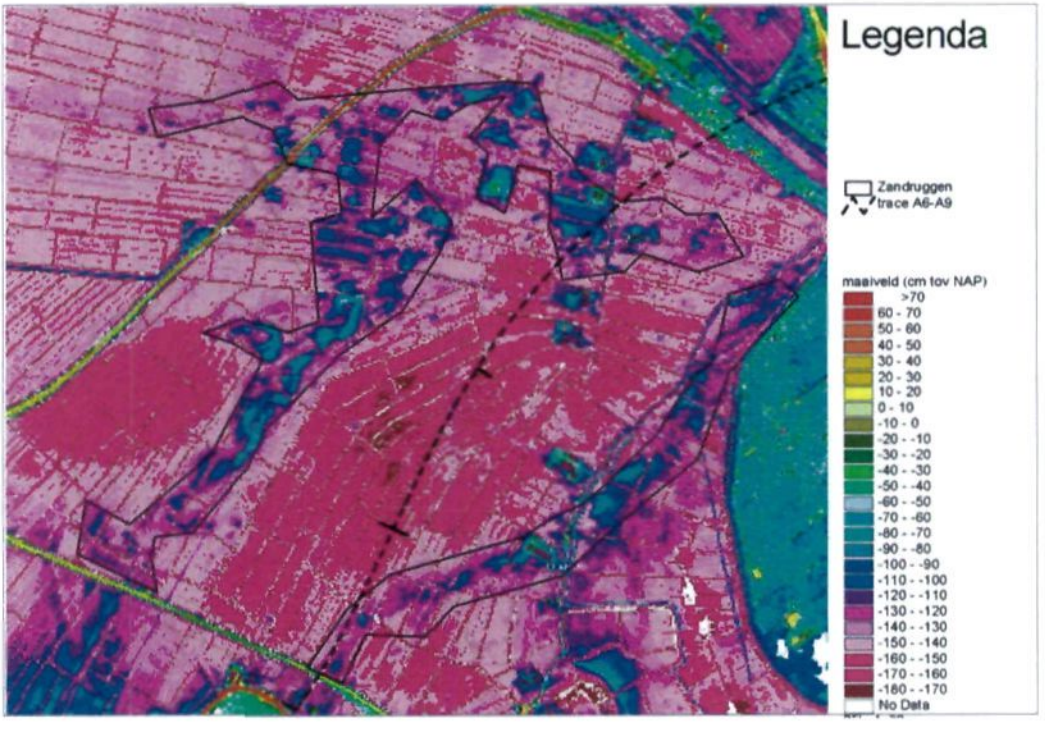
*Figuur 4-2 Maximaal tijdelijke verandering kwelflux bij einde aanleg van de oostelijke tunnelmond (start-schacht) in variant T 2x3, **indien geen water wordt aangevoerd***

4.3 Zandbanen in de deklaag

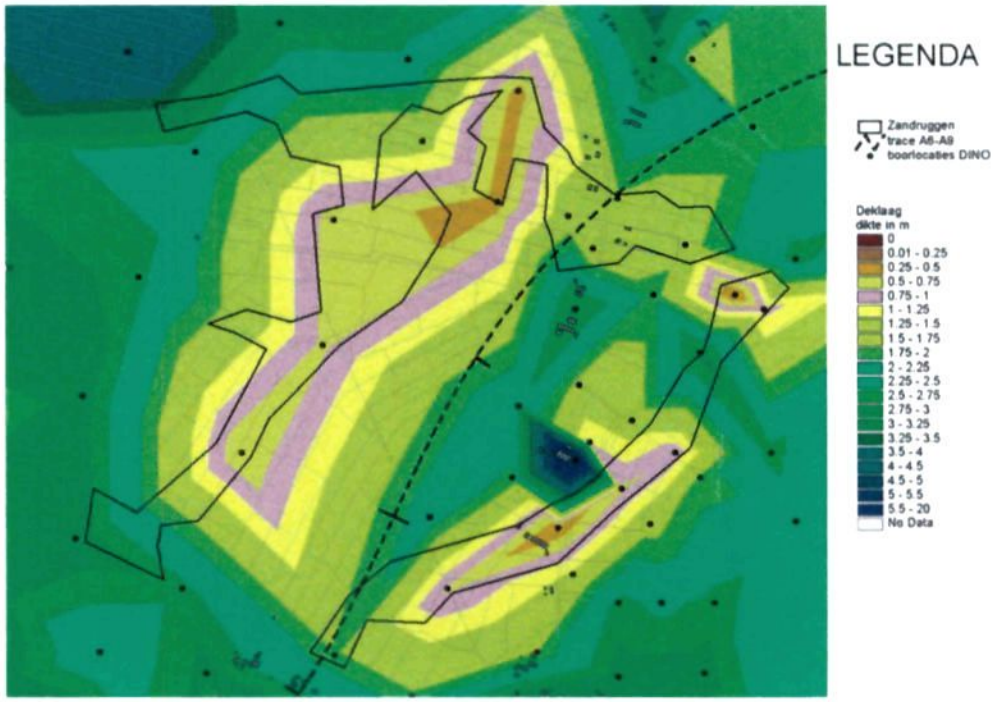
In de Nieuwe Keverdijksche Polder, ter hoogte van de oostelijke tunnel monding van diverse tunnel varianten (verdiept, insitu, en korte boortunnel) is sprake van een begraven meander van de rivier de Vecht. In de voormalige stroomgeul van de meander is zand afgezet, dat later is bedekt door kleiafzettingen. Doordat de zandbaan minder inklinkt dan omringende klei- en veenlagen is de voormalige stroomgeul in loop der tijd als rug zichtbaar geworden in het landschap (stroomrug).
Voor bepaling van de ligging van de zandbanen in de Keverdijksche Polder zijn de volgende bronnen gebruikt (in volgorde van maatgevendheid):

- Het AHN hoogtebestand (2002, resolutie 5 m)
- Het boorarchief van TNO (Dinoloket)
- De bodemkaart van Nederland (schaal 1:50.000)

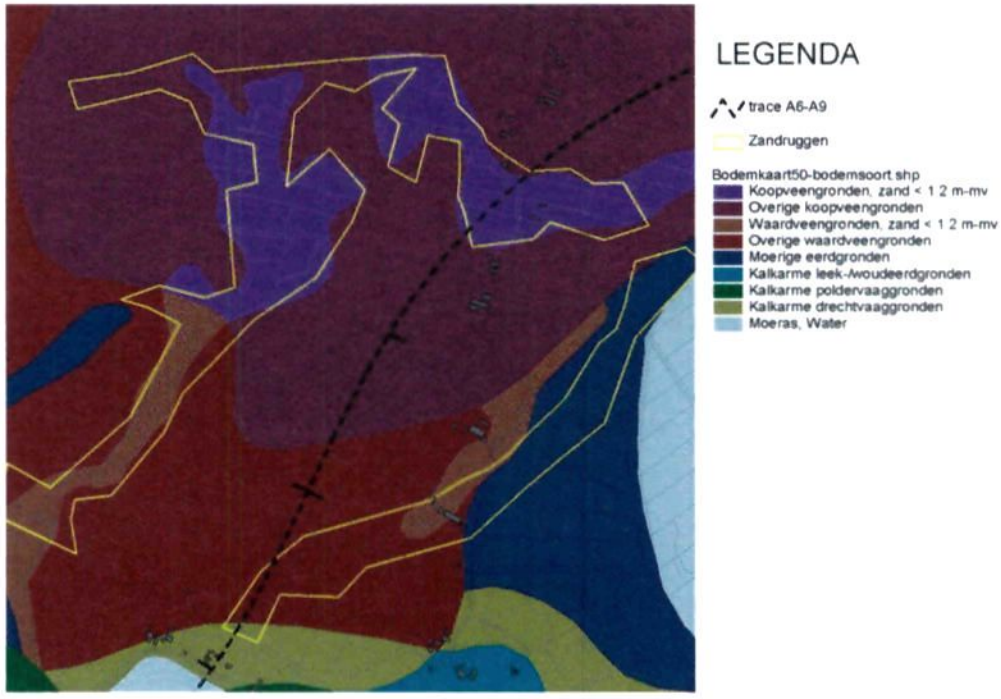
De genoemde gegevens zijn weergegeven en geïnterpreteerd in de figuren 4.3 t/m 4.5.
In figuur 4.3. zijn hoogtelijncontouren getekend, waardoor de langgerekte stroomruggen in het landschap zichtbaar worden. In figuur 4.4 is de diepte tot de zandondergrond weergegeven. In figuur 4.5 zijn eenheden van de Bodemkaart van Nederland afgebeeld. De bodemeenheden met een zandige ondergrond (Koop- en Waardveengronden met zand ondieper dan 1.2 m -mv) zijn hierin te correleren met de zandbanen in de figuur 4.3 en 4.4.



Figuur 4-3 Stroomruggen zichtbaar op maaiveldhoogtekaart (AHN, 2002)



Figuur 4-4 *Diepte zandondergrond ten opzichte van maaiveld (uit: boorarchief DINO)*



Figuur 4-5 *Zandbanen op basis van bodemkaart (1:50.000)*

De diepte van de zandondergrond in figuur 4.4 is afgeleid door lineaire interpolatie tussen boorpunten. Doordat het aantal boorpunten beperkt is komen de patronen op het AHN niet 100% overeen met de deklaagdiktekaart. De bodemkaart is gebruikt als laatste leidraad. De oostelijke zandbaan lijkt op de bodemkaart foutief weergegeven (te veel westelijk).

De zandbanen in het oorspronkelijke grondwatermodel zijn afkomstig uit databestanden van het landelijk hydrologische instrumentarium (NAGROM MONA MOZART) van het RIZA. De zandbanen zijn als zodanig hierin niet herkenbaar. Wel komt ter plaatse van het kerngebied met zandbanen een relatief goed doorlatende zone voor.

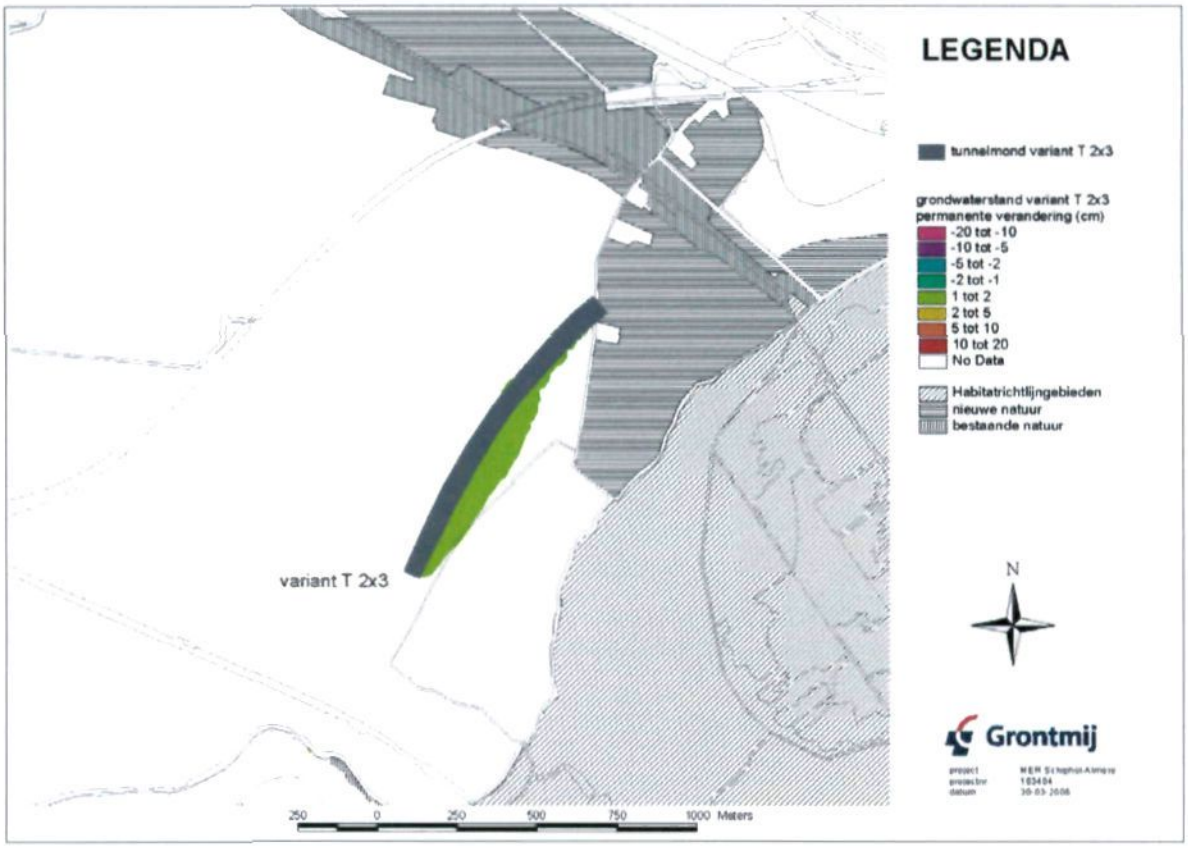
Het modelnetwerk is aangepast zodat de zandbanen nauwkeurig in het model konden worden gebracht. Voor de horizontale doorlatendheid en verticale weerstand van de zandbanen zijn waarden gekozen die overeen komen met de goed doorlatende zone in de deklaag in de oorspronkelijke schematisering.

- Verticale weerstand van de zandbaan (C): 20 dagen
- Horizontale doorlatendheid van de zandbaan (k): 30 m/dag

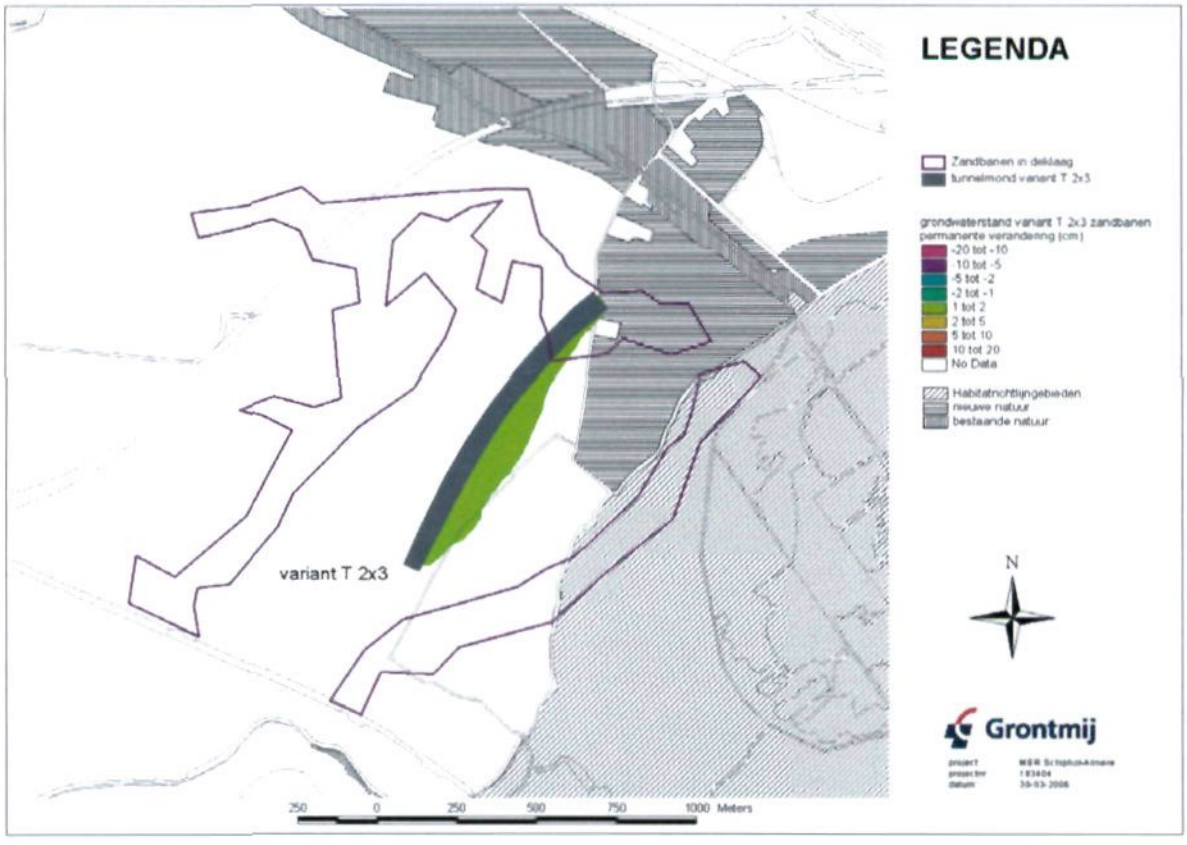
De waardes van de verticale weerstand (C) in de directe omgeving rondom de zandbanen zijn aangepast naar een waarde tussen 42 en 55 dagen. Voor de horizontale doorlatendheid van de holocene deklaag rondom de zandbaan is een waarde van 1,5 m/dag ingevoerd. Deze waardes in de omgeving van de zandbaan zijn conform de waardes uit het oude model.

In de figuren 4.7 en 4.9 zijn de effecten van zandbanen in de deklaag op respectievelijk de grondwaterstand en de kwelfluxen weergegeven voor variant T2x3 (korte tunnel). In deze effectvergelijking is alleen gekeken naar het effect van de tunnelmonding met damwanden en niet naar het effect van de tunnelbuis, omdat de eerste maatgevend is voor effecten nabij het Naardermeer.
Bij vergelijking van de tunnelvariant T2x3 met zandbanen (figuur 4.7) en zonder zandbanen (figuur 4.6), dan blijkt dat het effect van zandbanen op de grondwaterstand gering is. Het effect van de zandbanen op de kwelfluxen is groter (zie figuren 4.8 en 4.9). Met name ter plaatse van de zandbanen is over een groter oppervlakte sprake van toenemende kwelfluxen.

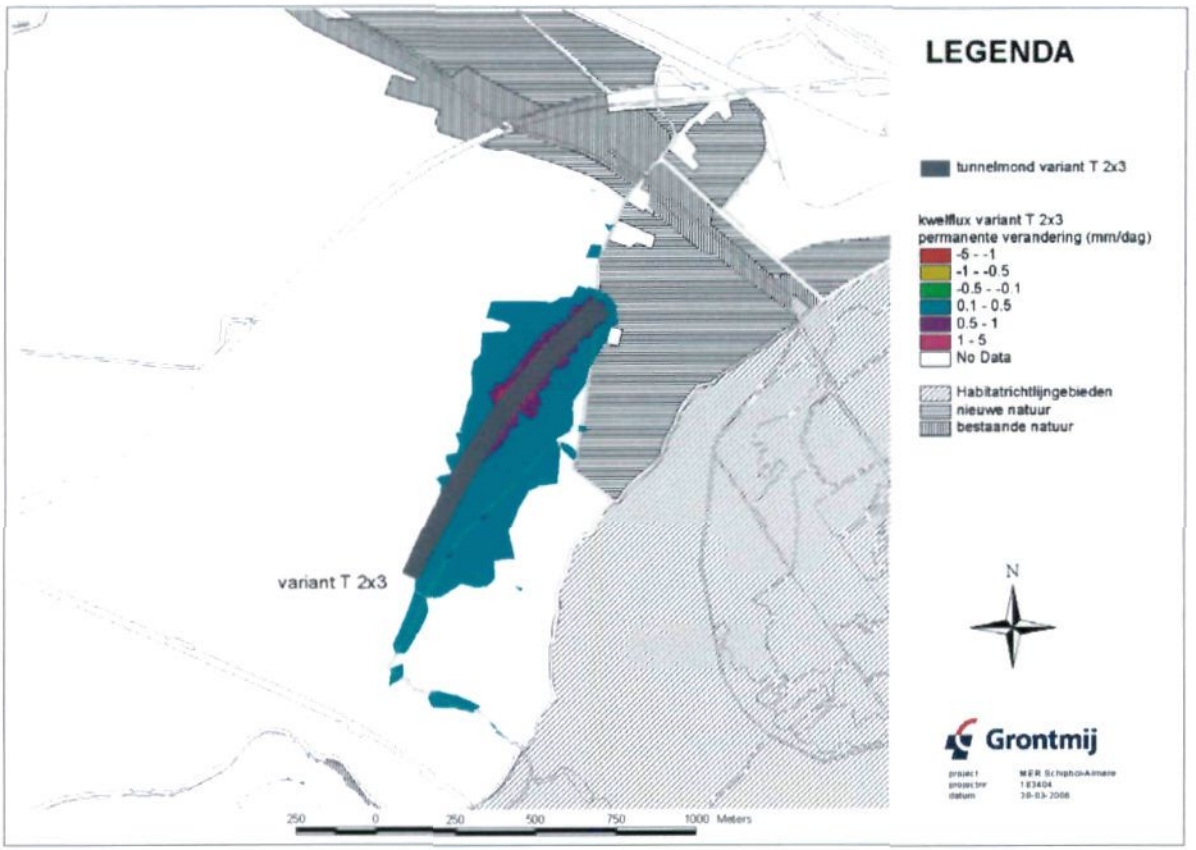
De effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met de functie landbouw. Het effect op de kwelfluxen treedt voor een deel op in landbouwgebied met bestemming nieuwe natuur. De veranderingen zijn echter dermate gering dat geen nadelige effecten voor de landbouwopbrengsten verwacht worden. Voor de nieuwe natuur is een kleine stijging van de kwelflux een positief effect, maar ook dit is zeer gering.



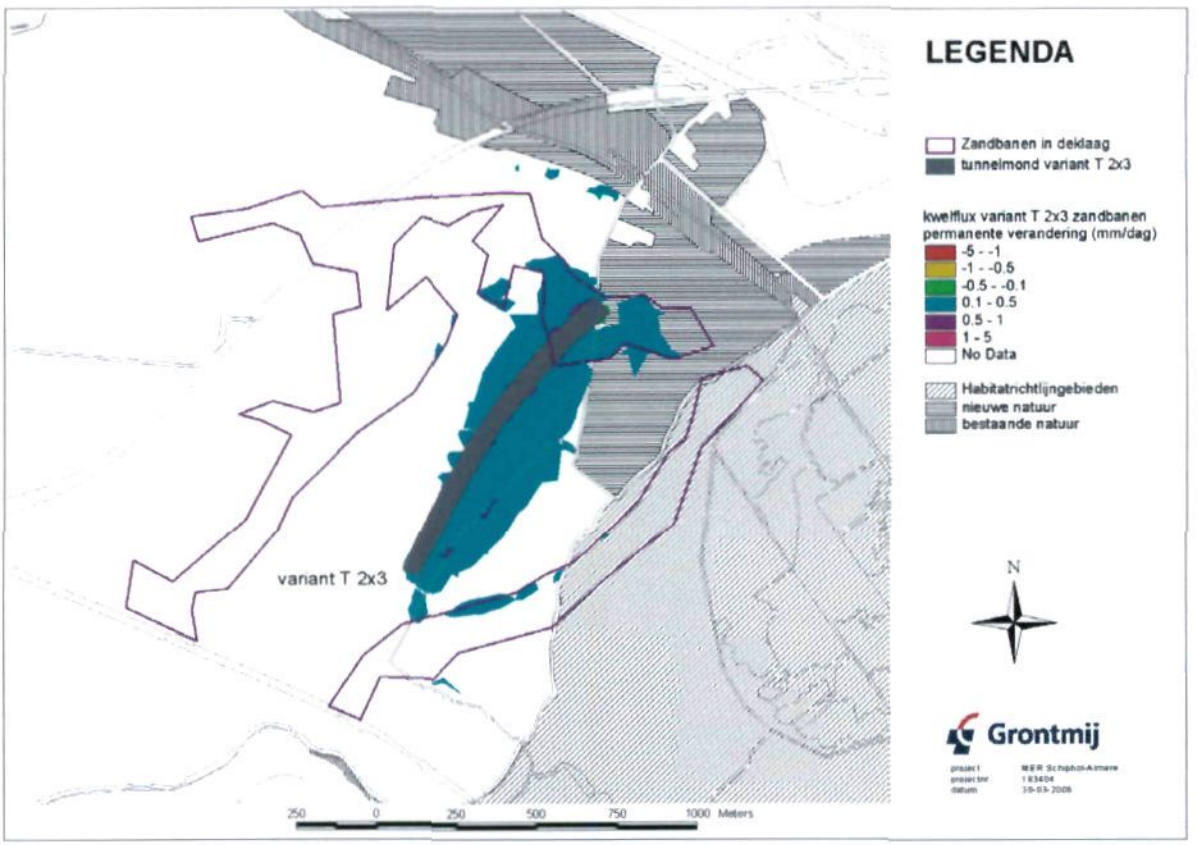
Figuur 4-6 Permanente verandering grondwaterstand in variant T 2x3 zonder zandbanen (detail van figuur 3.8)



Figuur 4-7 Permanente verandering grondwaterstand in variant T 2x3 met zandbanen



Figuur 4-8 Permanente verandering kwelflux in variant T 2x3 zonder zandbanen (detail van figuur 3.9)

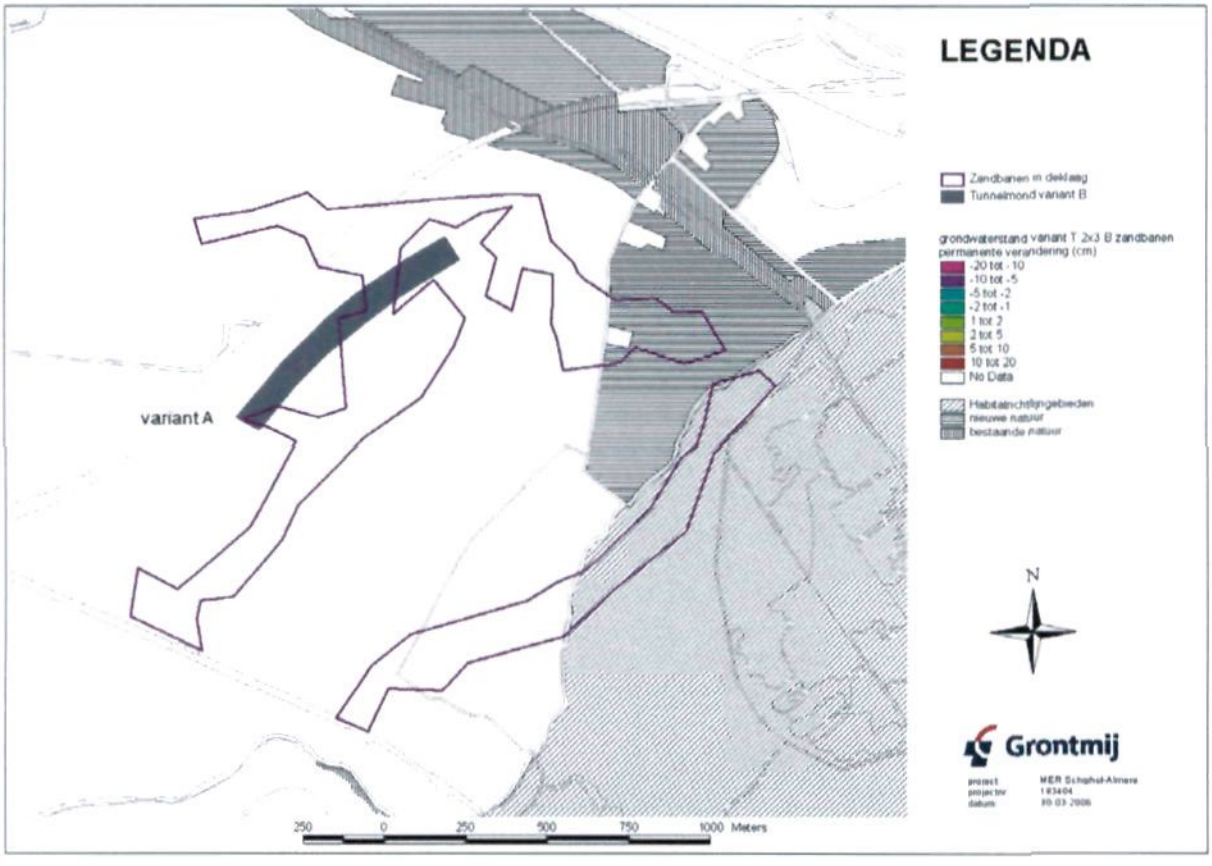


Figuur 4-9 Permanente verandering kwelflux in variant T 2x3 met zandbanen

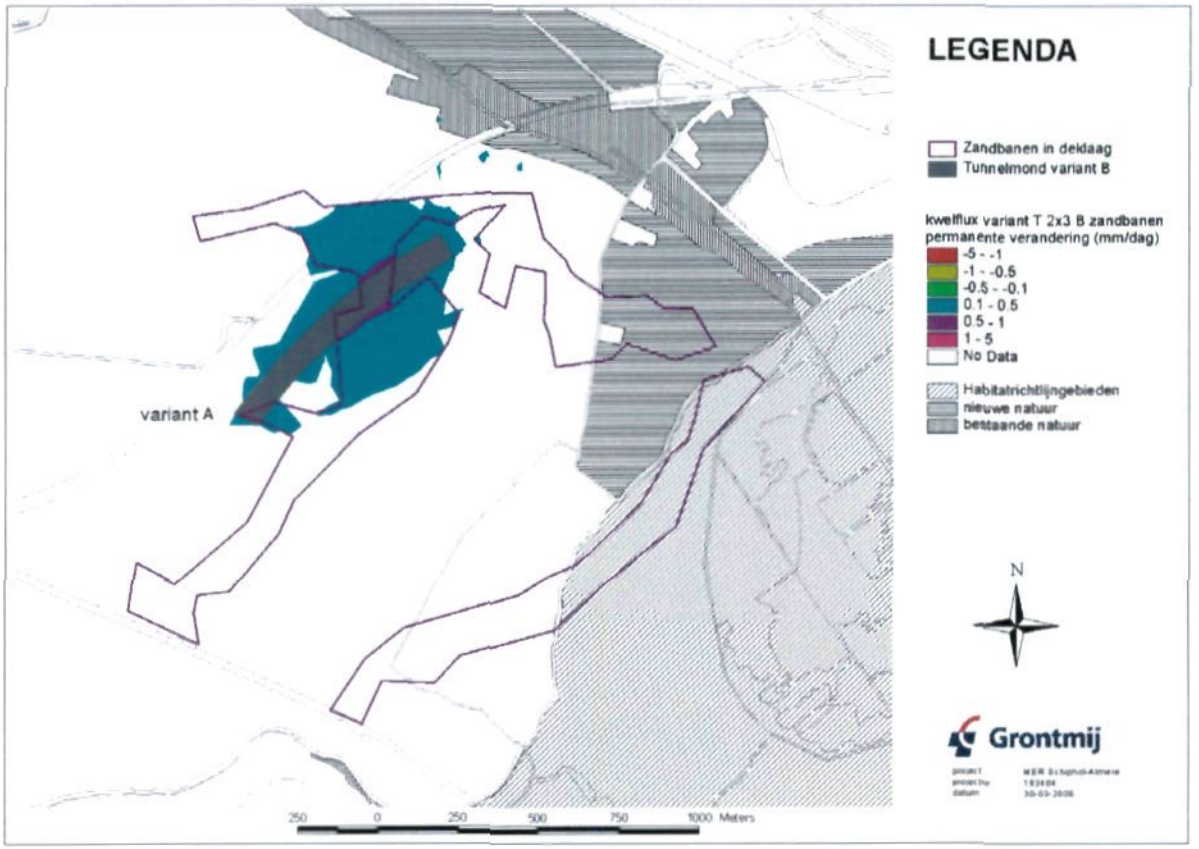
4.4 Alternatieve locaties tunnelmonding variant T2x3

Ter verdere minimalisering van effecten van de tunnelvariant T 2x3 (korte tunnel) zijn 2 extra subvarianten (A en C) onderzocht, waarbij de tunnelmonding verder naar het noordwesten is gepositioneerd. De effecten van deze subvarianten zijn onderzocht in combinatie met de zandbanen in de deklaag (zie paragraaf 4.3). Het effect van subvariant B is weergegeven in de figuren 4.10 en 4.11. Het effect van subvariant C is weergegeven in de figuren 4.12 en 4.13. In subvariant A is de stuwing van grondwater dermate gering dat het effect op de grondwaterstand kleiner is dan 1 cm (figuur 4.10). In subvariant C treedt door de ligging en oriëntatie van de tunnelmonding stuwing op aan de noordzijde hiervan (figuur 4.12).
De grootte van de kwelfluxverandering voor de twee subvarianten A en C is vergelijkbaar met de basisvariant. Ook in deze varianten is de ligging van de zandbanen herkenbaar in het kwelfluxpatroon.

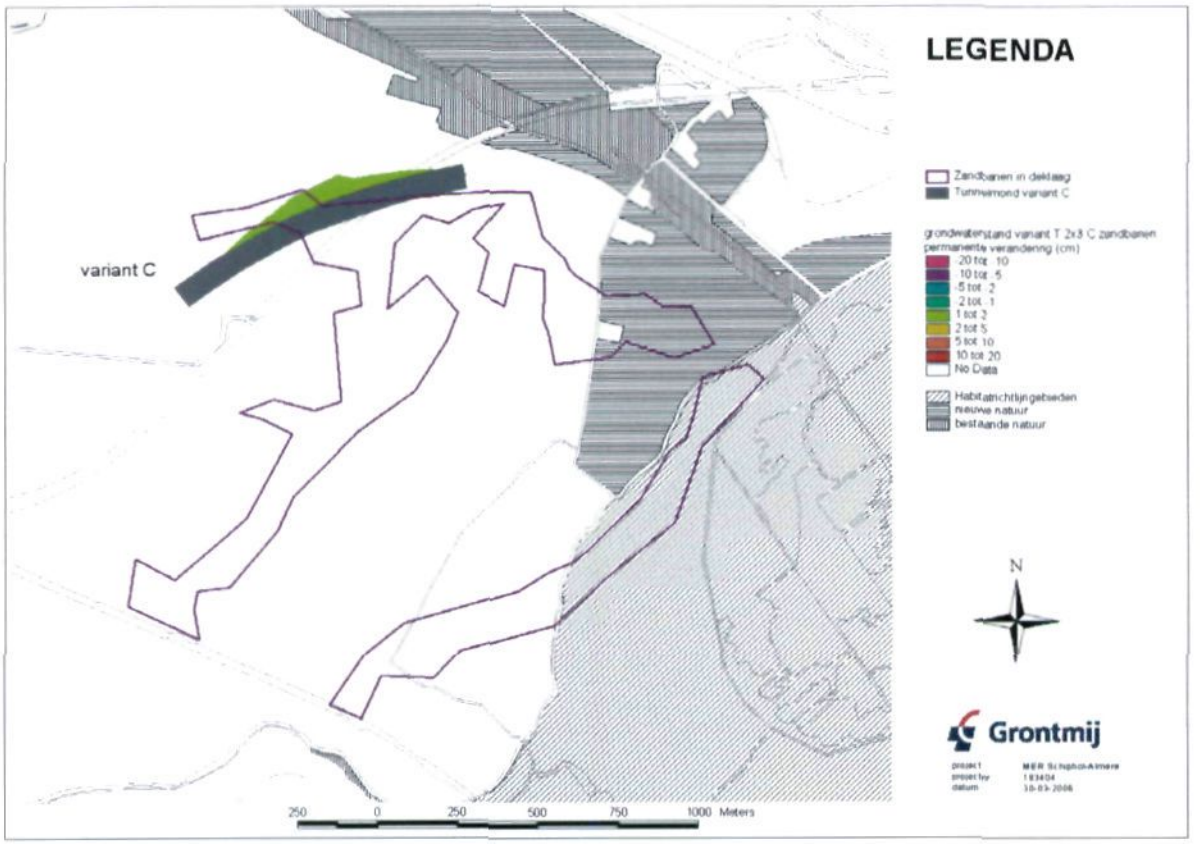
De effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met de functie landbouw. De veranderingen zijn echter dermate gering dat geen nadelige effecten voor de landbouwopbrengsten verwacht worden.



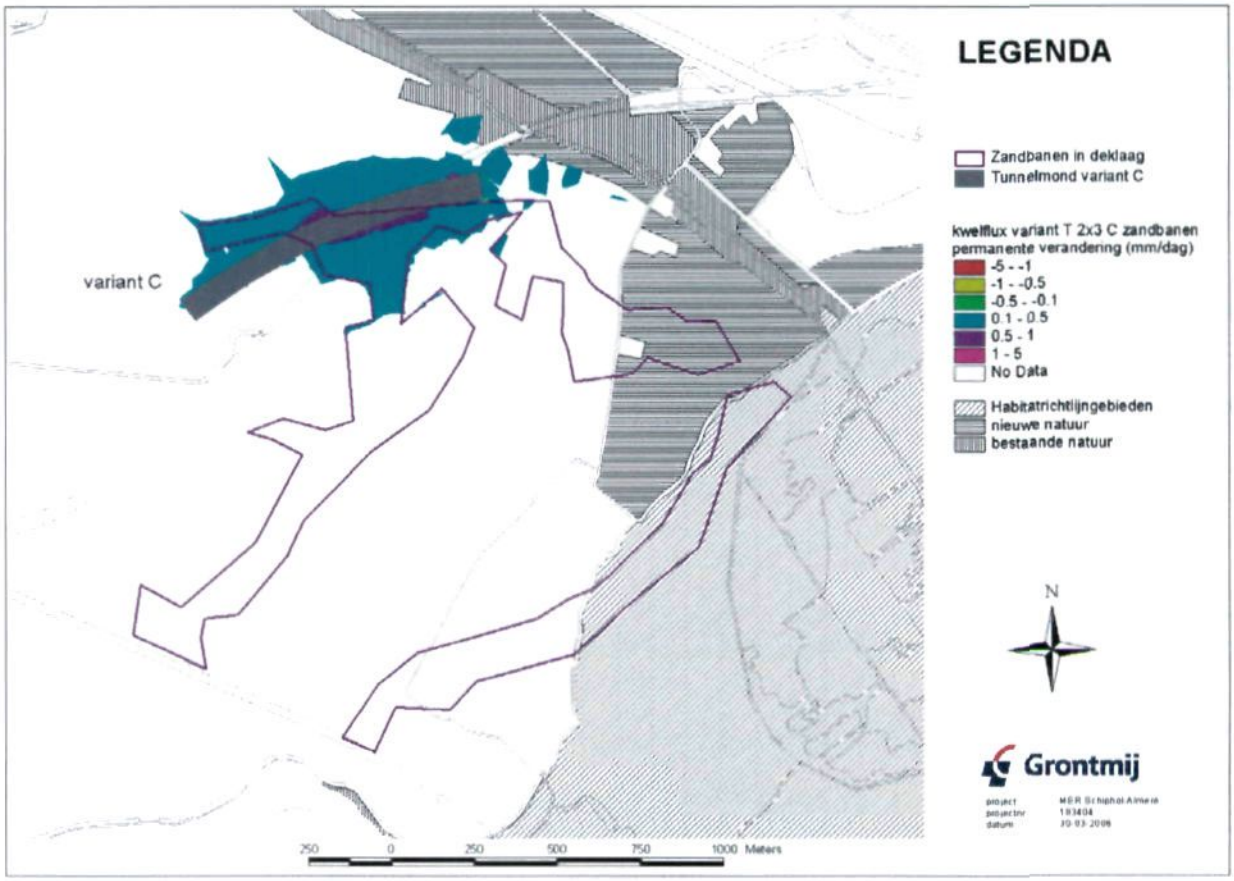
Figuur 4-10 Permanente verandering grondwaterstand in variant T 2x3 A



Figuur 4-11 Permanente verandering kwelflux in variant T 2x3 A



Figuur 4-12 Permanente verandering grondwaterstand in variant T 2x3 C



Figuur 4-13 Permanente verandering kwelflux in variant T 2x3 C

4.5 Verticale weerstand in het watervoerende pakket

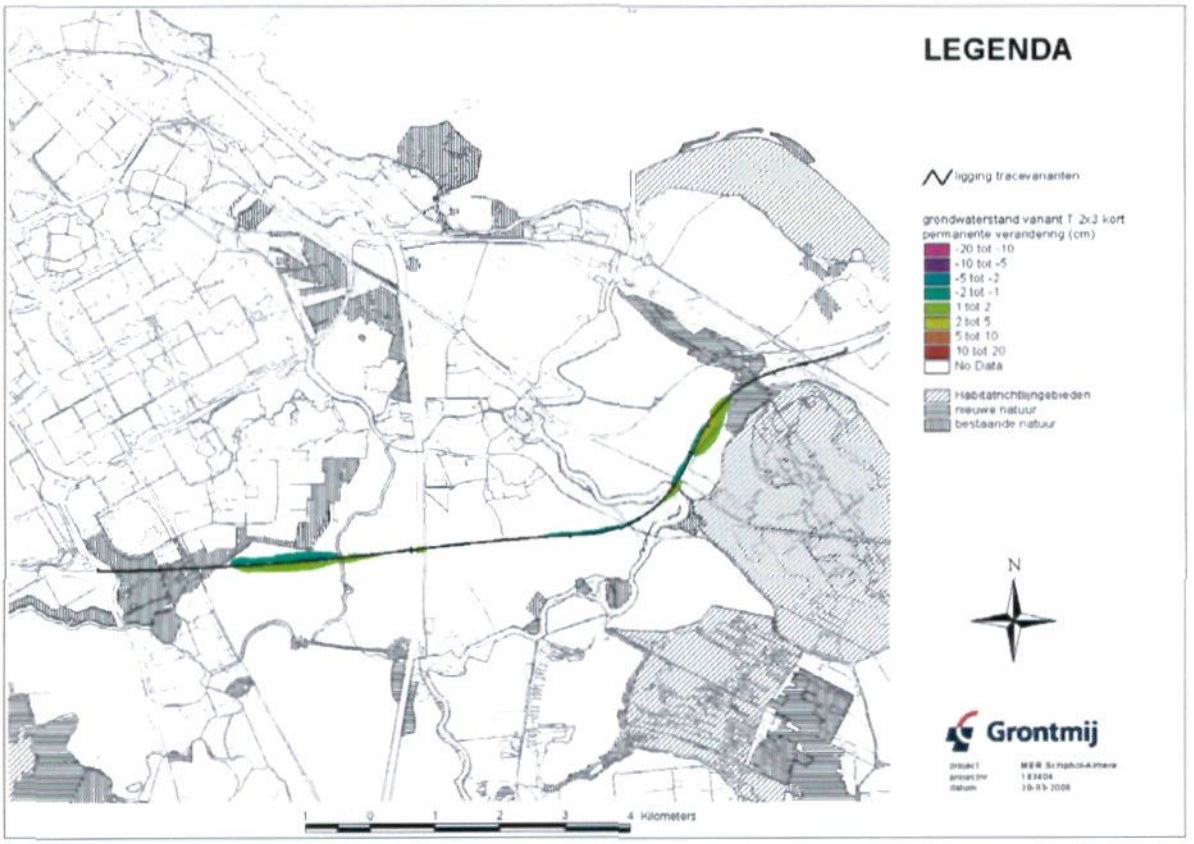
In de gebruikte softwarecode voor het grondwatermodel (MicroFem) wordt aan de watervoerende pakketten een horizontale doorlatendheid toegekend en aan de tussenliggende slecht doorlatende lagen een verticale weerstand. In de watervoerende pakketten is de verticale weerstand nul en in de slecht doorlatende lagen is de horizontale doorlatendheid nul. Op plaatsen waar aantoonbare weerstandslagen ontbreken en dus uitsluitend watervoerende pakketten voorkomen, dienen virtuele weerstandslagen in model gebracht worden om de geringe verticale weerstand (verticale anisotropie) binnen een watervoerend pakket te verdisconteren. Hieronder wordt de gevoeligheid van het model voor variabele weerstand in het watervoerende pakket nabij de oostelijke tunnelmonding onderzocht.

De maximale aanlegdiepte van de oostelijke tunnelmonding in variant T2x3 (inclusief damwanden) bedraagt circa NAP -45 m. Het gestuwde watervoerende pakket bevindt zich hier globaal tussen NAP -10 en -60 m. Dit pakket heeft een hoge k-waarde (60 m/dag). In theorie heeft het gestuwde pakket bij een dikte van circa 50 m een weerstand van 50*1/60=ca 1 dag. Het gestuwde pakket is gesplitst in drie modellagen, met daartussen virtuele weerstandswaarden van 1 dag. In het model heeft het gestuwde pakket dus een verticale weerstand van 3 dagen. Deze aanpak levert een gangbare verticale anisotropie factor van 3 op. In deze gevoeligheidsanalyse is de verticale weerstand van het gestuwde pakket verhoogd naar 15 dagen, wat een anisotropiefactor van 15 inhoudt. Deze waarde wordt als absolute bovengrens voor verticale anisotropie voor goed doorlatende pakketten beschouwd. Resultaten van berekeningen met deze factor kunnen daarom als 'worst case' benadering worden beschouwd.

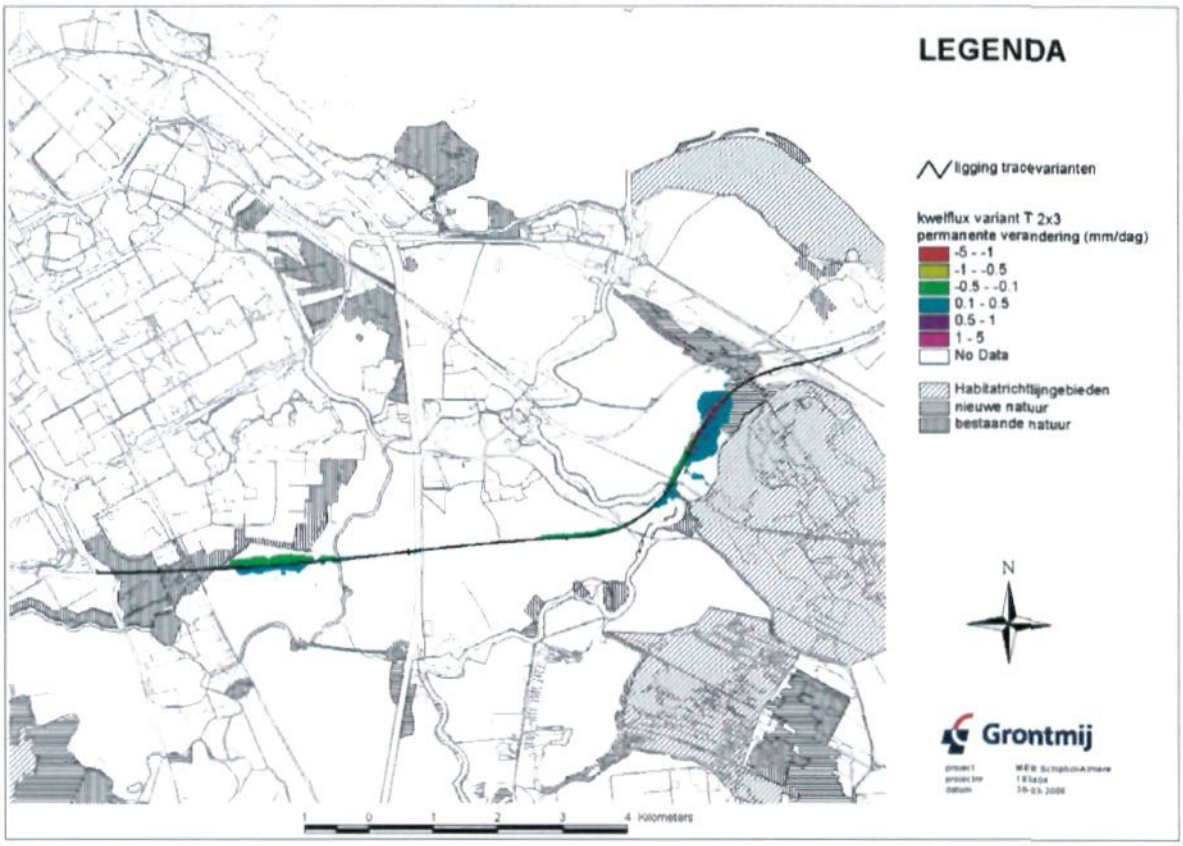
In de figuren 4.14 en 4.15 zijn de effecten van een verhoogde weerstand in het watervoerend pakket op respectievelijk de grondwaterstand en kwelfluxen weergegeven. De reikwijdte van de verhogingscontour van 1 cm rond de tunnelmonding bedraagt circa 250. In het gecalibreerde model (figuur 3.8) bedroeg deze afstand circa 125. Door een toename van weerstand in het watervoerend pakket met een factor 5 verdubbeld globaal de reikwijdte van deze contour. De reikwijdte van de contour met een kweltoename van 0.1 mm rond de tunnelmonding bedraagt maximaal ongeveer 360 m. In het gecalibreerde model (figuur 3.9) bedroeg deze reikwijde circa 230 m. De toename van deze reikwijdte is dus ongeveer 1.5.

Ook nabij de westelijke tunnelmonding is nu een effect door stuwing zichtbaar. De conclusie is dat het stuwend effect nabij de tunnelmonding versterkt wordt door verhoging van de weerstand in het watervoerend pakket. Dit effect stemt overeen met getoonde effecten in figuur 3.1, betreffende situatie E.

De effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met de functie landbouw. De veranderingen zijn echter niet van dien aard dat nadelige effecten voor de landbouw verwacht worden.



Figuur 4-14 *Permanente verandering grondwaterstand in variant T 2x3, bij verhoogde weerstand in het watervoerende pakket*



Figuur 4-15 Permanente verandering kwelflux in variant T 2x3, bij verhoogde weerstand in het watervoerende pakket

5 Conclusies

Omvang van effecten tunnelvarianten op grondwaterstanden en kwelfluxen
In de verbindingsalternatieven bedraagt de verandering van de grondwaterstand maximaal 2 cm nabij het tracé. De maximale reikwijdte van de verlagingscontour met 1 cm is circa 125 m (variant boortunnel T 2x3).
De maximale fluxverandering in de verbindingsalternatieven is ongeveer 0.5 mm/dag nabij het tracé (variant boortunnel T 2x3). De maximale reikwijdte van een fluxverandering van 0,1 mm bedraagt circa 300 m (varianten V 2x3 en T 2x3 In Situ verbindingstracé).

De grootste effecten in absolute zin treden op bij de verdiepte variant (V5-2w-5) van het stroomlijntracé, met grondwaterstandsveranderingen tot 20 cm langs de Gaasperdammerweg en kwelfluxveranderingen tot 1,5 mm/dag langs het aquaduct in het AR kanaal. De maximale reikwijdte van de verlagingscontour met 1 cm reikt tot circa 500 m vanaf het aquaduct. De maximale verbreiding van de fluxverandering met 0.1 mm/dag bedraagt hier circa 300 m. Het effect langs het aquaduct in het AR kanaal wordt verklaard door aanwezigheid van een scheidend laagje (Eem klei) op circa NAP -30 m. De grens van deze laag is bij TNO door interpolatie van boorgegevens bepaald, wat een mate van onzekerheid met zicht meebrengt. Het is daarom goed mogelijk dat het effect in werkelijk niet optreedt doordat het laagje onder het aquaduct afwezig is.

Effecten op functies landbouw en natuur
Het permanente effect van de verdiepte variant op het stroomlijntracé (V5-2w-5) overlapt voor een groot deel met de snelweg A1 en met het Amsterdam-Rijnkanaal. Er is geen overlap met natuurgebieden. Het gebied ten noorden van de A1 betreft voornamelijk industriegebied. Het effect op landbouwgebied ten zuiden van de A1 wordt verwaarloosbaar geacht.
De permanente effecten van de verbindingsalternatieven treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met als functie landbouw en zijn dermate gering (toename < 2 cm) dat geen significant effect op de opbrengstcijfers te verwachten zijn.
Alleen de lange boortunnel heeft een klein negatief effect (afname kwelflux) waar de tunnel de Afwatering van het Naardermeer kruist.

Effecten op zoet/zout grensvlak
In een aanvullende studie van TNO zijn de effecten van de verdiepte aanleg op het zoet/zout grensvlak gekwantificeerd nabij de oostelijke tunnelmond van het boortunnelalternatief (NITG/TNO, 2006). Uit deze studie volgt dat een geringe verandering van de zoet-zout verdeling optreedt in de directe omgeving (50 meter aan beide kanten) van de tunnelmond: onder de de tunnel zal een geringe verzoeting optreden. Ter plaatse van het Naardermeer zijn geen effecten te verwachten qua kwelintensiteit en zoutbelasting door aanleg van een tunnelvariant. Autonome processen zullen de zoutbelasting van het oppervlaktewater in de komende 250 jaar aanzienlijk verlagen, waarbij het effect van de tunnel verwaarloosbaar is.

Tijdelijke effecten tijdens aanleg
Mogelijke tijdelijke effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen tijdens aanleg van de tunnelvarianten dienen 100% gemitigeerd te worden door aanvoer van oppervlaktewater uit Vecht of AR kanaal.

Effect zandbanen in deklaag
Aanwezigheid van zandbanen in de holocene deklaag ter plaatse van de tunnelmonding in de Nieuwe Keverdijksche Polder hebben een gering lokaal effect op met name kwelfluxveanderingen, maar is van geen betekenis voor de functies landbouw en natuur in de omgeving.

Effect verticale weerstand in watervoerend pakket
Het effect van een grotere verticale weerstand in het watervoerende pakket over het dieptetraject waarin de tunnel met damwanden wordt aangelegd versterkt de effecten op kwelfluxen en grondwaterstanden. In een 'worst case' scenario met maximale weerstandswaarden in het watervoerend pakket, bedraagt de verhoging nabij het tracé maximaal 5 cm en verdubbelt de reikwijdte van de verhogingscontour van 1cm rond de tunnelmond van 125 m naar 250 m. De reikwijdte van de kweltoenamecontour van 0.1 mm neemt in dit geval toe met een factor 1.5, van 230 m tot 360 m. De effecten treden vrijwel uitsluitend op in gebieden met een landbouwfunctie.

Ondanks een toename van effecten bij grotere weerstand in het watervoerend pakket, zijn deze qua omvang en grootte zodanig gering dat geen significant effect op landbouwopbrengsten te verwachten zijn.

Effect alternatieve locaties boortunnel
Alternatieve locaties (subvarianten A en C) van de tunnelmonding van de korte tunnel variant (T 2x3) veroorzaken vergelijkbare geringe effecten op grondwaterstanden en kwelfluxen als de oorspronkelijke variant. Wel worden de effecten in noordwestelijke richting verschoven. Ook hier vindt vrijwel uitsluitend landbouw plaats, waarbij geen nadelige gevolgen voor opbrengstcijfers te verwachten zijn.

Literatuur

Alterra, 2000. De bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000.

Geodelft (2005). Geotechnische gegevens en risico's Planstudie Hoofdwegverbinding Schiphol-Amsterdam-Almere.

Grontmij (2003). MER Vervangende Productiecapaciteit, uitwerking MMA en VA.

Grontmij (april 2006). Quick scan aanvullende varianten.

Hemker, C.J. & de Boer R.G. (2005). An integrated large-capacity finite-element microcomputer program for multiple-aquifer steady-state and transient groundwater flow modeling. Version 3.60.

KNMI: Neerslag en verdamping (periode 1995-2002).

NITG/TNO (2004). Minnema B., Kuijper, B & Oude Essink, G.H.P. Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland.

NITG/TNO (2005). Regionaal Grondwater en Informatie Systeem (REGIS II).

NITG/TNO (2006). Oude Essink, G.H.P. & Stuurman, R. Onderzoek effecten van de Hoofdwegverbinding Schiphol-Amsterdam-Almere op de zoet-zout verdeling in het grondwater nabij het Naardermeer.

Watermark Numerical Computing (2005). PEST, Model independent Parameter Estimation.

Bijlage 1

Onttrekkingsgegevens

Bijlage 1

Onttrekkingsgegevens

X-coördinaat	Y-coördinaat	Gemiddeld debiet (m^3/dag)	gemiddelde diepte (m)	naam
125860	478590	1	-103	ACADEMISCH MEDISCH CENTRUM
139760	472780	1	-45	AUDIO EN VIDEO SCHAKELCENTRUM
139500	475970	1180	-37	BENSDORP BV
138100	468900	151	-68	BESTFOODS BENELUX B.V.
145000	479470	542	-58	BN INTERNATIONAL BV
123750	480125	4	-28	brandput Dienstkringgebouw RWS
144740	473100	2	-7	BUURT-EN SPEELTUINVER ONS GENOEGEN
118950	488500	20	-40	C.J.R. KESBEKE
141250	471420	20	-40	CAMPINA MELKUNIE HILVERSUM
117320	472440	155	-30	CINDU CHEMICALS B.V.
140800	466350	300	-38	COMPLEX DE ZWALUWENBERG
138150	468925	6	-7	CPC BENELUX B.V.
153800	471100	45	-35	DE GRAAF'S BAKKERIJEN BV
150000	467500	4	-60	DE SLAAG (POLDER ZELDERT)
122860	482870	2057	-101	DECAF
139870	477230	66	-25	Deen-Hobu Vlees bv
141550	469350	0	-36	DRAFCENTRUM HILVERSUM BV
145010	480030	1	-120	DU CROCQ AROMATICS INT BV
148500	469500	22	-3	EEMLAND
146800	466400	211	-3	Eurotape
125350	485340	106	-58	FOM INSTITUUT VAN ATOOM EN MOLECUUL FYSICA
118030	487680	106	-108	GAK
154900	474000	0	-40	GEBR. DE GRAAF BV
155000	473800	59	-63	GEBR. MUYS BV
144940	474230	0	-25	GEMEENTE LAREN, ZWEMBAD DE BIEZEN
116340	494000	6	-34	GIST BROCADES SAVOURY B.V.
136860	472040	26	-91	GOOI EN EEMLAND BV
139610	470660	1	-38	Gooizicht Christelijk Verpleeghuis
155000	473600	100	-45	GRAVIS KENNEMERLAND BV
137900	468100	15	-3	GRW SAN MOLENMEENT LOOSDRECHT
148600	469500	128	-4	GRW.SAN. BRINKSTRAAT E.O.
147400	465900	7	-1	GRW.SAN. KOSTVERLORENWEG
144510	477530	50	-40	J.G. SCHAAP
119900	469600	588	-35	JOHNSON EUROPLANT BV
145150	477530	84	-42	KALKZANDSTEENFABRIEK RIJSBERGEN BV
140820	470190	391	-56	KATHOLIEKE RADIO OMROEP
154700	474100	28	-98	KOELEWIJN'S HARINGINL. B.V.
155000	473900	11	-63	KOELEWIJN'S HARINGINLEGGERIJ
154600	473500	34	-103	KOELEWIJN'S HARINGINLEGGERIJ B
138050	468850	151	-30	koeling
138050	468850	151	-103	koeling
131800	476300	70	-30	Lamme Groep proceswater voor wassen textiel
119950	490950	46	-32	maken gedemineraliseerd water
123250	483030	40	-35	MAPLE LEAF BV

Bijlage 1 (vervolg 1)

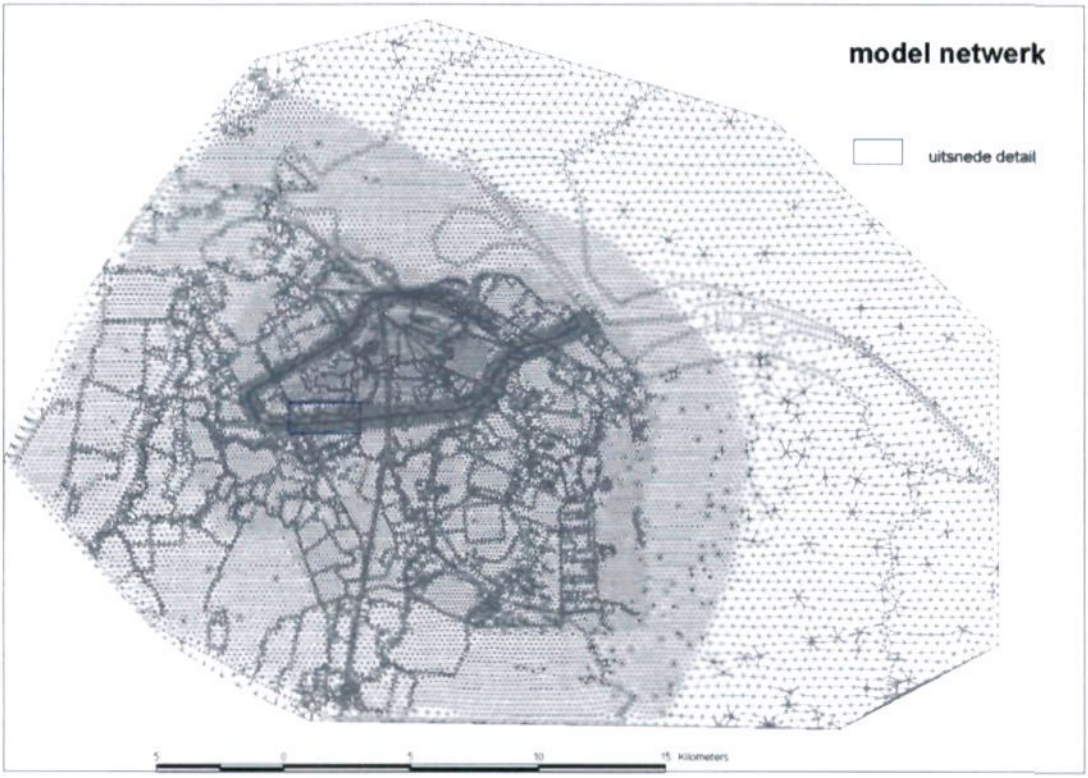
144570	479530	48	-31	MAYONNA BV
140270	471670	11	-61	NEDERLANDS OMROEPPRODUKTIE BEDRIJF N.V.
140270	471670	120	-35	NEDERLANDS OMROEPPRODUKTIE BEDRIJF N.V.
140270	471670	46	-35	NEDERLANDS OMROEPPRODUKTIE BEDRIJF N.V.
140950	471080	34	-25	NEDERLANDS OMROEPPRODUKTIE BEDRIJF N.V.
131900	476200	30	-53	NIC LAMME B.V.
149400	471200	0	-30	OCRIETFABRIEK BV
123230	484680	386	-84	Oppenheim Immobilien KapmbH
129000	467500	122	-50	Penitentiair Centr. Nieuwerslu
145000	465900	6	-15	PLUISMEER
148500	468800	85	-5	POLYGRAM RECORD SERVICE BV
154100	471100	143	-20	POLYNORM NV
146600	469100	1408	-29	POMPSTATION BAARN
153000	475700	4283	-130	POMPSTATION EEMPOLDER
143125	476800	9635	-28	POMPSTATION HUIZEN
142750	474500	7412	-31	Pompstation Laarderhoogt
143500	466200	0	-46	POMPSTATION LAGE VUURSCHE
142400	472500	13189	-31	POMPSTATION LAREN
138200	468400	7963	-103	POMPSTATION LOOSDRECHT
145650	475150	2	-12	RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTING GOOIER-GRACHT
130320	481370	28	-29	RONDE B.V.
152500	465100	379	-4	RWZI Amersfoort
148800	467300	157	-3	RWZI SOEST/BAARN
138560	469440	35	-73	SNEL SMEERDIJK BV
130550	479700	6	-27	SOLVAY DUPHAR BV
130550	479700	16	-27	Solvay Pharmaceuticals BV
139960	476270	2	-30	SONOTECH
144840	478950	43	-38	Sportinstituut Rebel
120375	488750	4	-50	STADSDEELWERF
139130	467390	12	-34	TH VAN OS CAMPING ZONNEHOEK
122030	489150	385	-75	VAN LEER NEDERLAND BV
121950	469100	77	-30	Vliegtuigberging
149300	466100	43	-1	VOORM. BENZ.STATION SOEST
146900	466100	9	-15	Voormalig Foxboro terrein
136980	470790	19	-26	WASSERIJ DE GOOISE VAART
131900	475100	38	-65	Wasserij Gerard Best
142400	472500	2941	-20	WATERLEIDINGBEDRIJF MIDDEN NEDERLAND
138200	468400	7929	-62	waterwinning
122480	485820	56	-120	WIBAUTHUIS
115076	485905	12	-36	winning proceswater autowasstraat
123500	482200	4	-50	winning proceswater Mebin BV
144900	480000	17	-40	winning proceswater skibaan Wolfskamer
139130	479120	20	-18	WITMETAAL B.V.
139820	476670	90	-30	WITTENBURG BV
143450	478000	16	-35	ZWEMBAD SIJSJESBERG

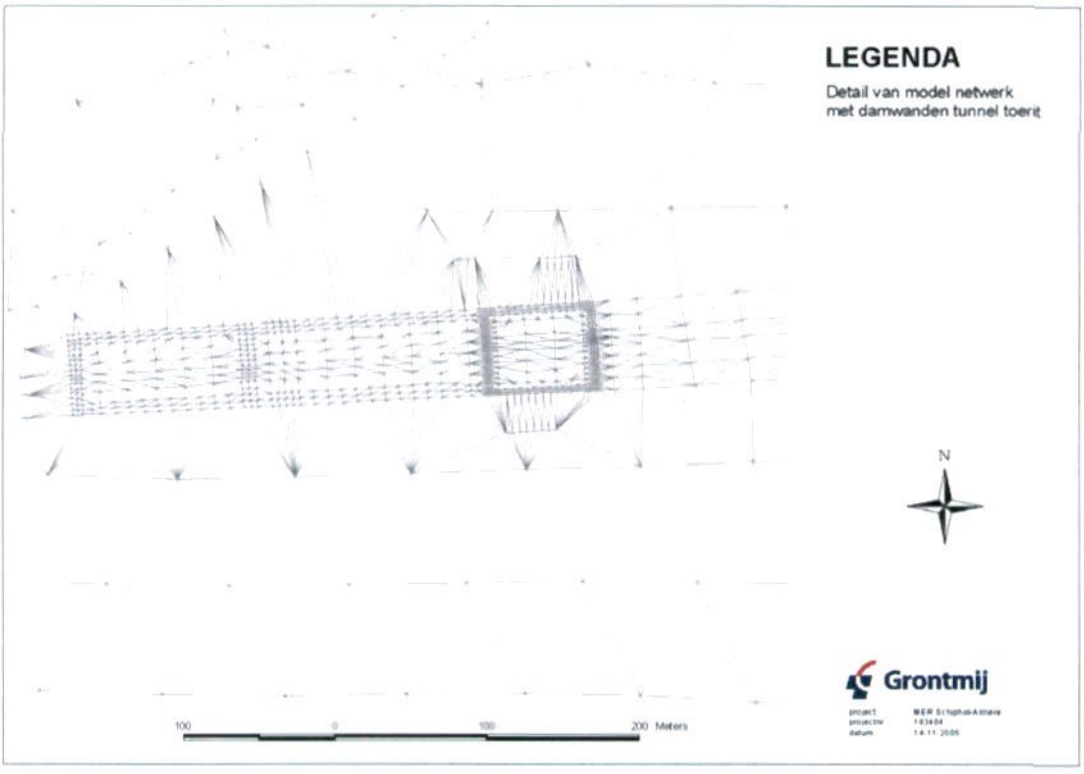
Bijlage 2

Modelnetwerk

Bijlage 2

Modelnetwerk



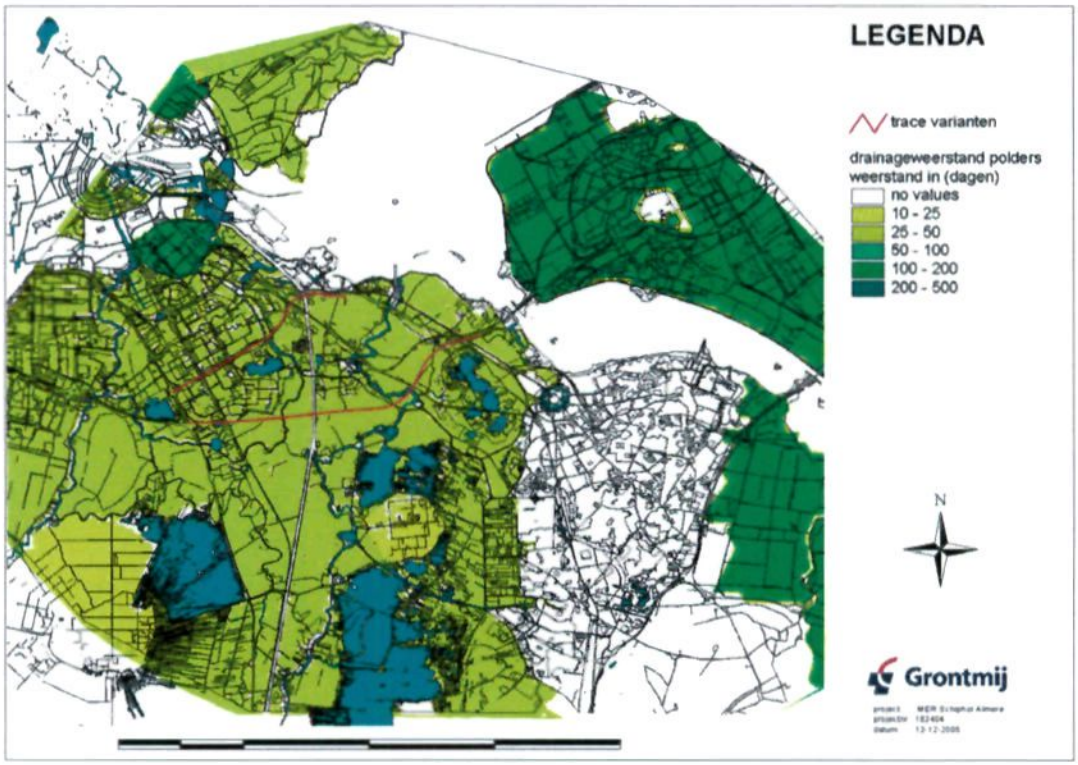


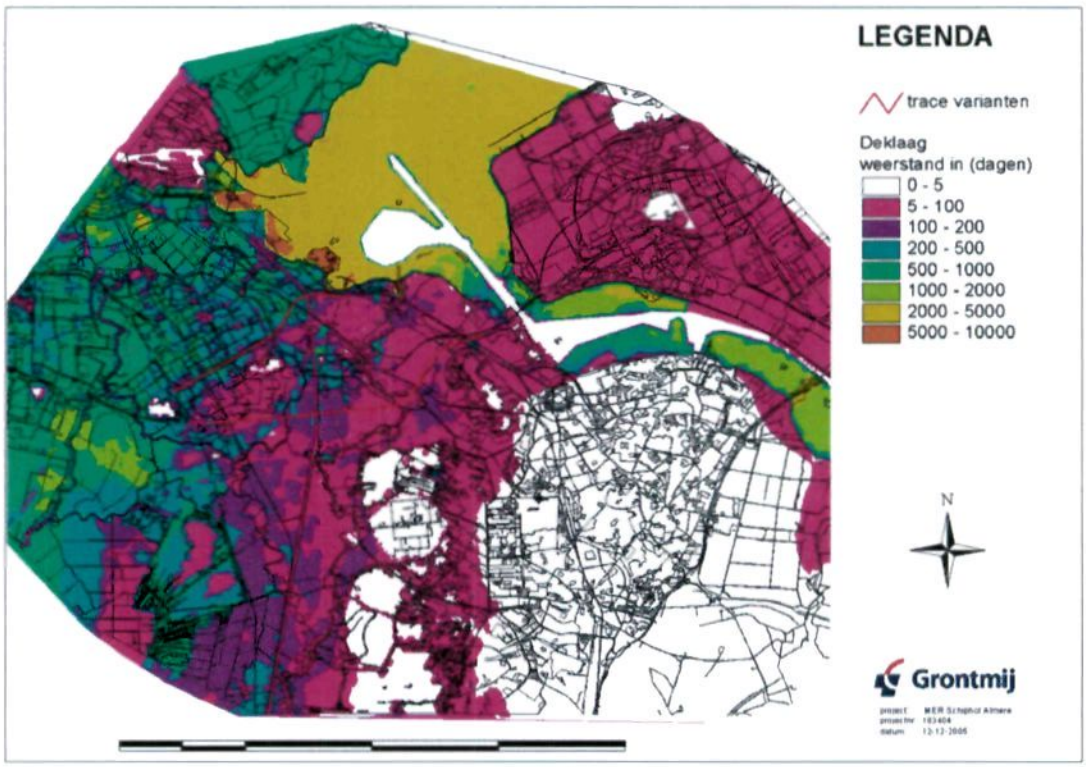
Bijlage 3

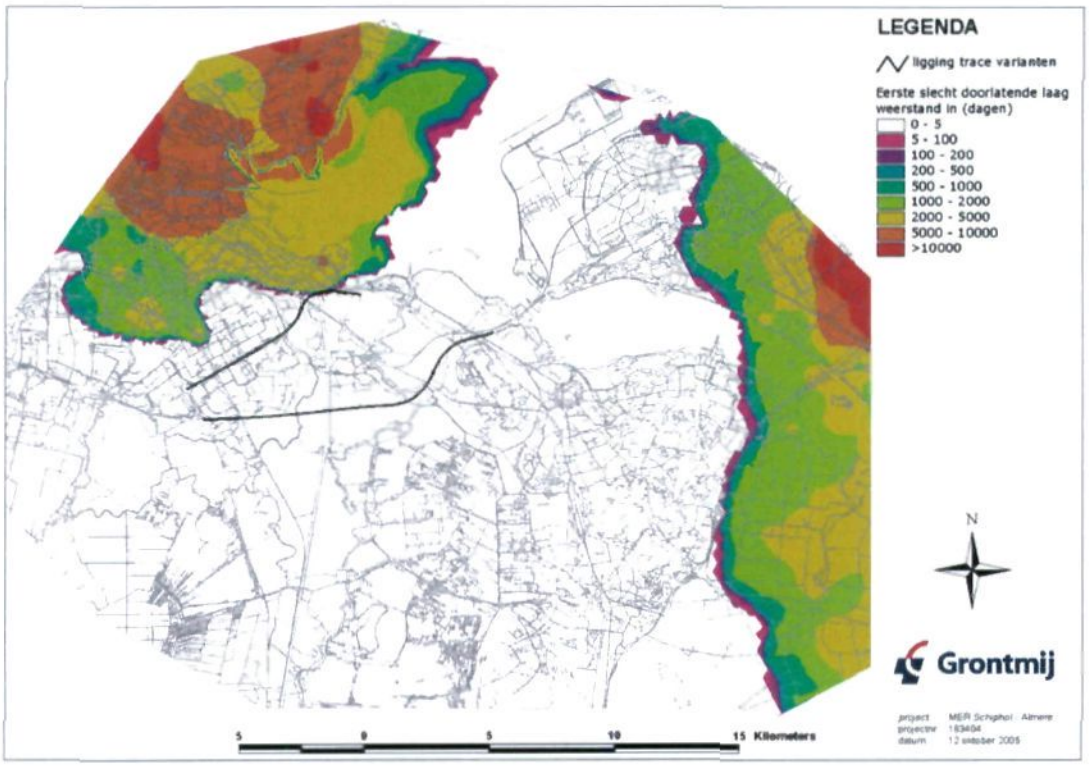
kD en c waarden modellagen

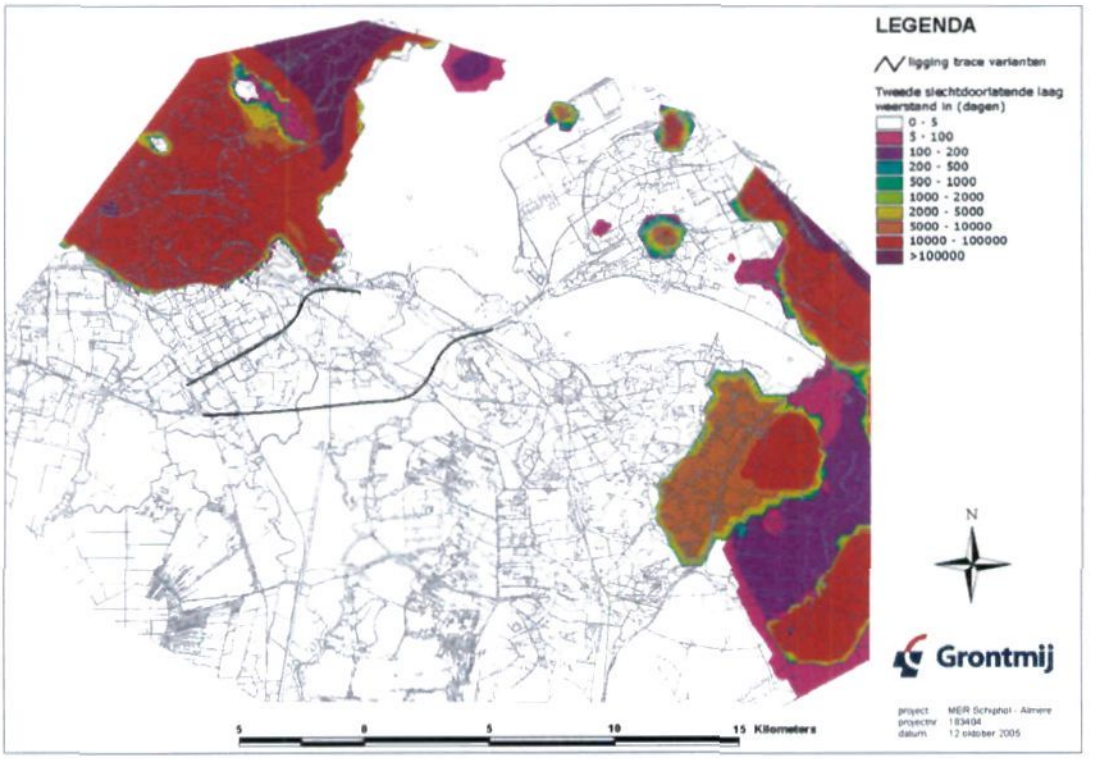
Bijlage 3

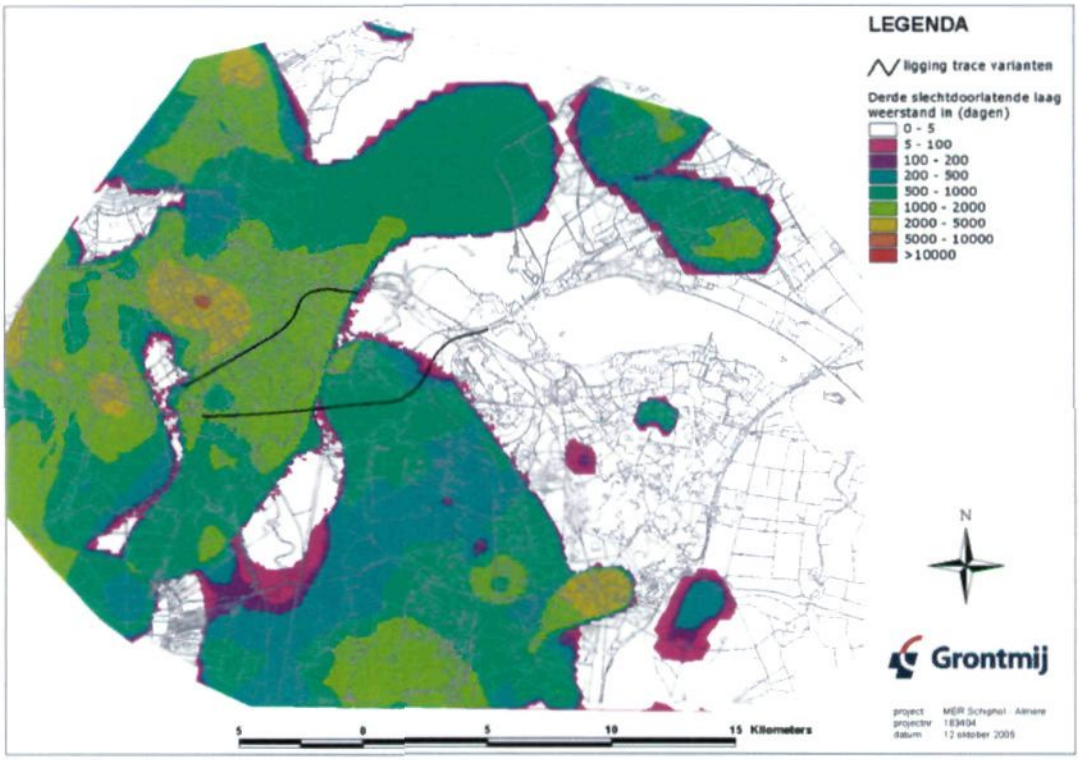
kD en c waarden modellagen

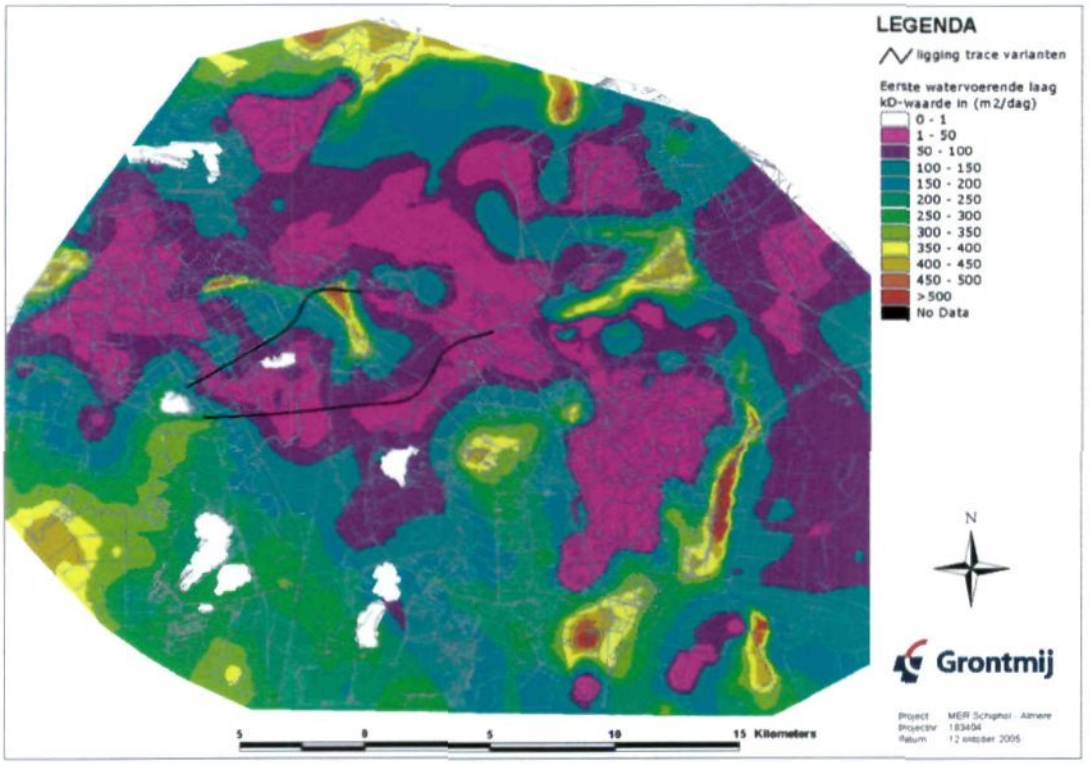


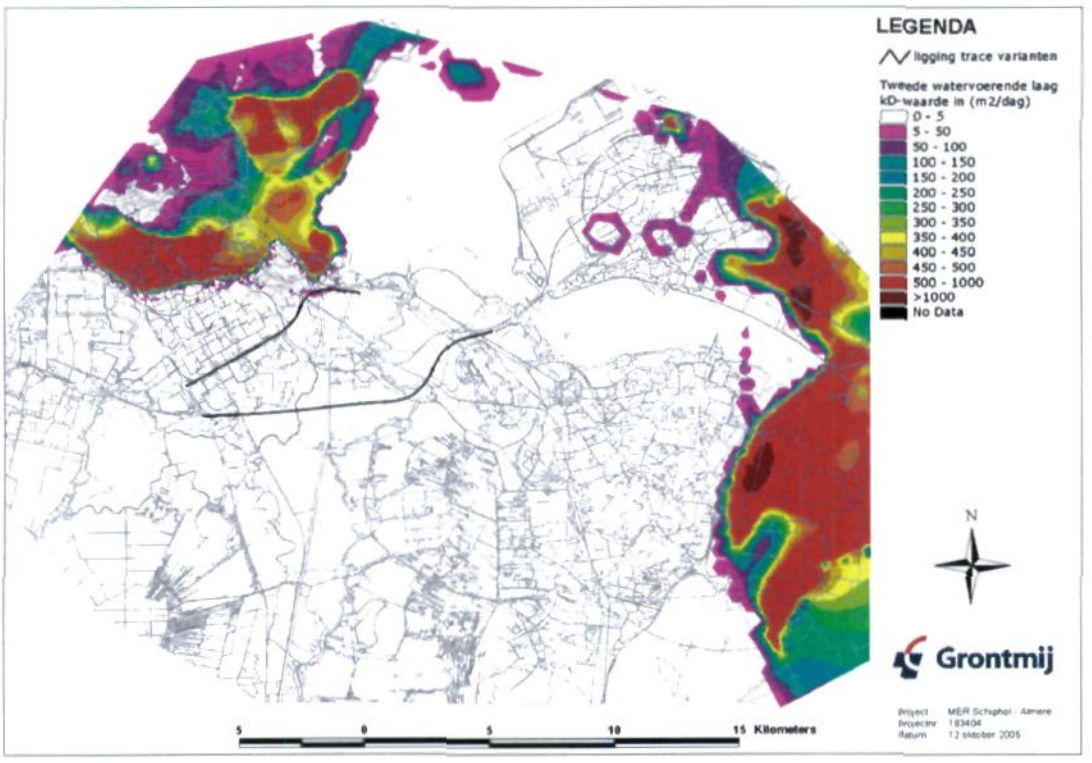


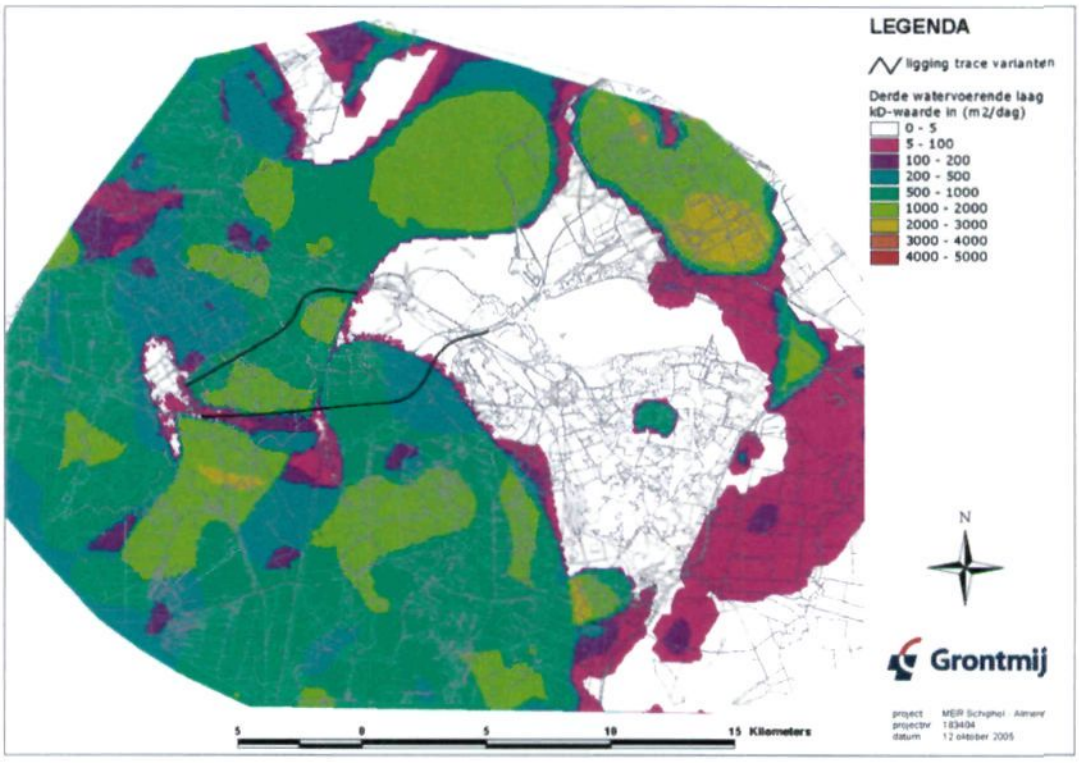

LEGENDA
ligging trace varianten
Eerste slecht doorlatende laag
weerstand in (dagen)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 5000
5000 - 10000
>10000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers
project MER Schiphol - Almere
projectnr 183404
datum 12 oktober 2005

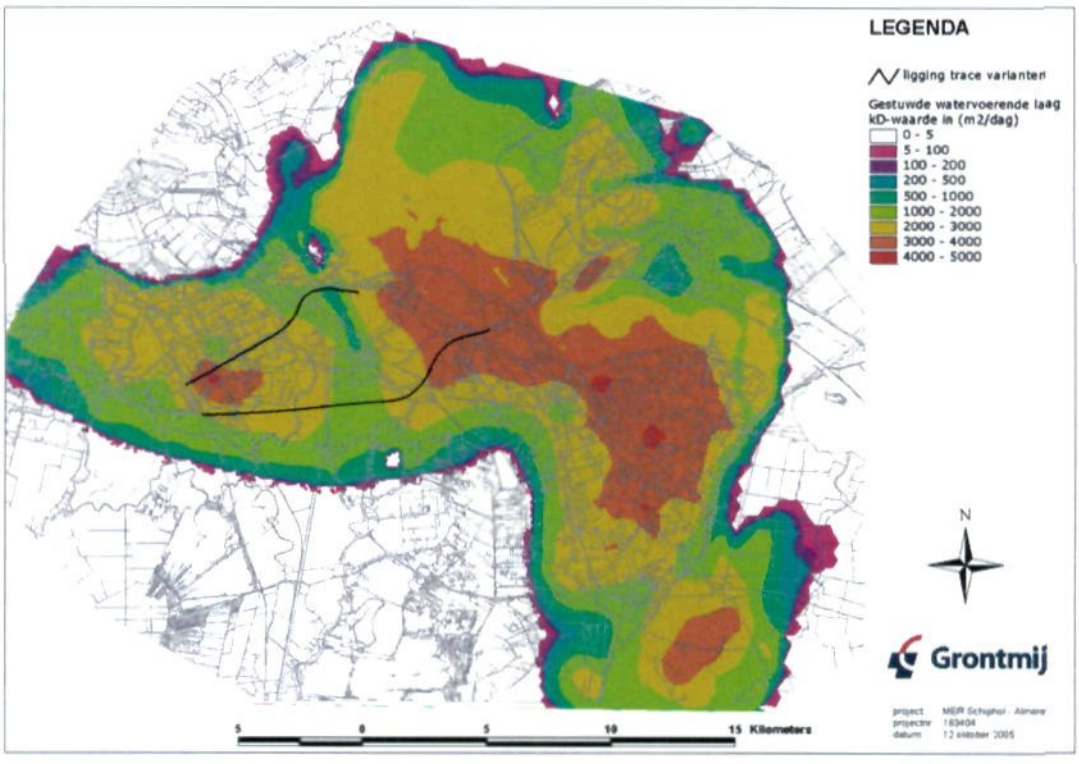

LEGENDA
ligging trace varianten
Tweede slechtdoorlatende laag
weerstand in (dagen)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 5000
5000 - 10000
10000 - 100000
>100000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers
project MER Schiphol - Almere
projectnr 183404
datum 12 oktober 2005

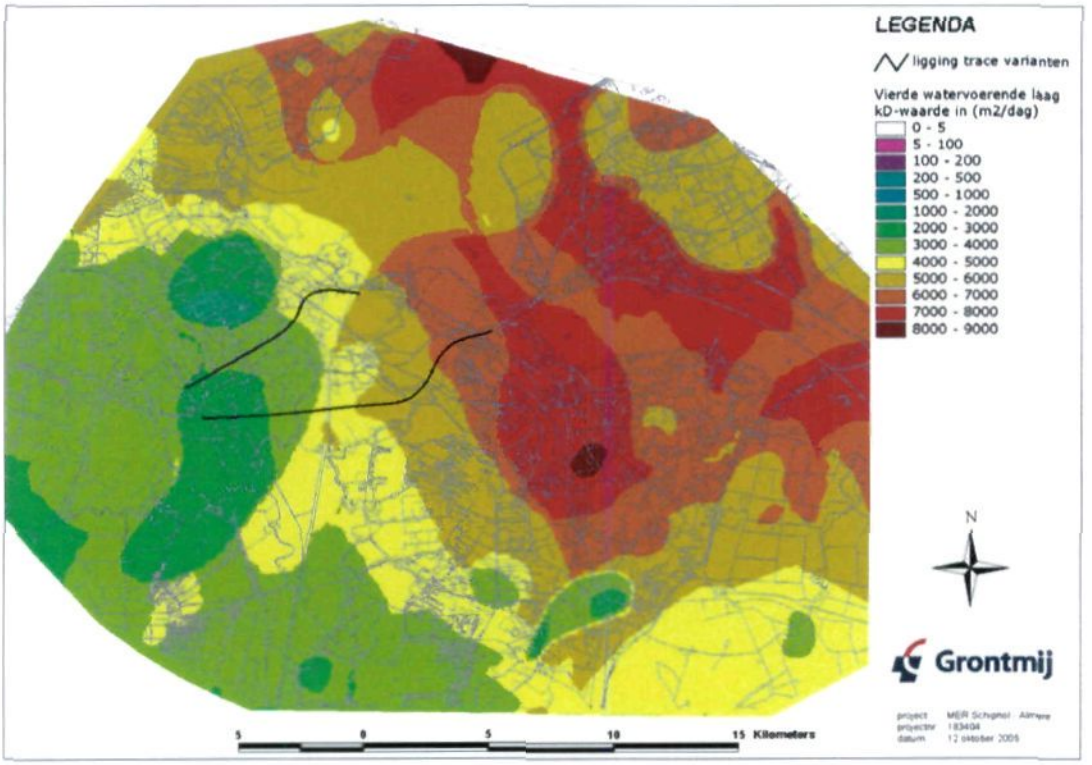

LEGENDA
ligging trace varianten
Derde slechtdoorlatende laag weerstand in (dagen)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 5000
5000 - 10000
>10000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers
project MER Schiphol - Almere
projectnr 183404
datum 12 oktober 2005


LEGENDA
ligging trace varianten
Eerste watervoerende laag
kD-waarde in (m2/dag)
0 - 1
1 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
200 - 250
250 - 300
300 - 350
350 - 400
400 - 450
450 - 500
>500
No Data
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers


LEGENDA
ligging trace varianten
Tweede watervoerende laag
kD-waarde in (m2/dag)
0 - 5
5 - 50
50 - 100
100 - 150
150 - 200
200 - 250
250 - 300
300 - 350
350 - 400
400 - 450
450 - 500
500 - 1000
>1000
No Data
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers


LEGENDA
ligging trace varianten
Derde watervoerende laag
kD-waarde in (m2/dag)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 3000
3000 - 4000
4000 - 5000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers


LEGENDA
ligging trace varianten
Gestuwde watervoerende laag
kD-waarde in (m2/dag)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 3000
3000 - 4000
4000 - 5000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers

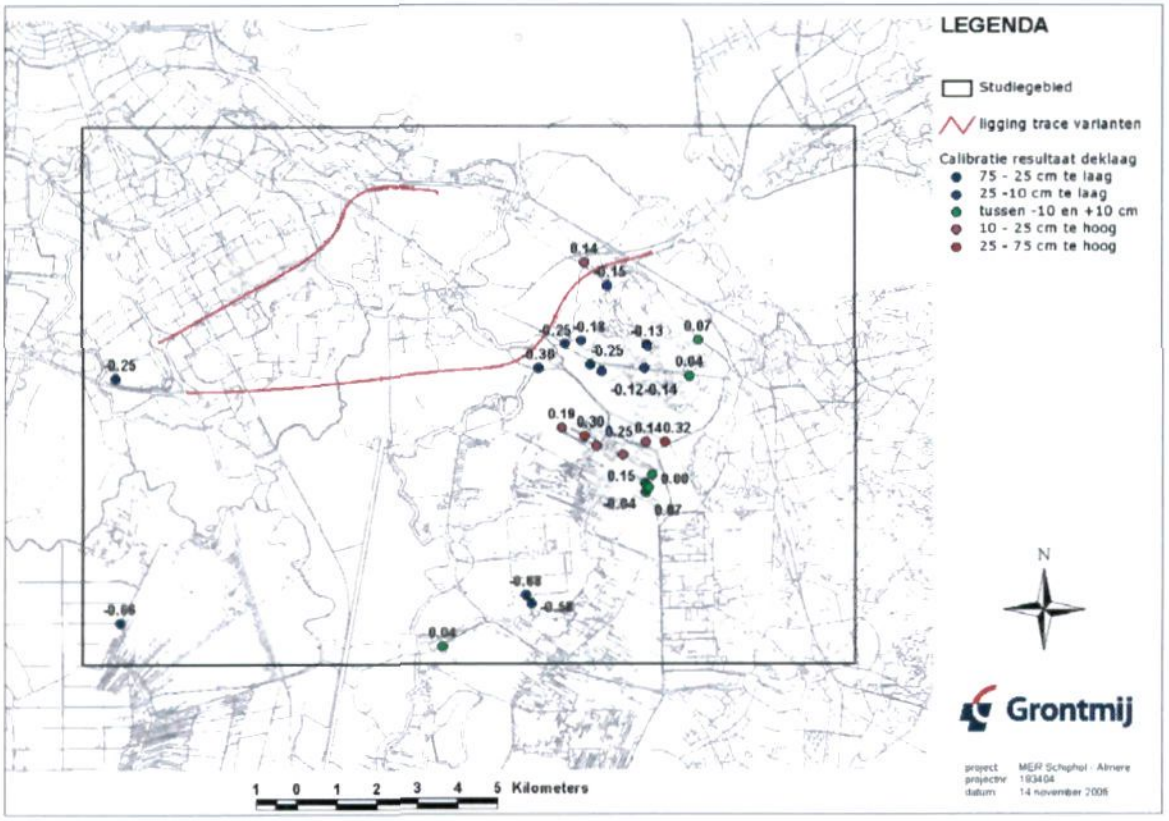

LEGENDA
ligging trace varianten
Vierde watervoerende laag
kD-waarde in (m2/dag)
0 - 5
5 - 100
100 - 200
200 - 500
500 - 1000
1000 - 2000
2000 - 3000
3000 - 4000
4000 - 5000
5000 - 6000
6000 - 7000
7000 - 8000
8000 - 9000
N
Grontmij
5 0 5 10 15 Kilometers

Bijlage 4

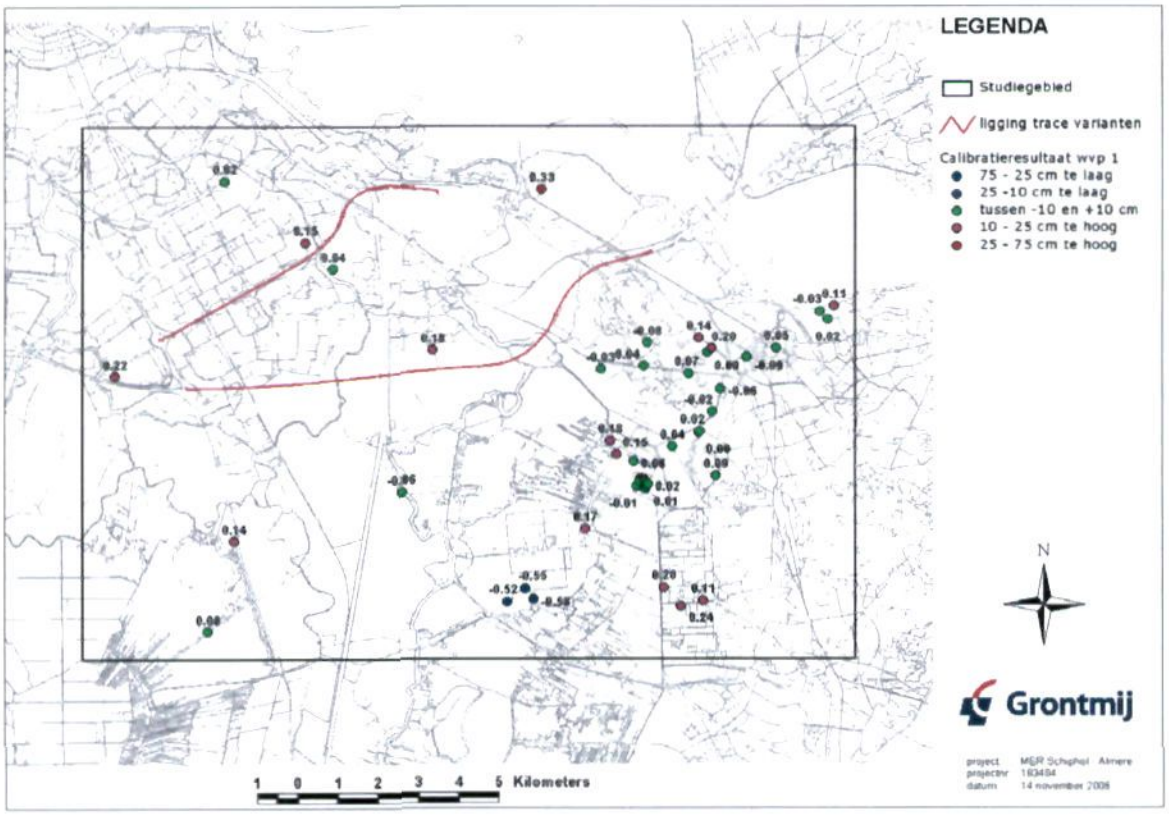
Calibratie resultaat

Bijlage 4

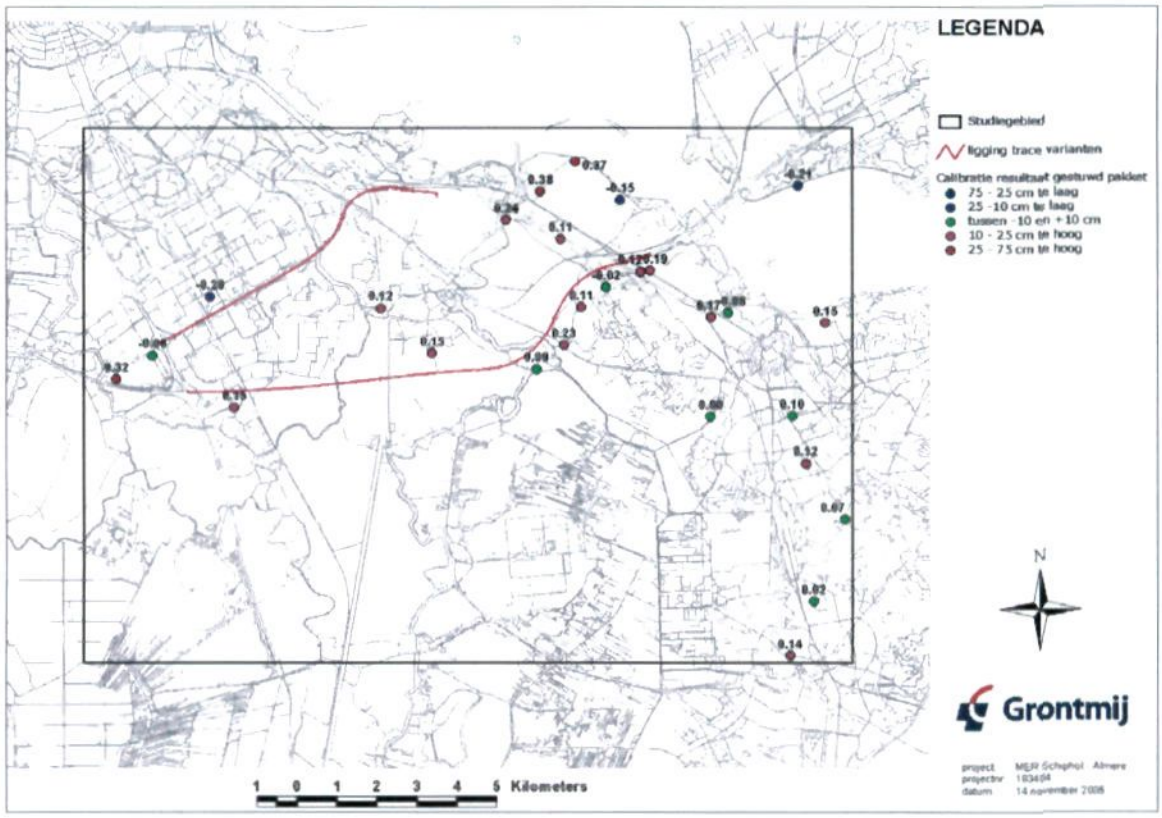
Calibratieresultaat



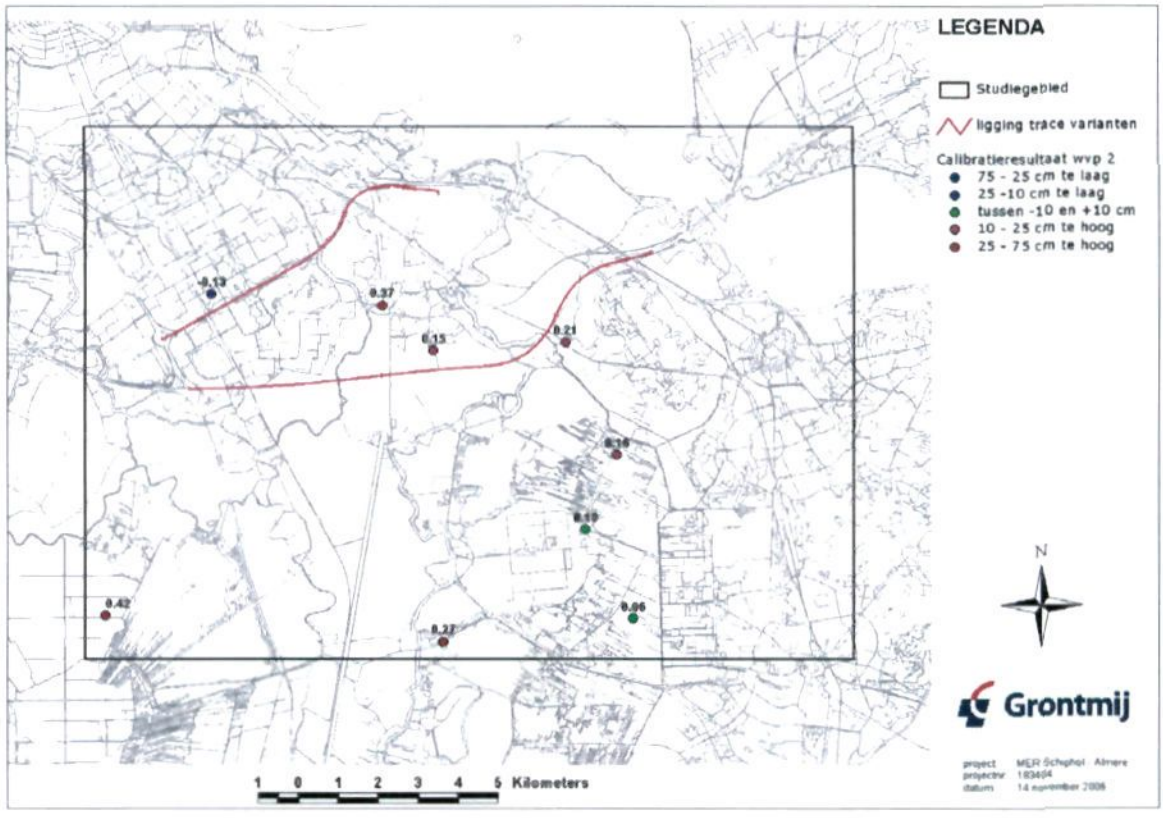
Calibratieresultaat peilbuizen in holocene deklaag



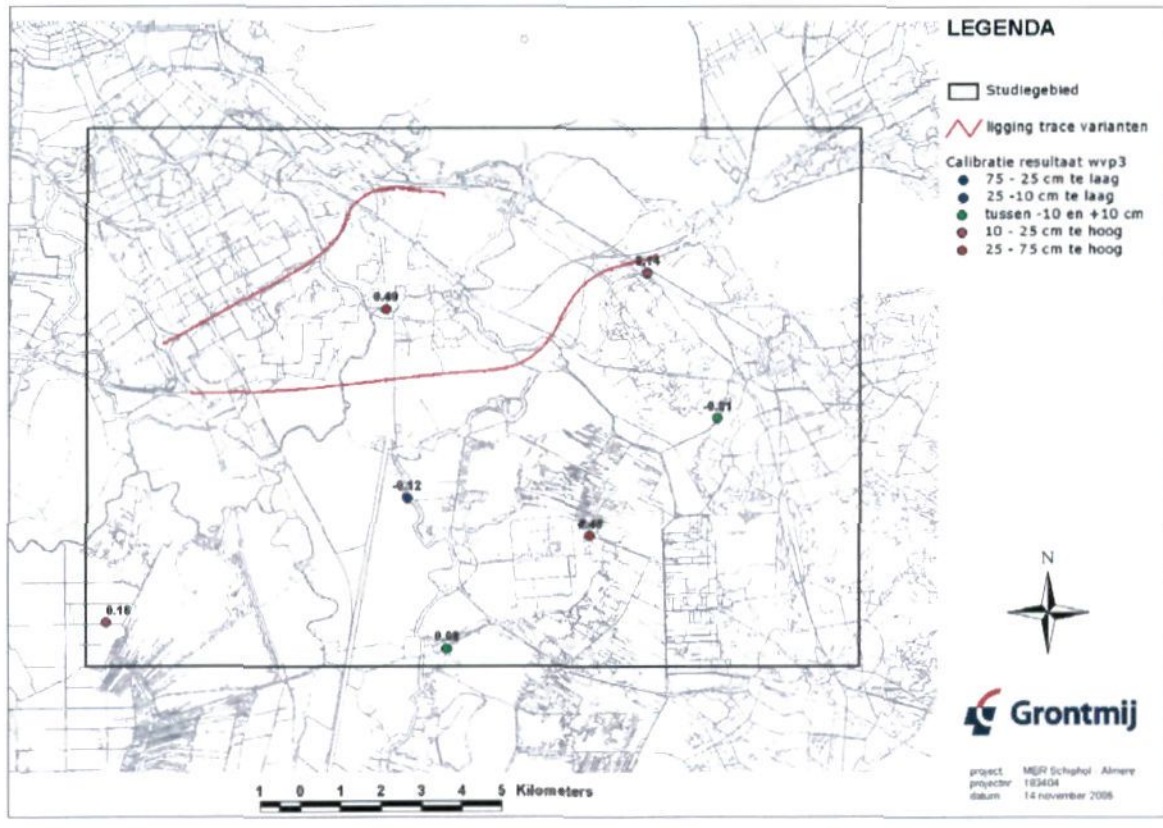
Calibratieresultaat peilbuizen in wvp 1



Calibratieresultaat peilbuizen in gestuwde pakket



Calibratieresultaat peilbuizen in wvp 2



Calibratieresultaat peilbuizen in wvp 3