

Kalibratie model Kruisland

1. Methodiek

Monte Carlo

Het model Kruisland is net als het Brabantmodel gekalibreerd gebruik makend van Monte Carlo gevoeligheidsanalyse. Bij een Monte Carlo gevoeligheidsanalyse wordt een groot aantal berekeningen gedaan met parameterwaarden getrokken uit een kansverdeling. Meestal wordt gekozen voor een uniforme verdeling (zie voorbeeld figuur 1, de grijze balkjes met voor elke van de 10 parameterklassen 10% van de berekeningen). In het voorbeeld is een ijkfactor voor de weerstand van de Waalreklei 2 gekozen tussen 1,5 en 5.

Analyse van de beste resultaten geeft aanwijzingen voor hoe het model verbeterd kan worden. De beste resultaten worden bepaald op basis van de gemiddelde absolute afwijking in de meetpunten van de berekende waarden ten opzichte van de gemeten waarde. De afwijkingen worden bepaald met stationaire berekeningen die representatief zijn voor de gemiddelde situatie. In het voorbeeld van figuur 1 zijn de blauwe balkjes de beste berekeningsresultaten (MCbest) voor de ijkfactor Waalreklei 2. Het blijkt dat eigenlijk waarden uit de gehele verdeling vertegenwoordigd zijn in de beste berekeningen. Er worden dus geen aanwijzingen gevonden dat het model verbeterd kan worden door het bijstellen van deze parameter.

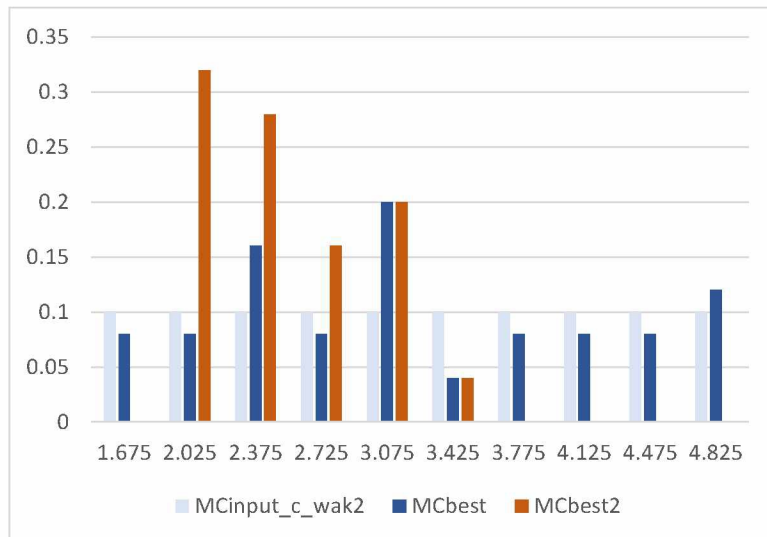
Bij de analyse kan gebruik gemaakt worden van weegfactoren. Zo zijn een aantal meetpunten waar grote afwijkingen ontstaan op de Brabantse Wal niet meegenomen bij de kalibratie door een weegfactor van 0 op te geven omdat gezien de grote afstand niet geprobeerd is de grondwaterstand op de Brabantse Wal sterk te verbeteren.

Voor de kalibratie is de ijkset van het Brabantmodel 2018 toegepast, de gemiddelde stijghoogte over de periode 2009-2016. Bij deze ijkset zijn weegfactoren geïntroduceerd met een waarde afhankelijk van de kwaliteit van de meetreeksen. Er is voor gekozen van deze weegfactoren bij de kalibratie van het Kruislandmodel geen gebruik te maken vanwege de verwachting dat het al of niet gebruik maken van deze factoren het resultaat van de kalibratie slechts in geringe mate zou beïnvloeden.

Voorafgaand aan een Monte Carlo gevoeligheidsanalyse wordt eerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij steeds 1 parameter wordt gevarieerd zodat bekend is hoe elke parameter het modelresultaat in de meetpunten beïnvloed. Het kan zijn dat een parameter die wordt gevarieerd bij de Monte Carlo analyse in het gehele model invloed heeft, het kan ook zo zijn dat slechts een klein deel van het model en dus een klein deel van de meetpunten beïnvloed wordt.

Dit blijkt het geval bij de voorbeeld parameter; slechts in een deel van de meetpunten worden de modeluitkomsten beïnvloed door de parameter. Dit blijkt als de beste berekeningen worden geselecteerd voor deze parameter als alleen de meetpunten waar de parameter invloed heeft worden toegepast, de rode balkjes in figuur 1. De hoogste parameterklassen en de laagste komen niet voor. Het ligt hier voor de hand bij de keuze van de parameterwaarde hier rekening mee te houden. Er moet wel getoetst worden of hierdoor het model ook werkelijk verbetert. De rode en blauwe balkjes kunnen ook

tegenstrijdige informatie bieden, bijvoorbeeld een hoge factorwaarde in de meetpunten waar de parameter veel invloed heeft en een lage waarde voor alle meetpunten. Dit is meestal een aanwijzing dat een andere zonering voor de ijkparameter gekozen moet worden.



Figuur 1 Monte Carlo analyse ijkfactor Waalreklei 2; horizontaal de parameterverdeling van de ijkfactor verdeeld in 10 klassen. De waarde langs de as is het midden van de klasse. Verticaal het aandeel berekeningen met een parameterwaarde in de betreffende klasse.

De gebruiker maakt dus zelf keuzen op basis van aanwijzingen uit de analyse en toetst die door een berekening uit te voeren met de uit de analyse gekozen parameterwaarden. De methodiek is geen automatische optimalisatie.

Om deze reden wordt aanvullend een genetisch algoritme ingezet (methode ontwikkeld door Kees Vink, Waterschap Brabantse Delta) om aanvullend op de Monte Carlo analyse een automatische optimalisatie toe te passen.

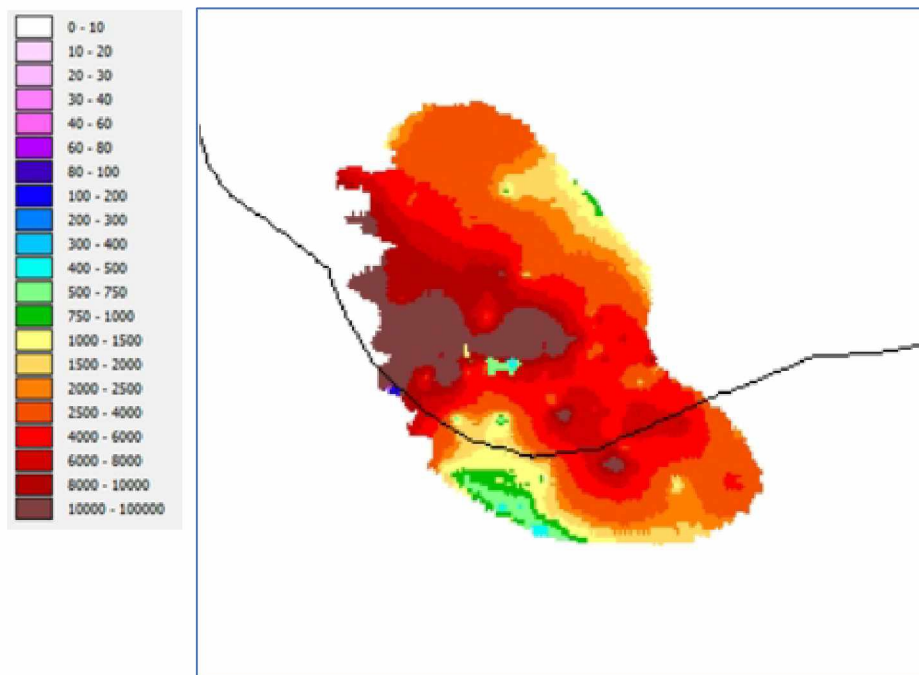
Genetisch Algoritme

Het genetisch algoritme werkt met 2 fasen (lit...). De eerste fase is vergelijkbaar met een Monte Carlo, waarbij parameterwaarden worden getrokken uit een verdeling en doorgerekend. In de 2^{de} fase worden steeds parametercombinaties die goede resultaten geven (ouders) gekruist tot een nieuwe generatie van parametercombinaties (kinderen) en doorgerekend. Van elke generatie worden de beste combinaties geselecteerd om weer een nieuwe generatie te maken. Naast de beste combinaties worden ook parameter combinaties toegevoegd die eerder zijn afgevallen om een nieuwe generatie te genereren. Dit wordt gedaan om te voorkomen dat het proces in een lokaal optimum terecht komt en hier niet meer uit komt.

Bij het toepassen van het genetisch algoritme zijn er twee doelen, de gemiddelde absolute afwijking in de metingen en de gemiddelde verandering van de parameterwaarde ten opzichte van de basiswaarden.

2. Kalibratieparameters

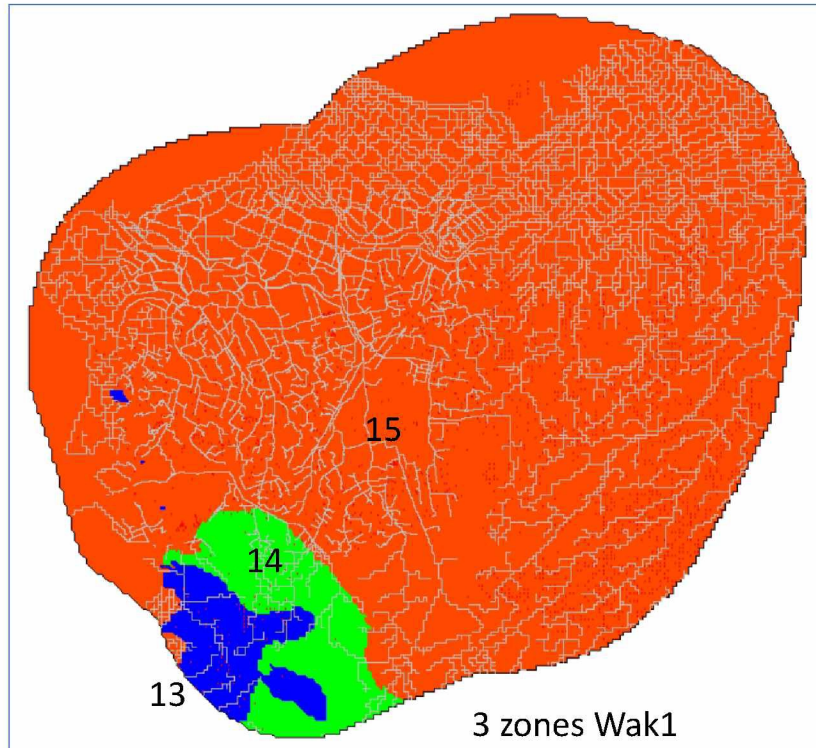
Belangrijker dan de methodiek is welke parameters geoptimaliseerd worden en hoe deze gezoneerd worden. Het doel van de kalibratie is immers het zoveel mogelijk verkleinen van de gemiddelde absolute afwijking waarbij er geen structurele afwijkingen meer zijn. In eerste instantie is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij een aantal parameters onderzocht zonder te zoneren, behalve de weerstand van de Waalreklei 1. Voor de Waalreklei 1 is vanaf het begin van de kalibratie een zonering toegepast vanwege het feit dat als bron voor de weerstand ter plaatse van de Brabantse Wal niet REGIS is toegepast maar de weerstand zoals deze bepaald is in eerdere studies op de Brabantse Wal en de Kalmthoutse Heide.



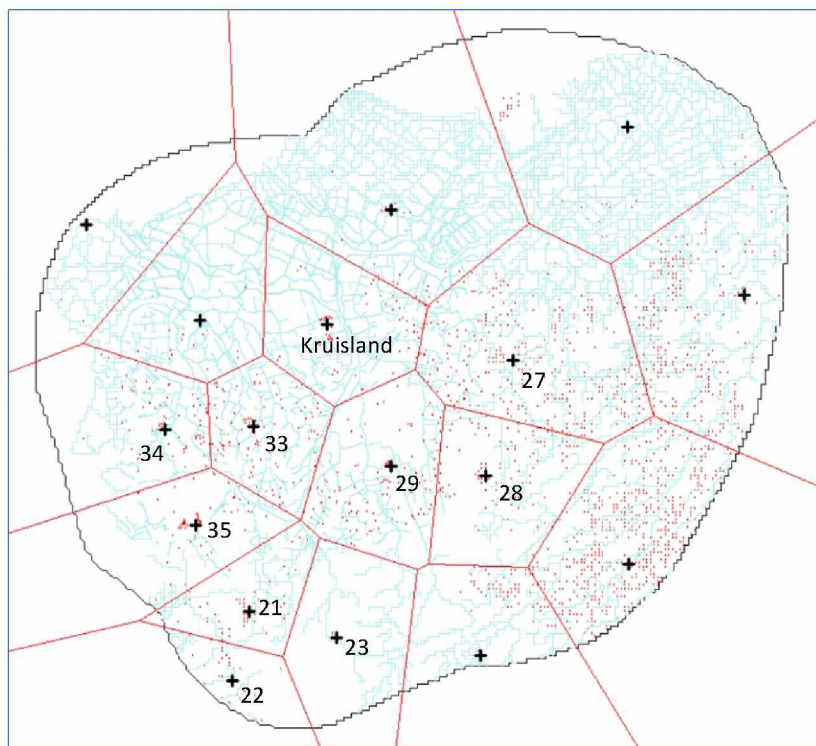
Figuur 2. Weerstand schijnspiegel laag [d] Brabantse Wal (Wak1) uit eerdere studies

Voor de Waalreklei zijn drie zones aangehouden, zie figuur 3, het deel van de Brabantse Wal waar de stijghoogte onder de Waalreklei lager ligt dan de basis van de Waalreklei (schijnspiegel; zone 13), het overige deel waar de weerstand uit figuur 2 is toegepast (zone 14) en de rest (15).

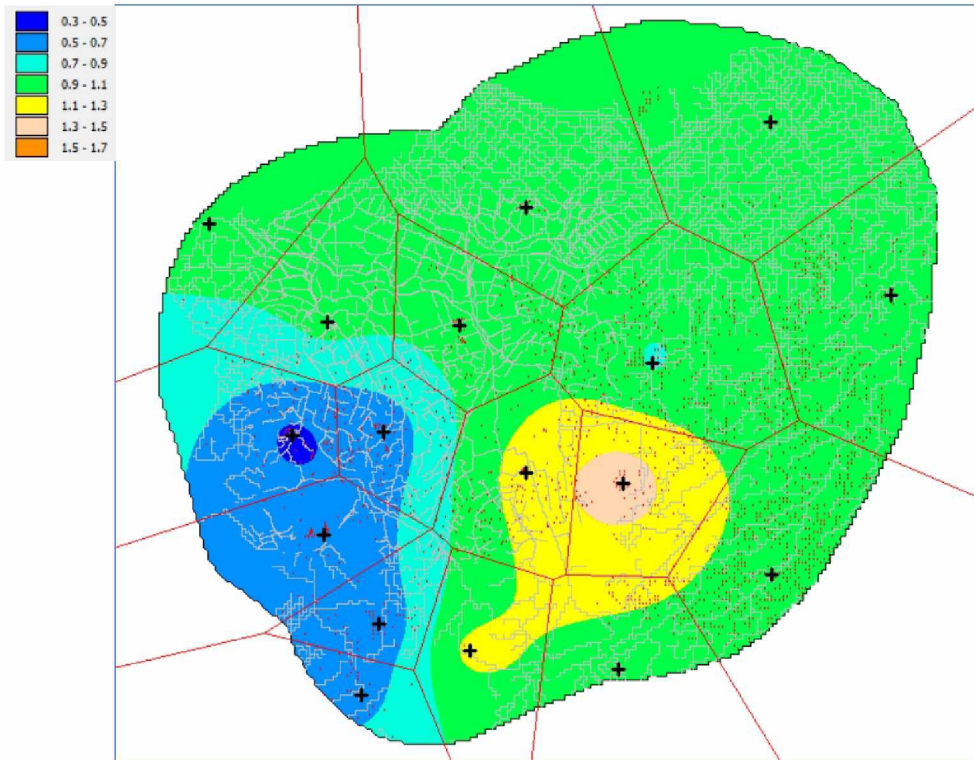
Na de eerste verkennende berekeningen (een eerste Monte Carlo) bleken nog structurele afwijkingen in het model aanwezig ten noordwesten van de Turfvaart boven de Waalreklei en in het diepe pakket met de winningen (Zanden van Oosterhout). Met 1 kalibratiefactor voor het diepe watervoerende pakket bleek het niet mogelijk de juiste "pompkegels" bij alle winningen te berekenen. Ten behoeve van de kalibratie is het diepe pakket in zones verdeeld met een eigen kalibratiefactor, zie figuur 4. Deze zones zijn Thiessen-polygoonen rond de winningen. Na de kalibratie zijn de ijkwaarden aan de punten in de zones toegekend en zijn de factorwaarden geïnterpoleerd, zie figuur 5. Door de geïnterpoleerde ijkfactoren toe te passen ontstaan er geen abrupte overgangen ter plaatse van de zonegrenzen. Er is gecontroleerd of de kalibratiestatistieken veranderen door te interpoleren in plaats van te rekenen met de zonering. Dit blijkt te verwaarlozen.



Figuur 3. Drie zones Wak1 ten behoeve kalibratie



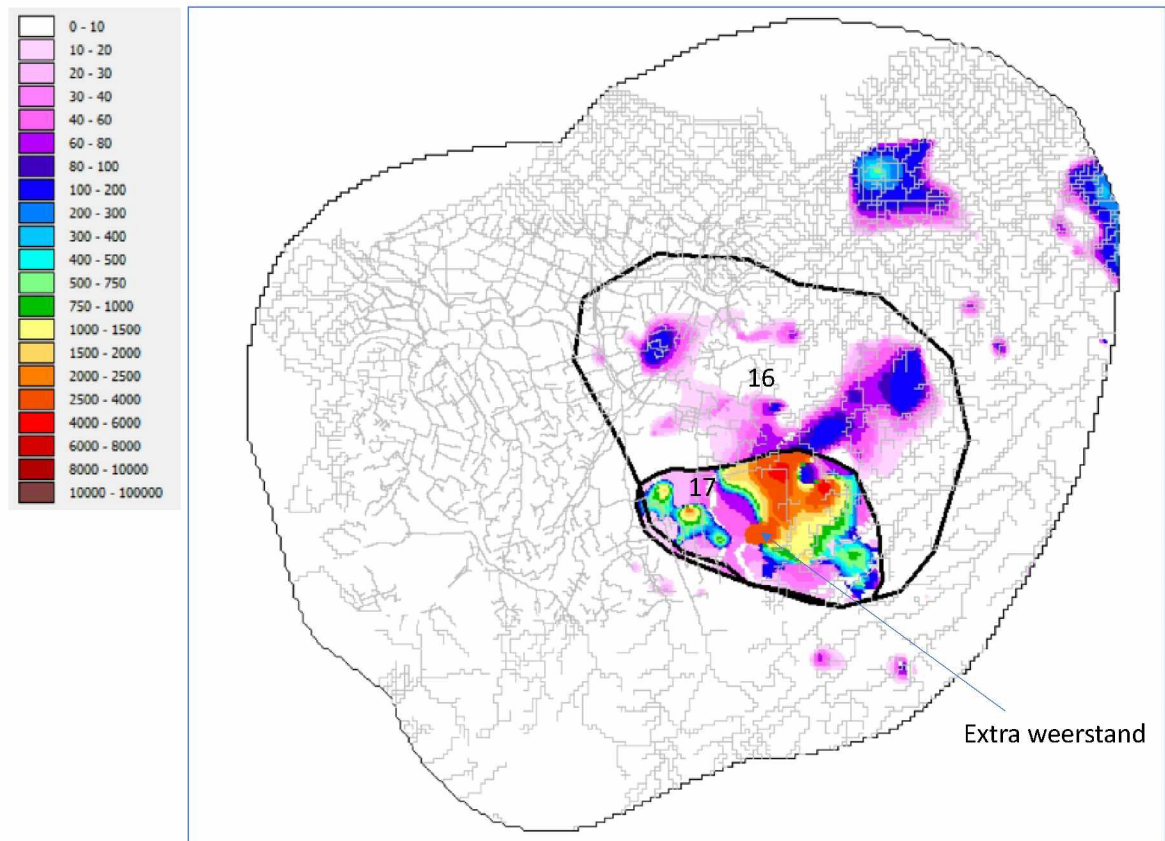
Figuur 4. Zones ten behoeve van de kalibratie voor het diepe watervoerende pakket met de winningen (modellaag 19 t/m 16). Zones zonder nummer zijn niet gevarieerd (ijkfactor = 1)



Figuur 5 IJkfactor diepe watervoerende pakket na kalibratie geïnterpoleerd.

Ten noordwesten van de Turfvaart bleken in de eerste resultaten nog grote afwijkingen voor te komen boven de Waalreklei. In meerdere meetpunten werd de stijghoogte meer dan 1,5 meter te laag berekend. Deze afwijking was niet te verkleinen door het doorlaatvermogen in de ondiepe lagen te verkleinen, deze is al erg laag. Wel bleken de afwijkingen te verkleinen door de weerstand van de Stramproy-klei te verhogen in zone 17, weergegeven in figuur 6. De locaties van de meetpunten met een te laag berekende stijghoogte komen goed overeen met het voorkomen van de Stramproy-klei, behalve ter plaatse van de pijl in figuur 6. Hier is lokaal extra weerstand aan het model toegevoegd.

Er is een fors hogere weerstand nodig om het model goed te krijgen. Desalniettemin is er toch voor gekozen de hogere weerstand toe te passen, omdat het voorkomen van de te lage resultaten in de meetpunten zo goed aansluit bij het voorkomen van de Stramproy-klei. Mogelijk is door de permanente infiltratie en de lage stijghoogte ten gevolge van de winningen de kleilaag enigszins verstopt en/of heeft consolidatie opgetreden. Een hogere weerstand blijkt in zone 16 niet nodig om een goed modelresultaat te verkrijgen.



Figuur 6, Weerstand Stramproy-klei na kalibratie en zonering kalibratie

3. Kalibratieresultaat

De kalibratie heeft in twee stappen plaatsgevonden. In de eerste stap is zowel een Monte Carlo analyse uitgevoerd als een optimalisatie met het genetisch algoritme. In de tweede stap is alleen geoptimaliseerd met het genetisch algoritme.

Stap 1

In tabel 1 zijn de parameters vermeld die gevarieerd zijn om het model te verbeteren. De parameters die ruimtelijk in verschillende zones zijn verdeeld zijn besproken in de paragraaf 2. Een basisberekening met alleen ijkfactoren van 1, parameterwaarden zoals die in REGIS terug te vinden zijn leidt tot een gemiddelde afwijking van -0,28 m en een absoluut gemiddelde afwijking van 0.68 m.

Op basis van een aantal voorafgaande gevoeligheidsanalyses is voor een aantal parameters al een hogere waarde als basiswaarde voor deze stap in de kalibratie gevonden. Opvallend zijn hoge waarden voor de weerstand van Wak1 (zone 13 en 14) en de Stramproy-klei (zone 17).

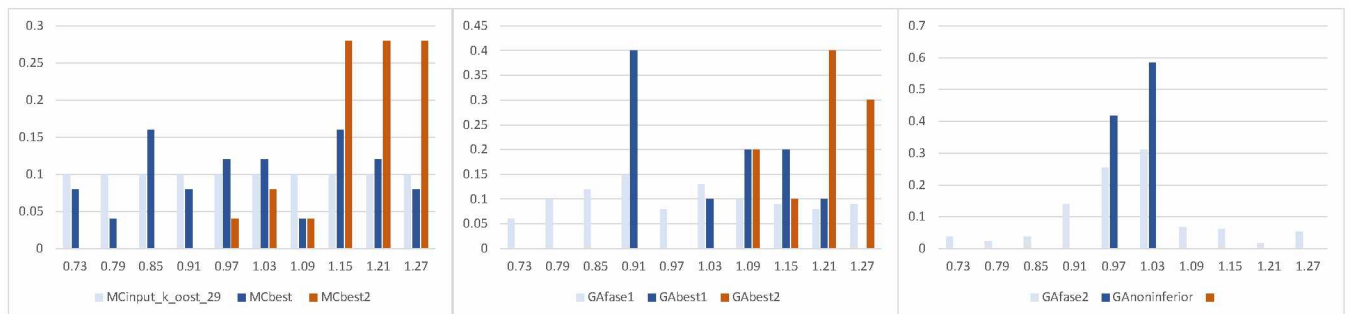
Tabel 1 Ijkfactoren voor de verschillende parameters

parameter	zone	min	max	basiswaarde	MCkeuze	GA
k_ooc	2	0.5	1.5	1	1	1.011
k_kiez	4	0.7	1.3	1	1	0.989
k_maassl2	5	0.7	1.3	1	1	1.004
k_ms_pw	6	0.7	1.3	1	1	0.95
k_pw	7	0.7	1.3	1	1	1.055
k_sy	8	0.3	1.3	1	1.2	0.941
c_oosterhout	9	1	2.5	1.75	1.7	1.829
c_msk2	10	0.5	2	1	1	1.125
c_msk1	11	1	2.5	1.5	1.5	1.501
c_wak2	12	1.5	5	2	2	1.994
c_wak1_u	13	2	5	4.5	4.25	3.819
c_wak1_bw	14	1	2	1.5	1.55	1.491
c_wak1	15	7	11	9	9.8	8.742
c_sy_z1	16	1	2	1	1	1
c_sy_z2	17	23	30	25	30	24.947
k_oosterhout_21	21	0.5	1.3	0.7	0.5	0.669
k_oosterhout_22	22	0.5	1.3	0.8	0.6	0.699
k_oosterhout_23	23	0.7	1.3	1	1.2	1.214
k_oosterhout_27	27	0.8	1	0.9	0.86	0.895
k_oosterhout_28	28	1	1.7	1.3	1.5	1.296
k_oosterhout_29	29	0.7	1.3	1	1.25	0.996
k_oosterhout_33	33	0.2	0.8	0.5	0.52	0.522
k_oosterhout_34	34	0.2	0.8	0.5	0.43	0.388
k_oosterhout_35	35	0.3	1	0.6	0.54	0.589

Voor de Monte Carlo analyse zijn 400 berekeningen uitgevoerd. Met het genetisch algoritme voor fase 1 100 berekeningen en voor fase 2, 600 berekeningen. Van alle berekeningen zijn in figuur 7 de modelafwijkingen uitgezet tegen de factor in parameterafwijking ten opzichte van de basiswaarden. Dit zijn de twee doelen die geoptimaliseerd worden. Het beste resultaat heeft de kleinste modelafwijking in combinatie met de meest geringe parameteraanpassingen.

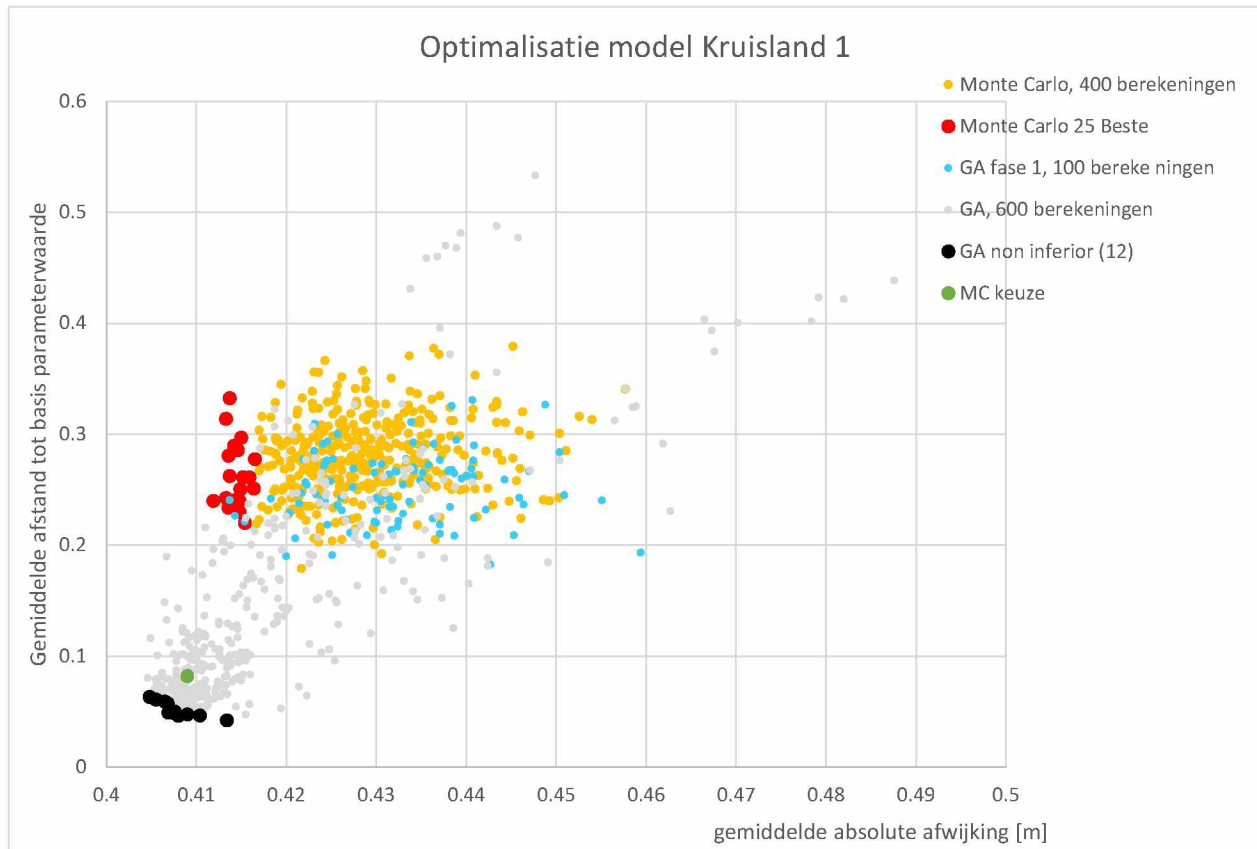
De gele wolk met punten representeren de 400 berekeningen van de Monte Carlo. De 25 beste berekeningen zijn rood weergegeven.

In bijlage 1 zijn de grafieken weergegeven op basis waarvan een parametercombinatie gekozen wordt uit de 25 beste resultaten. Het gaat dan om de linker rij met grafieken. Een voorbeeld is hieronder in figuur 7 gegeven. De middelste en rechter grafieken behoren bij het genetisch algoritme. Een aantal van de parameters wordt in de beste berekeningen afgebakend, de verdeling van de beste resultaten kent een kleinere bandbreedte dan de oorspronkelijke bandbreedte. Voor een aantal parameters geldt dat met name als gekeken wordt naar de rode balkjes, zoals in het voorbeeld van figuur 7.



Figuur 7 Analyse van de beste resultaten voor de k-waarde van Oosterhout (zone 29) in stap 1 van de kalibratie

Na het analyseren van de grafieken in bijlage 1 is een parametercombinatie gekozen (MCkeuze) waarvan het resultaat met een groene stip is weergegeven.



Figuur 8. Resultaat optimalisatie stap 1

Met het genetisch algoritme hoeft de modelleur niet zelf een keuze te maken. De blauwe stippen beschrijven de puntenwolk van de eerste fase van het programma, vergelijkbaar met de Monte Carlo. Omdat deze fase vergelijkbaar is met de Monte Carlo zijn ook voor deze berekeningen de beste resultaten geanalyseerd, omdat er minder berekeningen zijn gedaan dan voor de Monte Carlo zijn de 10 beste geanalyseerd, de middelste grafieken in bijlage 1 en figuur 7.

Het gaat echter om de tweede fase, de grijze punten met aan de rand van de puntenwolk de beste parametercombinaties, in dit geval 12 zogenaamde “non inferior” resultaten. Het algoritme itereert naar een smalle bandbreedte voor de parameters. De beste parametercombinatie is opgenomen in tabel 1.

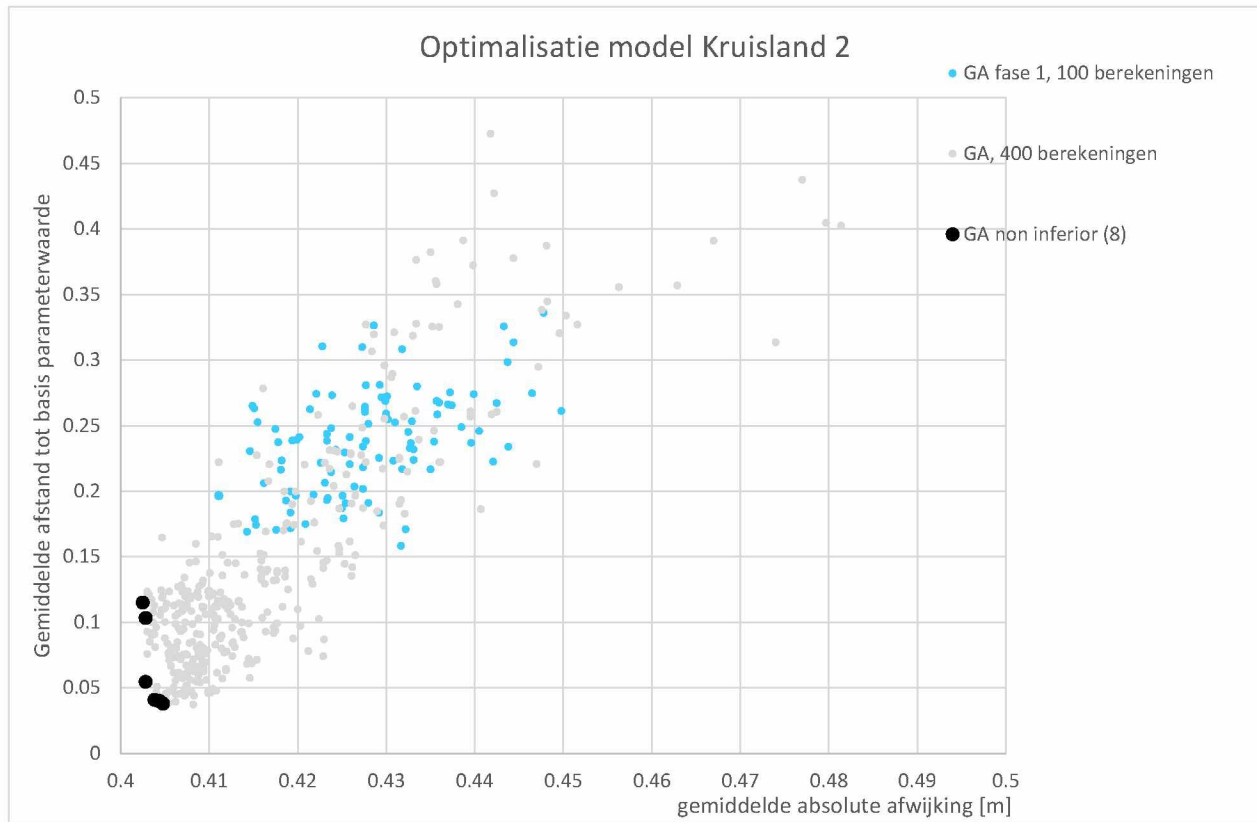
Het grote verschil tussen de gekozen parameters in “MCkeuze” en het optimum van het genetisch algoritme treedt op bij die parameters waarbij de waarde van de parameter bij de Monte Carlo is gekozen op basis van de “rode balkjes” zoals het voorbeeld in figuur 7. De parameter heeft maar in een beperkt aantal meetpunten effect en een afbakening van de parameterwaarde wordt gevonden als alleen de afwijkingen in deze meetpunten worden geanalyseerd. Op basis van de “rode balkjes” wordt voor deze parameter een waarde van 1,25 gekozen. Het genetisch algoritme vindt een waarde van 1.

Stap 2.

Om deze reden is met het genetisch algoritme nogmaals een berekening gedaan waarbij de “basiswaarden” zijn aangepast aan de bevindingen uit de Monte Carlo analyse. Zo is voor de basiswaarde van k_oosterhou_29 een waarde van 1,25 aangehouden. Een waarde die bij de optimalisatie niet meer wordt aangepast omdat slechts een gering aantal metingen door de parameter wordt beïnvloed.

Tabel 2 IJkfactoren voor de parameters in stap 2 van de kalibratie

parameter	zone	min	max	basiswaarde	GA
k_ooc	2	0.5	1.5	1	0.997
k_kiez	4	0.7	1.3	1	1
k_maassl2	5	0.7	1.3	1	1.047
k_ms_pw	6	0.7	1.3	1	0.991
k_pw	7	0.7	1.3	1	0.986
k_sy	8	0.7	1.5	1.25	1.29
c_oosterhout	9	1	2.5	1.75	1.871
c_msk2	10	0.5	2	1	0.987
c_msk1	11	1	2.5	1.5	1.874
c_wak2	12	1	3	1.5	1.592
c_wak1_u	13	2	5	4.25	3.387
c_wak1_bw	14	1	2	1.5	1.477
c_wak1	15	7	11	9.6	9.173
c_sy_z1	16	1	2	1	1
c_sy_z2	17	23	30	28	28.008
k_oosterhout_21	21	0.5	1.3	0.6	0.598
k_oosterhout_22	22	0.5	1.3	0.6	0.567
k_oosterhout_23	23	0.7	1.3	1.25	1.183
k_oosterhout_27	27	0.8	1	0.9	0.888
k_oosterhout_28	28	1	1.7	1.5	1.494
k_oosterhout_29	29	0.7	1.3	1.25	1.251
k_oosterhout_33	33	0.2	0.8	0.5	0.517
k_oosterhout_34	34	0.2	0.8	0.5	0.456
k_oosterhout_35	35	0.3	1	0.5	0.566



Figuur 9. Resultaat van optimalisatie in kalibratiestap 2 met gebruik van genetisch algoritme

Tabel 3 Bepaalde gemiddelde afwijking en gemiddelde absolute afwijking in kalibratiestap 1 en 2

	gemiddeld afwijking	gemiddelde absolute afwijking
MCkeuze	-0.082	0.409
GA stap 1	-0.068	0.405
GA stap 2	-0.073	0.403

Bijlage 1

Grafieken Gevoeligheidsanalyse



