

---

## Drainage +

# Peilgestuurde drainage als alternatief voor klassieke drainage

(Bijlage 2 bij het eindverslag KML 15-05)

---

Auteurs:	Elsen Frank, Tom Coussement
Rapportfase:	eindrapport
Rapportversie:	RappDrPlusJuni2019
Datum:	juni2019
Verspreiding:	BDB, ABC eco <sup>2</sup> , LEADER, belanghebbenden

---

### Realisatie:

Bodemkundige Dienst van België vzw  
W. de Croylaan 48  
3001 Leuven-Heverlee  
Tel.: +32 (0)16 31 09 22



i.s.m.

### Promotor:

Agrobeheercentrum Eco<sup>2</sup>  
Diestsevest 40  
3000 Leuven  
Tel.: +32 (0)16 28 64 64



Met steun van ELFPO

Europees Landbouwfonds  
voor Plattelandsontwikkeling:  
Europa investeert  
in zijn platteland



<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TERREINOPNAMES, WAARNEMINGEN, BASISGEGEVENS EN EERSTE VERWERKING</b>	<b>2</b>
2.1	INLEIDING	2
2.2	METEOROLOGIE	2
2.3	BODEM	3
2.3.1	<i>Bodemprofiel</i>	3
2.3.2	<i>Natuurlijke waterretentie</i>	6
2.3.3	<i>Capillaire nalevering en grondwaterpeilbeweging</i>	6
2.3.3.1	Werkingsprincipe	6
2.3.3.2	Meetprogramma doorlatendheid	7
2.3.3.3	Grondwaterpeilbeweging	7
2.3.3.4	Bespreking grondwaterpeilbeweging en doorgedreven verwerking	8
<b>3</b>	<b>SIMULATIES EN VERDERGAANDE DOORREKENING</b>	<b>12</b>
3.1	SELECTIE	12
3.2	SIMULATIES	12
3.2.1	<i>Methodes</i>	12
3.2.2	<i>Grondwaterpeilbeweging</i>	13
3.2.2.1	Perceel te BOCHOLT (575)	13
3.2.2.2	Perceel te BREE (574)	16
3.2.3	<i>Bodemwaterbalans, wateropname door de teelt, effect op de gewasopbrengsten</i>	18
3.2.3.1	Perceel te BOCHOLT (575)	18
3.2.3.2	Perceel te BREE (574)	20
<b>4</b>	<b>ANDERE EFFECTEN</b>	<b>22</b>
4.1	WATERCONSERVERING IN DE RUIME OMGEVING	22
4.2	OPPERVLAKTEWATERKWALITEIT EN -KWANTITEIT	23
<b>5</b>	<b>BESLUITEN</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>BIJLAGEN</b>	<b>25</b>
6.1	BODEMVOCHTRETENTIEKARAKTERISTIEKEN	25
6.2	HYDRAULISCH CONDUCTIVITEIT VAN DE B-HORIZONT OP OPGEVOLGDE PERCELEN.	29
6.3	METINGEN VAN DE GRONDWATERPEILEN IN DE PEILBUIZEN VAN DE OPGEVOLGDE PERCELEN	32
6.4	ONDERZOEK NAAR DE PERFORMANTIE VAN HET GRONDWATERMODEL (BDB EN KULEUVEN)	37
6.5	PERCEEL TE BOCHOLT (575): BEREKENING VAN DE VERSCHILLEN IN WATEROPNAME DOOR HET GRASLAND EN PRODUCTIE TUSSEN KLASSIEKE EN PEILGESTUURDE DRAINAGE	48
6.6	PERCEEL TE BREE (574): BEREKENING VAN DE VERSCHILLEN IN WATEROPNAME DOOR HET GRASLAND EN PRODUCTIE TUSSEN KLASSIEKE EN PEILGESTUURDE DRAINAGE	50

---

## **Lijst van figuren**

Figuur 1: Capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone bij indrogende bodem, schematisch	7
Figuur 2: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BREE (573)	8
Figuur 3: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BREE (574)	9
Figuur 4: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BOCHOLT (575)	10
Figuur 5: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te HAMONT-ACHEL (576)	10
Figuur 6: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te PELT (577)	11
Figuur 7: Factoren in de grondwaterpeilbeweging, schematisch	13
Figuur 8: Metingen en berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2 (ongedraineerd), perceel te Bocholt (575) gedurende de observatieperiode	14
Figuur 9: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, ongedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019	14
Figuur 10: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, klassiek gedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019	15
Figuur 11: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, peilgestuurd gedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019	15
Figuur 12: Metingen en berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB3 (ongedraineerd), perceel te Bree (574) gedurende de observatieperiode	16
Figuur 13: Berekend verloop van het grondwaterpeil, klassiek gedraineerd, centraal op het perceel te Bree (574) gedurende de periode 2007-juni 2019	17
Figuur 14: Berekend verloop van het grondwaterpeil, peilgestuurd gedraineerd, centraal op het perceel te Bree (574) gedurende de periode 2007-juni 2019	17
Figuur 15: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras in het ongedraineerde deel van het perceel (tot juni 2018) op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019	18
Figuur 16: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras, berekend ingeval van een peilgestuurde drainage op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019	19
Figuur 17: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras, berekend ingeval van een klassieke drainage op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019	19
Figuur 18: Evolutie van de droogtegevoeligheid van maïs in functie van groeicyclus	21
Figuur 19: Ligging van de gemonitorde peilbuis (PB) op ca. 100 m uit de peilgestuurde drainage te Kinrooi	22
Figuur 20: Effect van het openen van de peilgestuurde drainage in de gemonitorde peilbuis buiten de drainagezone	22

## 1 Inleiding

---

In dit document wordt verslag gegeven van de waarnemingen op een aantal geselecteerde percelen waar de klassieke drainage omgevormd werd naar peilgestuurde drainage in het kader van het Leader-project Drainage +.

De waarnemingen hebben betrekking op de beweging van het grondwater die beïnvloed wordt door de aard van de drainage, op een aantal bodemkarakteristieken, op de weersomstandigheden en het klimaatjaarverloop, en op de teelten

Deze waarnemingen lieten toe om aan de hand van inzicht en beschreven wetenschappelijke modellen effecten van de omvorming aan te tonen, en verdergaand voor een aantal gevallen ook te vertalen in de verduidelijking van win-situatie voor de landbouwbedrijven. Immers, indien peilgestuurde drainage op het landbouwbedrijf een toekomst heeft, zonder dat de overheid tussenkomt in financiering of wetgeving, dan moet de meerkost van een peilgestuurde drainage, hoe beperkt ook, kunnen terugverdiend worden.

Deze elementen worden ontwikkeld in de volgende hoofdstukken.

## 2 Terreinopnames, waarnemingen, basisgegevens en eerste verwerking

---

### 2.1 Inleiding

---

Het natuurlijke en landbouwkundige kader waarin de omvorming plaatsheeft wordt in volgende paragrafen gedocumenteerd, op basis van opgezochte en opgevraagde data en aan de hand van terreinopnames, bodemstaalnames en metingen. Het vormt de basis van de verdere verwerking in functie van de doelstellingen en de communicatie naar de landbouwbedrijven en betrokken beleidsinstanties.

### 2.2 Meteorologie

---

Een drainage heeft effect op de bodemwaterhuishouding, vanzelfsprekend naar ontwatering en toegankelijkheid van het perceel, maar ook naar waterbeschikbaarheid voor een gewas. Dit kan nagegaan worden door de ontwikkeling van een bodemwaterbalans.

De opmaak van de bodemwaterbalans vereist dat voldoende betrouwbare gegevens beschikbaar zijn m.b.t. de neerslag enerzijds en de gewasverdamping anderzijds.

De referentie voor de gewasverdamping wordt uitgewerkt volgens de benadering van Penman-Monteith (FAO, Allen R.G. et al., 1998; Raes D. et al., 2009), op basis van waarnemingen van de zgn. Penman-parameters: stralingsenergie, temperatuur, windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid. Er werd uitgegaan van uurlijkse waarnemingen van het KMI-station te Kleine Brogel voor een periode van meer dan 15 jaren (2004-juni 2019). Op deze basis werden dagwaarden van referentiegewasverdamping berekend gedurende deze periode. Deze referentie-evapotranspiratie is voldoende betrouwbaar voor een gehele regio.

Neerslag kan aanzienlijk ruimtelijk verschillen. Daarom werden waarnemingen (dagneerslagsommen) van 7 meer lokale waarnemingspunten in de omgeving opgezocht of opgevraagd:

- Kleine Brogel (bron: KMI)
- Overpelt (bron: Waterinfo)
- Tongerlo (bron: private waarnemer)
- Stamproy, Weert, Leende, Eersel (bron: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut)

De periode betreft eveneens algemeen 2004 - juni2019. Voor de waarnemingsplaatsen te Overpelt en Tongerlo gebeuren de waarnemingen enkel sinds resp. mei 2004 en mei 2012.

Met de Inverse Distance Weighting routine (IDW, toegepast met exponent 3) werden vervolgens voldoende betrouwbare neerslagreeksen van dagneerslag berekend voor de 4 intensiever opgevolgde percelen voor meer dan 15 jaar. In deze routine werd gewerkt met de afstanden tussen waarnemingsplaats en perceel zoals aangegeven in volgende tabel.

Uit de dagelijkse neerslagsommen werden, als samenvatting, hier effectieve en geïnterpoleerde gemiddelde waarden (jaar) berekend over een periode van 15 jaren.

Station	Gemiddelde jaarneerslagsom 2004 - 2018, waarneming (mm/jaar)	Perceel te			
		Bocholt Afstand tot het perceel (km)	Hamont-Achel (km)	Pelt (km)	Bree (km)
Kleine Brogel	761		9	8	14,5
Stamproy (NI)	748	10			5,5
Weert (NI)	734	12	13		12
Overpelt	744	13	12	12	12
Leende (NI)	794		9	16	
Eersel (NI)	827			16	
Tongerlo	740 (x)				3
		(mm/jaar)	(mm/jaar)	(mm/jaar)	(mm/jaar)
Gemiddelde jaarneerslagsom 2004 - 2018, IDW- berekend		753	766	745	749

(x) 2012-2018

Uiteraard liggen deze waarden in dezelfde grootteorde op deze lange termijn. Individuele dagwaarden van neerslag kunnen daarentegen zeer verschillen; het zijn de dagwaarden die belangrijk zijn in de dagelijkse beweging van de oppervlakkige grondwatertafel, waarmee ook verder werd gewerkt.

Gezien deze data mede de basis vormen voor de doorrekeningen van de gebeurtenissen op de opgevolgde percelen en de basis vormden voor de bodemwaterbalansen met de resultaten gepresenteerd op de DEMO-momenten, werden deze meteorologische data tijdens het verloop van het project verschillende malen geüpdatet en aangevuld.

## 2.3 Bodem

Drainage grijpt in in de beweging van het grondwaterpeil – dat is uiteraard de bedoeling. Hierdoor kan de bodemwaterhuishouding boven de grondwatertafel, waar ook de beworteling ontwikkelt, betekenisvol worden gewijzigd. Als gevolg hiervan zal de wateropname door het gewas ook veranderen, en ook de plantontwikkeling, en uiteindelijk de opbrengst.

In het project wordt op enkele percelen deze wijzigingen berekend, kwantitatief uitgedrukt.

Het vochtleverend vermogen van een bodem voor een gewas wordt bepaald door 3 eigenschappen:

1. de natuurlijke vochtretentie, het vochthoudend vermogen,
2. de doorwortelbaarheid van het profiel (de mate waarin de plant de bodemvochtreserve kan aanspreken),
3. de capillaire nalevering: opstijgend water uit de grondwatertafel kan de wortels nog voeden in periodes van droogte.

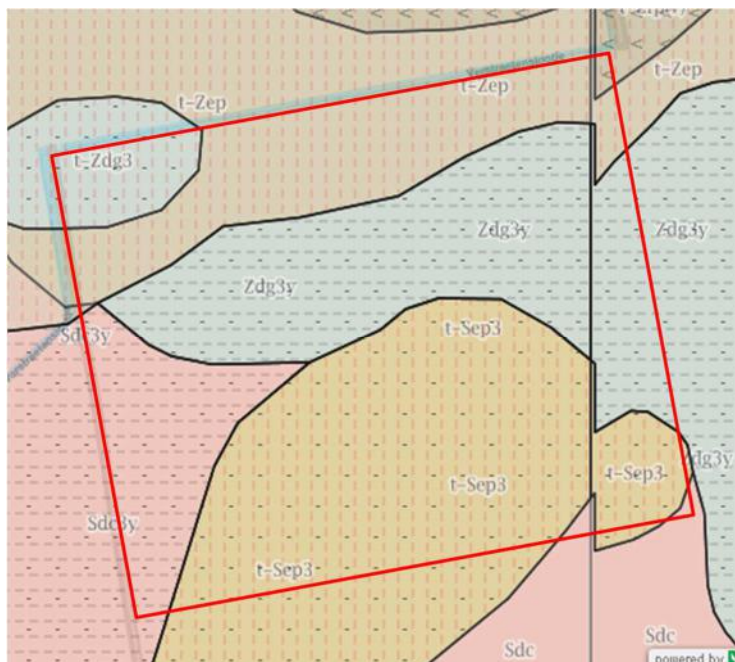
Al deze eigenschappen worden voor de percelen onderzocht en/of gemeten.

### 2.3.1 Bodemprofiel

Informatie volgens de Bodemkaart van België.

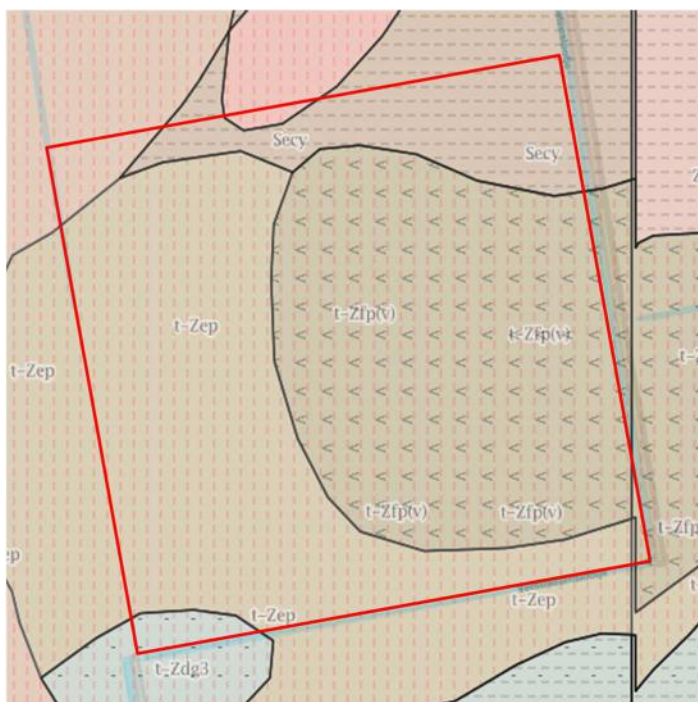
Algemeen: deze karakterisering en heel specifiek de informatie m.b.t. de grondwaterbeweging dateert van ca. 1960 – 1965. Zoals verder wordt uiteengezet wijkt de huidige situatie hiervan soms gevoelig af.

Perceel te BREE (573)



Belangrijkste karakteristieken: De textuur van de bouwlaag bestaat uit zand tot lemig zand; centraal op het perceel wordt de textuur in de diepte zwaarder (lemig, kleig). De grondwatertafel stijgt in de winter centraal op het perceel tot hoger dan 60 cm-mv; in het zuidelijk en noordelijk deel tot hoger dan 40 cm-mv.

Perceel te BREE (574)



Belangrijkste karakteristieken: De textuur van de bouwlaag bestaat overwegend uit zand; centraal en oostelijk op het perceel neemt het organischestofgehalte in de diepte aanzienlijk toe (plaatselijk weinig). De grondwatertafel stijgt in de winter tot hoger dan 40 cm-mv, centraal en oostelijk op het perceel zelfs tot in de bouwlaag. Hier daalt het grondwater vrijwel nooit dieper dan 80 cm-mv. Het betreft een duidelijk kwelzone.

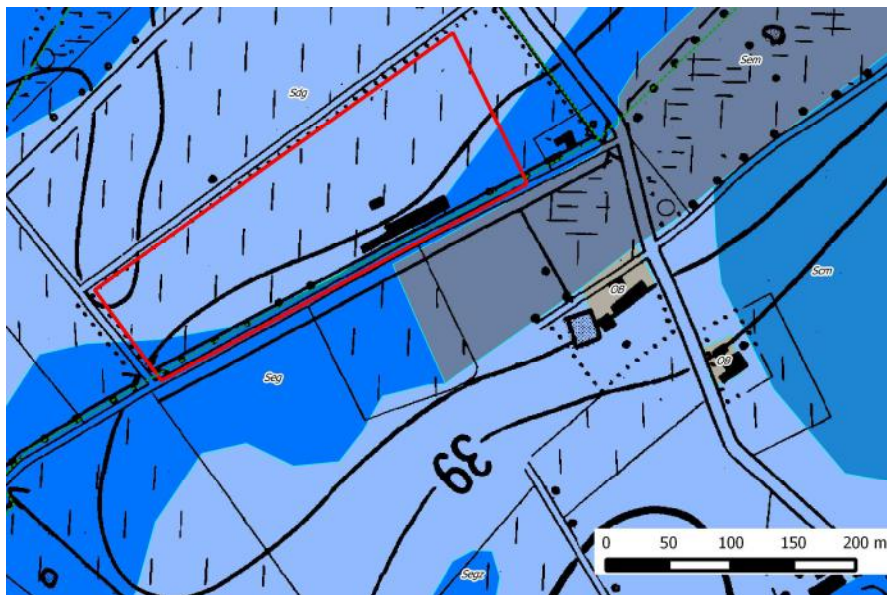


Perceel te BOCHOLT (575)



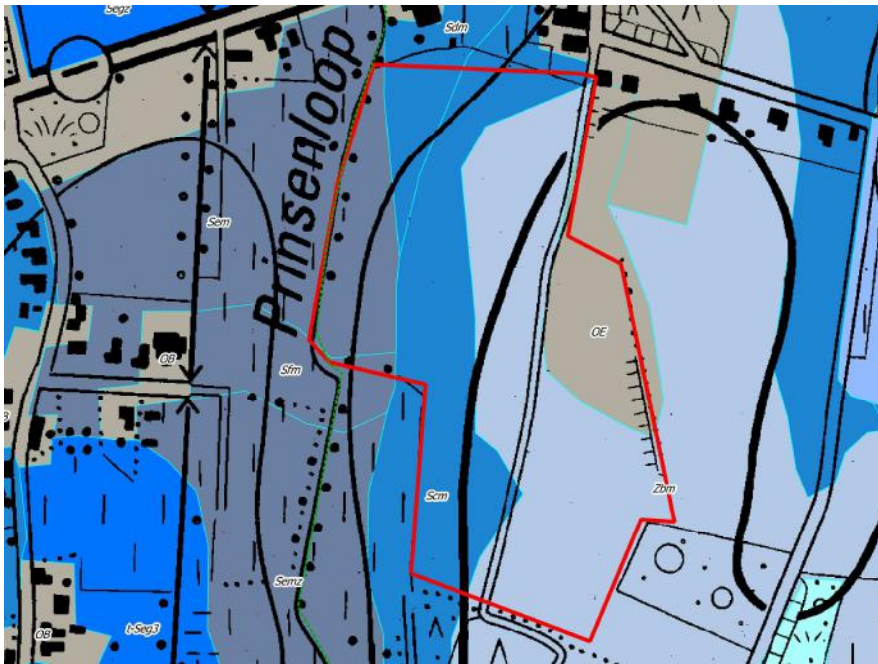
Belangrijkste karakteristieken: De textuur van de bouwlaag uit lemig zand. De bouwlaag is dik en heeft een hoog organischestofgehalte. centraal en oostelijk op het perceel neemt het organischestofgehalte in de diepte aanzienlijk toe (plaatselijk venig). De grondwatertafel stijgt in de winter tot hoger dan 40 cm-mv, en langsheen de beek tot in de bouwlaag. Hier daalt het grondwater vrijwel nooit dieper dan 80 cm-mv. Het betreft een duidelijk kwelzone.

Perceel te HAMONT-ACHEL (576)



Belangrijkste karakteristieken: De textuur van de bouwlaag uit lemig zand. De grondwatertafel stijgt in de winter tot hoger dan 60 cm-mv, en langsheen de beek gelagen langsheen de zuidzijde van het perceel, tot hoger dan 40 cm. De beek treedt dan ook drainerend op t.o.v. de bodem van het perceel. Het betreft een duidelijk kwelzone.



Perceel te PELT (577)

Belangrijkste karakteristieken: Het betreft een heterogeen perceel. In het westelijke deel bestaat de bouwlaag uit lemig zand, oostelijk wordt dit zand. Langsheen de Prinsenloop stijgt de grondwatertafel in de winter tot hoger dan 40 cm-mv, plaatselijk zelfs tot aan de bodemoppervlakte. Het oostelijk deel ligt topografisch hoger; het grondwaterpeil stijgt er nooit hoger dan 1.25 m-mv.

### 2.3.2 Natuurlijke waterretentie

De natuurlijke waterretentie van een bodem is de hoeveelheid water die na overvloedige neerslag wordt vastgehouden door de bodem en niet naar de diepte doorspoelt. Een groot gedeelte van deze waterhoeveelheid is ook opneembaar door de wortels. Deze karakteristiek wordt weergegeven door de vochtretentiecurve, te meten op ongestoorde bodemstalen.

#### Staalname:

In het voorjaar van 2018 werden op 4 percelen ongestoorde monsters genomen met Kopecky-ringen, doorgaans 3 in de bouwlaag, en 2 of 3 in de B-horizont op ca. 0,45 m diepte.

#### Bepaling van de bodemvochtretentiekarakteristiek van de verschillende bodemlagen:

In het laboratorium van de Bodemkundige Dienst van België werden op basis van deze Kopeckyringen een aantal punten op de retentiecurve bepaald. Deze procedure duurt nagenoeg 1 maand. De resultaten zijn in bijlage gevoegd.

Nadien werd op basis van de meetwaarden de retentiecurve benaderd a.d.h.v. een 4de graadspolynomiaal. Deze resultaten zijn eveneens gevoegd in bijlage.

### 2.3.3 Capillaire nalevering en grondwaterpeilbeweging

#### 2.3.3.1 Werkingsprincipe

In de bodem indroogt als gevolg van de wateropname door het gewas en wanneer er in verhouding te weinig neerslag valt, dan ontstaat een hydraulisch drukverschil waardoor water uit de ondergrond, vanuit het grondwater naar de wortelzone opstijgt. Schematisch is dit weergegeven door Figuur 1. Dit proces hangt samen met 3 factoren: de mate de graad van droogte, de mate waarin de ondergrond het water doorlaat, en de afstand tussen het grondwater en de wortelzone, en dus de diepte van het grondwater ten opzichte van maaiveld.



**Figuur 1: Capillaire opstijging vanuit het grondwater naar de wortelzone bij indrogende bodem, schematisch**

Gezien de beweging van het waterpeil door de aard van de drainage wordt beïnvloedt, zal ook de capillaire nalevering hierdoor beïnvloed worden.

De belangrijkste parameters om dit effect te kunnen kwantificeren, worden dan ook in dit project gemeten.

### 2.3.3.2 Meetprogramma doorlatendheid

De (verzadigde) hydraulische conductiviteit, de doorlatendheid van de ondergrond, werd op het terrein gemeten in het voorjaar van 2018. De omgekeerde boorgatenmethode werd hiervoor toegepast (omgekeerde methode Hooghoudt). De resultaten zijn gevoegd in bijlage. De grootteorde van de verzadigde doorlatendheid ligt tussen  $10^{-5}$  m/s tot  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s, dit is hoog tot matig. Voor de percelen te Bree werd uitgegaan van een hoge doorlatendheid gezien de textuur van de ondergrond.

De (verzadigde) hydraulische conductiviteit in combinatie met de vochtretentiecurve laat toe om dag aan dag de hoeveelheid water te berekenen die de capillaire nalevering opstijgt in functie van de afstand tussen grondwater en wortel en in functie van de uitdrogingsgraad (vochtspanning) van de bovengrond. Deze berekening gebeurt aan de hand van de methode ontwikkeld door Elsen et. al (2006) en Raes en Deproost (2003).

### 2.3.3.3 Grondwaterpeilbeweging

#### 2.3.3.3.1 Plaatsing peilbuizen

Op de opgevolgde percelen werden op verschillende plaatsen peilbuizen geplaatst op de beweging van het grondwaterpeil te kunnen meten, volgen. De locatie van elke peilbuis werd gekozen zodat

- de bewerking van de percelen zo weinig als mogelijk wordt gestoord, m.a.w. peilbuizen aan de rand van de percelen,
- waar dit te vermoeden was, zowel in de horizontale stroming van het grondwater stroomopwaarts als stroomafwaarts, zodat hogere en lagere peilen van het grondwater kunnen worden waargenomen,
- met toch één of enkele peilbuizen centraal op het perceel om voldoende duidelijkheid te halen w.b. de beweging ten opzichte van de maaiveldhoogte van het perceel,
- voldoende referentieplaatsen aanwezig zijn,
- ook de bedrijfsleider hierover akkoord gaf.

De peilbuizen bestaan uit HDPE, 50 mm diameter. Ze werden gestoken volgens de normmethode CMA\_1\_A2, in dit geval met 1 m filter omstort met grind, en afdek boven de filter met kleistop (bentoniet). Diepte van de peilbuis is doorgaans 3 m onder maaiveld (m-mv).

Op het perceel te Bree nr. 573 werd ook gebruik gemaakt van reeds bestaande peilbuizen (aangelegd in het kader van een project van de VLM, 2012)

In de praktijksituatie was het niet steeds vanzelfsprekend om alle peilbuizen te handhaven. Doordat bodembewerkingen of oogsten soms werden uitgevoerd verschillende loonwerkers, maar ook door onachtzaamheid bij de bewerkingen, werden een aantal buizen, beschadigd of volledig vernietigd. Een aantal

peilbuizen werden dan opnieuw – soms tot 2 maal toe – geplaatst en opnieuw met RTK-GPS uitgemeten. In het totaal dienden 24 peilbuizen geplaatst te worden (herplaatsingen inbegrepen).

#### 2.3.3.3.2 RTK-opnames

Alle peilbuizen werden topografisch opgemeten met hoge precisie (X,Y: 1cm; Z: 2cm) in mTAW, met RTK-GPS. Hierbij werd de top van de peilbuis opgemeten, evenals de maaiveldhoogte in de omgeving van de peilbuis en op enkele plaatsen verspreid op elk perceel.

Deze opmetingen laten toe om de gemeten waterpeilen te vertalen in grondwaterpeil onder maaiveld, en inzicht te krijgen in de richting van de grondwaterstroming.

#### 2.3.3.3.3 Peilopnames

Vanaf december 2016 tot juni 2019 werden op de 5 percelen 19 peilbuizen met regelmaat – doorgaans tweewekelijks – bezocht. Hierbij werd het grondwaterpeil gemeten ten opzichte van de top van de peilbuis met een meetklokje ofwel met een meetlint met geluidsignaal. Tevens werd telkens de afstand tussen top van de peilbuis en maaiveld genoteerd. Ook anomalieën werden genoteerd, zoals schade aan de peilbuis, verwijdering, verzanding,... Soms kon een peilbuis niet worden teruggevonden in het gewas.

Alle noteringen en opnames zijn gegeven in bijlage, per perceel.

In deze bijlage werden ook reeds de herrekeningen meegegeven van de grondwaterpeilen:

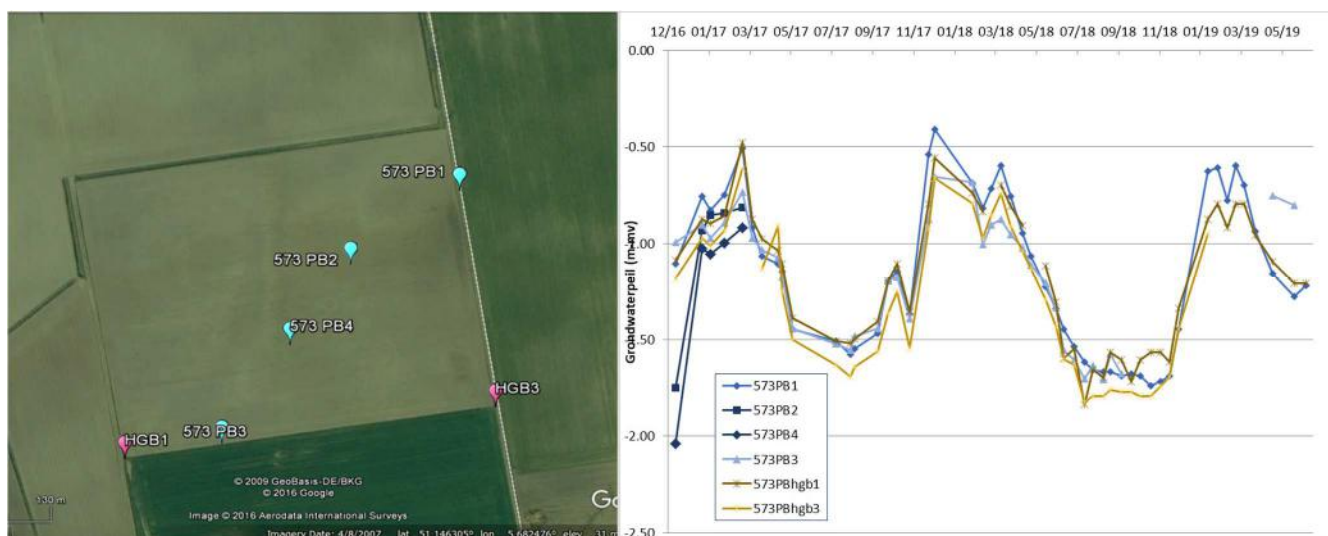
- het grondwaterpeil in absolute hoogte (in mTAW),
- het grondwaterpeil t.o.v. het maaiveld.

#### 2.3.3.4 Bespreking grondwaterpeilbeweging en doorgedreven verwerking

De grondwaterpeilbewegingen die waargenomen werden in de peilbuizen van de 5 opgevolgde percelen worden besproken in functie van het potentieel voor peilgestuurde drainage ten opzichte van een klassieke drainage: de mogelijkheid om verminderd water af te voeren naar het oppervlaktewater, waardoor water wordt vastgehouden in de ondergrond, het waterconserverend effect.

Voor 2 percelen (te BREE en te BOCHOLT) wordt een zeer doorgedreven verwerking uitgevoerd. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

##### Perceel te BREE (573)



**Figuur 2: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BREE (573)**

De eerste waarnemingen in de peilbuizen pB2 en PB4 kunnen in vraag worden gesteld. Ze wijken zeer betekenisvol af van de andere waarnemingen in de omgeving.

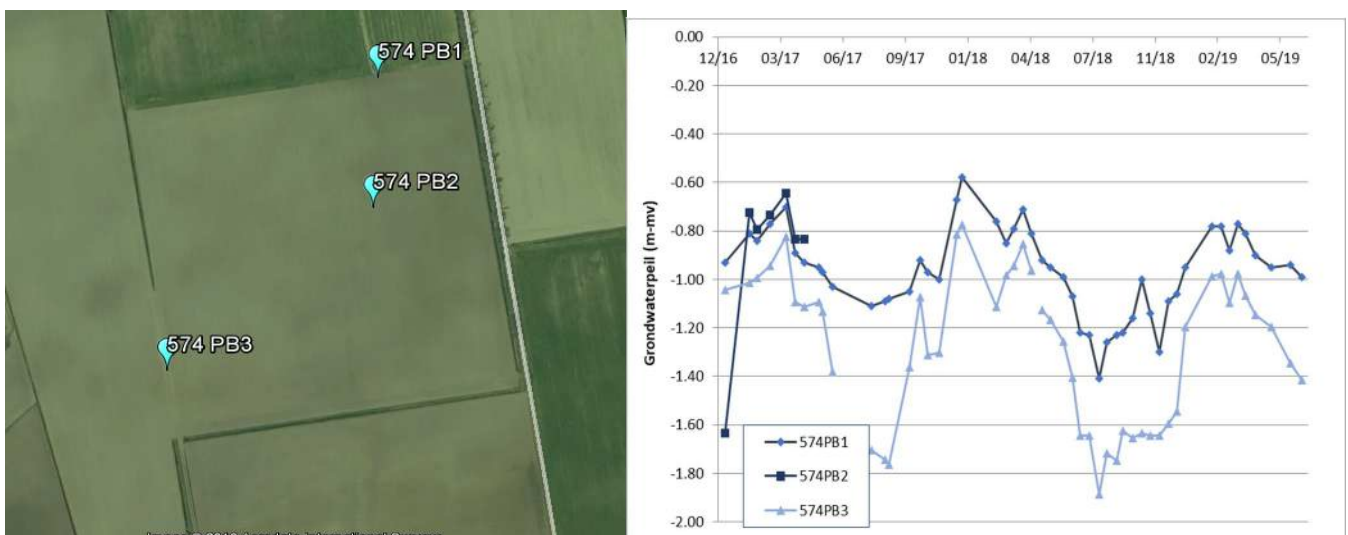
De huidige grondwaterpeilen duiden eerder op een algemene grondwaterstandsaling ten opzichte van de waarnemingen van ca. 50 geleden. Met uitzondering van enkele hoge grondwaterpeilen ligt het peil doorgaans lager dan 70 cm-mv: de oude klassieke drainage vlakt snel hoge waterpeilen af en voert het water af naar de beek. Inzicht in de Bodemkaart leert dat dit perceel in een groter kwelgebied ligt.

De droogteperiode van 2018 markeert zich slechts weinig in de grondwaterpeildaling, en meer nog, het lage grondwaterpeil wordt zeer snel hersteld in een meer normale peilbeweging vanaf 2019. In 2019 is geen effect meer te merken van de droogte van 2018. De verklaring ligt in de kwel in het gebied: het grondwaterpeil wordt relatief snel terug aangevuld vanuit het grondwater stroomopwaarts. Bovendien is reeds effect aan te geven van de peilgestuurde drainage: door het hogere minimum-drainagepeil op het perceel ligt het waterpeil in de zomer van 2019 reeds hoger dan dit van de voorgaande jaren.

Het is duidelijk dat peilgestuurde drainage het gemiddeld waterpeil in dit perceel gevoelig kan verhogen doordat het kwelwater in veel mindere mate zal worden afgevoerd via de drainage. Bovendien zal na een korte peilverlaging onder de peilgestuurde drainage, bv. indien nodig half februari, het water peil zeer snel terug stijgen als gevolg van de kwel.

Het perceel leent zich excellent om de oude drainage om te bouwen of te vervangen door een peilgestuurde drainage, hetgeen ook werd uitgevoerd in september 2018.

#### Perceel te BREE (574)



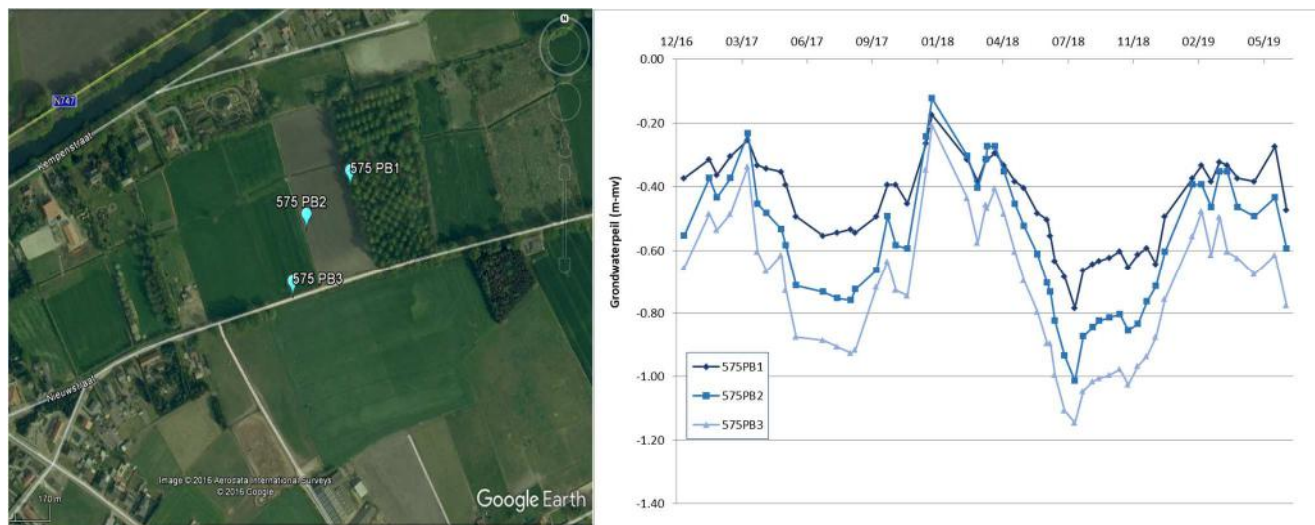
**Figuur 3: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BREE (574)**

De vaststellingen m.b.t. dit perceel zijn volledig vergelijkbaar met deze van het perceel Bree 573. Meer nog is in dit perceel het contrast uiterst groot tussen de oorspronkelijke kwel met grondwaterstanden tot in de bouwlaag (tot minder dan 20 cm-mv) en de waargenomen grondwaterstanden, ook na een eerder 'nat' seizoen zoals 2016. Algemeen stijgen de grondwaterstanden in de huidige tijd zelden hoger dan 70 cm onder maaiveld, zelfs waar ze historisch zelden dieper zakten dan 80 cm-mv. Men kan aannemen dat door de drainage het grondwaterpeil in deze kwelzone met gemiddeld met 50 à 80 cm deed dalen. Er bestaat m.a.w. een groot potentieel om de grondwaterpeilen terug te verhogen.

Het perceel leent zich excellent om de oude drainage om te bouwen of te vervangen door een peilgestuurde drainage. Dit gebeurde in september 2018.



### Perceel te BOCHOLT (575)



**Figuur 4: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te BOCHOLT (575)**

Volgens de Bodemkaart van België is de zone langsheen de beek duidelijk kwelzone.

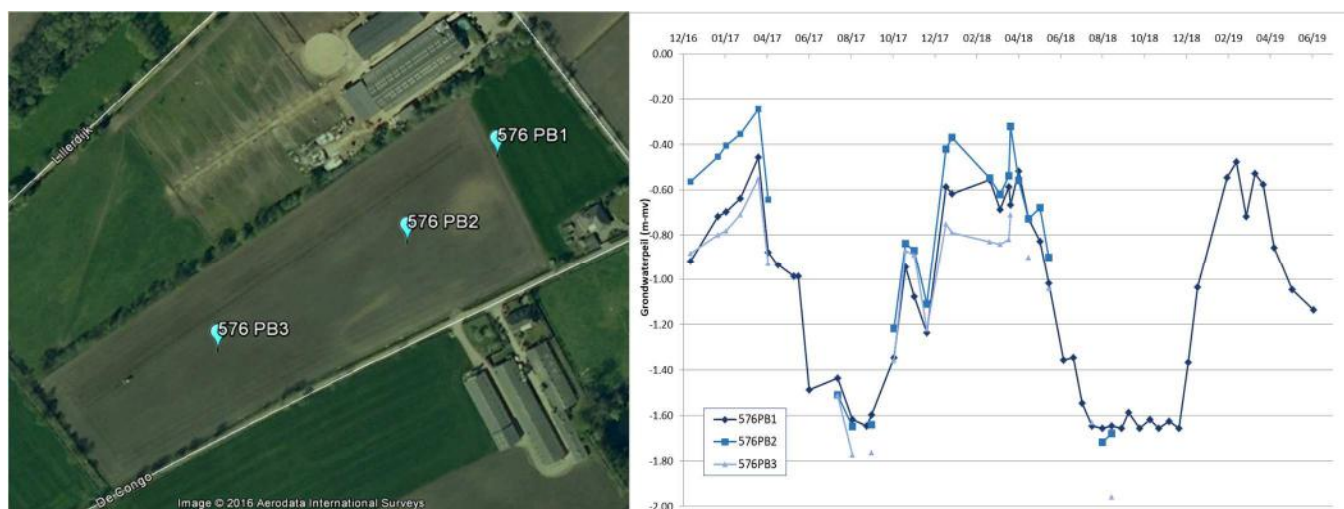
In het algemeen wordt de droogte van 2018 weerspiegeld in uitdrukkelijk lagere grondwaterpeilen (ca. 30 cm). De grondwaterstanden hebben zich in het voorjaar van 2019 duidelijk hersteld naar het niveau van deze van de vorige jaren.

Het centrale deel van het perceel (ca. 1/6 deel van het perceel) werd nog niet gedraineerd: Ter hoogte van PB2 wordt een grondwaterbeweging teruggevonden die consistent is met de gegevens van de Bodemkaart van België. De andere delen van het perceel werden in het verleden klassiek gedraineerd. De bedrijfsleider is er zich van bewust dat in zeer droge seizoenen het ongedraineerde deel hogere opbrengsten levert. In meer normale seizoenen is dit omgekeerd en ligt het ongedraineerde deel veelal te nat in het voorjaar om bewerkbaar te zijn.

Peilbuis 1 (PB1) ligt in de onmiddellijke omgeving van de beek en geeft nagenoeg het waterpeil weer in de beek. De bedrijfsleider grijpt hierop reeds in: hij sluit met een schot in drogere periodes de beek af om water op te houden, de facto een vorm van peilgestuurde drainage met uitwerking in de omgeving van de beek.

Het perceel leent zich excellent om de oude drainage om te bouwen of te vervangen door een peilgestuurde drainage. Dit gebeurde in juni 2018.

### Perceel te HAMONT-ACHEL (576)



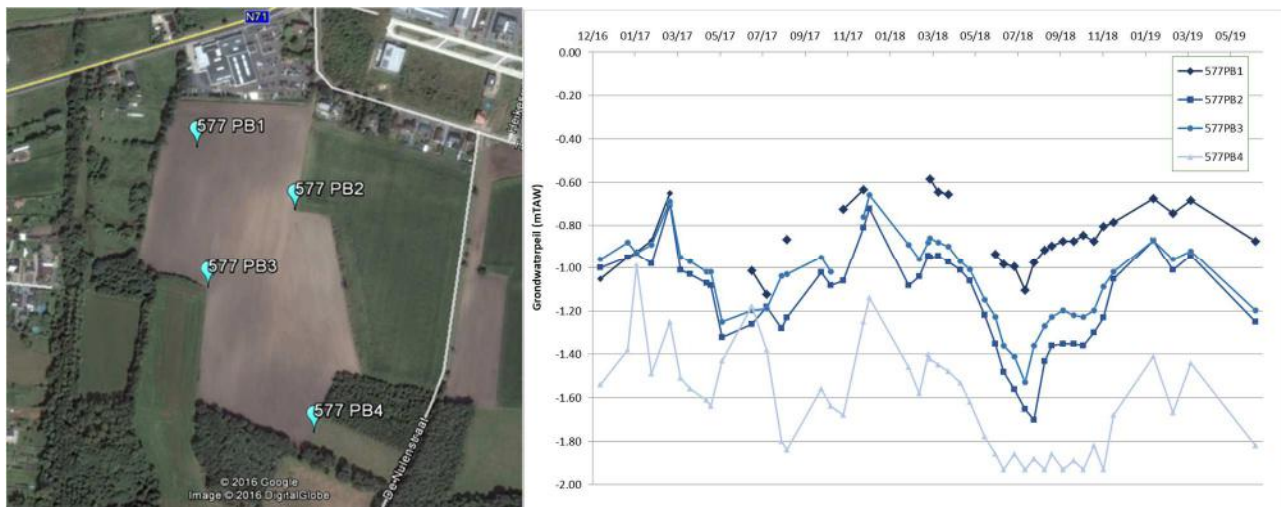
**Figuur 5: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te HAMONT-ACHEL (576)**

Consistent met de Bodemkaart-data stijgt het grondwaterpeil in de winter geregeld hoger dan 60 cm-mv. De hoge waterpeilen worden bij afwezigheid van neerslag zeer snel terug verlaagd naar 80 cm-mv à 1 m-mv door de aanwezige klassieke drainage. Peilgestuurde drainage in plaats van klassieke drainage zal toelaten om enkel in te grijpen wanneer in het voorjaar het peil te hoog zou liggen voor berijden van het perceel. Het gemiddelde grondwaterpeil en ook het zomergrondwaterpeil zullen hierdoor toenemen.

Het perceel leent zich dan ook goed om de oude drainage om te bouwen of te vervangen door een peilgestuurde drainage. Dit gebeurde in november 2018.

Slechts op een plaats (PB1) kon voortdurend gemeten worden. Het peil daalde in 2018 lager dan de filterdiepte (1.65 cm-mv). Na de droogte van 2018 heeft de grondwaterstand zich in de winter en voorjaar van 2019 duidelijk hersteld naar het niveau van deze van de vorige jaren.

#### Perceel te PELT (577)



**Figuur 6: Ligging van de peilbuizen en evolutie van de grondwaterpeilen t.o.v. maaiveld (dec. 2016 - juni 2019) op het perceel te PELT (577)**

Zeker ter hoogte van de waarnemingen PB4 gebeurt de grondwaterbeweging op relatief grote diepte en zal ook de aanwezige klassieke drainage nooit water afvoeren. Meer naar de NW-zijde van het perceel kan peilgestuurde drainage zinvol werken, maar reeds ter hoogte van PB2 en PB3 is niet duidelijk in welke mate de peilgestuurde drainage betekenisvol effect zal hebben.

In overleg met de bedrijfsleider werd besloten om de omvorming van klassiek drainage naar peilgestuurde drainage op een ander perceel uit te voeren, waar uit de Bodemkaart kan begrepen worden dat het daar een meer algemeen kwelgebied betreft.



## 3 Simulaties en verdergaande doorrekening

### 3.1 Selectie

In het algemeen zijn de voordelen (en nadelen) van peilgestuurde drainage reeds beschreven (bv. Skaggs e.a.<sup>1</sup> en Stuyt L.<sup>2</sup>). Maar voor de bedrijfsleider is het primordiaal om ook de win-situatie voor het bedrijf te expliciteren in zijn streek, op zijn perceel: hoe wordt een hogere investering in peilgestuurde drainage ten opzichte van klassiek drainage terugverdiend? In economische termen, welke is de marginale opbrengst van peilgestuurde drainage ten opzichte van klassieke drainage?

Omwille van proeftechnische en statistische redenen en omwille ook van de natuurlijke heterogeniteit in gewas en in bodem, en ook het toevallige, wispelturige jaarklimaat is het vrijwel ondoenbaar om bv. op basis van gewasstaalnames meeropbrengsten aan te tonen. Daarom wordt gewerkt met bodem-water-gewasmodellen die voldoende robuust en wetenschappelijk onderbouwd zijn om verschillen in opbrengstrespons te verduidelijken. Dit is een uitgebreide oefening en deze wordt hier gemaakt voor enkele situaties. Er werden hiertoe 2 percelen gekozen met een 3-tal teelten.

Criteria in de keuze van de percelen:

- Geografische spreiding, ook naar kennisgeving, communicatie.
- Verschillende gewassen: voedergewassen, akkerbouwteelten (gemengd bedrijf of meer akkerbouw).
- Voldoende bodemkundige gegevens.
- Functionele peilgestuurde drainage in duidelijke kwelzones.

Op deze basis werd het perceel te Bocholt (gras, maïs) en een perceel te Bree (maïs, aardappel) gekozen.

### 3.2 Simulaties

#### 3.2.1 Methodes

Er wordt vanzelfsprekend uitgegaan van de uitgevoerde metingen en waarnemingen op het terrein, de bodemkarakteristieken, de beweging van het grondwaterpeil,...

In de modelmatige uitwerking zijn 3 stappen te onderscheiden:

1. Benadering van de grondwaterpeilbeweging op langere termijn (10-15 jaren) onder de scenario's van klassieke drainage ten opzichte van peilgestuurde drainage, als basis voor de doorrekening van de capillaire nalevering,
2. De bodemwaterbalans en de opname van water door het gewas, doorgerekend eveneens op de lange termijn onder dezelfde scenario's,
3. De vertaling van de verschillen in wateropname in verschillen in gewasopbrengst naargelang het scenario.

Deze stappen worden in de volgende paragrafen ontwikkeld.

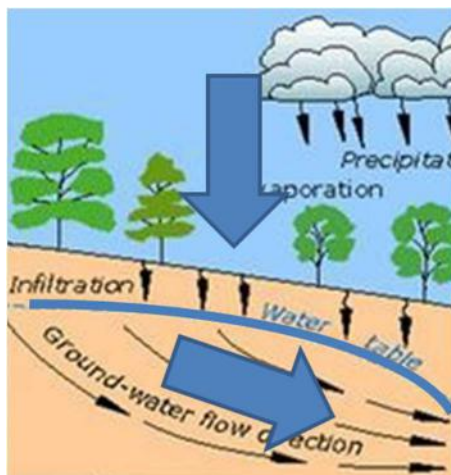
<sup>1</sup> R. Wayne Skaggs, Norman R. Fausey, and Robert O. Evans, 2012. Drainage water management. Journal of Soil and Water Conservation 2012 67(6):167A-172A; doi:10.2489 / jswc.67.6.167A

<sup>2</sup> Stuyt, L.C.P.M., 2013. Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2370, 488 blz.; 269 fig.; 40 tab.

### 3.2.2 Grondwaterpeilbeweging

Het freatische (oppervlakkige) grondwaterpeil beweegt in de tijd onder invloed van 2 groepen van factoren, zoals weergegeven door Figuur 7:

- Aanvoer van water uit het neerslagoverschot.
- Aanvoer of afvoer van water door de bodem, de grondwaterstroming.



Figuur 7: Factoren in de grondwaterpeilbeweging, schematisch.

Indien neerslag gekend is en het grondwaterpeil over een voldoende lange periode wordt gemeten, kunnen de nodige karakteristieken van de grondwaterstroming afgeleid worden. Park en Parker (2008)<sup>3</sup> ontwikkelden hiervoor de benadering, nog gesteund op het begrip van “efficiënte neerslag”. Verdergaand dan het model van Park en Parker wordt door de Bodemkundige Dienst van België gewerkt met ‘effectieve neerslagoverschot’ op dagbasis, hetgeen een nog meer nauwkeurige benadering mogelijk maakt.

De klimatologische reeksen ter hoogte van de percelen, gegevens m.b.t. dagwaarden van neerslag en referentiegrasverdamming, over de periode van 2004 tot juni 2019 werden ontwikkeld zoals beschreven onder hoofding 2.2.

#### 3.2.2.1 Perceel te BOCHOLT (575)

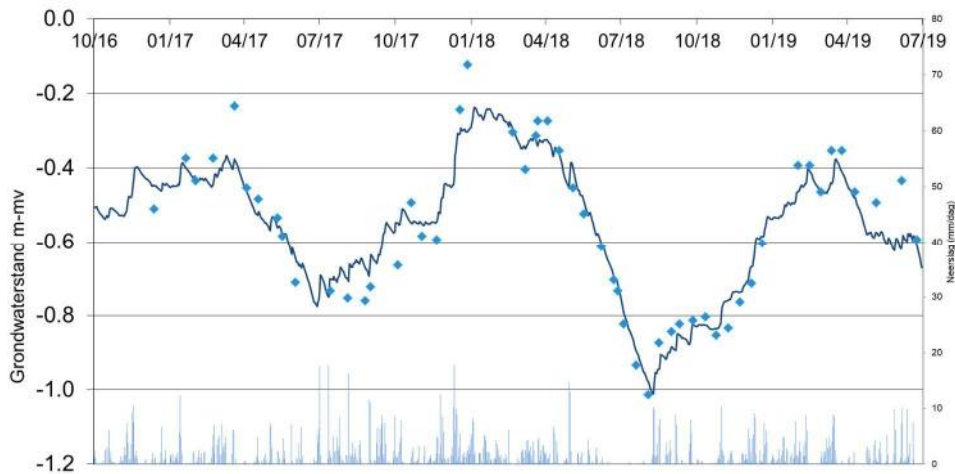
##### 3.2.2.1.1 Modelperformantie

De performantie van een model kan benaderd worden o.m. door de MSE (gemiddelde absolute fout) en de Nash-Sutcliffe-Efficiency. In de toepassing van het model werd hier een MSE bekomen van 4 cm en een NSE van 0,93<sup>4</sup>. Men kan het model als zeer performant beschouwen.

Uitschieters in de metingen kunnen verklaard worden op basis van een aantal fysische processen, doch dit is hier niet ter zake.

<sup>3</sup> De Bodemkundige Dienst van België heeft reeds langjarige ervaring met het gebruik van dit grondwatermodel. De gegevens die in dit project werden verzameld werden ook besproken met een werkgroep aan de KULeuven, waar vervolgens de performantie van dit grondwatermodel vergeleken werd met andere modellen (zie Bijlage). De performantie werd hierbij nogmaals herbevestigd.

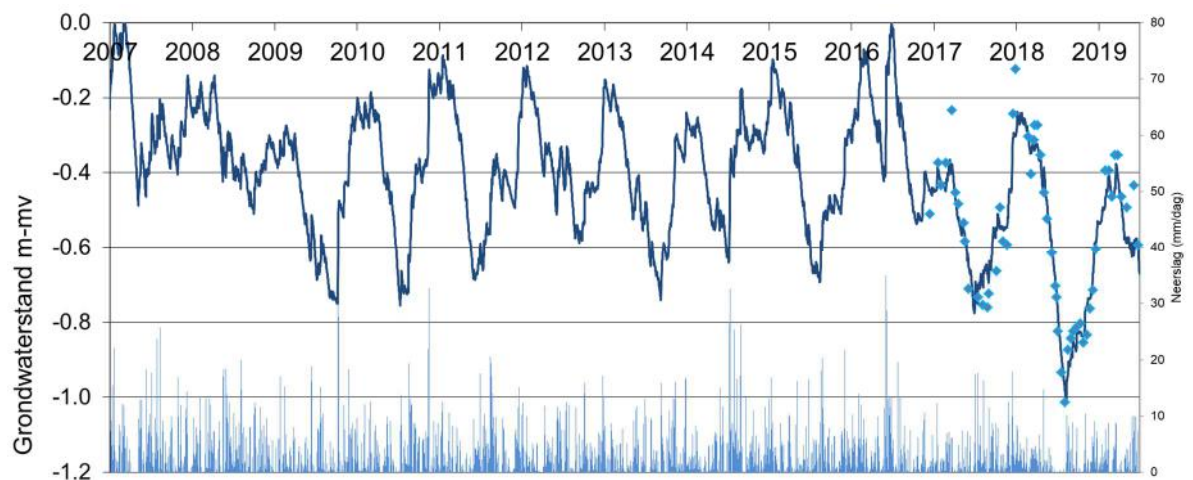
<sup>4</sup> Indien  $NSE = 1$ , dan is de overeenkomst tussen meting en berekening volledig. Indien  $NSE < 0$ , dan is de gemiddelde meting een betere schatter dan de modelwaarde.



**Figuur 8: Metingen en berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2 (ongedraineerd), perceel te Bocholt (575) gedurende de observatieperiode.**

### 3.2.2.1.2 Extrapolatie

Gezien in het model de parameters werden berekend die de grondwaterstroming bepalen, kan men op basis van het neerslagdeficit van eerdere jaren ook de grondwaterpeilbeweging simuleren. 3 jaren (2004-2006) werden beschouwd als zgn. 'warmlooperperiode'. Figuur 9 geeft dan het gesimuleerde grondwaterpeil aan vanaf 2007 tot juni 2019.



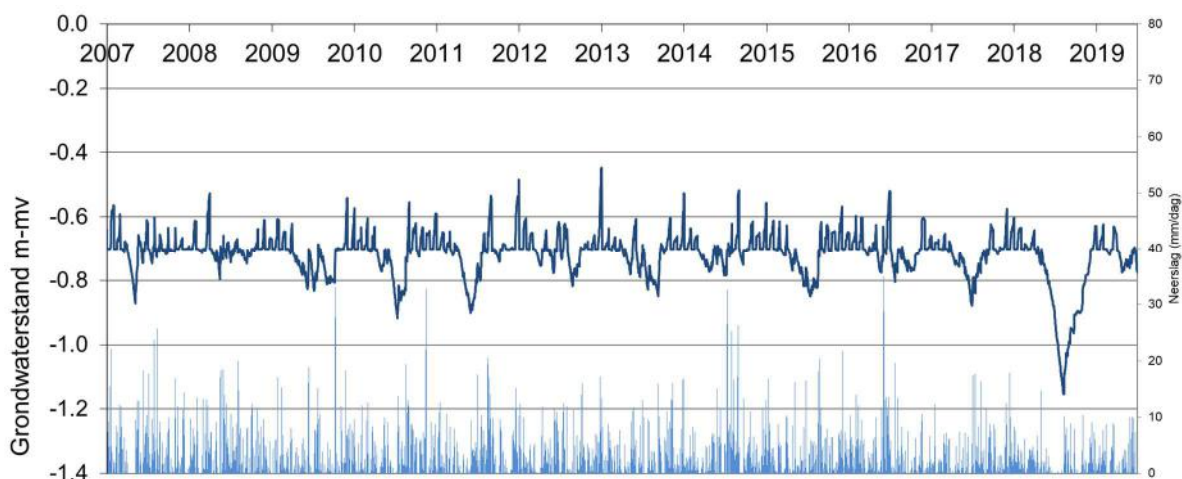
**Figuur 9: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, ongedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019.**

Men merkt dat

- het grondwaterpeil in verschillende winterperiodes tot in de bouwlaag stijgt onder ongedraineerde omstandigheden,
- de daling in 2018 uitzonderlijk te noemen is,
- het herstel van het peil in het voorjaar 2019 gebeurde zeer snel: peilen tussen 0,4 en 0,6 m-mv zijn normaal vergeleken met voorgaande jaren.

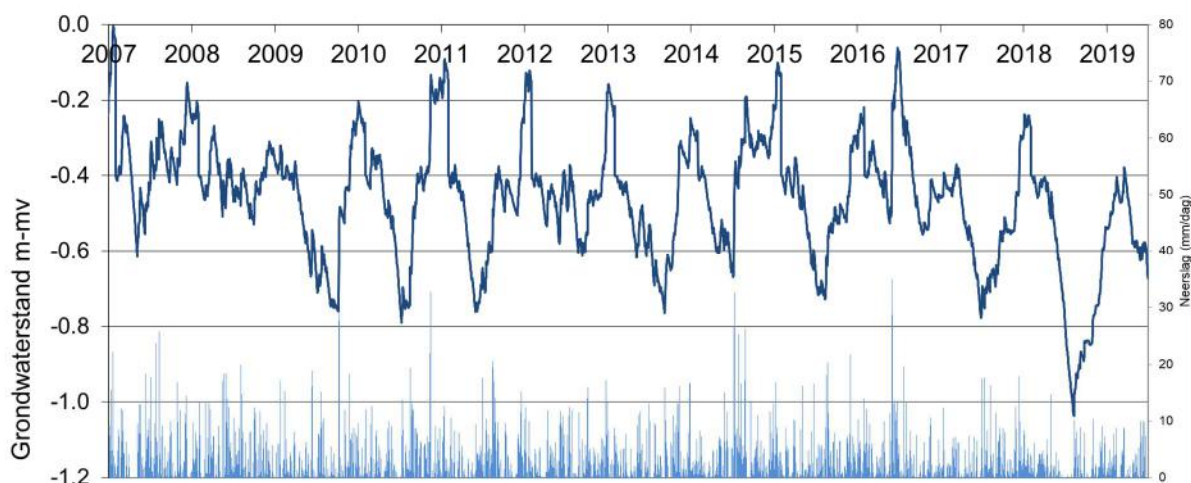
### 3.2.2.1.3 Scenario's

Ingeval een klassieke drainage met drains op 80 cm-mv wordt aangelegd, dan zal het verloop van het grondwaterpeil in deze zone verlopen als volgt (er werd een gemiddelde opbolling van de watertafel tussen de drains verondersteld van 10 cm).



**Figuur 10: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, klassiek gedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019.**

Ingeval van een peilgestuurde drainage op ca. 50 cm-mv wordt aangelegd, en op 15 februari het grondwaterpeil gedurende 14 dagen verlaagd wordt om in deze periode op het perceel te kunnen rijden, dan zal het grondwaterpeil in deze zone verlopen als volgt.



**Figuur 11: Berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB2, peilgestuurd gedraineerd, perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2007-juni 2019.**

Het contrast in grondwaterpeilverloop onder de peilgestuurde drainage met dit onder de klassieke drainage is voor de hand liggend.

*Nota: deze doorrekeningen werden geregeld uitgevoerd, en geüpdatet in het projectverloop telkens als basis voor de uiteenzettingen in het kader van demonstratiedagen of verschillende voorlichtingsvergaderingen.*

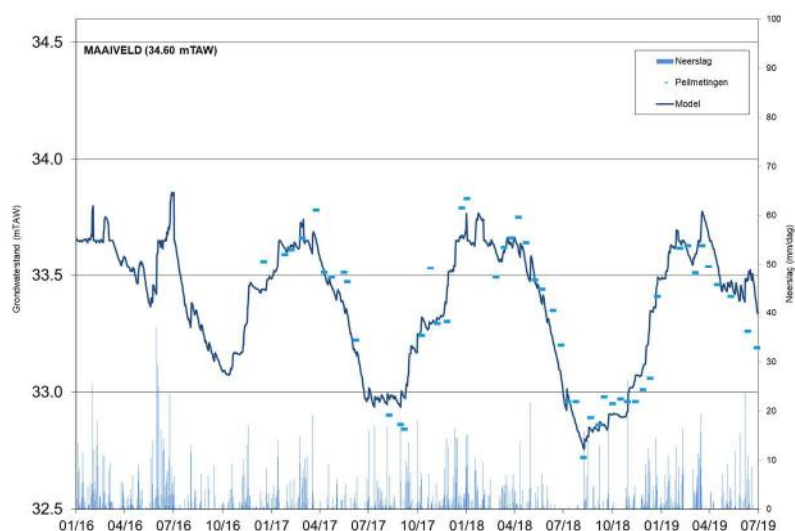
### 3.2.2.2 Perceel te BREE (574)

#### 3.2.2.2.1 Modelperformantie

De peilbuis PB2, centraal op het perceel, kon niet lang aangehouden worden. De analyse gebeurde daarom voor peilbuis PB3, rekening houdend met de huidige drainage veraf gelegen van de beek.

In de toepassing van het model dient rekening gehouden te worden dat het gehele perceel reeds klassiek gedraineerd is. Daarom wordt ook het maximale grondwaterpeil (als gevolg van de drainage) op de plaats van de waarneming een variabele in de model. Uit de zuiver mathematische optimalisatie blijkt dat dit maximale peil, waarboven water snel wordt afgevoerd, berekend wordt op 95 cm-mv. Dit is zeer plausibel rekening houdend met de topografie.

Hier werd hier een MSE bekomen van 8 cm en een NSE van 0.89. Men kan het model als zeer performant beschouwen.



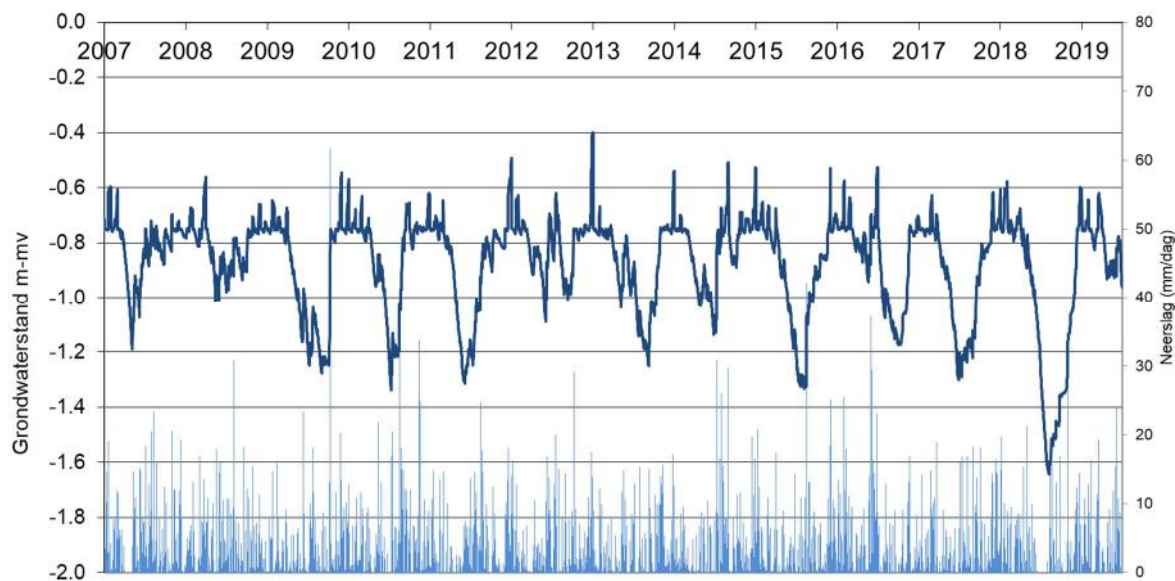
**Figuur 12:** Metingen en berekend verloop van het grondwaterpeil ter hoogte van PB3 (ongedraineerd), perceel te Bree (574) gedurende de observatieperiode.

#### 3.2.2.2.2 Extrapolatie

De karakteristieken van de ondergrond en de beweging van de grondwatertafel zoals gekend uit PB3, werden overgenomen om de situatie centraal op het perceel te benaderen. PB3 ligt aan de rand van het perceel en topografisch ca. 60 cm hoger dan het grootste deel van het perceel.

Op basis van het neerslagdeficit van eerdere jaren werd dan voor het perceel ook de grondwaterpeilbeweging gesimuleerd op langere termijn. Figuur 13 geeft dan het gesimuleerde grondwaterpeil aan vanaf 2007 tot juni 2019, onder de klassiek gedraineerde omstandigheden.

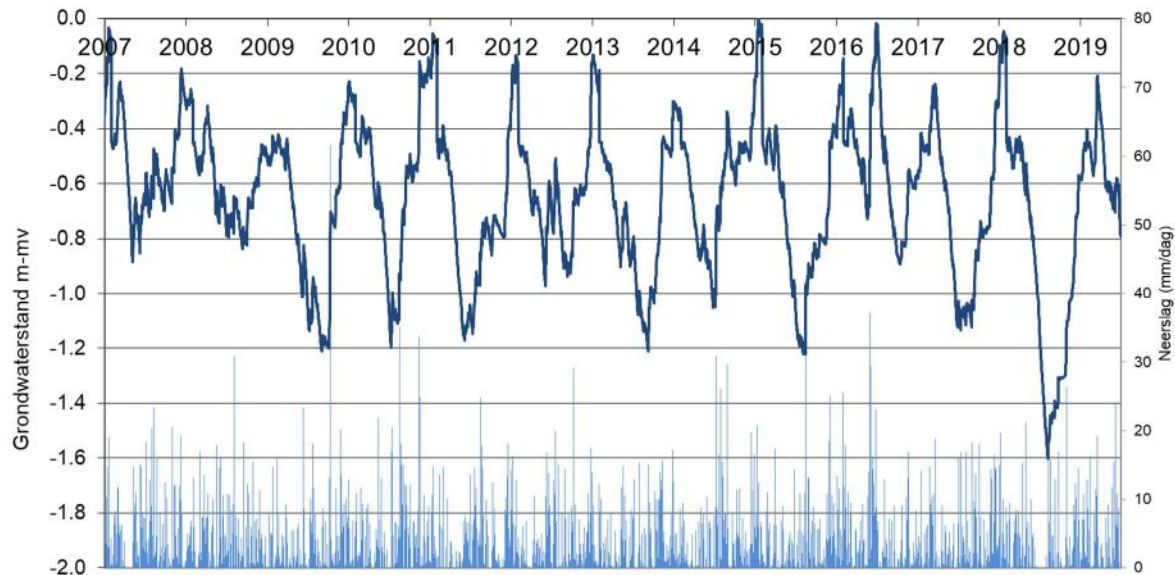




**Figuur 13:** Berekend verloop van het grondwaterpeil, klassiek gedraineerd, centraal op het perceel te Bree (574) gedurende de periode 2007-juni 2019.

### 3.2.2.2.3 Scenario peilgestuurde drainage

Met een peilgestuurde drainage op ca. 50 cm-mv, en wanneer op 15 februari het grondwaterpeil gedurende 14 dagen verlaagd wordt om in deze periode op het perceel te kunnen rijden, dan is het verloop van het grondwaterpeil in deze zone als volgt te berekenen.



**Figuur 14:** Berekend verloop van het grondwaterpeil, peilgestuurd gedraineerd, centraal op het perceel te Bree (574) gedurende de periode 2007-juni 2019.

Het is duidelijk dat het gemiddelde grondwaterpeil hierdoor aanzienlijk toeneemt ten opzichte van een klassiek drainage.



### 3.2.3 Bodemwaterbalans, wateropname door de teelt, effect op de gewasopbrengsten

De doorrekening van de voldoening aan de watervraag van de teelten en de irrigatiebehoefte op de verschillende bodems in de perimeter wordt uitgevoerd op basis van een bodemwaterbalansmodel. Het toegepaste model rekent de bodemvochtreserve op dagbasis door als resultante van de neerslag, beregning, run-off, verdamping, plantwateropname en transpiratie, drainage en capillaire nalevering. Het gebruikte model werd ontwikkeld in de periode 1989 tot 2004 en baseert zich op basisrekenmodules zoals toegepast in IRSIS (Raes et al., 1988) of Budget (Raes et al., 2002), doch uitgebreid met modules o.m. voor capillaire nalevering en interactiever opgebouwd onder Windows-applicaties.

#### 3.2.3.1 Perceel te BOCHOLT (575)

De beschikbare bodemwaterhoeveelheid voor grasland werd dag-aan-dag berekend gedurende de projectperiode, in het tot juni 2018 ongedraineerde deel van het perceel.

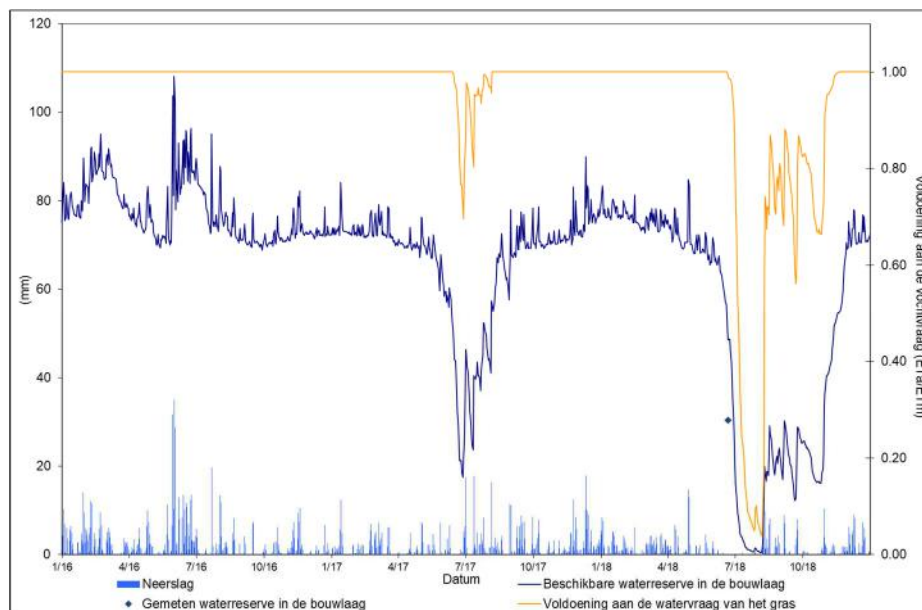
Vervolgens werd de beschikbare bodemwaterhoeveelheid voor grasland berekend onder de voorwaarde van peilgestuurde drainage, en eveneens onder voorwaarde van een klassieke drainage.

De beschikbare bodemwaterhoeveelheid wordt uitgedrukt in mm (liter/m<sup>2</sup>).

##### 3.2.3.1.1 Bodemwaterbalans en wateropname, periode 2016-2018

Bovenstaande berekeningen worden weergegeven in de volgende figuren. Eveneens is weergegeven de dagelijkse neerslag, en de 'Voldoening aan de vochtvraag van het gewas'. Zolang deze laatste gelijk is aan 100% kent het gewas (in dit geval gras) geen droogtestress. Naargelang deze waarde kleiner wordt dan 100%, kan de groei, de ontwikkeling van het gewas afnemen en bijgevolg ook de opbrengst.

Ongedraineerde situatie:

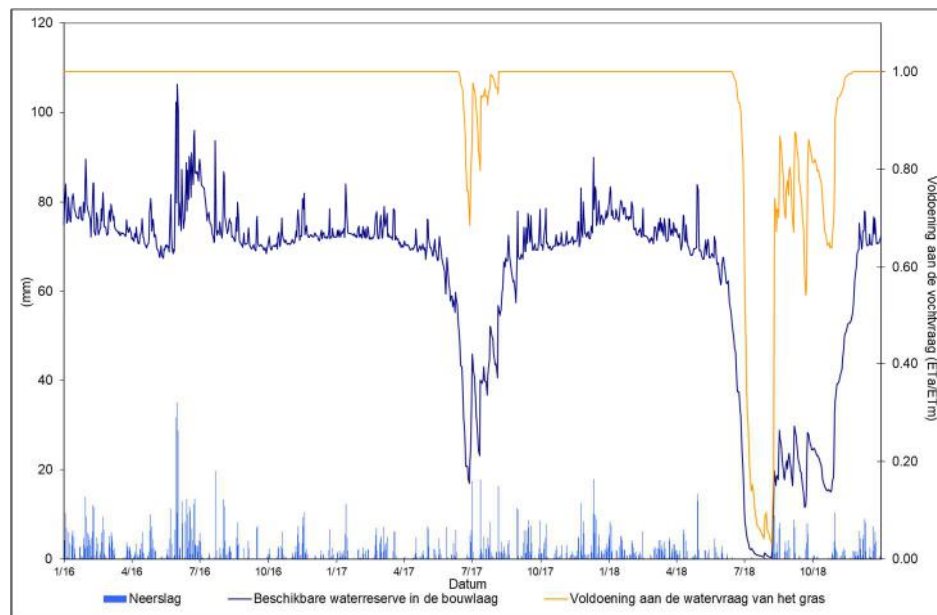


**Figuur 15: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras in het ongedraineerde deel van het perceel (tot juni 2018) op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019.**

Men merkt dat in 2016 relatief veel neerslag viel, en dat onder meer hierdoor het gras geen vochttekort kende. Men kan wel aangeven dat in de ongedraineerde situatie voor het gras anderzijds wel wateroverlast is voorgekomen, met afsterven van wortelmassa, hetgeen de opbrengst er zeker negatief heeft beïnvloed. Dit wordt hier niet verder besproken.

In de zomer van 2017 is gedurende een korte periode droogte opgetreden, en in 2018 heeft het gras geleden onder verregaande droogte: einde juli begin augustus viel de groei nagenoeg stil.

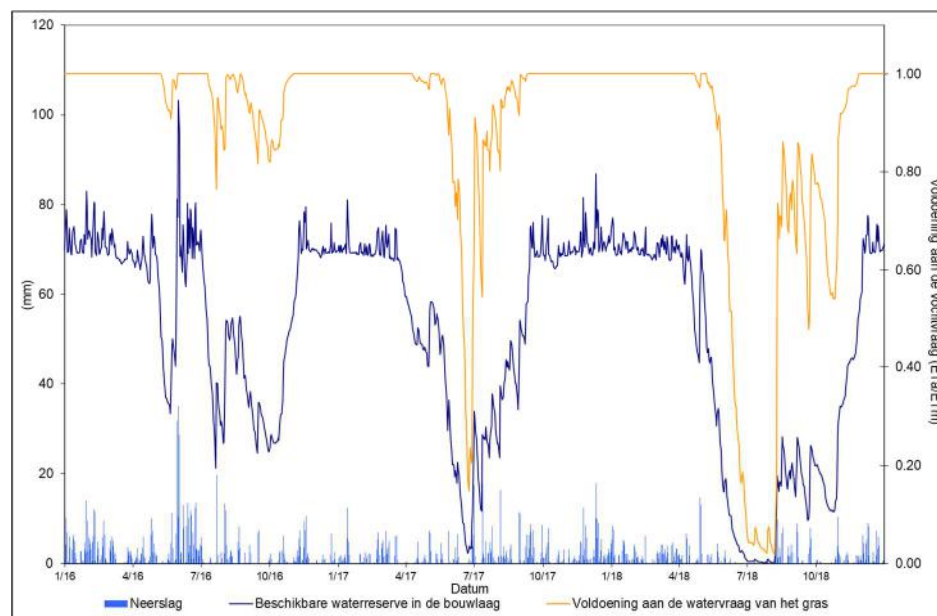
### Peilgestuurde drainage:



**Figuur 16: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras, berekend ingeval van een peilgestuurde drainage op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019.**

Ingeval van een peilgestuurde drainage is het verloop van de bodemwaterreserve nauwelijks verschillend van dat van de ongedraineerde situatie. Hooguit zal een droogte zoals in juli 2019 zich enkele dagen vroeger hebben gemanifesteerd.

### Klassieke drainage:



**Figuur 17: Beschikbare bodemwaterreserve voor het gras, berekend ingeval van een klassieke drainage op het perceel te Bocholt (575) gedurende de periode 2016-juni 2019.**

Onder een klassieke drainage merkt men dat zelfs in een 'nat' seizoen zoals 2016, periodes voorkomen waarin droogte voor het gras tot opbrengstverliezen zou leiden.

Algemeen, ook in 2017 en 2018, is het duidelijk dat er tijdens het groeiseizoen voor het gras geregeld, en tot betekenisvolle droogteperiodes voorkomen.

De oorzaak van deze verschillen in voldoening aan de watervraag van het gras ligt volledig in de capillaire nalevering uit het grondwater dat bij een klassieke, diepere drainage, veel dieper wordt teruggedrongen.

Zo werd bv. op 28 juni 2018 berekend dat door het verschil in capillaire nalevering in het voorjaar van 2018 tussen peilgestuurde drainage en klassieke drainage, het gras reeds 20 mm water meer kon opnemen, en dit is zeer betekenisvol in een droge periode.

#### 3.2.3.1.2 Bodemwaterbalans en wateropname, extrapolatie

Gezien de bodemkarakteristieken gekend zijn, de evolutie van het grondwaterpeil onder de verschillende scenario's voor de periode van 2007– juni 2019, kan ook de waterbalans doorgerekend worden over deze langjarige periode, en specifiek het verschil in wateropname door het gras.

Voor dit grasland kan men dan berekenen dat over de seizoenen van 2007 tot 2018, het grasbestand tijdens droogteperiodes *gemiddeld* 45 mm water per seizoen meer kon opnemen onder een peilgestuurde drainage ten opzichte van een klassieke drainage. Uiteraard wegen droge seizoenen zoals 2011, 2015 en 2018 hierin sterk door.

Ingeval van klimaatverandering kan men verwachten dat ook meer drogere seizoenen kunnen voorkomen.

Het detail van de doorrekeningen over deze periode is gegeven in bijlage.

#### 3.2.3.1.3 Effecten op de gewasopbrengsten

Verminderde wateropname door een gewas als gevolg van droogte leidt in het algemeen tot daling in de gewasopbrengst. Voor de meeste teelten is het verband tussen wateropname door het gewas en gewasproductie zeer goed gekend. Dit verband wordt weergegeven door de 'Water Use Efficiency' (WUE), als kg oogstbaar product per mm water opgenomen door het specifieke gewas.

Voor grasland bedraagt de WUE 30 kg droge stof per ha per mm gewasverdamping.

Rekening houdend

- met de meer-opname van gemiddeld 45 mm water door het grasland per seizoen,
- met 10% randverliezen,
- met een waarde van € 150/ton DS (hier gerekend als aankoopwaarde ingeval van gebrek aan groenvoer betekent – andere bronnen geven waarde tot 240/ton DS),

dan betekent dit gemiddelde meeropbrengsten van € 182/ha als gevolg van keuze voor peilgestuurde drainage vergeleken met klassieke drainage.

### 3.2.3.2 Perceel te BREE (574)

Het perceel te Bree maakt deel uit van een akkerbouwrotatie, waar in het bijzonder ook aardappelen een bijzondere plaats hebben.

De doorrekeningen voor dit perceel werden gemaakt voor aardappelen en de maïsteelt.

De gevolgde balansmodellen en methodes zijn dezelfde als deze die gevolgd werden voor het perceel te Bocholt.

#### 3.2.3.2.1 Aardappelteelt

De WUE voor aardappelen bedraagt 199 kg/ha.mm ET (gemiddeld over verschillende rassen).

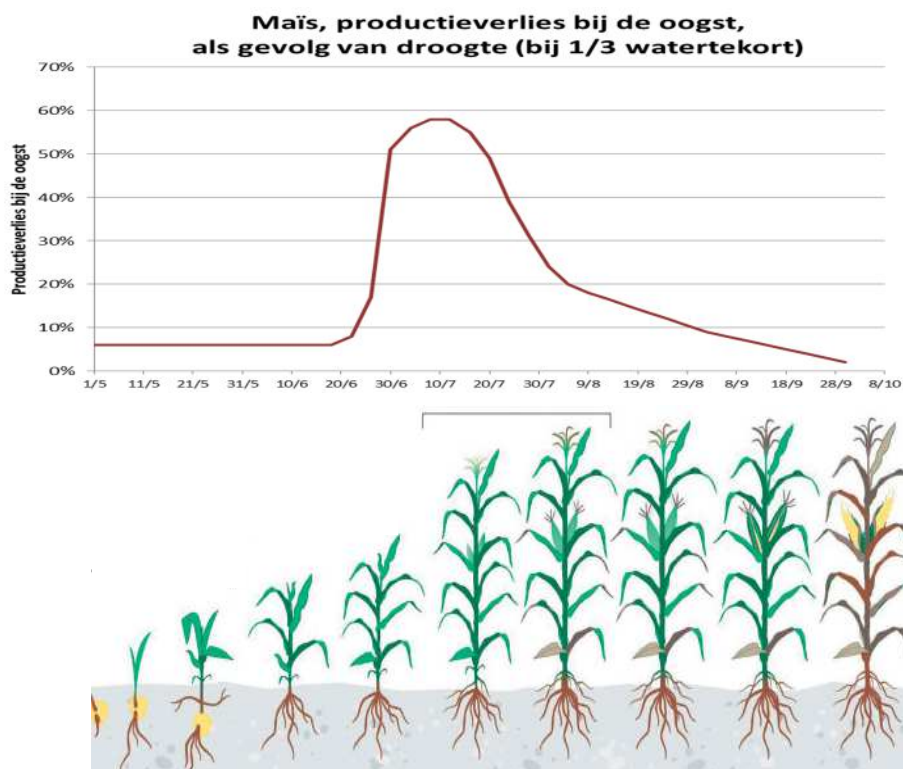
De meerjarig gemiddelde meeropbrengsten als gevolg van peilgestuurde drainage bedragen 4,2 ton/ha. Gerekend aan minstens 5% tarra en aan een contactprijs van 120 €/ton betekent dit een meeropbrengst van 478 €/ha, gemiddeld als effect van een peilgestuurde drainage ten opzichte van een klassieke drainage.

In drogere seizoenen liggen de grondwaterpeilen doorgaans lager zowel onder peilgestuurde als klassieke drainage en zal het verschil in capillaire nalevering eerder klein zijn en bijgevolg ook het verschil in opbrengsten.

### 3.2.3.2.2 Maïsteelt

De droogtegevoeligheid van maïs varieert in extreme mate tijdens de ontwikkelingscyclus. De opbrengst is extreem gevoelig aan droogte vanaf 10-12de blad (eind juni) tot einde bloei (juli). Capillaire nalevering in het begin van het seizoen als gevolg van peilgestuurde drainage laat toe om rond einde juni nog een grotere beschikbare bodemwaterreserve te bekomen zodat droogte minder doorweegt in de teeltopbrengst t.o.v. klassieke drainage. Deze droogtegevoeligheid is eveneens sterk afhankelijk van de variëteit.

In het algemeen kan men stellen dat de WUE van maïs 60 à 65 kg DS/mm bedraagt.



**Figuur 18: Evolutie van de droogtegevoeligheid van maïs in functie van groeicyclus.**

Indien men rekening houdt met de voldoening aan de watervraag in de maand juli, dan betekent de peilgestuurde drainage een toename met 1,47 t/ha op dit perceel.

Gerekend met 10 % oogstverliezen, en aan € 150/ton DS in aankoopbesparing, betekent de meeropbrengst in maïs op dit perceel meerjarig gemiddeld €199/ha als gevolg van de peilgestuurde drainage.

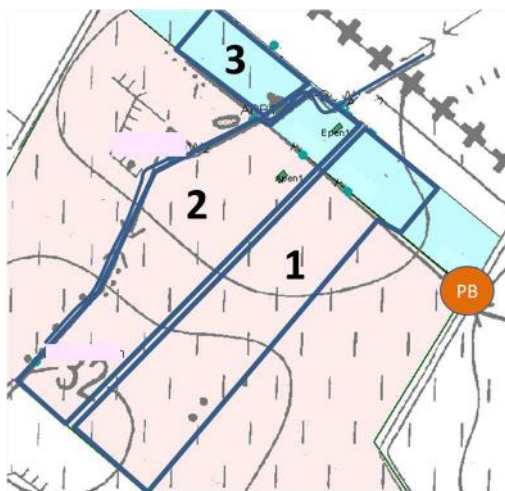
## 4 Andere effecten

### 4.1 Waterconservering in de ruime omgeving

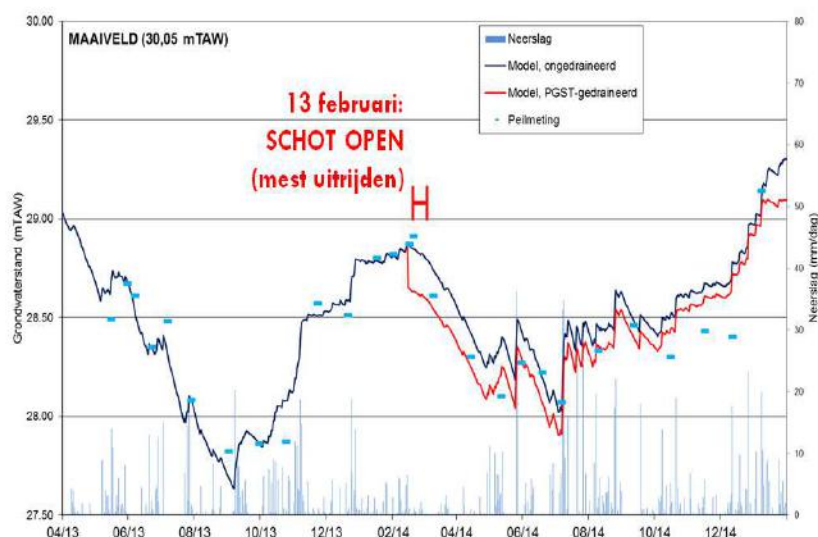
De omvorming van klassieke drainage naar peilgestuurde drainage betekent netto een verminderde afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater, niet alleen op het perceel, maar ook in de ruime omgeving.

In de communicatie in dit project hebben we steeds verwezen naar de waarnemingen in Kinrooi in 2014 in een opdracht voor de VLM. Volgende figuren illustreren dit.

Peilgestuurde drainage houdt meer grondwater vast in de omgeving ten opzichte van klassieke drainage. Peilgestuurde drainage werkt waterconserverend.



Figuur 19: Ligging van de gemonitorde peilbuis (PB) op ca. 100 m uit de peilgestuurde drainage te Kinrooi.



Figuur 20: Effect van het openen van de peilgestuurde drainage in de gemonitorde peilbuis buiten de drainagezone.

## 4.2 Oppervlaktewaterkwaliteit en -kwantiteit

---

Gezien de duidelijk verschillende afvoerregimes van water naar het oppervlaktewater onder peilgestuurde drainage ten opzichte van klassieke drainage, kan in een aantal gevallen ook effect verwacht worden op de oppervlaktewaterkwaliteit en piekafvoer.

In de communicatie werd op demodagen of voorlichtingsmomenten wanneer relevant gerefereerd naar onderzoek in dit verband:

R. Wayne Skaggs, Brevé M.A., Mohammad A.T., Parsons J.E. en Gilliam J.W., 1995. Simulation of drainage water quality with Drainmod. *Irrigation and Drainage Systems* 9:259-277. Kluwer.

R. Wayne Skaggs, Norman R. Fausey, and Robert O. Evans, 2012. Drainage water management. *Journal of Soil and Water Conservation* 2012 67(6):167A-172A; doi:10.2489 / jswc.67.6.167A

Stuyt, L.C.P.M., 2013. Regelbare drainage als schakel in toekomstbestendig waterbeheer. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2370, 488 blz.; 269 fig.; 40 tab.

Tits M., Elsen F., Coussement T., Devenyns D., Elsen A., Bries J., Vandendriessche H. (2015). Integrale aanpak van waterkwaliteits- en kwantiteitsverbetering van de Horstgaterbeek en de Lossing in de omgeving van ruilverkaveling Molenbeersel. Bodemkundige Dienst van België vzw. Vlaamse Landmaatschappij Regio Oost, Copromotor. I.o.v. Vlaamse Regering. Eindrapport, 9/3/2015. 55 pp.



## 5 Besluiten

Op basis van de monitoring en verdergaande onderzoeken bij de omvorming van een klassieke drainage naar peilgestuurde drainage, meer bepaald op 4 locaties (Pelt, Hamont-Achel, Bocholt en Bree) konden volgende besluiten worden voorgelegd:

Voorafgaand aan de aanleg van een peilgestuurde drainage dient nagegaan te worden of en in welke mate deze een meerwaarde kan betekenen ten opzichte van een klassieke drainage. Hierbij dient gekeken te worden naar de kansen en de mate waarin het gemiddelde grondwaterpeil (terug) kan stijgen als gevolg van de ingreep en de snelheid van de drainage wanneer deze vereist is. De beslissingen worden in belangrijke mate bepaald door de historische grondwaterpeilen, de mate van kwel, en de hydraulische geleidbaarheid van de bodem.

Omvormen van klassiek drainage naar peilgestuurde drainage heeft betekenisvol effect in de verhoging van het gemiddeld grondwaterpeil ter hoogte van het perceel. Bovendien wordt door de slechts tijdelijke diepere drainage de betekenisvolle ontwatering in de ruime omgeving, in het landschap vermeden die het gevolg is van een klassieke drainage van een individueel perceel. Peilgestuurde drainage houdt het water in het landschap, het werkt betekenisvol conserverend ten opzichte van klassiek drainage.

In dezelfde zin zal peilgestuurde drainage in een aantal omstandigheden bij hoge neerslagintensiteiten piekdebieten naar het oppervlaktewater aanzienlijk kunnen milderen.

Door de verandering in de drainagedebieten en –periodes kunnen ook veranderingen vastgesteld worden in de flux van nutriënten (nitraten, fosfaten) naar het oppervlaktewater. Deze veranderingen zijn zeer plaats- en tijdspecifiek en kunnen niet steeds veralgemeend worden.

De hogere grondwaterpeilen onder peilgestuurde drainage, of tenminste de in het voorjaar latere grondwaterpeildalingen ten opzichte van de klassiek drainage, laten toe dat aanzienlijk meer capillaire nalevering plaatsgrijpt voor de teelten. Dit proces heeft onmiddellijk significante gevolgen voor de teeltopbrengsten.

De doorrekeningen hebben mogelijk gemaakt om een benadering te geven van deze meeropbrengsten. In volgende tabel worden deze hernomen en aangevuld met data van andere percelen.

	<b>Bocholt Maïs</b>	<b>Bree Maïs</b>	<b>Bocholt Gras</b>	<b>Neerpelt Gras</b>	<b>Bocholt Aardappel</b>	<b>Bree Aardappel</b>
Sim.periode	2006-2017	2007-2018	2007-2018	2006-2016	2006-2017	2007-2018
<b>€/ ha.jaar (gemiddeld)</b>	<b>€ 104</b>	<b>€ 119</b>	<b>€ 185</b>	<b>€ 149</b>	<b>€ 363</b>	<b>€ 463</b>

Deze financiële meeropbrengsten laten toe om in belangrijke mate de meerkosten die een peilgestuurde drainage met zich brengt af te schrijven binnen redelijke termijnen.



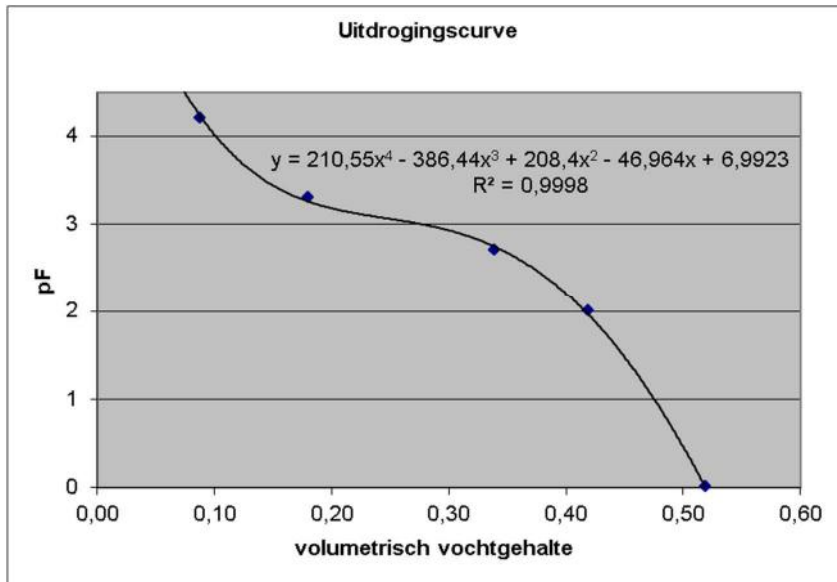
## Perceel te Hamont-Achel

Laboratoriumresultaten:

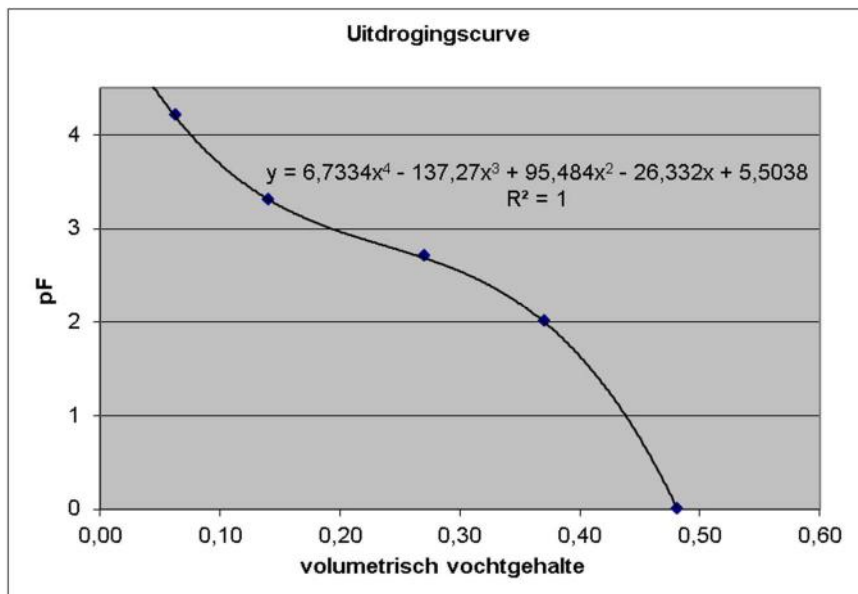
Identificatie stalen					retentiekenarakteristieken							macro-porosit.	RAW	TAW
perceel	boring nr.	herh	liepte (cm)	staal nr.	droog vol gew. (kg/dm³)	(cm³/cm³) pF 0	pF 2	pF 2,7	pF 4,2 1ste		(cm³/cm³) ret. pF 4.2	pF 0 tot pF2	pF2 tot pF2,7	pF 2 tot pF4,2
Hamont-Achel		1	15	172B	1,38	0,471	0,328	0,201	0,068		0,068	0,143	0,127	0,260
		2	15	404B	1,43	0,435	0,315	0,184	0,060		0,060	0,121	0,131	0,255
		3	15	412B	1,39	0,470	0,354	0,217	0,074		0,074	0,116	0,138	0,281
					1,40	0,46	0,33	0,20	0,07		0,07	0,13	0,13	0,27
Hamont-Achel		1	45	601B	1,28	0,491	0,319	0,228	0,069		0,069	0,172	0,091	0,250
		2	45	4A	1,23	0,519	0,307	0,236	0,070		0,070	0,211	0,071	0,238
		3	45	629B	1,28	0,484	0,324	0,236	0,070		0,070	0,160	0,088	0,254
					1,26	0,50	0,32	0,23	0,07		0,07	0,18	0,08	0,25

Afgeleide retentiekenarakteristieken:

Bouwlaag:



B-horizont:



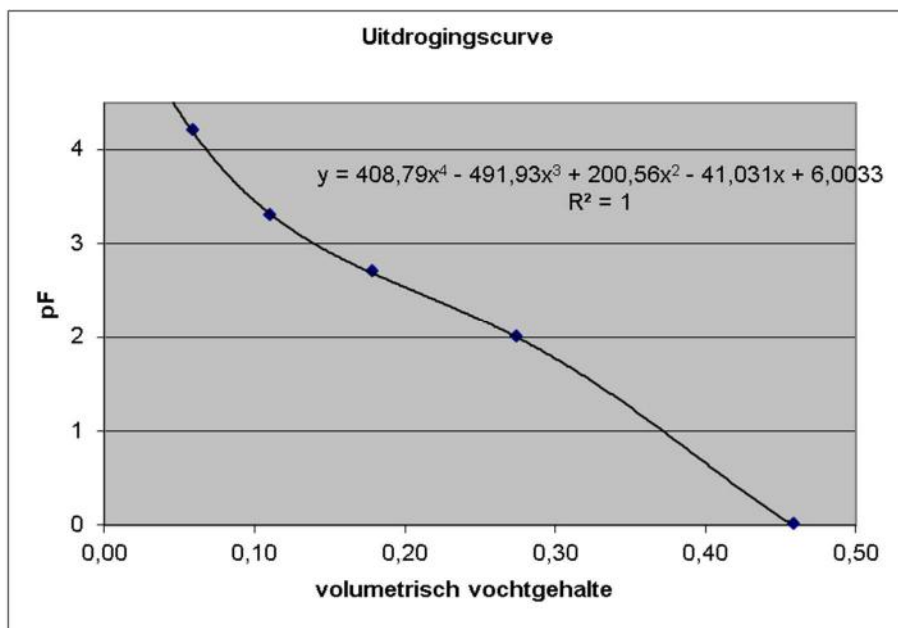
## Perceel te Pelt

Laboratoriumresultaten:

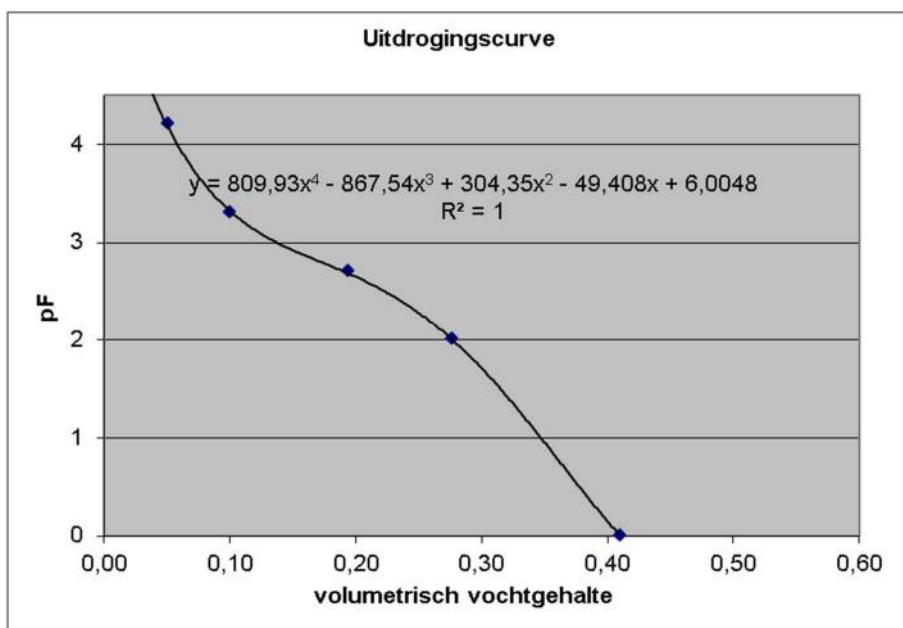
Identificatie stalen					zandbak retentiekarakteristieken							macro-porositeit		RAW	TAW	
perceel	boring nr.	herh	diepte (cm)	staal nr.	RING NR	gewicht pF 0 (g)	droog vol gew. (kg/dm³)	(cm³/cm³)				(cm³/cm³)	ret. pF 4.2	pF 0 tot pF2	pF2 tot pF2,7	pF 2 tot pF4,2
Neerpelt		1	15	356B	356B	285,692	1,41	0,479	0,255	0,166	0,060	0,060	0,224	0,089	0,195	
		2	15	631B	631B	289,936	1,50	0,439	0,279	0,176	0,054	0,054	0,160	0,103	0,226	
		3	15	669B	669B	291,154	1,48	0,458	0,288	0,192	0,064	0,064	0,171	0,096	0,224	
						1,46	0,46	0,27	0,18	0,06	0,06	0,18	0,10	0,21		
Neerpelt		1	45	343B	343B	297,561	1,59	0,415	0,278	0,190	0,051	0,051	0,138	0,087	0,227	
		2	45	349B	349B	299,174	1,61	0,414	0,273	0,193	0,049	0,049	0,141	0,080	0,224	
		3	45	224B	224B	294,704	1,54	0,402	0,280	0,198	0,051	0,051	0,122	0,082	0,228	
						1,58	0,41	0,28	0,19	0,05	0,05	0,13	0,08	0,23		

Afgeleide retentiekarakteristieken:

Bouwlaag:



B-horizont:



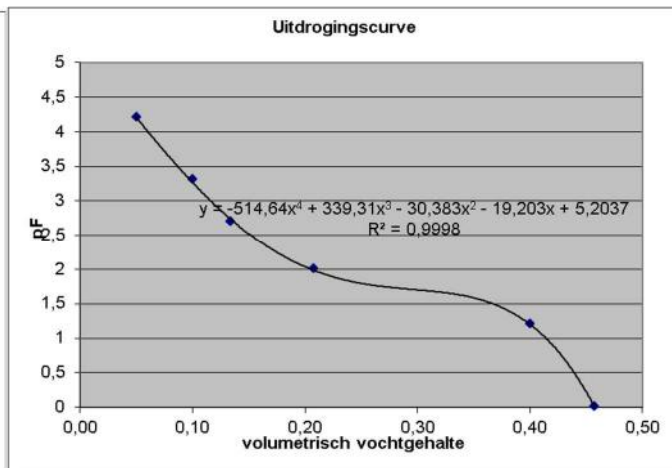
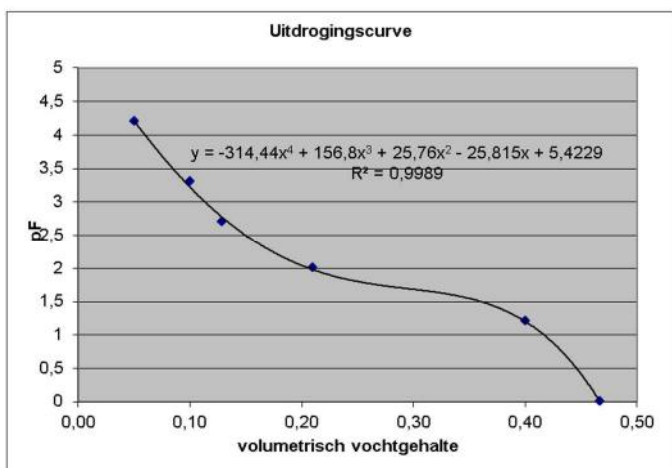
## Perceel te Bree

Laboratoriumresultaten:

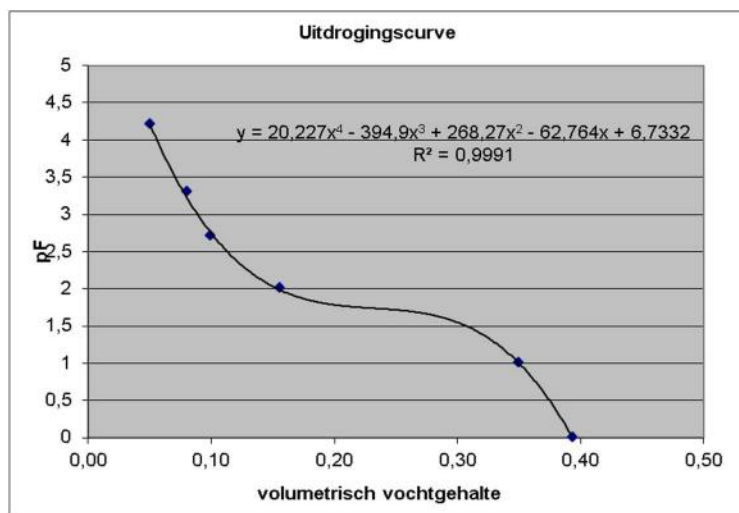
Identificatie stalen				retentiekarakteristieken						macro-porositeit	RAW	TAW	
perceel	boring nr.	herh	diepte (cm)	staal nr.	droog vol gew. (kg/dm³)	retentie actueel	(cm³/cm³) pF 0	pF 2	pF 2,7	(cm³/cm³) ret. pF 4.2	pF 0 tot pF2	pF2 tot pF2,7	pF 2 tot pF4,2
Perceel 5	1	1	15		1.36		0.479	0.227	0.133		0.252	0.094	0.227
		2	15		1.50		0.455	0.192	0.124		0.263	0.068	0.192
					1.43		0.47	0.21	0.13	0.05	0.26	0.08	0.21
Perceel 511	2	1	15		1.52		0.470	0.208	0.129		0.262	0.079	0.208
		2	15		1.45		0.455	0.213	0.141		0.242	0.072	0.213
		3	15		1.51		0.448	0.201	0.132		0.247	0.069	0.201
					1.50		0.46	0.21	0.13	0.05	0.25	0.07	0.21
perceel 5 L2	2	1	45		1.51		0.397	0.123	0.082		0.274	0.041	0.123
		2	45		1.52		0.390	0.188	0.116		0.202	0.072	0.188
					1.51		0.39	0.16	0.10	0.05	0.24	0.06	0.16

Afgeleide retentiekarakteristieken:

Bouwlaag (5 en 511):



B-horizont:



## 6.2 Hydraulisch conductiviteit van de B-horizont op opgevolgde percelen.



### BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W.de Croylan 48

B-3001 Heverlee België

T: +32 (0)16 31 09 22 - F: +32 (0)16 22 42 06

E-mail: info@bdb.be

Leliestraat 63

B-8800 Roeselare België

T: +32 (0)51 20 54 00 - F: +32 (0)51 20 54 20

E-mail: info@bdb.be

BNP:

KBC:

PRC:

B.T.W.:

BE22 0015 8344 2447

BE94 7364 0303 0014

BE95 0000 4991 2358

BE 0420 415 024

#### Bepaling van de hydraulische conductiviteit, in situ

##### Methode: Boorgatmethode (methode Hooghoudt)

 Opdrachtgever: AGROBEHEERSCENTRUM Eco<sup>2</sup> i.o.v.

LEADER KEMPEN&amp;MAASLAND

Dorpstraat 44 3760 Meeuwen-Gruitrode

Project: DRAINAGE +

Referentie, code: KML15/05

Locatie: Perceel 575, Bocholt (bedrijf Vangerven)

Meetpunt, -plaats: Omgeving 575Pb2-Pb3

Klantnr. (BDB): 343454

Referentie (BDB): P/OO/290

Datum uitvoering: 22/03/2018

Uitvoerder: JD

Datum verslag: 20/04/2018

Controle verslag: FE

#### BEPROEVINGSVERSLAG

BEREKENINGEN									
Herhaling:		1		2		3		4	
Diepte van het boorgat:		0.96 m-mv		0.93 m-mv		m-mv		m-mv	
Diameter van de boring:		0.10 m		0.10 m		m		m	
Diepte ondoorlatende laag (>):		3.0 m-mv		3.0 m-mv		m-mv		m-mv	
Opname:	Tijd	Waterpeil	Tijd	Waterpeil	Tijd	Waterpeil	Tijd	Waterpeil	
	(s)	(m-mv)	(s)	(m-mv)	(s)	(m-mv)	(s)	(m-mv)	
1	0	0.850	0	0.650					
2	7	0.840	12	0.640					
3	14	0.830	21	0.630					
4	20	0.820	30	0.620					
5	28	0.810	38	0.610					
6	35	0.800	48	0.600					
7	42	0.790	62	0.590					
8	48	0.780	71	0.580					
9	55	0.770	82	0.570					
10	63	0.760	93	0.560					
11	70	0.750	106	0.550					
12	77	0.740	117	0.540					
13	83	0.730	130	0.530					
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
Relevant traject:	48 s	0.780 m-mv	30 s	0.620 m-mv	0 s	m-mv	0 s	m-mv	
Controle:	S: OK r: OK H: OK	y: OK Δy: OK	S: OK r: OK H: OK	y: OK Δy: OK	S: r: H:	y: Δy:	S: r: H:	y: Δy:	
Proef- resultaat:	<b>Doorlatendheid:</b> K <sub>s</sub> : 3.24E-05 m/s 2.802 m/dag		<b>Doorlatendheid:</b> K <sub>s</sub> : 3.58E-05 m/s 3.090 m/dag		<b>Doorlatendheid:</b> K <sub>s</sub> : m/s m/dag		<b>Doorlatendheid:</b> K <sub>s</sub> : m/s m/dag		
	Verloop		Verloop		Verloop		Verloop		
Opmerking:	-		-		-		-		





# BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W.de Croylaan 48

B-3001 Heverlee België

T: +32 (0)16 31 09 22 - F: +32 (0)16 22 42 06

E-mail: info@bdb.be

Leliestraat 63

B-8800 Roeselare België

T: +32 (0)51 20 54 00 - F: +32 (0)51 20 54 20

E-mail: info@bdb.be

BNP:

BE22 0015 8344 2447

KBC:

BE94 7364 0303 0014

PRC:

BE95 0000 4991 2358

B.T.W.:

BE 0420.415.024

## Bepaling van de hydraulische conductiviteit, in situ

### Methode: Boorgatmethode (methode Hooghoudt)

Opdrachtgever: AGROBEHEERSCENTRUM Eco<sup>2</sup> i.o.v.  
LEADER KEMPEN&MAASLAND  
Dorpstraat 44 3760 Meeuwen-Gruitrode

Klantnr. (BDB): 343454  
Referentie (BDB): P/OO/290

Project: DRAINAGE +  
Referentie, code: KML15/05  
Locatie: Perceel 576, Hamont-Achel (bedrijf Rombouts)  
Meetpunt, -plaats: Omgeving 576Pb2-Pb1

Datum uitvoering: 22/03/2018  
Uitvoerder: JD  
Datum verslag: 20/04/2018  
Controle verslag: FE

### BEPROEVINGSVERSLAG

Herhaling:	1	2	3	
Diepte van het boorgat:	0.92 m-mv	0.97 m-mv	m-mv	m-mv
Diameter van de boring:	0.10 m	0.10 m	m	m
Diepte ondoorlatende laag(>):	3.0 m-mv	3.0 m-mv	m-mv	m-mv
Opname:	Tijd (s)	Waterpeil (m-mv)	Tijd (s)	Waterpeil (m-mv)
1	0	0.800	0	0.950
2	12	0.790	5	0.940
3	22	0.780	21	0.930
4	37	0.770	42	0.920
5	52	0.760	62	0.910
6	64	0.750	83	0.900
7	77	0.740	104	0.890
8	92	0.730	126	0.880
9	108	0.720	148	0.870
10	125	0.710	170	0.860
11	140	0.700	191	0.850
12	151	0.690	213	0.840
13	168	0.680		
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
Relevant traject:	64 s 0.750 m-mv	148 s 0.870 m-mv	0 s m-mv	0 s m-mv
Controle:	S: OK r: OK y: OK H: OK Δy: OK	S: OK r: OK y: OK H: OK Δy: OK	S: r: y: H: Δy:	S: r: y: H: Δy:
Proef- resultaat:	<b>Doorlatendheid:</b> $K_s$ : 2.20E-05 m/s 1.905 m/dag Verloop	<b>Doorlatendheid:</b> $K_s$ : 1.36E-05 m/s 1.179 m/dag Verloop	<b>Doorlatendheid:</b> $K_s$ : m/s m/dag Verloop	<b>Doorlatendheid:</b> $K_s$ : m/s m/dag Verloop
Opmerking:	-	-	-	-



# BODEMKUNDIGE DIENST VAN BELGIE v.z.w.

W.de Croylaan 48

B-3001 Heverlee

België

T: +32 (0)16 31 09 22 - F: +32 (0)16 22 42 06

E-mail: info@bdb.be

Leliestraat 63

B-8800 Roeselare

België

T: +32 (0)51 20 54 00 - F: +32 (0)51 20 54 20

E-mail: info@bdb.be

BNP:

BE22 0015 8344 2447

KBC:

BE94 7364 0303 0014

PRC:

BE95 0000 4991 2358

B.T.W.:

BE 0420.415.024

## Bepaling van de hydraulische conductiviteit, in situ

### Methode: Boorgatmethode (methode Hooghoudt)

 Opdrachtgever: AGROBEHEERSCENTRUM Eco<sup>2</sup> i.o.v.

LEADER KEMPEN&amp;MAASLAND

Dorpstraat 44

3760 Meeuwen-Gruitrode

Klantnr. (BDB):

343454

Referentie (BDB):

P/OO/290

Project: DRAINAGE +

Referentie, code: KML15/05

Locatie: Perceel 577, Hamonterweg, Neerpelt (bedrijf Kwanten)

Meetpunt, -plaats: Omgeving 577Pb1

Datum uitvoering:

22/03/2018

Uitvoerder:

JD

Datum verslag:

20/04/2018

Controle verslag:

FE

### BEPROEVINGSVERSLAG

Herhaling:	1	2	3	4
Diepte van het boorgat:	1.45 m-mv	1.44 m-mv	m-mv	m-mv
Diameter van de boring:	0.10 m	0.10 m	m	m
Diepte ondoorlatende laag(>):	3.0 m-mv	3.0 m-mv	m-mv	m-mv
Opname:	Tijd (s)	Waterpeil (m-mv)	Tijd (s)	Waterpeil (m-mv)
1	0	1.380	0	0.900
2	16	1.370	5	0.890
3	31	1.360	21	0.880
4	45	1.350	42	0.870
5	60	1.340	62	0.860
6	73	1.330	83	0.850
7	95	1.320	104	0.840
8	117	1.310	126	0.830
9	142	1.300	148	0.820
10	170	1.290	170	0.810
11	195	1.280	191	0.800
12	226	1.270	213	0.790
13			240	0.780
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
Relevant traject:	226 s	1.270 m-mv	240 s	0.780 m-mv
Controle:	S: OK r: OK H: OK	y: OK Δy: OK	S: OK r: OK H: OK	y: OK Δy: OK
Proef- resultaat:	Doorlatendheid: $K_s$ : 2.47E-06 m/s 0.213 m/dag Verloop	Doorlatendheid: $K_s$ : 3.90E-06 m/s 0.337 m/dag Verloop	Doorlatendheid: $K_s$ : m/s m/dag Verloop	Doorlatendheid: $K_s$ : m/s m/dag Verloop
Opmerking:	-	-	-	-

## 6.3 Metingen van de grondwaterpeilen in de peilbuizen van de opgevolgde percelen

Perceel 573 te BREE

Mv omgeving: Maaiveld buis: Top buis: DATUM	573PB1 Peilbuis 1				573PB2 Peilbuis 2				573PB3 Peilbuis 3				573PB4 Peilbuis 4				573PBhgb1 Peilbuis HGB1				573PBhgb3 Peilbuis HGB3			
	34.73		34.73		34.70		34.70		34.83		34.83		35.00		35.00		35.01		35.01		34.91		34.91	
	top-mv		top-water		top-mv		top-water		top-mv		top-water		top-mv		top-water		top-mv		top-water		top-mv		top-water	
	m	m	meting	m-mv	m	m	meting	m-mv	m	m	meting	m-mv	m	m	meting	m-mv	m	m	meting	m-mv	m	m	meting	m-mv
12/12/2016	33.62	0	1.6	-1.11	32.95		1.75	-1.75	33.83	0.25	1.2	-0.99	32.96	0.25	2.3	-2.04	33.92	0	1.2	-1.09	33.72	0	1.6	-1.18
20/01/2017	33.97	0	1.25	-0.76	33.77	0.26	1.19	-0.93	33.92	0.25	1.11	-0.90	33.97	0.26	1.29	-1.03	34.13	0	0.99	-0.88	33.93	0	1.39	-0.97
01/02/2017	33.90		1.32	-0.83	33.85		1.11	-0.85	33.85	0.25	1.18	-0.97	33.94		1.32	-1.06	34.11	0	1.01	-0.90	33.89	0	1.43	-1.01
22/02/2017	33.98	0	1.24	-0.75	33.86	0.26	1.1	-0.84	33.93	0.25	1.1	-0.89	34.00	0.26	1.26	-1.00	34.15	0	0.97	-0.86	33.97	0	1.35	-0.93
20/03/2017	34.22	-0.12	1	-0.51	33.89	0.25	1.07	-0.81	34.09	0.25	0.94	-0.73	34.08	0.28	1.18	-0.92	34.53	0	0.59	-0.48	34.29	0	1.03	-0.61
04/04/2017	33.81	0	1.41	-0.92					33.85	0.34	1.18	-0.97					34.13	0.24	0.99	-0.88				
18/04/2017	33.66	-0.1	1.56	-1.07		Peilbuis verdwenen			33.79	0.25	1.24	-1.03					34.03	-0.08	1.09	-0.98	33.77	0	1.55	-1.13
11/05/2017	33.62	-0.05	1.6	-1.11					33.75	0.2	1.28	-1.07					33.97	-0.05	1.15	-1.04	33.99	0	1.33	-0.91
17/05/2017	33.58	0	1.64	-1.15					33.65	0.34	1.38	-1.17					33.90	0	1.22	-1.11	33.65	0	1.67	-1.25
02/06/2017	33.28	0	1.94	-1.45					33.38	0.34	1.65	-1.44					33.62	0	1.5	-1.39	33.40	0	1.92	-1.50
04/08/2017	33.22	-0.1	2	-1.51					33.30	0.17	1.73	-1.52					33.50	-0.05	1.62	-1.51	33.27	0	2.05	-1.63
25/08/2017	33.15	0	2.07	-1.58					33.27	0.34	1.76	-1.55					33.49	0	1.63	-1.52	33.21	0	2.11	-1.69
01/09/2017	33.18	0	2.04	-1.55					33.34	0.2	1.69	-1.48					33.51	-0.05	1.61	-1.50	33.26	0	2.06	-1.64
04/10/2017	33.26	0	1.96	-1.47					33.38	0.34	1.65	-1.44					33.60	0	1.52	-1.41	33.34	0	1.98	-1.56
20/10/2017	33.53	0	1.69	-1.20					33.63	0.34	1.4	-1.19					33.81	0	1.31	-1.20	33.54	0	1.78	-1.36
02/11/2017	33.58	0	1.64	-1.15					33.65	0.34	1.38	-1.17					33.90	0	1.22	-1.11	33.65	0	1.67	-1.25
20/11/2017	33.36	-0.1	1.86	-1.37					33.43	0.25	1.6	-1.39					33.65	-0.05	1.47	-1.36	33.36	0	1.96	-1.54
18/12/2017	34.19	-0.1	1.03	-0.54					33.95	0.2	1.08	-0.87					34.21	-0.05	0.91	-0.80	33.98	0	1.34	-0.92
27/12/2017	34.32		0.9	-0.41					34.17		0.86	-0.65					34.45		0.67	-0.56	34.24		1.08	-0.66
20/02/2018	34.04	0	1.18	-0.69					34.14	0.5	0.89	-0.68					34.27	0	0.85	-0.74	34.11	0	1.21	-0.79
07/03/2018	33.91	0	1.31	-0.82					33.82	0.34	1.21	-1.00					34.17	0	0.95	-0.84	33.93	0	1.39	-0.97
20/03/2018	34.01	-0.11	1.21	-0.72					33.92	0.23	1.11	-0.90						niet gevonden						
03/04/2018	34.13	0	1.09	-0.60					33.95	0.2	1.08	-0.87					34.31	0	0.81	-0.70	34.16	0	1.16	-0.74
17/04/2018	33.97	0	1.25	-0.76					33.87	0.2	1.16	-0.95					34.20	0	0.92	-0.81	33.99	0	1.33	-0.91
04/05/2018	33.78	-0.1	1.44	-0.95					33.80	0.2	1.23	-1.02					34.10	-0.05	1.02	-0.91	33.86	-0.08	1.46	-1.04
17/05/2018	33.66	-0.11	1.56	-1.07					33.71	0.22	1.32	-1.11						niet gevonden						
07/06/2018	33.50	-0.1	1.72	-1.23					33.62	0.2	1.41	-1.20					33.89	-0.05	1.23	-1.12	33.77	-0.09	1.55	-1.13
22/06/2018	33.39	-0.11	1.83	-1.34					33.49	0.25	1.54	-1.33					33.70	-0.07	1.42	-1.31	33.61	-0.08	1.71	-1.29
04/07/2018	33.28	-0.1	1.94	-1.45					33.27	0.2	1.76	-1.55					33.41	-0.05	1.71	-1.60	33.47	-0.09	1.85	-1.43
19/07/2018	33.19	-0.11	2.03	-1.54					33.22	0.24	1.81	-1.60					33.46	-0.06	1.66	-1.55	33.30	-0.08	2.02	-1.60
03/08/2018	33.11	-0.1	2.11	-1.62					33.12	0.15	1.91	-1.70					33.27	-0.09	2.05	-1.63	33.27	-0.09	2.05	-1.63
16/08/2018	33.07	-0.11	2.15	-1.66					33.19	0.13	1.84	-1.63					33.17	-0.05	1.95	-1.84	33.08	-0.08	2.24	-1.82
31/08/2018	33.06	-0.1	2.16	-1.67					33.12	0	1.69	-1.71					33.35	-0.05	1.77	-1.66	33.11	-0.09	2.21	-1.79
10/09/2018	33.06	-0.11	2.16	-1.67					33.25	0.01	1.56	-1.58					33.31	-0.05	1.81	-1.70	33.11	-0.08	2.21	-1.79
26/09/2018	33.04	-0.1	2.18	-1.69					33.15	0	1.66	-1.68					33.44	-0.05	1.68	-1.57	33.14	-0.09	2.18	-1.76
11/10/2018	33.05	-0.11	2.17	-1.68													33.40	-0.05	1.72	-1.61	33.13	-0.08	2.19	-1.77
24/10/2018	33.04	-0.1	2.18	-1.69						Verdwenen?							33.29	-0.05	1.83	-1.72	33.13	-0.09	2.19	-1.77
08/11/2018	32.99	-0.11	2.23	-1.74													33.40	-0.05	1.72	-1.61	33.11	-0.08	2.21	-1.79
22/11/2018	33.01	-0.1	2.21	-1.72													33.44	-0.06	1.68	-1.57	33.11	-0.08	2.21	-1.79
06/12/2018	33.04	-0.12	2.18	-1.69													33.44	-0.05	1.68	-1.57	33.16	-0.08	2.16	-1.74
19/12/2018	33.28	-0.1	1.94	-1.45													33.39	-0.03	1.73	-1.62	33.21	-0.08	2.11	-1.69
31/01/2019	34.10	-0.11	1.12	-0.63													33.67	-0.05	1.45	-1.34	33.46	-0.08	1.86	-1.44
14/02/2019	34.12	-0.1	1.1	-0.61													34.13	-0.05	0.99	-0.88	33.95	-0.1	1.37	-0.95
28/02/2019	33.95	-0.1	1.27	-0.78													34.21	-0.05	0.91	-0.80		Verzand		
13/03/2019	34.13	-0.1	1.09	-0.60													34.09	-0.04	1.03	-0.92				
25/03/2019	34.03	-0.12	1.19	-0.70													34.21	-0.05	0.91	-0.80				
10/04/2019	33.79	-0.1	1.43	-0.94													34.05	-0.05	1.07	-0.96				
06/05/2019	33.57	-0.1	1.65	-1.16					34.07	0.05	0.96	-0.75					33.91	-0.05	1.21	-1.10				
06/06/2019	33.45	-0.1	1.77	-1.28					34.02	0.05	1.01	-0.80					33.80	-0.05	1.32	-1.21				
24/06/2019	33.51	-0.13	1.71	-1.22													33.80	-0.03	1.32	-1.21				

## Perceel 574 te BREE

Mv omgeving: Maaiveld PB: Top: DATUM	574PB1 34.06 34.06 34.63 mTAW	Peilbuis 1 top-mv top-water meting m m m-mv				574PB2 34.3 34.58 mTAW	Peilbuis 2 top-mv top-water meting m m m-mv				574PB3 34.61 34.62 34.76 mTAW	Peilbuis 3 top-mv top-water meting m m m-mv				Peilbuis 3 herplaatst top-mv top-water meting m m m-mv				Peilbuis 3 herplaatst top-mv top-water meting m m m-mv																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
12/12/2016	33.13	0.6	1.5	-0.93	32.67	0.23	1.91	-1.64	33.56	0.25	1.2	-1.04	Peilbuis afgemaaid																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Perceel 575 te BOCHOLT

Mv omgeving: Maaiveld PB: Top buis: DATUM	575PB1	Peilbuis 1				575PB2	Peilbuis 2				575PB3	Peilbuis 3			
	37.26					37.60					37.86				
	36.98	top-mv	top-water			37.60	top-mv	top-water			38.01	top-mv	top-water		
	37.59		meting	m-mv		37.55		meting	m-mv		38.17		meting	m-mv	
	mTAW	m	m			mTAW	m	m			mTAW	m	m		
13/12/2016	36.88	0.55	0.71	-0.37		37.04	0	0.51	-0.55		37.20	0.25	0.97	-0.66	
20/01/2017	36.94	0.58	0.65	-0.31		37.22	-0.05	0.33	-0.37		37.37	0.1	0.8	-0.49	
01/02/2017	36.89		0.7	-0.36		37.16		0.39	-0.43		37.32		0.85	-0.54	
22/02/2017	36.95	0.58	0.64	-0.30		37.22	-0.05	0.33	-0.37		37.37	0.18	0.8	-0.49	
20/03/2017	37.00	0.6	0.59	-0.25		37.36	0	0.19	-0.23		37.52	0	0.65	-0.34	
04/04/2017	36.92	0.6	0.67	-0.33		37.14	0	0.41	-0.45		37.25	0	0.92	-0.61	
18/04/2017	36.91	0.6	0.68	-0.34		37.11	0	0.44	-0.48		37.19	0	0.98	-0.67	
11/05/2017	36.90	0.6	0.69	-0.35		37.06	0	0.49	-0.53		37.24	0	0.93	-0.62	
17/05/2017	36.86	0.7	0.73	-0.39		37.01	0	0.54	-0.58		37.13	0	1.04	-0.73	
02/06/2017	36.76	0.7	0.83	-0.49		36.88		0.61	-0.71		36.98	0	1.19	-0.88	
14/07/2017	36.70	0.66	0.89	-0.55		36.86	0	0.69	-0.73		36.97	0	1.2	-0.89	
04/08/2017	36.71	0.5	0.88	-0.54		36.84	0	0.71	-0.75		36.95	0	1.22	-0.91	
25/08/2017	36.72	0.7	0.87	-0.53		36.84		0.69	-0.76		36.93	0	1.24	-0.93	
01/09/2017	36.71	0.65	0.88	-0.54		36.87	0	0.68	-0.72		36.94	0	1.23	-0.92	
04/10/2017	36.76	0.7	0.83	-0.49		36.93	0	0.62	-0.66		37.14	0	1.03	-0.72	
20/10/2017	36.86	0.7	0.73	-0.39		37.10	0	0.45	-0.49		37.22	0	0.95	-0.64	
02/11/2017	36.86	0.7	0.73	-0.39		37.01	0	0.54	-0.58		37.13	0	1.04	-0.73	
20/11/2017	36.80	0.6	0.79	-0.45		37.00	0	0.55	-0.59		37.11	0	1.06	-0.75	
18/12/2017	36.99	0.6	0.6	-0.26		37.35	-0.05	0.2	-0.24		37.51	-0.05	0.66	-0.35	
27/12/2017	37.08		0.51	-0.17		37.47	0	0.08	-0.12		37.65	0	0.52	-0.21	
20/02/2018	36.94	0.6	0.65	-0.31		37.29	0	0.26	-0.30		37.42	0	0.75	-0.44	
07/03/2018	36.87	0.67	0.72	-0.38		37.19	0	0.36	-0.40		37.28	0	0.89	-0.58	
20/03/2018	36.94	0.69	0.65	-0.31		37.28	-0.08	0.27	-0.31		37.40	-0.03	0.77	-0.46	
22/03/2018	36.94	0.75	0.65	-0.31		37.32	0	0.23	-0.27		37.39	0	0.78	-0.47	
03/04/2018	36.96	0.6	0.63	-0.29		37.32	0	0.23	-0.27		37.45	0.1	0.72	-0.41	
17/04/2018	36.92	0.65	0.67	-0.33		37.24	0	0.31	-0.35		37.37	0	0.8	-0.49	
04/05/2018	36.87	0.67	0.72	-0.38		37.14	0	0.41	-0.45		37.25	0	0.92	-0.61	
17/05/2018	36.85	0.68	0.74	-0.40		37.07	-0.08	0.48	-0.52		37.16	-0.04	1.01	-0.70	
07/06/2018	36.77	0.65	0.82	-0.48		36.98	0	0.57	-0.61		37.06	0	1.11	-0.80	
22/06/2018	36.75	0.63	0.84	-0.50		36.89	0	0.66	-0.70		36.96	-0.03	1.21	-0.90	
27/06/2018	36.70	0.62	0.89	-0.55		36.86	-0.08	0.69	-0.73		36.96	-0.03	1.21	-0.90	
04/07/2018	36.62	0.65	0.97	-0.63		36.77	0	0.78	-0.82		36.86	0	1.31	-1.00	
19/07/2018	36.57	0.65	1.02	-0.68		36.66	-0.07	0.89	-0.93		36.75	-0.03	1.42	-1.11	
03/08/2018	36.47	0.66	1.12	-0.78		36.58	0	0.97	-1.01		36.71	0	1.46	-1.15	
16/08/2018	36.59	0.67	1	-0.66		36.72	-0.07	0.83	-0.87		36.81	-0.03	1.36	-1.05	
31/08/2018	36.61	0.66	0.98	-0.64		36.75	0	0.8	-0.84		36.84	0	1.33	-1.02	
10/09/2018	36.62	0.66	0.97	-0.63		36.77	-0.07	0.78	-0.82		36.85	-0.02	1.32	-1.01	
26/09/2018	36.63	0.66	0.96	-0.62		36.78	0	0.77	-0.81		36.86	0	1.31	-1.00	
11/10/2018	36.65	0.66	0.94	-0.60		36.79	-0.07	0.76	-0.80		36.88	-0.02	1.29	-0.98	
24/10/2018	36.60	0.66	0.99	-0.65		36.74	0	0.81	-0.85		36.83	0	1.34	-1.03	
08/11/2018	36.64	0.67	0.95	-0.61		36.76	-0.07	0.79	-0.83		36.89	-0.02	1.28	-0.97	
22/11/2018	36.66	0.66	0.93	-0.59		36.83	0	0.72	-0.76		36.92	0	1.25	-0.94	
06/12/2018	36.61	0.69	0.98	-0.64		36.88	-0.11	0.67	-0.71		36.98	-0.09	1.19	-0.88	
19/12/2018	36.76	0.66	0.83	-0.49		36.99	0	0.56	-0.60		37.10	0	1.07	-0.76	
31/01/2019	36.88	0.66	0.71	-0.37		37.20	-0.07	0.35	-0.39		37.30	-0.04	0.87	-0.56	
14/02/2019	36.92	0.66	0.67	-0.33		37.20	0	0.35	-0.39		37.38	0	0.79	-0.48	
28/02/2019	36.87	0.67	0.72	-0.38		37.13	-0.06	0.42	-0.46		37.24	-0.03	0.93	-0.62	
13/03/2019	36.93	0.66	0.66	-0.32		37.24	0	0.31	-0.35		37.36	0	0.81	-0.50	
25/03/2019	36.92	0.69	0.67	-0.33		37.24	-0.07	0.31	-0.35		37.25	-0.03	0.92	-0.61	
10/04/2019	36.88	0.66	0.71	-0.37		37.13	0	0.42	-0.46		37.23	0	0.94	-0.63	
06/05/2019	36.87	0.66	0.72	-0.38		37.10	0	0.45	-0.49		37.18	0	0.99	-0.68	
06/06/2019	36.98	0.66	0.61	-0.27		37.16	0	0.39	-0.43		37.24	0	0.93	-0.62	
24/06/2019	36.78	0.67	0.81	-0.47		37.00	-0.11	0.55	-0.59		37.08	-0.03	1.09	-0.78	



Perceel 576 te HAMONT-ACHEL

Mv omgeving: Maaiveld PB: Top: DATUM	576PB1	Peilbuis 1			576PB2	Peilbuis 2			Peilbuis 2 herplaatst				Peilbuis 2 weerom herplaatst				576PB3	Peilbuis 3			Peilbuis 3 herplaatst				Peilbuis 3 weerom herplaatst			
	38.16	top-mv	top-water meting	m-mv	38.36	top-mv	top-water meting	m-mv	39.10	top-mv	top-water meting	m-mv	38.89	top-mv	top-water meting	m-mv	38.26	top-mv	top-water meting	m-mv	38.26	top-mv	top-water meting	m-mv	38.26	top-mv	top-water meting	m-mv
	38.18				38.42												38.77				38.26				38.55			
		mTAW	m	m		mTAW	m	m		mTAW	m	m		mTAW	m	m		mTAW	m	m		mTAW	m	m		mTAW	m	m
12/12/2016	37.24	0.23	1.26	-0.92	37.79	0.18	0.98	-0.56									37.38	0.34	1.17	-0.88								
20/01/2017	37.44	0.33	1.06	-0.72	37.90	0.18	0.87	-0.45									37.46	0.36	1.09	-0.80								
01/02/2017	37.46		1.04	-0.70	37.95		0.82	-0.40									37.48		1.07	-0.78								
22/02/2017	37.52	0.33	0.98	-0.64	38.00	0.18	0.77	-0.35									37.55	0.36	1	-0.71								
20/03/2017	37.70	0.25	0.8	-0.46	38.11	0.22	0.66	-0.24									37.71	0.38	0.84	-0.55								
04/04/2017	37.28	0.34	1.22	-0.88	37.71	0.29	1.06	-0.64									37.33	0.47	1.22	-0.93								
18/04/2017	37.22	0.25	1.28	-0.94	Weg door drijmestinjectie												Weg door drijmestinjectie											
11/05/2017	37.17	0.25	1.33	-0.99																								
17/05/2017	37.17	0.25	1.33	-0.99																								
02/06/2017	36.67	0.25	1.83	-1.49																								
14/07/2017	36.72	0.25	1.78	-1.44					36.85	0.5	2.25	-1.51									36.75	0.6	2.08	-1.51				
04/08/2017	36.54	0.2	1.96	-1.62					36.71	0.5	2.39	-1.65									36.49	0.5	2.34	-1.77				
25/08/2017	36.51	0.34	1.99	-1.65					Niet gevonden												Niet gevonden							
01/09/2017	36.56	0.15	1.94	-1.60					36.72	0.6	2.38	-1.64									36.50	0.6	2.33	-1.76				
04/10/2017	36.81	0.34	1.69	-1.35					Afgereden door hakselaar				37.14	0.37	1.75	-1.22					Afgereden door hakselaar				36.90	0.31	1.63	-1.36
20/10/2017	37.21	0.34	1.29	-0.95									37.52	0.37	1.37	-0.84								37.39	0.31	1.14	-0.87	
02/11/2017	37.08	0.34	1.42	-1.08									37.49	0.37	1.4	-0.87								37.37	0.31	1.16	-0.89	
20/11/2017	36.92	0.2	1.58	-1.24									37.25	0.3	1.64	-1.11								37.04	0.25	1.49	-1.22	
18/12/2017	37.57	0.2	0.93	-0.59									37.94	0.3	0.95	-0.42								37.51	0.2	1.02	-0.75	
27/12/2017	37.54	0.34	0.96	-0.62									37.99	0.37	0.9	-0.37								37.47	0.31	1.06	-0.79	
20/02/2018	37.60	0.25	0.9	-0.56									37.81	0.3	1.08	-0.55								37.43	0.25	1.1	-0.83	
07/03/2018	37.47	0.24	1.03	-0.69									37.74	0.29	1.15	-0.62								37.42	0.26	1.11	-0.84	
20/03/2018	37.57	0.24	0.93	-0.59									37.82	0.29	1.07	-0.54								37.44	0.26	1.09	-0.82	
22/03/2018	37.49	0.32	1.01	-0.67									38.04	0.23	0.85	-0.32								37.55	0.25	0.98	-0.71	
03/04/2018	37.64	0.25	0.86	-0.52									37.80	0.3	1.09	-0.56								Buis geplooid				
17/04/2018	37.43	0.25	1.07	-0.73									37.63	0.35	1.26	-0.73								37.36	0.25	1.17	-0.90	
04/05/2018	37.33	0.22	1.17	-0.83									37.68	0.44	1.21	-0.68								Buis geplooid				
17/05/2018	37.14	0.23	1.36	-1.02									37.46	0.31	1.43	-0.90								37.22	0.25	1.31	-1.04	
07/06/2018	36.80	0.27	1.7	-1.36									Niet gevonden												Buis geplooid			
22/06/2018	36.81	0.29	1.69	-1.35									Niet gevonden												Buis geplooid			
04/07/2018	36.61	0.2	1.89	-1.55									Niet gevonden												Buis geplooid			
19/07/2018	36.51	0.19	1.99	-1.65									Niet gevonden											36.63	0.27	1.9	-1.63	
03/08/2018	36.50	0.2	2	-1.66									36.64	0.3	2.25	-1.72								Buis geplooid				
16/08/2018	36.51	0.17	1.99	-1.65									36.68	0.3	2.21	-1.68								36.30	0.31	2.23	-1.96	
31/08/2018	36.50	0.17	2	-1.66									Verdwenen											Verdwenen				
10/09/2018	36.57	0.18	1.93	-1.59																								
26/09/2018	36.50	0.17	2	-1.66																								
11/10/2018	36.54	0.17	1.96	-1.62																								
24/10/2018	36.50	0.17	2	-1.66																								
08/11/2018	36.53	0.15	1.97	-1.63																								
22/11/2018	36.50	0.17	2	-1.66																								
06/12/2018	36.79	0.18	1.71	-1.37																								
19/12/2018	37.12	0.17	1.38	-1.04																								
31/01/2019	37.61	0.19	0.89	-0.55																								
14/02/2019	37.68	0.17	0.82	-0.48																								
28/02/2019	37.44	0.18	1.06	-0.72																								
13/03/2019	37.63	0.17	0.87	-0.53																								
25/03/2019	37.58	0.17	0.92	-0.58																								
10/04/2019	37.30	0.17	1.2	-0.86																								
06/05/2019	37.11	0.17	1.39	-1.05																								
06/06/2019	37.02	0.17	1.48	-1.14																								
24/06/2019		Alle PB werden bij de bewerkingen verwijderd																										

Perceel 577 te NEERPelt

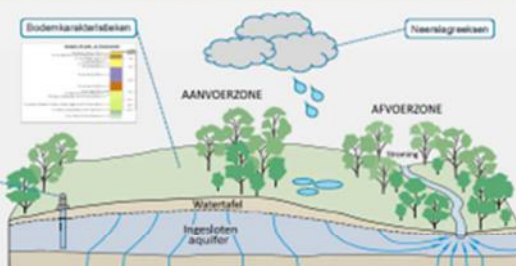
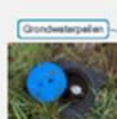
Mv omgeving: Maaiveld PB: Top: DATUM	577PB1	Peilbuis 1			577PB1	Peilbuis 1, herplaatst			577PB2	Peilbuis 2			577PB3	Peilbuis 3			577PB4	Peilbuis 4		
	38.56				38.56	Pb-lengte:2.4m			39.16	Pb-lengte:2m			39.16	Pb-lengte:2m			40.16	Pb-lengte:2m		
	38.47	top-mv	top-water		38.32	top-mv	top-water		39.23	top-mv	top-water		39.14	top-mv	top-water		40.26	top-mv	top-water	
	38.47		meting		38.79		meting		39.27		meting		39.17		meting		40.28		meting	
	mTAW	m	m	m-mv	mTAW	m	m	m-mv	mTAW	m	m	m-mv	mTAW	m	m	m-mv	mTAW	m	m	m-mv
04/10/2017	enkele notitie																			
12/12/2016	37.50	0.23	0.97	-1.05					38.15	0	1.12	-1.00	38.20	0	0.97	-0.96	39.62	0	1.66	-1.54
20/01/2017	37.60	0.23	0.87	-0.95					38.20	0	1.07	-0.95	38.28	0	0.89	-0.88	38.78	0	1.5	-1.38
01/02/2017	37.63		0.84	-0.92					38.22		1.05	-0.93	38.23		0.94	-0.93	39.17		1.11	-0.99
22/02/2017	37.68	0.23	0.79	-0.87					38.17	0	1.1	-0.98	38.27	0	0.9	-0.89	38.67	0	1.61	-1.49
20/03/2017	37.90	0.25	0.57	-0.65					38.45	0	0.82	-0.70	38.47	0	0.7	-0.69	39.91	0	1.37	-1.25
04/04/2017	Verdwenen																			
18/04/2017									38.12	0.07	1.15	-1.03	38.19	0	0.98	-0.97	38.60	0.05	1.68	-1.56
11/05/2017									38.08	0	1.19	-1.07	38.14	0	1.03	-1.02	39.55	0	1.73	-1.61
17/05/2017									38.07	0	1.2	-1.08	38.14	0	1.03	-1.02	38.52	0	1.76	-1.64
02/06/2017					Herplaatst				37.83	0	1.44	-1.32	37.91	0	1.26	-1.25	38.73	0	1.55	-1.43
14/07/2017					37.54	0.51	1.25	-1.02	37.89	0	1.38	-1.26	37.96	0	1.21	-1.20	38.98	-0.05	1.3	-1.18
04/08/2017					37.43	0.5	1.36	-1.13	37.97	0	1.3	-1.18	37.97	0	1.2	-1.19	38.78	0	1.5	-1.38
25/08/2017					Niet gevonden				37.87	0	1.4	-1.28	38.12	0	1.05	-1.04	38.36	0	1.92	-1.80
01/09/2017					37.69	0.5	1.1	-0.87	37.92	0	1.35	-1.23	38.13	-0.05	1.04	-1.03	38.32	-0.05	1.96	-1.84
20/10/2017					Niet gevonden				38.13	0	1.14	-1.02	38.21	0	0.96	-0.95	38.60	0	1.68	-1.56
02/11/2017					Niet gevonden				38.07	0	1.2	-1.08	38.14	0	1.03	-1.02	38.52	0	1.76	-1.64
20/11/2017					37.83	0.6	0.96	-0.73	38.09	0	1.18	-1.06	Niet gevonden				39.48	-0.05	1.8	-1.68
18/12/2017					37.92	0.6	0.87	-0.64	38.34	0	0.93	-0.81	38.40	0	0.77	-0.76	38.91	-0.05	1.37	-1.25
27/12/2017					Niet gevonden				38.43	0	0.84	-0.72	38.50	0	0.67	-0.66	39.02	0	1.26	-1.14
20/02/2018					Niet gevonden				38.07	0	1.2	-1.08	38.27	0	0.9	-0.89	38.70	0	1.58	-1.46
07/03/2018					Niet gevonden				38.11	0	1.16	-1.04	38.20	0	0.97	-0.96	38.58	0	1.7	-1.58
20/03/2018					Niet gevonden				38.21	0.06	1.06	-0.94	38.28	0.03	0.89	-0.88	38.76	-0.11	1.52	-1.40
22/03/2018					37.97	0.57	0.82	-0.59	38.20	0	1.07	-0.95	38.30	0	0.87	-0.86	38.74	0	1.54	-1.42
03/04/2018					37.91	0.55	0.88	-0.65	38.21	0	1.06	-0.94	38.28	0	0.89	-0.88	38.71	0	1.57	-1.45
17/04/2018					37.90	0.55	0.89	-0.66	38.18	0	1.09	-0.97	38.26	0	0.91	-0.90	38.68	0	1.6	-1.48
04/05/2018					Niet gevonden				38.14	0.04	1.13	-1.01	38.19	0	0.98	-0.97	38.23	0	1.65	-1.53
17/05/2018					Niet gevonden				38.09	0.06	1.18	-1.06	38.15	0.03	1.02	-1.01	38.54	-0.11	1.74	-1.62
07/06/2018					Niet gevonden				37.93	0.04	1.34	-1.22	38.01	0	1.16	-1.15	38.38	-0.9	1.9	-1.78
22/06/2018					37.62	0.56	1.17	-0.94	37.80	0.05	1.47	-1.35	37.93	0.02	1.24	-1.23	38.30	-0.11	1.98	-1.86
04/07/2018					37.57	0.55	1.22	-0.99	37.67	0.04	1.6	-1.48	37.80	0	1.37	-1.36	38.23	0	2.05	-1.93
19/07/2018					37.56	0.56	1.23	-1.00	37.59	0.05	1.68	-1.56	37.75	0.03	1.42	-1.41	38.30	-0.12	1.98	-1.86
03/08/2018					37.45	0.55	1.34	-1.11	37.50	0.04	1.77	-1.65	37.63	0	1.54	-1.53	38.23	0	2.05	-1.93
16/08/2018					37.58	0.57	1.21	-0.98	37.45	0.05	1.82	-1.70	37.80	0.03	1.37	-1.36	38.28	-0.11	2	-1.88
31/08/2018					37.64	0.55	1.15	-0.92	37.72	0.04	1.55	-1.43	37.89	0	1.28	-1.27	38.23	0	2.05	-1.93
10/09/2018					37.66	0.56	1.13	-0.90	37.79	0.05	1.48	-1.36	37.93	0.03	1.24	-1.23	38.30	-0.11	1.98	-1.86
26/09/2018					37.68	0.55	1.11	-0.88	37.80	0.04	1.47	-1.35	37.96	0	1.21	-1.20	38.23	0	2.05	-1.93
11/10/2018					37.68	0.56	1.11	-0.88	37.80	0.05	1.47	-1.35	37.94	0.02	1.23	-1.22	38.27	-0.11	2.01	-1.89
24/10/2018					37.71	0.55	1.08	-0.85	37.79	0.04	1.48	-1.36	37.93	0	1.24	-1.23	38.23	0	2.05	-1.93
08/11/2018					37.68	0.54	1.11	-0.88	37.85	0.04	1.42	-1.30	37.96	0.02	1.21	-1.20	38.34	-0.1	1.94	-1.82
22/11/2018					37.75	0.55	1.04	-0.81	37.92	0.04	1.35	-1.23	38.07	0	1.1	-1.09	38.23	0	2.05	-1.93
06/12/2018					37.77	0.54	1.02	-0.79	38.10	0.03	1.17	-1.05	38.14	-0.02	1.03	-1.02	38.48	-0.09	1.8	-1.68
31/01/2019					37.88	0.55	0.91	-0.68	38.28	0.04	0.99	-0.87	38.29	0.02	0.88	-0.87	38.75	-0.09	1.53	-1.41
28/02/2019					37.81	0.56	0.98	-0.75	38.14	0.04	1.13	-1.01	38.20	0.01	0.97	-0.96	38.49	-0.11	1.79	-1.67
25/03/2019					37.87	0.55	0.92	-0.69	38.21	0.03	1.06	-0.94	38.24	0.02	0.93	-0.92	38.72	-0.1	1.56	-1.44
24/06/2019					37.68	0.57	1.11	-0.88	37.90	0.04	1.37	-1.25	37.96	0.02	1.21	-1.20	38.34	-0.08	1.94	-1.82

# Duurzaam waterbeheer via modellering van de bodemwatertafel in Vlaanderen

Hanne Colpaert, Jan Goyens, Hannes Latine, Wouter Verschueren

## Inleiding

Fluctuaties van de bodemwatertafel kunnen beschreven en voorspeld worden aan de hand van wiskundige modellen. In deze studie worden drie onderscheiden modellen toegepast op zes percelen gelegen in Vlaanderen. Door de modeloutput te vergelijken met reële bodemwaterpeilen, kan met behulp van statistische parameters de performantie van elk model geëvalueerd worden. De simulaties van de bodemwaterpeilen gebeurden via input van lokale neerslagdata en bodemkarakteristieken. De modellering van de stand van de bodemwatertafel kan zeer interessant zijn voor de gewasleef omdat de landbouwer zo door middel van pelgestuurde drainage op een duurzame manier kan antwoorden op toekomstige bodemwaterstanden.



## Verzamelen van Data

- Grondwaterpeilmetingen op zes verschillende locaties in Vlaanderen (DOV, BOB)
- Neerslagdata: interpoleren tussen vier dichtstbijzijnde weerstations (KMI, KMI, waterinfo en BOB)
- Informatie peilbuizen: geologie, landgebruik, dichtstbijzijnde rivier,...
- Aanvaardbare range voor locatie- en bodemkarakteristieken zoals  $\theta_v$ ,  $\alpha$ ,  $K$  en  $K_c$  uit literatuur
- Performantieonderzoek aan de hand van Mean Average Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE) en Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

## Modellen

### 1. Water Table Fluctuation Method (WTF)

$$H_t = (H_0 - d)e^{Kt} + d$$

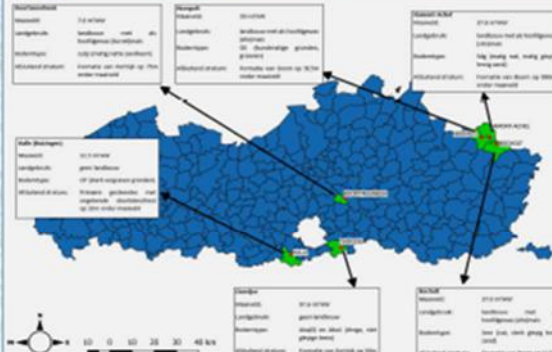
### 2. Park & Parker (P&P)

$$h^{(k+1)} = h^k \exp(h \Delta t) + \frac{K \exp(h \Delta t) - 1}{h \Delta t}$$

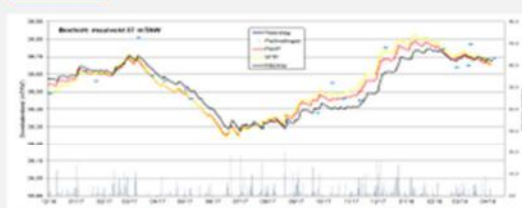
### 3. Mackay

$$\frac{dh}{dt} = \frac{R - \frac{K}{S_y} \frac{A}{L} h^2}{S_y}$$

## Ligging en info peilbuizen



## Resultaten



Figuur 1: Waterniveau en de gemiddelde grondwaterstand (gemiddelde) van de zes locaties in Vlaanderen (DOV, BOB) in 2016-2018 (naar Colpaert et al., 2018)

Model	MAE	RMSE	NSE
WTF	0,036	0,047	0,996
P&P	0,036	0,050	0,982
Mackay	0,087	0,111	0,549

Model	Gemiddelde NSE
WTF	0,77
P&P	0,86
Mackay	0,61



## Conclusie

Wanneer de resultaten voor alle testlocaties beschouwd worden, valt meteen op dat het model van Mackay steeds beduidend slechter scoort in vergelijking met de WTF methode en het model van Park en Parker. Welke van deze laatste twee modellen het beste presteert hangt af van de testlocatie. Wanneer louter naar de NSE wordt gekeken – doorgaans het meest doorslaggevende criterium bij hydrogeologische onderzoek – en hiervan de gemiddelde waarde over alle testlocaties wordt genomen, kan geconcludeerd worden dat het model van Park en Parker met een gemiddelde NSE van 0,86 toch beduidend beter scoort dan de WTF methode, welke een gemiddelde NSE van 0,77 behaalt. Het model van Mackay scoort in het algemeen zeer matig en heeft een gemiddelde NSE van 0,61. Aangezien al deze waarden ver boven nul liggen, en de MAE en RMSE ook telkens gunstige waarden vertonen, kan geconcludeerd worden dat de geteste modellen wel degelijk in staat zijn de fluctuaties van de bodemwatertafel op een vrij nauwkeurige manier te beschrijven. Dergelijke modellen kunnen zo van maatschappelijk belang zijn in de monitoring van de bodemwatertafel en de besluitvorming over het al dan niet draineren van een landbouwperceel.



Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen, Kasteelpark Arenberg 30, 3001 Heverlee, België  
Telefoon: +32 (0)16 32 16 16 Fax: +32 (0)16 32 16 99 www.bio.ing.kuleuven.be



eco agrobiocentrum

# Vergelijkende studie van modellen voor grondwatertafelbeweging in gebieden met ondiepe grondwaterstanden

Hanne Colpaert, Jan Goyens, Hannes Latine, Wouter Verschueren, Frank Elsen

Leuven, 18 mei 2018

Fluctuaties van de grondwatertafel kunnen beschreven en voorspeld worden door gebruik te maken van wiskundige modellen. Deze gegevens kunnen zeer interessant en nuttig zijn voor gewasteelt omdat de landbouwer zo ten gepaste tijde kan anticiperen op grondwaterstanden die zich gaan voordoen in de toekomst. In deze studie worden enkele toegepaste methoden die de hoogte van de grondwatertafel beschrijven geëvalueerd en vergeleken aan de hand van een aantal statistische parameters. Uit de resultaten blijkt dat het model van Park en Parker de beste benadering geeft, gevolgd door de Water Table Fluctuation Method. Het model van Mackay scoort doorgaans minder goed en zal dus de minst betrouwbare gegevens opleveren. Deze methoden zijn slechts benaderingen en zullen dus enkel van toepassing zijn indien sprake van natuurlijke grondwaterbeweging. Invloed van externe factoren zal de modellen drastisch verstoren en hun belang teniet doen.

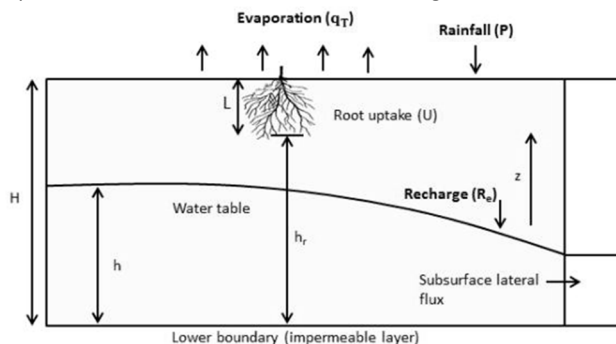
## Inleiding

Om een goede gewasopbrengst te bekomen is de hoogte van de grondwatertafel onder een akkerbouwperceel erg belangrijk. Door de jaren heen werden reeds methodes ontwikkeld waarmee de boer de fluctuaties van deze grondwatertafel kan controleren met als doel het behalen van een grotere jaarlijkse gewasopbrengst. Een van deze methodes is peilgestuurde drainage. Deze vorm van drainage werkt met een buissysteem dat het overtollige water slechts afvoert wanneer dat nodig is en dus efficiëntere en meer duurzame resultaten garandeert in vergelijking met de klassieke drainage, zonder buissysteem [Bodemkundige Dienst België, 2009]. Om deze methode op een duurzame manier te kunnen toepassen is kennis over de stand van de grondwatertafel natuurlijk niet onbelangrijk. Deze studie tracht de performantie na te gaan van recente modellen die de beweging van de grondwatertafel beschrijven. Dit gebeurt door deze modellen te kalibreren met behulp van bestaande data van peilbuizen gelegen over heel Vlaanderen. Er wordt gebruik gemaakt van neerslagreeksen en bodemkarakteristieken van de bestudeerde locaties. Aan de hand van deze modellen kan het grondwaterpeil op een willekeurige plaats worden gesimuleerd, wat de boer zal helpen bij het maken van keuzes omtrent drainage.

## Materiaal en methoden

Globaal gezien kan de ondergrond waarin bodemwater een rol speelt worden opgedeeld in 3 zones: de wortelzone, de niet bewortelde onverzadigde of vadosa zone, en de verzadigde zone. De overgang tussen deze laatste twee zones wordt het 'freatisch oppervlak' genoemd en vormt tevens de bovengrens van de bodemwatertafel [White, 2006]. In deze studie wordt de focus vooral gelegd op de wortelzone en verzadigde zone, aangezien de ruimte hiertussen ter hoogte van gedraineerde percelen veelal verwaarloosbaar klein is en daardoor van gering belang zal zijn in het proces van de grondwaterbeweging en bijgevolg in de vergelijking tussen

meetwaarde en modelresultaat. Methodes met een diepere focus op de waterflux in deze onverzadigde zone [Jeong & Park, 2017; Park, 2012] worden als gevolg hiervan niet verder behandeld. **Figuur 1** geeft een schematische weergave van de processen in de bodemwaterhuishouding. Telkens wanneer



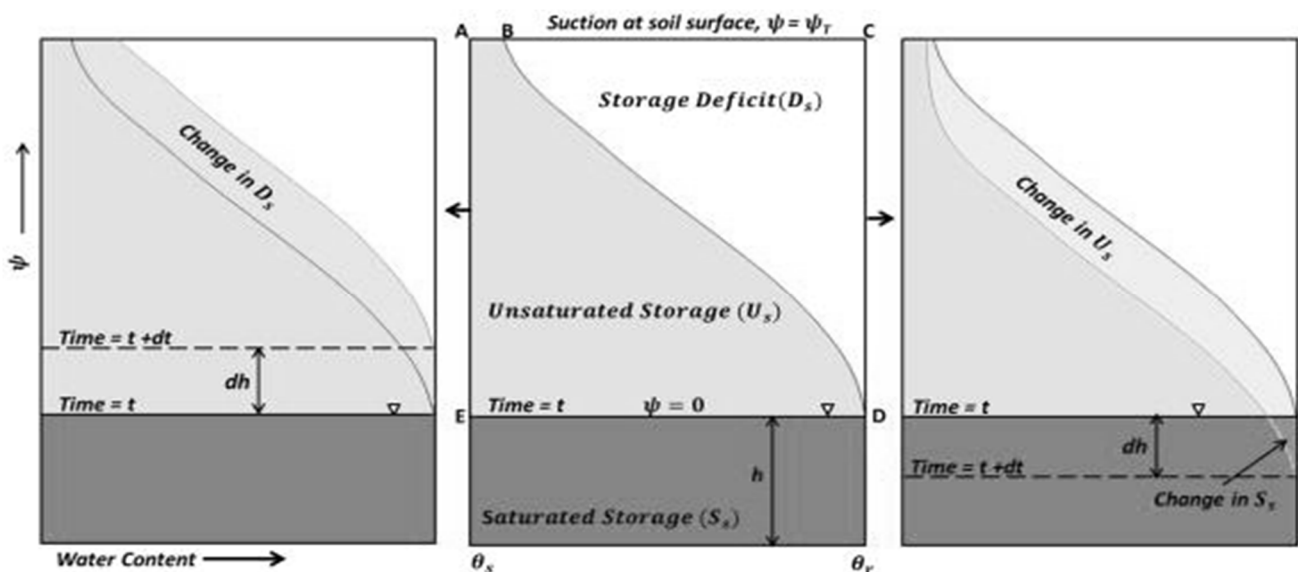
neerslag op de aarde terechtkomt zal een fractie hiervan de bodem kunnen binnendringen waarvan het grote deel verdampt, maar waarvan ook een deel doorsijpelt dieper dan de bewortelde diepte en de grondwatertafel zal aanvullen. Dit deel is de 'recharge'. De veranderingen in de grondwateropslag kunnen worden uitgedrukt als het netto verschil tussen instroom- en uitstroomsnelheden van bodemwater, welke gerelateerd zijn aan de recharge en de afstroom naar gebieden met een lagere potentiaal [Park & Parker, 2004].

**Fig. 1** Schematische weergave van processen met invloed op de bodemwatertafel. De hoeveelheid neerslag die niet verloren gaat aan afstroming, evapotranspiratie of opname door de lokale begroeiing wordt opgenomen in de verzadigde zone. Afstroming naar lager gelegen gebieden (vb. rivier of beek in de buurt) zorgt voor een daling van de watertafel. Toestroming vanuit hoger gelegen gebieden kan stijging van de grondwatertafel veroorzaken [Acharya et al., 2012].

De watertafel in de bodem gedraagt zich uiteraard niet als een vrij waterniveau. Enkele parameters zorgen ervoor dat de fluctuaties van deze watertafel, die ontstaan als gevolg van neerslag en recharge, beïnvloed worden. Wanneer bijvoorbeeld 1 mm neerslag percoleert in de bodem, zal de hoogte van de bodemwatertafel reageren met een veelvoud hiervan. Men spreekt in dit geval van “fillable porosity” ( $\phi$ ,  $n$  of  $\lambda_f$ ). Omgekeerd, wanneer 1 mm water uit de aquifer lekt zal de watertafel eveneens met een hogere waarde dalen. Dit fenomeen wordt “drainable porosity” ( $\lambda_d$ ) of specifieke opbrengst ( $S_y$ ) genoemd, en wordt in deze studie gedefinieerd voor een niet-ge-spannen aquifer. Beide parameters zijn direct gerelateerd tot de porositeit van de bodem en kunnen worden benaderd door de verhouding tussen de verandering (stijging/daling) in totale wateropslag van de aquifer ten opzichte van respectievelijk een eenheidsdaling of eenheidsstijging van de watertafel (Figuur 2) [Acharya et al., 2012]. Dit soort factoren zijn karakteristiek voor een bepaalde

dit geval van retardatie [de Kreuk, 2009]. De effectieve aanvulling van de watertafel treedt dan slechts veel later na de relevante neerslag. Ofwel dient in de modelmatige benadering een subroutine voorzien te worden voor deze vadoso zone, ofwel kan in het geval van retardatie een bepaalde tijdsperiode voorzien worden tussen meetwaarde en modelresultaat.

Drie gepubliceerde modellen worden geselecteerd op basis van toepasbaarheid en relevantie ten opzichte van de bestudeerde locaties in Vlaanderen. Elk model volgt een verschillende methode voor de beschrijving van de grondwatertafelfluctuaties. De tijdsstap van de berekeningen wordt in dit onderzoek voor elk toegepast model gesteld op 1 dag. In het verdere verloop van het onderzoek wordt nagegaan welke methode het best aansluit bij de realiteit in verschillende situaties. De modellen en bijbehorende formules



soort ondergrond en moeten dus in rekening gebracht worden bij de simulatiemodellen.

Daarnaast beschreven Krul en Liefcrinck in 1946 het zogenaamde ‘Lisse’ effect, een verschijnsel dat kan optreden wanneer hevige regenval ervoor zorgt dat de bodem wordt afgeschermd van luchtstroom en hierdoor lucht ingesloten komt te zitten in de onverzadigde zone [Weeks, 2005]. Dit heeft als gevolg dat de grootte van de verticale hydraulische gradiënt afneemt waardoor infiltratie van oppervlaktewater bemoeilijkt wordt en er meer water zal wegstromen over het bodemoppervlak. De druk van de ingesloten lucht zorgt voor een vermindering van de verwachte stijging van de bodemwatertafel [Healy & Cook, 2002].

Een laatste noemenswaardig verschijnsel treedt op wanneer een neerslagfront trager de bodem in beweegt dan verwacht wordt als gevolg van bepaalde bodemkarakteristieken of als gevolg van een diepe vadoso zone, wanneer de grondwatertafel ver onder de wortelzone ligt. Men spreekt in

worden eerst kort toegelicht alvorens gefocust wordt op de implementatie van de datareeksen en besluitvorming.

### Water Table Fluctuation Model

Het Water Table Fluctuation model (WTF) is een eenvoudige en efficiënte manier om het grondwaterpeil van een ondiepe aquifer te voorspellen. Deze methode werd oorspronkelijk toegepast door Meinzer in 1923 en werd sindsdien omwille van zijn eenvoud en hanteerbaarheid in verschillende studies gehanteerd, onder andere door Healy & Cook in 2002. Het model vertrekt van de aanname dat een stijging van de grondwatertafel in de bovenste grondlagen het gevolg is van een wateraanvoer afkomstig van het aardoppervlak. Deze aanvoer is de hoeveelheid water die effectief de grondwatertafel zal bereiken en aanvullen.

$$R = S_y \frac{dh}{dt} \quad (1)$$



Hierbij is  $R$  de netto wateraanvoer of “recharge”,  $S_y$  de specifieke opbrengst,  $H$  de hoogte van de grondwatertafel en  $t$  de tijd. De aanvoer kan benaderd worden als het verschil tussen neerslag en evapotranspiratie (zie paragraaf ‘Neerslagreeksen’). De specifieke opbrengst kan constant beschouwd worden doorheen de tijd en is uniek voor elk type ondergrond. Mathematisch kan zij uitgedrukt worden als het verschil tussen porositeit ( $\phi$ ) en specifieke retentie ( $S_r$ ). Vaak is het mogelijk deze parameter experimenteel te bepalen.

$$S_y = \phi - S_r \quad (2)$$

160

Om de verandering van de grondwatertafel over een bepaalde periode te berekenen wordt de “Master Recession Curve method” toegepast in het Water Table Fluctuation model. Door gebruik te maken van verscheidene recessieperiodes kan een algoritme bekomen worden dat het grondwaterpeil berekent op basis van de hoogte van de voorgaande tijdstap.

165

$$\ln(H_t - d) = \ln(H_0 - d) + RR \cdot t \quad (3)$$

170

$$H_t = (H_0 - d)e^{RR \cdot t} + d \quad (4)$$

De grondwatertafel heeft aan het begin van een recessieperiode een hoogte  $H_0$  (m) en op het einde een hoogte  $H_t$  (m),  $d$  is de hoogte (m) waarbij geen waterafvoer meer plaatsvindt en  $RR$  is de recessiesnelheid uitgedrukt in mm/dag.

175 Onbekende parameterwaarden zijn in deze benadering (WTF):  $d$ ,  $RR$ ,  $S_y$ .

### Park & Parker (2008)

180 Het model van Park en Parker is opgebouwd vanuit de aanname dat de snelheid van grondwateropslag kan worden uitgedrukt als het netto verschil tussen in- en uitstroomsnelheden van water in de grondwatertafel. Hier wordt ook een evenwichtshoogte  $H_{min}$  gedefinieerd waarbij de potentiaal die de wegstroming of toestroming van het grondwater bepaalt gedefinieerd wordt door de hoogte van de watertafel boven of onder deze evenwichtshoogte. Bij de evenwichtshoogte vindt geen afvoer van water plaats. Park en Parker bekomen volgende benadering.

190

$$h^{i+1} = h^i \exp(k\Delta t_i) + \frac{\alpha P_i (\exp(k\Delta t_i) - 1)}{kn} \quad (5)$$

$$H^{i+1} = h^i + H_{min} \quad (6)$$

195 Hierbij is  $h$  de hoogte boven of onder  $H_{min}$ ,  $\alpha$  de efficiëntie van de neerslag in de aanvulling van het grondwaterpeil,  $P_i$  de Precipitatiesnelheid op over tijdsinterval  $i$ ,  $k$  een snelheidsconstante,  $\Delta t_i$  een tijdsinterval (hier 1 dus dag) en  $n$  de vulbare porositeit. Het model dat in dit artikel getest wordt is een aangepaste versie van het model opgesteld door Park en Parker in 2008. Park en Parker gebruiken voor de recharge, het water dat effectief het grondwater bereikt, een vaste fractie van de gevallen neerslag ( $\alpha$ ). Dit is echter niet erg nauwkeurig. Een meer nauwkeurige benadering wordt bekomen door  $\alpha$  gelijk te stellen aan 1 en te werken met het neerslagoverschot. Deze methode wordt in de drie modellen toegepast en wordt in detail behandeld onder de paragraaf ‘Neerslagreeksen’.

210 Onbekende parameterwaarden zijn in deze benadering:  $k$ ,  $n$ ,  $H_{min}$ .

### Mackay et al. (2014)

Het derde model waarmee gewerkt wordt, werd opgesteld door J.D. Mackay, C.R. Jackson en L. Wang. Het werd oorspronkelijk opgebouwd voor de 3 beschreven zones, maar zoals hierboven reeds vermeld werd, wordt de onverzadigde zone onder de wortelzone voor dit onderzoek niet mee in rekening gebracht. Dit heeft weinig effect voor onze gekozen peilbuislocaties gezien de grondwatertafel kort onder de wortelzone ligt. Het model wordt hier dus toegepast met 2 zones: de wortelzone en de verzadigde zone. In dit model wordt gebruik gemaakt van eenvoudige hydrologische concepten die grondwaterstroming en bodemdrainage aan elkaar linken om de grondwatertafelschommelingen te modelleren. Het algoritme voor de wortelzone komt neer op het neerslagoverschot. De onverzadigde zone kan opgedeeld worden in verschillende bodemlagen. Voor dit onderzoek wordt geopteerd voor een vereenvoudigd model met slechts 1 bodemlaag. Door dit simpel te houden, kan er beter begrepen worden wat er precies gebeurt. De bekomen formule voor de veranderende stijghoogte ziet er als volgt uit:

230

$$\frac{\delta h}{\delta t} = \frac{R - \frac{K}{0.5} \left( \frac{\Delta h_i}{\Delta x} \right)^2}{S_y} \quad (7)$$

235 Waarbij  $R$  het neerslagoverschot,  $K$  de hydraulische conductiviteit,  $\Delta h_i$  de watertafelstand van de voorgaande dag,  $\Delta x$  de horizontale afstand tot het theoretische ontwateringspunt van deze positie en  $S$  de bergingscoëfficiënt voorstelt.

240

Onbekende parameterwaarden zijn in deze benadering:  $K$ ,  $\Delta h_i$ ,  $\Delta x$ ,  $S_y$ .

## Grondwaterpeilen

Om de voorgaande modellen te kunnen toetsen aan reële klimaatomstandigheden worden grondwaterpeilen en bodemgegevens aangewend. Als toetsingswaarden voor de gesimuleerde grondwaterpeilen geleverd door de modellen wordt gebruik gemaakt van bestaande meetwaarden, afkomstig van twee bronnen: enerzijds peilputten op percelen die gedurende een aantal jaren op 14-daagse basis gemonitord worden door de Bodemkundige Dienst van België (BDB), en anderzijds peilputgegevens van Data Ondergrond Vlaanderen (DOV), een instelling van de Vlaamse Overheid. Om een bruikbare fit te verkrijgen is het wenselijk dat er peilbuizen gekozen worden met frequente metingen (maandelijks of kortere tijdsperiodes). Er wordt geopteerd voor het gebruik van de locaties Boortmeerbeek, Buizingen, Overijse, Bocholt, Hamont-Achel en Neerpelt. **Tabel 1** omvat enkele belangrijke kenmerken van deze locaties. Kennis van de ondergrond van de percelen waarvan metingen gebruikt worden is immers onontbeerlijk in de studie naar de fluctuaties van het bodemwater. Onverwachte resultaten kunnen meestal verklaard worden door lokale factoren als specifieke bodemlagen, reliëf etc. Voorbeelden hiervan zijn een hogere waterstand als gevolg van een waterondoordringbare bodemlaag (bijvoorbeeld de Formatie van Boom) of opwellend water afkomstig van afstroming van hoger gelegen gebieden (kwel). Ook menselijke factoren kunnen een invloed hebben; zo kan bij de percelen waar aan landbouw gedaan wordt en tevens het land gedraineerd wordt een duidelijke bovengrens van de grondwatertafel merkbaar zijn in de fluctuatiecure.

## Neerslag en recharge

De belangrijkste input van data in de modellen komt van de

neerslagreeksen gelinkt aan de zeven testlocaties. Om een aanvaardbare waarde te bekomen wordt telkens geïnterpoleerd tussen bestaande meteorologische afkomstig van nabijgelegen weerstations in Vlaanderen en Nederland [KMI; KNMI; BDB; waterinfo.net], dagneerslagwaarden tussen 2004 en april 2018. Als interpolatietechniek wordt gebruik gemaakt van inverse distance weighting (IDW). Deze methode gaat ervan uit dat punten die dicht bij elkaar liggen meer gelijkend zijn dan punten die verder uit elkaar liggen. De waarden van nabijgelegen punten zullen dan ook een grotere invloed en gewicht hebben in de berekende waarde. De volgende formules geven weer hoe deze interpolatie gebeurt [Bărbulescu, 2016]:

$$\hat{z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(s_0) \cdot z(s_i) \quad (8)$$

$$\lambda_i(s_0) = \frac{1/d^\beta(s_0, s_i)}{\sum_{i=1}^n (1/d^\beta(s_0, s_i))} \quad \beta > 1 \quad (9)$$

Hierbij is  $\hat{z}(s_0)$  de gezochte waarde in het punt  $s_0$ ,  $z(s_i)$  de gekende waarde in het punt  $s_i$ ,  $d$  de afstand tussen  $s_0$  en  $s_i$ ,  $\lambda_i(s_0)$  het gewicht (groter als de punten dicht bij elkaar liggen),  $\beta$  een coëfficiënt die de gewichten aanpast en  $n$  het aantal punten met gekende waarden die worden meegenomen. Er wordt telkens gewerkt met 4 weerstations per testlocatie dus  $n$  krijgt de waarde 4. De waarde voor  $\beta$  is hier gelijk aan 2, wat het meeste voorkomt wanneer deze methode wordt toegepast op neerslag. Er wordt dan ook wel gesproken van "Inverse Square Distance". Deze methode scoort niet significant slechter dan andere methodes zoals bijvoorbeeld de kriging methode [Goovaerts, 2000], ondanks

**Tabel 1** Omgevingskenmerken van de peilbuizen gebruikt voor data grondwaterpeilen. Drivier staat voor de afstand van de peilbuis tot de dichtstbijzijnde rivier.  $L_{\text{ond}}$  wijst op de diepte van de eerste ondoordringbare bodemlaag onder het maaiveld.

	Buizingen	Boortmeerbeek	Overijse	Bocholt	Hamont-Achel	Neerpelt
Oorsprong Data	DOV	DOV	DOV	BDB	BDB	BDB
Coördinaten [Lambert '72 (XY)]	141520-158950	165350.11-186225.8	163753-162234	233665.760-211603.275	230541.66 - 214705.32	226887.31 - 214681.28
Maaiveld [mTAW]	32,47	7,04	97,62	37,00	37,62	38,72
Dominante textuur (ondergrond)	Leem	Lemig tot kleiig zand	Zand	Zand met kleilenzen	Zand met kleilenzen	Zand met kleilenzen
$d_{\text{rivier}}$ [m]	214	117	920	232	1007	700
Landbouw hoofdgewas	Geen	Korrelmais	Geen	Silomais	Silomais	Silomais
$L_{\text{ond}}$ [m onder maaiveld]	Geen	-64,2	-48,1	-1121,6	-989,4	-916,4

het feit dat “Inverse Square Distance” veel eenvoudiger is. **Tabel 2** geeft weer welke weerstations werden gebruikt voor de verschillende locaties alsook de afstand tussen weerstation en locatie.

In deze studie wordt gewerkt met het neerslagoverschot als maat voor de recharge, meer bepaald wordt de *recharge* van de bodemwatertafel benaderd door plaatsspecifiek de verdamping van gewas en bodem ( $ET_a$ -waarde) van de neerslag af te trekken. Naast de neerslagreeksen moet dus ook de verdamping benaderend gekend zijn voor elke locatie. De  $ET_a$  kan benaderd worden op basis van een referentie-evapotranspiratie ( $ET_0$ ) van de ruime streek [Penman-Monteith, in Allen et al., 1998] vermenigvuldigd met een constante ( $K_c$ ) die rekening houdt met begroeiing en bodem. Deze benadering wordt eveneens door andere auteurs voorgesteld [Sophocleus, 1991; Farg, 2012; Kamble, 2013]. De waarde van  $K_c$  is niet exact gekend, en zal in de toepassing van de methodes eveneens meegenomen worden als onbekende, te kalibreren waarde.

De  $ET_0$ -waarden werden berekend volgens Penman-Monteith (Allen et al., 1998) op basis van dagelijkse waarnemingen tussen 2004 en april 2018 van de weerstations te Kleine Brogel, Melsbroek en Ukkel (KMI), voor respectievelijk de locaties in het NO van Vlaanderen en deze in het centrum van het land.

## Performantiecriteriën

Het creëren van simulaties van de bodemwaterstand gebeurt via het programma Microsoft Excel. Aangezien de modellen reeds gekalibreerd en gevalideerd werden in hun respectievelijke publicaties werd dit in deze studie achterwege

gelaten en wordt verwezen naar de onderzoeken in kwestie [Healy & Cook, 2002; Park & Parker, 2008; Mackay et al., 2012]. Zodus worden de modellen gecontroleerd op performantie. Om de statistische fout tussen de modeloutput enerzijds en de gemeten waarden anderzijds weer te geven wordt gebruik gemaakt van 3 algoritmes:

Met de Root Mean Square Error (RMSE) wordt de som van de kwadraten van de individuele fout van elke waarde ten opzichte van de gemiddelde waarde berekend en gedeeld door het aantal waarnemingen, waarna van de resulterende waarde de vierkantswortel genomen wordt. Deze waarde is liefst zo klein mogelijk en is bij een optimale fit gelijk aan 0. In de RMSE zullen grote afwijkingen sterker doorwegen dan beperkte modelafwijkingen [Bennett et al., 2016].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10)$$

De Mean Absolute Error (MAE) sommeert de absolute waarde van elke individuele fout ten opzichte van het gemiddelde en deelt deze vervolgens door het aantal waarnemingen. Deze methode heeft als voordeel dat het minder vertekening ondervindt bij grote datareeksen, wat bij de RMSE wel het geval is. Ook deze waarde is in een ideale situatie gelijk aan 0 [Bennett et al., 2016].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (11)$$

**Tabel 2** Neerslagdata gebruikt bij Inverse Distance Weighting.

<b>Buizingen</b>	Weerstation:	Liedekerke	Moerbeke	Ukkel	Chievres
	Afstand (km):	20	43	9	36
	Bron neerslagreeksen:	Waterinfo	Waterinfo	KMI/BDB	KMI/BDB
<b>Boortmeerbeek</b>	Weerstation:	Nossegem	Bonheiden	Herentals	Melsbroek
	Afstand (km):	12	5	29	10
	Bron neerslagreeksen:	Waterinfo	Waterinfo	Waterinfo	KMI/BDB
<b>Overijse</b>	Weerstation:	Korbeek-Dijle	Ukkel	Melsbroek	Bonheiden
	Afstand (km):	10	14	16	28
	Bron neerslagreeksen:	Waterinfo	KMI/BDB	KMI/BDB	Waterinfo
<b>Bocholt</b>	Weerstation:	Kleine Brogel	Stamproy	Weert	Overpelt
	Afstand (km):	32	10	12	13
	Bron neerslagreeksen:	BDB	KNMI	KNMI	Waterinfo
<b>Hamont-Achel</b>	Weerstation:	Kleine Brogel	Leende	Weert	Overpelt
	Afstand (km):	32	9	13	12
	Bron neerslagreeksen:	KMI/BDB	KNMI	KNMI	Waterinfo
<b>Neerpelt</b>	Weerstation:	Kleine Brogel	Leende	Eersel	Overpelt

In zijn studie haalt Bennett eveneens de Relative Absolute Error (RAE) en RMSE-Standard deviation Ratio (RSR) aan als alternatieven voor bovenstaande prestatiecriteria. RAE en RSR verschillen van MAE en RMSE in die zin dat ze fouten als relatief beschouwen waardoor modellen onderling beter vergeleken zouden kunnen worden. In dit onderzoek wordt echter meer waarde gehecht aan de absolute waarde van de afwijkingen, aangezien deze inzicht geven in de reële grootte van de fouten tussen meetwaarde en model.

Als belangrijkste prestatiecriteria wordt de Nash-Sutcliffe Efficiëntie (NSE) berekend. Hierdoor wordt het modelresultaat vergeleken met een model waarin enkel gebruik gemaakt wordt van de gemiddelde waarde van de geobserveerde data. Net als bij de RMSE zullen grote afwijkingen harder doorwegen dan kleine. Een waarde van 1 staat voor een ideaal model, een waarde van 0 betekent dat het model niet beter presteert dan datgene waarin enkel de gemiddelde waarneming gebruikt wordt. Zakt de NSE-waarde onder 0 dan presteert het zelfs slechter [Bennett et al., 2016].

$$NSE = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (12)$$

De NSE is de meest gebruikelijke benadering om hydrologische modellen te evalueren en wordt daarom naast de klassieke RMSE en MAE gekozen als het derde algoritme waarnaar gekeken wordt [Krause, 2005]. Om deze reden is de NSE zeker ook een doorslaggevende factor in de vergelijking tussen de prestaties van de verschillende modellen.

De methode om de onbekende parameterwaarden van elke model te bepalen waarbij een zo klein mogelijke afwijking van de modeloutput op de gemeten waarden bekomen wordt is het gebruik van de Excel-functie 'Solver'. Deze functie wordt gebruikt voor de optimalisatie (minimaal/maximaal) van een bepaalde doelwaarde door middel van het variëren van parameterwaarden binnen een modelformule. Zo kunnen de RMSE en MAE iteratief geminimaliseerd worden via wijzigingen in de parameterwaarden die gebruikt worden in het toegepaste model. Deze parameters kunnen natuurlijk verschillend zijn per model. Analooch wordt de NSE gemaximaliseerd.

### Parameterrestricties

Uiteraard moeten er voor sommige parameters restricties worden opgelegd om te garanderen dat er steeds een reële waarde bekomen wordt na het toepassen van de solverfunctie. Tabel 3 bevat een samenvatting van de onbekende parameterwaarden van de drie modellen en hun respectievelijke onder- en bovenlimietwaarde. Deze waarden werden overgenomen uit verschillende literatuurbronnen [Acharya, 2012; Allen, 1998; Batu, V., 1998; De Smedt, F., 2007; Healy & Cook, 2002; Food & Agriculture Organisation,

2018]. Soms kunnen omgevingsfactoren er echter toe leiden dat bepaalde parameters een afwijkende waarde vertonen, meer dan normaal verwacht zou worden. De nabijheid van een ontwateringszone (vb. rivier, beek of waterwinningsstation) kan bijvoorbeeld resulteren in een onverwachte daling van de hydraulische conductiviteit. Mits een logische verklaring voor deze uitzondering kan gevonden worden, kan 'gespeeld' worden met de parameterwaarde in kwestie, en kan buiten de conventionele restricties getreden worden. Zo kunnen de statistische prestatiecriteria via de solverfunctie toch verder geoptimaliseerd worden.

### Opwarming van het model

Het uiteindelijke doel van de modellen is om toekomstige bodemwaterstanden met een zo klein mogelijke fout te kunnen simuleren. Door de modellen al voor een bepaalde tijd te laten lopen vooraleer de output vergelijken wordt met waarnemingen kan de ruis afkomstig van onnauwkeurige beginwaarden van parameters systematisch verwijderd worden. Men spreekt van de 'opwarming' van het model. Hoe langer het model loopt, hoe meer deze ruis reeds zal weggefilterd zijn en hoe beter het model zal presteren voor waarden in de toekomst.

Tabel 3 Restricties voor gebruikte parameters

Parameter	Aanvaardbaar interval	
$S_y$ [%]	Zand	0,09 – 0,25
	Leem	0,20 – 0,35
	Klei	0,01 – 0,05
$n$ [%]	Zand	0,09 – 0,25
	Leem	0,25 – 0,45
	Klei	0,02 – 0,05
$K$ [m/dag]	Grind	25 – 2500
	Grof zand	0,1 – 500
	Medium	0,1 – 10

### Resultaten

De vergelijking tussen de prestaties van de modellen worden opgedeeld per testlocatie (Figuur 3-8). Op deze manier kunnen plaatsgebonden doorslaggevende factoren ook systematisch besproken worden.

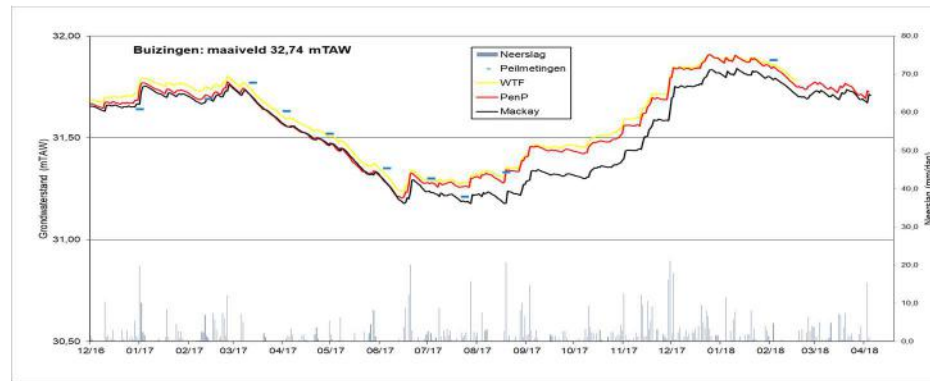


Fig. 3 Resultaten Buizingen

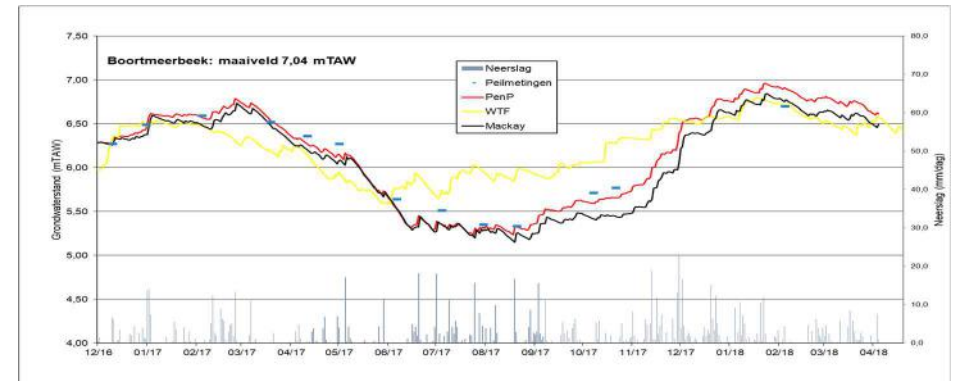


Fig. 4 Resultaten Boortmeerbeek

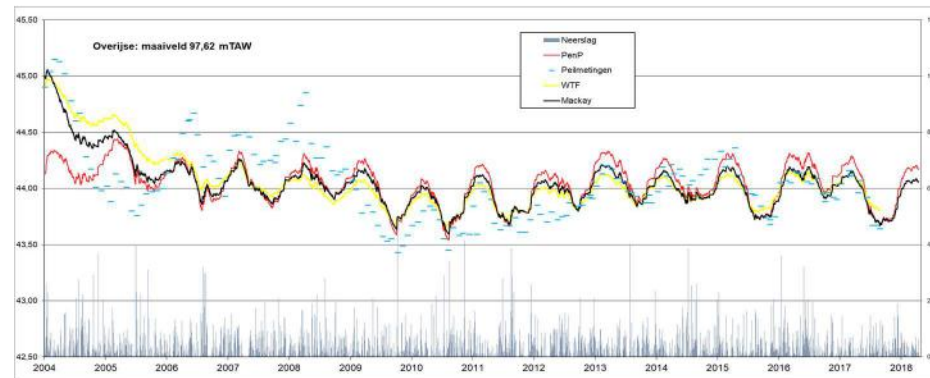


Fig. 5 Resultaten Overijse

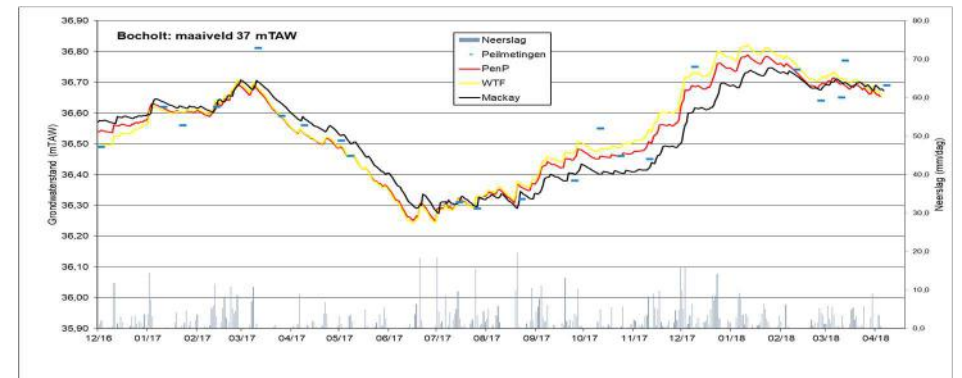


Fig. 6 Resultaten Bocholt

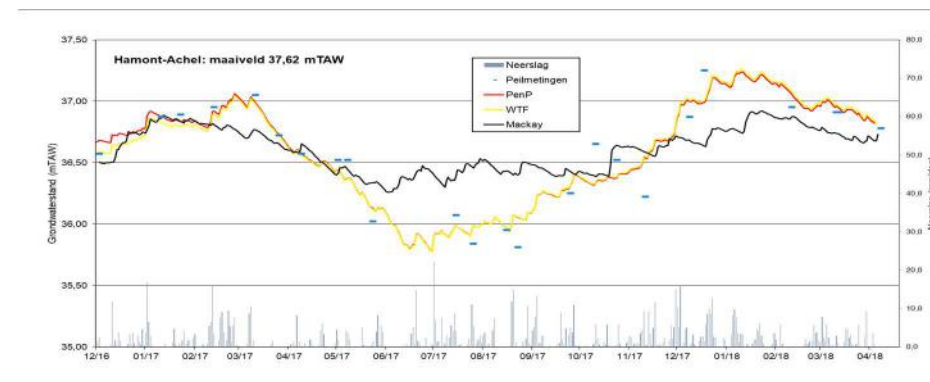


Fig. 7 Resultaten Hamont-Achel

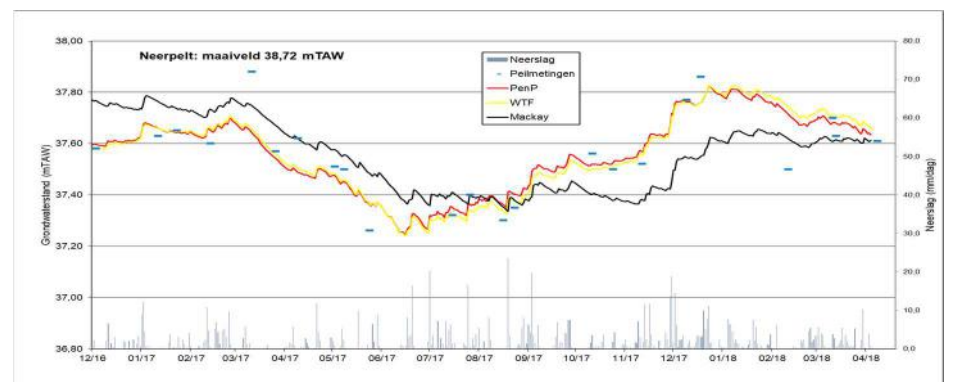


Fig. 8 Resultaten Neerpelt

**Tabel 4** Bekomen modelparameters en MAE, RMSE en NSE voor respectievelijk Water Table Fluctuation method, Park en Parker, en Mackay. De vermelde parameterwaarden werden gekomen na optimalisatie van de NSE aan de hand van de solverfunctie.

WTF	Buizingen	Boortmeerbeek	Overijse	Bocholt	Hamont-Achel	Neerpelt
d (m)	31	6	44	36	36	37
RR (mm/dag)	-0,014	-0,008	-0,001	-0,012	-0,013	-0,020
S <sub>y</sub> (%)	0,33	0,43	0,95	0,43	0,17	0,37
K <sub>c</sub>	0,85	1,20	1,20	1,16	1,20	1,20
MAE	0,063	0,116	0,196	0,035	0,113	0,061
RMSE	0,080	,0144	0,254	0,047	0,147	0,089
NSE	0,810	0,912	0,419	0,899	0,869	0,701
PenP	Buizingen	Boortmeerbeek	Overijse	Bocholt	Hamont-Achel	Neerpelt
d (m)	31	6	44	36	36	38
k (mm/dag)	-0,014	-0,007	-0,001	-0,011	-0,013	-0,020
S <sub>y</sub> (%)	0,33	0,17	0,56	0,39	0,17	0,37
K <sub>c</sub>	0,82	1,19	1,20	0,92	1,20	1,20
MAE	0,061	0,113	0,211	0,036	0,110	0,062
RMSE	0,078	0,143	0,281	0,050	0,149	0,091
NSE	0,952	0,918	0,952	0,892	0,872	0,701
Mackay	Buizingen	Boortmeerbeek	Overijse	Bocholt	Hamont-Achel	Neerpelt
K (m/dag)	21,57	4,26	37,70	0,78	0,77	6,22
Δx (m)	102	131	200	34	2231	840
S <sub>y</sub> (%)	0,32	0,14	0,68	0,47	0,15	0,41
K <sub>c</sub>	0,66	0,87	1,10	0,77	0,23	0,45
Δh <sub>0</sub> (m)	0,3	1,0	1,2	1,2	59,2	9,6
MAE	0,064	0,114	0,196	0,037	0,113	0,061
RMSE	0,078	0,143	0,281	0,050	0,149	0,091
NSE	0,952	0,918	0,952	0,892	0,872	0,701

## Discussie

In de discussie wordt gebruik gemaakt van **Figuren 3 tot 8** voor een visuele representatie van de sterkte van de verschillende modellen. Ook geeft **Tabel 4** een samenvatting van de bekomen waardes voor de parameters, met daarbij de waardes voor de statistische toetsen. Deze vormen de uiteindelijke kwaliteitsscore voor elk model.

### Buizingen

Op **Figuur 3** is te zien dat het model van Park en Parker en WTF een gelijkaardig verloop van het grondwaterpeil vertonen, terwijl deze van Mackay er meer van afwijkt. Uit de statistische analyse kan worden besloten dat het model van Park en Parker het best aansluit bij de gemeten waardes met een NSE van 0.952. WTF en Mackay vertonen grotere afwijkingen met NSE-scores van 0.81 en 0.792.

In de drie modellen valt op dat S<sub>y</sub> een eerder hoge waarde aanneemt voor een leembodem, terwijl de K<sub>c</sub> een kleine waarde aanneemt. Deze waarden zijn realistisch doordat de peilbuis in stedelijk gebied gelegen is, waar de bodem zeer verstoord kan zijn en de specifieke opbrengst lokaal hogere waardes kan aannemen. De hydraulische conductiviteit neemt

een opvallend hoge waarde aan van 21.57. Deze is niet realistisch voor een leembodem. De bodem rond deze peilbuis is echter sterk vergraven, waardoor plaatselijk andere texturen zouden kunnen overheersen. Voor zand is deze K<sub>c</sub> waarde wel realistisch. Een andere verklaring is dat het model van Mackay met een verzadigde zone, bestaande uit één laag, niet geschikt/te simplistisch is om het waterpeil rond deze peilbuis te verklaren.

### Boortmeerbeek

**Figuur 4** toont dat het WTF-model een afwijkend verloop vertoont van de andere twee modellen. Statistisch gezien sluit Park en Parker het best aan met de gemeten waterstanden met een NSE van 0.918, WTF heeft ook een hoge NSE van 0.912 en het Mackay model scoort iets minder met een NSE van 0.858. Alle modellen hebben dus een relatief goede fit. Opvallend is dat de specifieke opbrengst in het WTF-model een grote waarde bereikt. De waarde 0.43 ligt zowel boven het bereik van zand als van leem en kan enkel worden verantwoord doordat het model een benadering is en niet de realiteit.



## Overijse

Op het eerste zicht lijken alle drie de modellen in **Figuur 5** geen goede fit te geven van het model. Dit komt doordat op deze testlocatie de grondwatertafel diep onder maaiveld ligt. Die bevindt zich onder een dikke zandlaag van de Formatie van Brussel en net boven de Formatie van Kortrijk waardoor retardatie optreedt. Voor een duidelijke bespreking werd voor deze locatie een grafiek gekozen met een tijdsinterval van 14 jaar. In de buurt van deze peilbuis wordt ook aan waterwinning gedaan, wat duidelijk zichtbaar is op de figuur. Tussen 2004 en 2005 daalt het waterpeil met meer dan één meter, zonder dat hier een klimatologische verklaring voor is. De factor waterwinning wordt in geen enkel model in rekening gebracht, waardoor een goede fit van de modellen extra wordt bemoeilijkt. Bij het Park en Parker model wordt wel een onverwacht hoge NSE score van 0.952 waargenomen, voor Mackay en WTF worden lagere en logischere scores van 0.490 en 0.419 bekomen. De opvallend hoge  $S_y$  waarden kunnen worden verklaard door de niet in het model opgenomen effecten van grondwaterwinning in de buurt.

## Bocholt

Op **Figuur 6** is te zien dat de grafiek van Mackay opnieuw lichtjes afwijkt van de andere twee modellen. Het WTF-model sluit het best aan bij de metingen. Met een NSE waarde van 0.899 doet het net beter dan Park en Parker met een waarde van 0.892 en veel beter dan Mackay met een NSE waarde van slechts 0.593. Het is opvallend dat opnieuw alle  $S_y$  waarden hoger liggen dan het waarschijnlijke bereik dat afhangt van de bodemtextuur. Deze waarden kunnen enkel worden verklaard doordat de modellen een benadering geven van de realiteit.

## Hamont-Achel

**Figuur 7** geeft duidelijk weer dat de modellen van Park en Parker en WTF ongeveer gelijklopen, terwijl het model van Mackay een verschillend verloop vertoont. De NSE waarden voor Park en Parker, WTF en Mackay - respectievelijk 0.872, 0.869 en 0.664 - tonen duidelijk aan dat Park en Parker en WTF de werkelijkheid beter benaderen dan Mackay. De  $K_c$  waarde bij Mackay heeft een opvallend kleine waarde die buiten het realistisch bereik valt voor maïs. Dit kan opnieuw enkel worden verklaard door het model dat enkel een benadering probeert te geven van de realiteit.

## Neerpelt

Op **Figuur 8** is opnieuw te zien dat Park en Parker en WTF ongeveer gelijklopende grafieken hebben, terwijl Mackay opnieuw een ander verloop vertoont. Park en Parker en WTF hebben beiden een NSE waarde van 0.701 terwijl die van Mackay opmerkelijk kleiner is met een waarde van 0.259. Neerpelt heeft voor de 3 modellen relatief lage NSE waarden in vergelijking met de andere peilbuizen. De  $S_y$  waarden liggen opnieuw hoger dan het verwachte bereik voor zand. De verklaring is opnieuw het feit dat de modellen de werkelijkheid proberen te benaderen, maar daar niet altijd in slagen.

## Conclusie

Wanneer de resultaten voor alle testlocaties samen bekeken worden valt op dat het model van Mackay het steeds beduidend slechter doet vergeleken met het WTF model en het model van Park en Parker. Welke van deze laatst twee modellen het beste scoort hangt af van de testlocatie. Wanneer puur naar de NSE wordt gekeken – over het algemeen het meest doorslaggevende criterium bij hydrogeologische modellen – en hiervan de gemiddelde waarde over alle testlocaties wordt genomen kan geconcludeerd worden dat het model van Park en Parker met een gemiddelde NSE van 0,88 toch significant beter scoort dan het WTF model, welke een gemiddelde NSE van 0,77 heeft. Het model van Mackay doet het over het algemeen zeer matig en heeft een gemiddelde NSE van 0,61. Aangezien al deze waarden ver boven 0 liggen, en de MAE en RMSE ook over het algemeen gunstige waarden vertonen kan geconcludeerd worden dat de geteste modellen wel degelijk in staat zijn om de fluctuaties van de bodemwatertafel op een vrij nauwkeurige manier te beschrijven. Dergelijke modellen kunnen op die manier van maatschappelijk belang zijn in de monitoring van de bodemwatertafel en besluitvorming over het al dan niet draineren van een landbouwperceel.

## Dankwoord

Graag zouden we onze begeleider Frank Elsen willen bedanken voor zijn steun, inzet en hulp om dit project tot een goed einde te brengen. Hij gaf ons vele wetenschappelijke inzichten en deskundige kennis, leerde ons kritisch omgaan met bekomen resultaten en zorgde voor de nodige feedback. Daarnaast bedanken we Marc Vanderveken voor de begeleiding tijdens het veldwerk op de landbouwpercelen. Dankzij hem maakten we kennis met de huidige technieken voor bodemanalyse en leerden we hoe de grondwatertafel door middel van een peilbuis kan opgemeten worden. De Bodemkundige Dienst van België en hun medewerkers danken we voor het verzamelen en ter beschikking stellen van neerslagreeksen, geologische data en andere gegevens die dit onderzoek mogelijk maakten en die deels werden verzameld in het kader van het LEADERproject Drainage plus +, mede gefinancierd door het Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling, de Provincie Limburg, de gemeentes Bocholt, Neerpelt, Bree, Kinrooi en Hamont-Achel.

---

## Referentielijst

- 1 Acharya, S. et al. (2012). Analytical expressions for drainable and fillable porosity of phreatic aquifers under vertical fluxes from evapotranspiration and recharge [on line]. Water Resources Research. Beschikbaar op <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012WR012043> [Datum van raadpleging: 29/04/18].
- 2 Allen, R.G. et al. (1998). Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Fooda and Agriculture organisation, Rome.
- 3 Bărbulescu, A. (2016). Studies on Time Series Applications in Environmental Sciences, 103(2). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30436-6>
- 4 Batu, V., 1998. Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis, John Wiley & Sons, New York, 727p.
- 5 Bennett, D. et al. (2013). Characterising Performance of Environmental Models. Environmental Modelling & Software. 40. 1–20. 10.1016/j.envsoft.2012.09.011.
- 6 Bodemkundige Dienst België vzw. (2016). Drainage Plus [on line]. Beschikbaar op <http://www.bdb.be/Productendiensten/Onderzoekstudies/DrainagePlus/tabid/333/language/nl-BE/Default.aspx> [Datum van raadpleging: 23/03/18].
- 7 De Kreuk, H., Groen, K. (2009). Stoftransport [on line]. Soilpedia. Beschikbaar op <https://soilpedia.nl/Bikiviki%20documenten/SKB%20Cahiers/Stoftransport.pdf> [Datum van raadpleging: 8/05/18].
- 8 De Smedt, F. (2007). Grondmechanica. Vrije Universiteit Brussel.
- 9 Food and Agriculture Organisation of the United Nations. (2018). Tabulated Kc values [on line]. Beschikbaar op <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0b.htm#tabulated%20kc%20values> [Datum van raadpleging: 11/05/18].
- 10 Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, 228(1-2), 113-129. doi:10.1016/S0022-1694(00)00144-X
- 11 Healy, R.W., Cook, P.G. (2002). Using Groundwater Levels to Estimate Recharge. Hydrogeology Journal. 10. 91-109. 10.1007/s10040-001-0178-0.
- 12 Krause, P., et al. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences, 5, 89-97.
- 13 Krul W.F., Lieftrinck F.A. (1946). Recent groundwater investigations in the Netherlands. Monograph on the progress of research in Holland. Elsevier, New York, 78 pp.
- 14 Mackay, Jackson, & Wang. (2014). A lumped conceptual model to simulate groundwater level time-series. Environmental Modelling and Software, 61, 229-245.
- 15 Microsoft. (2018). Define and solve a problem by using solver. Beschikbaar op <https://support.office.com/en-us/article/define-and-solve-a-problem-by-using-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040> [Datum van raadpleging: 29/04/18].
- 16 Park, E., Parker J.P. (2008). A simple model for water table fluctuations in response to precipitation. Journal of Hydrology, 356(3), 344-349.
- 17 Weeks, E. (2005). The Lisse Effect Revisited. Ground water. 40. 652-6. 10.1111/j.1745-6584.2002.tb02552.x.
- 18 White, R. E. (2006). Principles and practice of soil science. Blackwell Publishing, 103-130.

6.5 Perceel te Bochoolt (575): berekening van de verschillen in wateropname door het grasland en productie tussen klassieke en peilgestuurde drainage

	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
Scenario:	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa
pgst:	1	-k	-0.0107 Z		20 Retard	1			1	Type	F						1							
	1	Kc	0.67	Hevw	36.36 a/n	2.9676			1	Ks	0.10						1							
ETa, ETm jaar	646	646	657	657	685	685	656	653	639	621	612	612	618	613	622	622	656	648	595	595	591	577	707	499
ETa, ETm 3-4	132	132	105	105	109	109	112	112	117	117	92	92	100	100	118	118	103	103	94	94	100	100	101	101
ETa, ETm 5	96	96	110	110	99	99	81	81	112	107	97	97	73	73	84	84	90	90	86	86	85	85	105	105
ETa, ETm 6	102	102	104	104	109	109	122	122	103	90	91	91	99	99	101	101	111	111	80	80	112	104	101	96
ETa, ETm 7	104	104	104	104	118	118	135	132	90	89	100	100	119	119	98	98	115	111	108	108	99	93	150	26
ETa, ETm 8	81	81	88	88	105	105	84	84	80	80	100	100	94	93	76	76	94	90	88	88	73	73	100	46
ETa, ETm 9-15/10	65	65	71	71	79	79	70	70	76	76	69	69	70	67	70	70	64	64	82	82	64	64	83	62
ETa, ETm 3-15/10	581	581	582	582	619	619	605	602	577	558	549	549	556	550	547	547	577	569	536	536	533	519	640	436
Netto drain/jr		289		164		32		137		139		189		79		188		97		248		36		-36
Netto CO4-7		50		78		191		219		150		1		129		18		161		-63		149		139
Neerslag jr		958		816		726		790		751		803		688		812		741		841		616		459
ETa, ETm jaar		100%		100%		100%		100%		97%		100%		99%		100%		99%		100%		98%		71%
ETa, ETm 3-4		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%
ETa, ETm 5		100%		100%		100%		100%		96%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%
ETa, ETm 6		100%		100%		100%		100%		88%		100%		100%		100%		100%		100%		93%		95%
ETa, ETm 7		100%		100%		100%		98%		99%		100%		100%		100%		96%		100%		94%		17%
ETa, ETm 8		100%		100%		100%		100%		100%		100%		98%		100%		96%		100%		99%		46%
ETa, ETm 9-15/10		100%		100%		100%		100%		100%		100%		96%		100%		100%		100%		100%		75%
Scenario:	2	-k	-0.0107 Z		20 Retard	1			2	Type	F						2							
pgst:	0	Kc	0.6669	Hevw	36.364 a/n	2.9676			0	Ks	0.1						0							
ETa, ETm jaar	646	637	657	656	685	669	656	584	639	539	612	595	618	543	622	615	656	559	595	575	591	513	707	402
ETa, ETm 3-4	132	131	105	105	109	109	112	112	117	115	92	92	100	100	118	117	103	102	94	94	100	100	101	100
ETa, ETm 5	96	88	110	109	99	99	81	81	112	53	97	96	73	72	84	84	90	88	86	84	85	82	105	96
ETa, ETm 6	102	102	104	104	109	107	122	113	103	72	91	90	99	94	101	98	111	84	80	80	112	59	101	34
ETa, ETm 7	104	104	104	104	118	109	135	82	90	82	100	100	119	99	98	95	115	66	108	101	99	82	150	7
ETa, ETm 8	81	81	88	88	105	104	84	73	80	80	100	90	94	62	76	76	94	76	88	86	73	68	100	45
ETa, ETm 9-15/10	65	65	71	71	79	75	70	70	76	76	69	63	70	54	70	70	64	64	82	72	64	64	83	59
ETa, ETm 3-15/10	581	572	582	582	619	603	605	532	577	477	549	531	556	481	547	539	577	480	536	517	533	455	640	341
Netto drain/jr		311		160		57		206		212		207		147		197		184		266		102		57
Netto CO4-7		42		80		179		132		69		8		73		15		67		-113		83		51
Neerslag jr		958		816		726		790		751		803		688		812		741		841		616		459
ETa, ETm jaar		99%		100%		98%		89%		84%		97%		88%		99%		85%		97%		87%		57%
ETa, ETm 3-4		99%		100%		100%		100%		98%		100%		100%		99%		100%		100%		99%		100%
ETa, ETm 5		92%		99%		100%		100%		47%		99%		98%		99%		98%		98%		97%		92%
ETa, ETm 6		100%		100%		98%		93%		69%		99%		95%		97%		76%		100%		52%		33%
ETa, ETm 7		100%		100%		92%		61%		92%		100%		83%		96%		57%		94%		83%		4%
ETa, ETm 8		100%		100%		99%		87%		100%		90%		66%		100%		81%		98%		94%		45%
ETa, ETm 9-15/10		100%		100%		95%		100%		100%		92%		77%		100%		100%		88%		100%		71%



6.6 Perceel te Bree (574): berekening van de verschillen in wateropname door het grasland en productie tussen klassieke en peilgestuurde drainage

TEELT: MAIS

	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018			
		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		
	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa		
Scenario:	1	-0.45			-k	-0.0095	a/n	4.6768	Retard	-3	Type	E	Z	50	IRRI	0 mm dosis										
pgst:	1				Kc	0.78	Heww	33.35			Ks	0.50			bij	10 pF indien <	20 mm voor of na									
ETa, ETm jaar	562	562	584	580	610	423	592	467	557	492	573	543	584	419	569	543	603	459	567	567	525	404	636	301		
ETa, ETm 3-4	71	71	73	73	65	65	66	66	64	64	59	59	53	53	67	67	63	63	61	61	57	57	65	65		
ETa, ETm 5	70	70	65	65	59	59	57	57	60	51	60	60	58	58	62	62	56	56	56	56	50	50	73	73		
ETa, ETm 6	93	93	100	100	101	88	109	78	101	77	91	90	88	86	94	80	102	83	77	77	99	60	88	51		
ETa, ETm 7	118	118	118	117	134	77	153	82	106	75	118	118	141	72	115	105	135	45	127	127	115	76	175	4		
ETa, ETm 8	92	92	99	98	119	43	95	72	95	93	119	106	112	45	90	90	112	76	104	104	87	47	119	54		
Netto drain/jr	0	264	0	192	0	259	0	328	0	233	0	220	0	297	0	220	0	306	0	298	0	252	0	283		
Netto CO/4-7	0	22	0	2	0	21	0	-2	0	16	0	-4	0	-8	0	-1	0	7	0	-59	0	3	0	-3		
IRRI/ Neerslag jr	0	881	0	750	0	722	0	806	0	693	0	795	0	686	0	782	0	731	0	853	0	700	0	417		
ETa, ETm 6		100%				87%		72%		77%		100%		98%		85%		81%		100%		61%		58%		
ETa, ETm 7		100%				57%		53%		71%		100%		51%		91%		34%		100%		66%		2%		
ETa, ETm 8		100%				36%		76%		98%		89%		40%		100%		68%		100%		54%		45%		
Scenario:	2	-0.75			-k	-0.0095	a/n	4.6768	Retard	-3	Type	E	Z	50	IRRI	0 mm dosis										
pgst:	0				Kc	0.7838	Heww	33.201			Ks	0.5			bij	10 pF indien <	20 mm voor of na									
ETa, ETm jaar	562	557	584	534	610	411	592	451	557	481	573	505	584	407	569	537	603	443	567	426	525	387	636	286		
ETa, ETm 3-4	71	70	73	73	65	65	66	66	64	64	59	59	53	53	67	67	63	63	61	61	57	57	65	65		
ETa, ETm 5	70	67	65	65	59	59	57	57	60	44	60	59	58	58	62	62	56	56	56	50	50	73	73			
ETa, ETm 6	93	92	100	99	101	81	109	64	101	75	91	90	88	83	94	74	102	70	77	77	99	47	88	38		
ETa, ETm 7	118	117	118	101	134	75	153	81	106	74	118	117	141	65	115	104	135	44	127	92	115	74	175	3		
ETa, ETm 8	92	92	99	89	119	41	95	71	95	92	119	74	112	44	90	90	112	75	104	58	87	45	119	54		
ETa, ETm 9-15/10	70	70	76	54	85	43	73	73	86	85	79	57	81	55	81	81	74	74	94	33	73	69	83	26		
ETa, ETm 3-15/10	514	508	531	481	563	364	553	412	511	435	524	456	534	357	510	479	541	381	519	378	480	342	603	259		
Netto drain/jr	0	305	0	215	0	300	0	360	0	208	0	278	0	294	0	242	0	304	0	434	0	299	0	202		
Netto CO/4-7	0	4	0	-20	0	16	0	-8	0	9	0	-26	0	-15	0	-14	0	0	0	-160	0	4	0	-14		
IRRI/ Neerslag jr	0	881	0	750	0	722	0	806	0	693	0	795	0	686	0	782	0	731	0	853	0	700	0	417		
ETa, ETm jaar		99%		91%		67%		76%		86%		88%		70%		95%		73%		75%		74%		45%		
ETa, ETm 3-4		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		
ETa, ETm 5		96%		100%		100%		100%		73%		99%		100%		100%		100%		100%		100%		100%		
ETa, ETm 6		99%		100%		80%		59%		75%		99%		94%		79%		68%		100%		48%		43%		
ETa, ETm 7		99%		86%		56%		53%		70%		99%		46%		90%		32%		73%		65%		2%		
ETa, ETm 8		100%		90%		34%		75%		97%		63%		39%		100%		67%		56%		52%		45%		
WUE																										
	60 kg DS/mm.ha																									
	10% randverliezen																									
	0.15 €/kg (aankoopbesparing of o.v.v. substitutie)																									
OF:	0.24 €/kg (Magazine Zaad&Voer Najaar 2017, Barenburg)																									
Ky	1.5 (Doorenbos en Pruitt)																									

	2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018
	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa	ETm	ETa
Scenario:	1	-0.45		-k	-0.0095	a/n	4.6768	Retard	-3		Type	E	Z	50	IRRI		0 mm dosis							
pgst:	1			Kc	0.78	Hevw	33.20				Ks	0.50			bij		2.8 pF indien <	20 mm voor of na						
ETa, ETm jaar	558	553	575	567	596	423	590	455	561	456	559	524	572	421	567	520	601	439	545	544	532	402	628	308
ETa, ETm 3-4	91	91	83	83	79	79	81	81	83	83	71	71	70	70	86	85	78	78	73	73	73	73	78	78
ETa, ETm 5	78	74	79	79	71	69	64	64	78	35	73	69	64	63	70	70	67	67	67	67	62	62	84	84
ETa, ETm 6	102	101	108	108	111	68	122	67	108	77	97	94	100	90	104	69	112	66	83	83	112	47	102	32
ETa, ETm 7	108	108	108	102	123	70	142	77	99	67	109	108	131	59	108	96	128	42	119	119	109	73	167	3
ETa, ETm 8	77	77	83	81	97	46	81	66	80	80	99	80	95	45	78	78	95	67	87	87	73	46	102	50
Netto drain/jr	0	289	0	198	0	275	0	345	0	254	0	252	0	283	0	253	0	311	0	317	0	271	0	312
Netto CO/4-7	0	36	0	20	0	24	0	8	0	12	0	-3	0	7	0	-7	0	14	0	-50	0	15	0	1
IRRI/ Neerslag jr	0	881	0	750	0	722	0	806	0	693	0	795	0	686	0	782	0	731	0	853	0	700	0	529
ETa, ETm 6		99%		100%		62%		55%		71%		97%		90%		66%		58%		100%		42%		31%
ETa, ETm 7		100%		95%		57%		54%		68%		99%		45%		89%		33%		100%		67%		2%
ETa, ETm 8		100%		98%		47%		82%		100%		81%		48%		100%		70%		100%		63%		49%
Scenario:	2	-0.75		-k	-0.0095	a/n	4.6768	Retard	-3		Type	E	Z	50	IRRI		0 mm dosis							
pgst:	0			Kc	0.7838	Hevw	32.95				Ks	0.5			bij		2.8 pF indien <	20 mm voor of na						
ETa, ETm jaar	558	528	575	535	596	402	590	440	561	445	559	483	572	405	567	511	601	426	545	456	532	382	628	295
ETa, ETm 3-4	91	85	83	83	79	79	81	81	83	83	71	71	70	70	86	85	78	78	73	73	73	73	78	78
ETa, ETm 5	78	61	79	77	71	59	64	64	78	27	73	64	64	61	70	69	67	66	67	66	62	60	84	81
ETa, ETm 6	102	97	108	104	111	61	122	54	108	77	97	92	100	81	104	62	112	55	83	83	112	32	102	22
ETa, ETm 7	108	105	108	85	123	69	142	76	99	66	109	102	131	55	108	95	128	41	119	96	109	72	167	3
ETa, ETm 8	77	77	83	78	97	44	81	65	80	80	99	54	95	44	78	78	95	66	87	56	73	44	102	50
ETa, ETm 9-15/10	52	52	56	49	63	40	59	59	63	63	59	49	61	41	60	60	55	55	65	31	56	54	57	29
ETa, ETm 3-15/10	508	477	517	477	545	352	549	399	512	396	507	432	520	352	504	448	536	361	495	406	485	335	591	263
Netto drain/jr	0	336	0	220	0	305	0	369	0	253	0	301	0	291	0	266	0	318	0	406	0	300	0	260
Netto CO/4-7	0	4	0	-2	0	13	0	2	0	6	0	-32	0	-3	0	-23	0	8	0	-129	0	12	0	-6
IRRI/ Neerslag jr	0	881	0	750	0	722	0	806	0	693	0	795	0	686	0	782	0	731	0	853	0	700	0	529
ETa, ETm jaar		95%		93%		68%		75%		79%		86%		71%		90%		71%		84%		72%		47%
ETa, ETm 3-4		94%		100%		100%		100%		99%		100%		100%		99%		100%		100%		100%		100%
ETa, ETm 5		78%		98%		82%		100%		35%		88%		96%		99%		97%		99%		97%		96%
ETa, ETm 6		95%		96%		55%		44%		71%		95%		81%		59%		49%		100%		28%		22%
ETa, ETm 7		98%		79%		56%		54%		67%		93%		42%		88%		32%		81%		66%		2%
ETa, ETm 8		100%		95%		45%		80%		100%		55%		46%		100%		69%		65%		61%		49%



			IRRI	2007	IRRI	2008	IRRI	2009	IRRI	2010	IRRI	2011	IRRI	2012	IRRI	2013	IRRI	2014	IRRI	2015	IRRI	2016	IRRI	2017	IRRI	2018
Verliezen	5%																									
CONTRACTPRIJS	0.12 €/kg																									
maand:	6	7 mm		5		4		7		13		1		2		9		7		10		0		16		9
	7	5 mm		2		17		1		1		1		7		4		0		1		22		1		1
	8	6 mm		0		3		2		1		0		26		1		0		0		31		2		0
	9	4 mm		0		6		1		0		0		2		0		0		0		35		0		0
	6 - 9	21 mm																								
Meeropbrengst		4.2 t/ha		1.4		6.0		2.2		3.0		0.4		7.1		2.9		1.5		2.3		17.6		3.8		2.1
		477.8 €/ha																								