

Bocholt Stuwt: Waterconservering door implementeren, beheren en monitoren van stuwtjes (WP1)

Auteurs: Marthe Michielsens, Bram Valkenborg
Datum: November 2023
Aantal pagina's: 43 (133 inclusief bijlagen)
Bestand: P_OO_553_Rapport_202311.docx
Nagelezen door: Pieter Janssens
Uitvoerder: Bodemkundige Dienst van België vzw
W. de Croylaan 48
3001 Heverlee
E-mail: info@bdb.be
Tel: +32 (0)16 31 09 22
Projectleider: Pieter Janssens



i.s.m.

Proef- en Vormingscentrum voor de
Landbouw (PVL Bocholt)
Kaulillerweg 3
3950 Bocholt
Tel.: +32 470 02 35 83



Boeren natuur Vlaanderen
Diestsevest 40
3000 Leuven
Tel.: +32 (0) 16 28 64 55



Sumaqua
Sluisstraat 79 b3.01
3000, Leuven
Tel.: +32 474 42 20 03



Met de steun van

Droogte Innovatie Fonds (DIF)
Provincie Limburg



Project code BDB:	P/00/553
Projectperiode:	Van 12/2021 tot 11/2023
Referentie:	Indien van toepassing dient gerefereerd te worden naar dit document als volgt: Michiels M., Valkenborg B., Janssens P., Keppens S., Palmans S., Wolfs S., Meuris S. (2023) Bocholt Stuw: Waterconservering door implementeren, beheren en monitoren van stuwtjes. Project uitgevoerd door Bodemkundige Dienst van België, Proef- en Vormingscentrum voor de Landbouw en Boerennatuur, Sumaqua. Rapportversie november 2023. 133 pp.
Kwaliteitsbewaking:	Het project valt onder het toepassingsgebied en de onderzoeksafdeling die gecertificeerd is met het ISO9001:2015 label door KIWA. Dit houdt in dat voortdurend gestreefd wordt naar kwaliteitsverbetering, zowel op het gebied van onderzoek, studieopdrachten, projectwerking als terrein- en proefveldwerking.

Inhoud

Lijst van tabellen	5
Lijst van figuren	6
1 Inleiding	9
2 Desktopstudie stuwgeschiktheid	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Methoden	10
2.3 Resultaten	11
3 Overzicht opgevolgde percelen	13
3.1 Elshoven; stuw 12	13
3.2 Winterdijkweg; stuw 19	14
3.3 Pluimertenweg; stuw 14	15
3.4 Weerterweg; stuw 26	16
3.5 Watermolenweg; stuw 23	17
4 Gemeten grondwatertijdreeksen	19
4.1 Elshoven; stuw 12	19
4.2 Winterdijkweg; stuw 19	19
4.3 Pluimertenweg; stuw 14	20
4.4 Weerterweg; stuw 26	20
5 Doorsnedes met gemeten en gesimuleerde grondwatertafels	22
5.1 Methoden	22
5.2 Elshoven; stuw 12	23
5.3 Winterdijkweg; stuw 19	24
5.4 Pluimertenweg; stuw 14	26
5.5 Weerterweg; stuw 26	27
6 Modelling bodemvochtreserve en grondwaterdynamiek	29
6.1 Methoden	29
6.1.1 Bodemwaterbalansmodel	29
6.1.2 Park & Parker model	29
6.2 Elshoven; stuw 12	30
6.2.1 Bodemwaterbalans	30
6.2.2 Park & Parker	30
6.3 Winterdijkweg (stuw 19)	31
6.3.1 Bodemwaterbalans	31
6.3.2 Park & Parker	32

6.4	Weerterweg (stuw 26).....	33
6.4.1	Bodemwaterbalans	33
6.4.2	Park & Parker	34
7	Gewasopbrengstberekening bij stuwplaatsing	36
7.1	Methoden.....	36
7.2	Elshoven (stuw 12).....	37
7.3	Weerterweg (stuw 26).....	39
8	Conclusies	42
9	Referenties	43
10	Bijlagen.....	44
10.1	Desktopstudie stuwgeschiktheid.....	44
10.2	Overzicht peilbuizen BDB	125
10.3	Klimatologische vergelijking zomers sinds 1991.....	126
10.4	Parameters bodemwaterbalans	127
10.5	Kalibraties P&P.....	129
10.6	P&P model zonder stuw vs. metingen na stuwplaatsing.....	132

Lijst van tabellen

Tabel 1: Beoordelingstabel van de potentiële stuwlocaties.	11
Tabel 2: Overzicht van de gemonitorde percelen in Bocholt.....	13
Tabel 3: Periodes voor de twee scenario's met stuw dat de stuw werkzaam geacht wordt volgens scenario en voor de specifieke peilbuis locatie.....	36
Tabel 4: Theoretische mate van verhoging van de grondwatertafel bekomen door opstuwning volgens scenario en voor de specifieke locatie. Deze waarden werden bekomen m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.....	36
Tabel 5: Datums vanaf wanneer het gemodelleerd plant-beschikbaar bodemvochtreserve voor een gemiddeld jaar definitief onder de waterstress drempelwaarde zakt voor perceel 1. Elshoven.....	38
Tabel 6: Datums vanaf wanneer het gemodelleerd plant-beschikbaar bodemvochtreserve voor een gemiddeld jaar definitief onder de waterstress drempelwaarde zakt voor perceel 4. Weerterweg.....	40
Tabel A 1: Overzichtstabel van de peilbuizen geïnstalleerd door de Bodemkundige Dienst in Bocholt.	125
Tabel A 2: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).....	127
Tabel A 3: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19).	127
Tabel A 4: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26).	128

Lijst van figuren

Figuur 1: Zijwaartse schets van het lengteprofiel van de bodem van de gracht en evenwijdige oever. Bij de aanname dat de bodem en de oever eenzelfde hellingsgraad hebben, zal de stroomopwaartse stuwafstand L_{stuw} gelijk zijn.	10
Figuur 2: Overzichtskaart van potentiële stuwlocaties te Bocholt waarvoor stuwgeschiktheidsanalyses zijn uitgevoerd.	12
Figuur 3: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 1. Elshoven (stuw 12) in Bocholt.	14
Figuur 4: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19) in Bocholt.	15
Figuur 5: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 3. Pluimertenweg (stuw 14) in Bocholt.	16
Figuur 6: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26) in Bocholt.	17
Figuur 7: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 5. Watermolenweg (stuw 23) in Bocholt.	18
Figuur 8: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).	19
Figuur 9: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19) in Bocholt.	20
Figuur 10: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 3. Pluimertenweg (stuw 14) in Bocholt.	20
Figuur 11: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26) in Bocholt.	21
Figuur 12: Illustratie van de opbolling van de grondwatertafel tussen twee drainerende grachten.	22
Figuur 13: Oost-west doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).	23
Figuur 14: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12). Twee scenario's zonder stuw en twee scenario's met opstuwing (van 20 cm en 40 cm in de oostelijke gracht) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.	24
Figuur 15: Noord-zuid doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19).	24
Figuur 16: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor de noord-zuid doorsnede van perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). Zowel een scenario voor stuwplaatsing (14/10/2022) als een scenario na stuwplaatsing (18/10/2023) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.	25
Figuur 17: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor een oost-west doorsnede van perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). Zowel een scenario voor stuwplaatsing (14/10/2022) als een scenario na stuwplaatsing (18/10/2023) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.	26
Figuur 18: Zuid-noord doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 3. Pluimertenweg (stuw 14).	26
Figuur 19: Noordwest-zuidoost doorsnede 1 met grondwatermetingen voor perceel 4. Winterweg (stuw 26).	27
Figuur 20: Noordwest-zuidoost doorsnede 2 met grondwatermetingen voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26).	27

Figuur 21: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor de noord-zuid doorsnede van perceel 4. Weerterweg (stuw 26). Een scenario zonder stuw (15/02/2023) en twee scenario's met opstuwing (van 20 cm en 40 cm in de noordelijke gracht) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.	28
Figuur 22: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).	30
Figuur 23: Resultaat van het Park & Parker grondwatermodel voor peilbuis 12.3. In de twee situaties met stuw wordt een stijging van het grondwaterniveau met 13 cm (geel) en 26 cm (paars) voorspeld voor de periodes dat er volgens het model water in de gracht zou hebben gestaan.....	31
Figuur 24: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).	32
Figuur 25: Vergelijking van het gesimuleerde grondwaterniveau voor peilbuis 19.4 (gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen voor de stuwplaatsing) met de meetreeksen zowel voor als na stuwplaatsing.	33
Figuur 26: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).	34
Figuur 27: Resultaat van het Park & Parker grondwatermodel voor peilbuis 26.3. In de twee situaties met stuw wordt een stijging van het grondwaterniveau met 12 cm (geel) en 24 cm (paars) voorspeld voor de periodes dat er volgens het model water in de gracht zou hebben gestaan.....	35
Figuur 28: Vereenvoudigd verloop van de diepte van de grondwatertafel over 1 jaar (1 oktober - 30 september) voor perceel 1. Elshoven en voor drie scenario's. Het verloop werd gebruikt als input van het bodemwaterbalansmodel.	37
Figuur 29: Vereenvoudigd verloop van de diepte van de grondwatertafel over 1 jaar (1 oktober - 30 september) voor perceel 4. Weerterweg en voor drie scenario's. Het verloop werd gebruikt als input van het bodemwaterbalansmodel.	37
Figuur 30: Gemodelleerd bodemvochtreserve voor perceel 1. Elshoven onder de verschillende scenario's en voor een gemiddeld klimatologisch jaar.....	38
Figuur 31: Gemodelleerde meeropbrengst (in kg DS/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 1. Elshoven.	39
Figuur 32: Gemodelleerde meeropbrengst (in €/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 1. Elshoven.....	39
Figuur 33: Gemodelleerd bodemvochtreserve voor perceel 4. Weerterweg onder de verschillende scenario's en voor een gemiddeld klimatologisch jaar.....	40
Figuur 34: Gemodelleerde meeropbrengst (in kg DS/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 4. Weerterweg.....	41
Figuur 35: Gemodelleerde meeropbrengst (in €/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 4. Weerterweg.	41

Figuur A 3: Klimatologische vergelijking van de zomers (juni t.e.m. augustus) sinds 1991 voor Ukkel op basis van temperatuur, neerslag en zonneschijnduur. Uit de gegevens blijkt dat de zomer van '23 natter was dan normaal en de zomer van '22 droger dan normaal. Bron: KMI, 2023.....	126
Figuur A 4: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 12.1, 12.2, 12.3 en 12.4 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R^2 in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.....	129
Figuur A 5: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 19.1, 19.2, 19.3 en 19.4 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R^2 in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.....	130
Figuur A 6: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 26.2, 26.3, 26.4 en 26.5 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R^2 in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.....	131
Figuur A 7: Vergelijking van de gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 19.1, 19.2, 19.3 en 19.4 (die gekalibreerd zijn a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen voor de stuwplaatsing) met de meetreeksen zowel voor als na stuwplaatsing.	132

1 Inleiding

In dit document wordt verslag gemaakt van de onderzoeksactiviteiten uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst van België in het kader van het project 'Bocholt Stuw'. Binnen het kader van 'Werkspoor 1: Waterconservering door implementeren, beheren en monitoren van (de impact van) stuwtjes' draagt dit project bij om de mogelijkheden tot waterconservering te maximaliseren door in te zetten op stuwen die op strategische locaties in het gebied geplaatst werden. Het project focust zich specifiek op het deelstroombekken Abeek-Warmbeek, dat de gemeente Bocholt omvat.

Grondwater is voor Vlaanderen de belangrijkste waterbron. In Limburg maakt onder meer de landbouw op grote schaal gebruik van dit water. In het deelstroombekken Abeek-Warmbeek blijkt dat tijdens droge zomers de irrigatiebehoefte het aanbod overschrijdt. Bovendien blijkt uit verschillende peilbuizen dat er regelmatig extreem droge omstandigheden worden vastgesteld. Dit wijst op een bijzonder kwetsbare situatie voor de bovenloop van de Abeek en de bijhorende vegetaties. In dit gebied is het dan ook noodzakelijk om in te zetten op waterconservering en daarbij alle mogelijke maatregelen die zorgen voor infiltratie van water in de bodem.

Door middel van een desktopstudie werden strategische plaatsen voor stuwen aangeduid. Kandidaatpercelen werden op terrein bezocht om concrete locaties voor stuwplaatsingen aan te duiden.

Vervolgens werd een monitoringsplan opgesteld om het grond- en oppervlaktewater op te volgen doorheen de tijd voor een handvol gekozen locaties. De monitoring bestaat uit een combinatie van handmatige grondwatermetingen in peilbuizen, IoT-sensoren in grachten en metingen met behulp van een RTK gps.

Om de impact van de stuwen te demonstreren werden de gegevens van de meetcampagne ten slotte genuttigd voor modelberekeningen. Het doel is om de meerwaarde van het project aan te tonen en om vervolgens de projectresultaten te verspreiden naar landbouwers en stakeholders.

2 Desktopstudie stuwgeschiktheid

2.1 Inleiding

Grachten werden in het verleden langsheen percelen aangelegd om drainage te bevorderen wanneer grondwaterstanden tijdens de wintermaanden te hoog staan. Tijdens droge zomers kan de drainerende functie van grachten de waterstand van percelen onnodig doen dalen. In dat geval kan drainering een negatieve impact hebben op de gewasopbrengsten. Door het plaatsen van stuwen op strategische locaties in de grachten wordt het water in de gracht tot een bepaalde hoogte tegengehouden. Hierdoor zal er minder water wegvloeien en zal het meer tijd hebben om in de bodem te infiltreren, waardoor de grondwatertafel zal verhogen. Een Landbouwer kan zelf de stuwhoogte verhogen of verlagen om meer controle te krijgen over de vochttoestand van zijn perceel.

2.2 Methoden

De studie maakt gebruik van volgende kaartlagen:

- Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II (DHMVII, grondresolutie van 1 meter) (Agentschap Digitaal Vlaanderen, 2014)
- Grachtenkaart (eigen productie en gevalideerd op terrein)
- Mogelijke stuwlocaties

Uit het digitaal hoogtemodel (DHM) kunnen doorsneden en hellingsgraden verkregen worden. De hellingsgraad van de gracht bepaalt tot hoe ver stroomopwaarts het water zal komen in de gracht ten opzichte van de stuw. De oever van de gracht werd genomen als referentie in de berekeningen in plaats van de bodem van de gracht, omdat de hoogte van de bodem op het digitaal hoogtemodel beïnvloed kan worden door vegetatie of water in de gracht. De afstand tot waar het water zal komen, zal hetzelfde zijn (Figuur 1), indien men ervan uitgaat dat de hellingsgraad van de bodem hetzelfde is als de hellingsgraad van de oever. Verder werd er aangenomen dat een gracht 1 m breed zou zijn en als oever werd een strook beschouwd die parallel aan de gracht loopt op een afstand van 1 tot 3 m van het centrum van de gracht.



Figuur 1: Zijwaartse schets van het lengteprofiel van de bodem van de gracht en evenwijdige oever. Bij de aanname dat de bodem en de oever eenzelfde hellingsgraad hebben, zal de stroomopwaartse stuwaafstand L_{stuw} gelijk zijn.

De stuwaafstand kan afgeleid worden door het hoogteverschil uit het DHM te berekenen tussen elke pixel van de oeverzone parallel langs de gracht en de gemiddelde maaiveldhoogte op de potentiële stuwlocatie ($\overline{H_{mv_stuw}}$):

$$\Delta DHM = DHM_{oever} - \overline{H_{mv_stuw}}$$

$\overline{H_{mv_stuw}}$ wordt daarbij berekend door het gemiddelde te nemen van de concentrische zone tussen de 1 en 3 m afstand van de stuwlocatie. Op de locatie van de stuw geldt dan dat $\Delta DHM \approx 0$ m. Als men veronderstelt dat de potentiële stuw 0.5 m hoog reikt, geldt voor pixels van de oeverzone waar $\Delta DHM < 0.5$ m dat er water zal staan in de parallelle gracht, en waar $\Delta DHM > 0.5$ m dat de parallelle gracht droog zal zijn ter hoogte van die pixel.

Om een meer volledig beeld te verkrijgen van de analyse werd er een hoogteprofiel opgemaakt van de gracht en beide oevers. Via deze grafiek kan worden nagegaan of de hellingsgraad van de bodem van de gracht (let op: hier zit nog altijd een onzekerheid op over wat er gemeten wordt) gelijkaardig is aan deze van de oevers. Om de onnauwkeurigheid van de metingen te verminderen, werd er een Savitzky-Golay filter toegepast op de hoogtegegevens van zowel de oevers als de bodem van de gracht. De stuw wordt op de grafiek aangeduid als een verticale lijn van 0.5 m (zowel met als referentie de bodem van de gracht als de oevers). Verder werd het waterniveau in de gracht weergegeven door een horizontale lijn wanneer de stuw het water volledig zou opstuwen. Men kan dan nagaan of de stuwapstand met als referentie de bodem van de gracht gelijkaardig is aan de stuwapstand met als referentie de oevers.

De bepaling van de impact van de stuw op perceelsniveau is niet eenvoudig. Waar en met welke mate het grondwater wordt verhoogd is namelijk moeilijk te voorspellen. Wat we met zekerheid kunnen berekenen is waar het onmogelijk is dat er grondwater zou worden opgestuwd: dit is het deel van het perceel dat buiten het bereik van de stuw ligt. Er werd eenzelfde analyse uitgevoerd als de analyse langsheen de grachten. Enkel wordt nu de oeverzone uitgebreid naar het gehele perceel:

$$\Delta DHM = DHM_{perceel} - \overline{H_{mv_stuw}}$$

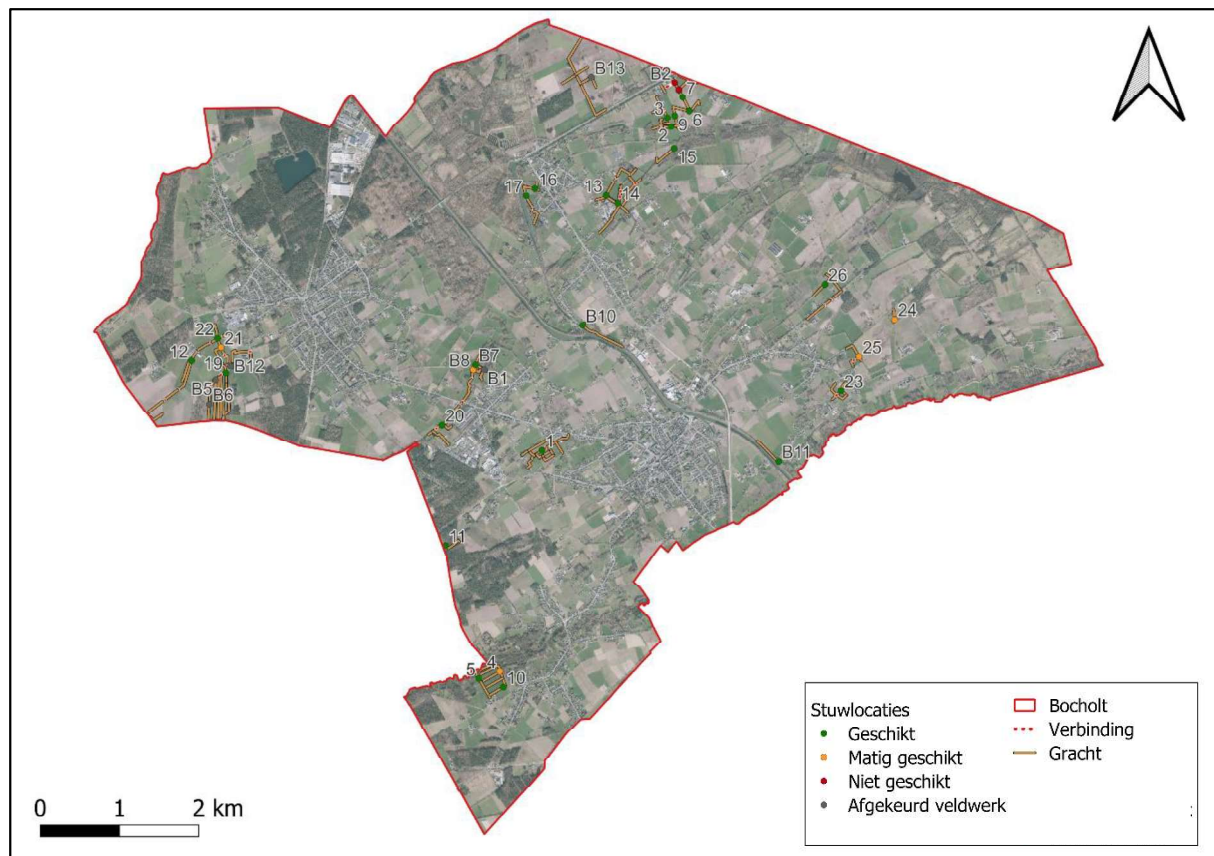
Na de hierboven beschreven analyse a.d.h.v. het DHM werden de stuwen opgedeeld in verschillende categorieën zoals weergegeven in Tabel 1. De kleurcode werd toegekend rekening houdend met de desktopstudie, een beoordeling van de betrokken landbouwers, lokale terreinobservaties, de bodemkaart en geschiktheid van de gracht.

Tabel 1: Beoordelingstabel van de potentiële stuwlocaties.

	Stuw grondwater voldoende op
	Stuw grondwater beperkt op (deel van het perceel)
	Stuw zeer beperkt of geen grondwater op door een te steile helling of doordat de stuw hoger ligt dan de omgeving

2.3 Resultaten

In totaal werden in Bocholt 38 potentiële stuwlocaties geanalyseerd voor hun geschiktheid. Hiervan werden respectievelijk 25 als groen, 6 als geel en 7 als rood gecategoriseerd. Een overzichtskaart wordt getoond in Figuur 2.



Figuur 2: Overzichtskaart van potentiële stuwlocaties te Bocholt waarvoor stuwgeschiktheidsanalyses zijn uitgevoerd.

Aparte fiches voor elke geanalyseerde stuwlocatie bevinden zich als bijlage in Hoofdstuk 10, sectie 10.1 Desktopstudie stuwgeschiktheid.

3 Overzicht opgevolgde percelen

Meetcampagnes werden opgezet op een vijftal percelen (Tabel 2). Deze percelen werden aangeduid in die mate dat ze representatief zijn voor het ganse projectgebied. Op elk van de locaties werden observaties van de waterstand in de aangrenzende gracht of beek aangevuld met een meetraai van peilbuizen loodrecht op de gracht om zo het effect van de stuw op het grondwaterpeil goed te kunnen inschatten.

Tabel 2: Overzicht van de gemonitorde percelen in Bocholt.

Perceel Nr.	Stuw nr	Bodemtype	Dichtstbijzijnde adres	Landbouwer
1	12	Zfg	Elshoven	Keppens
2	19	Zfg, V	Winterdijkweg	Vanhove
3	14	Seg	Pluimertenweg	Kusters
4	26	Sdg	Weerterweg	Weltjens
5	23	Sfc	Watermolenweg	Weltjens

3.1 Elshoven; stuw 12

Een kaart van het perceel is weergegeven in Figuur 3. Het perceel met landgebruik grasland wordt door twee parallelle grachten/waterlopen begrensd. Aan de oostzijde bevindt zich de Waterafloop, een VHA waterloop van 2^{de} categorie. De Bodemkaart van België classificeert het perceel als bodemtype Zfg, zijnde een zeer natte zandbodem met duidelijke ijzer en/of humus B horizont.

Er is geen stuw geïnstalleerd, maar een vergunning voor een stuwplaatsing op de Waterafloop is lopende.

Grondwaterstanden werden manueel gemonitord a.d.h.v. 4 peilbuizen. In de parallelle grachten werd de waterstand met een RTK gps op twee tijdstippen opgemeten (15/02/2023 en 18/10/2023).



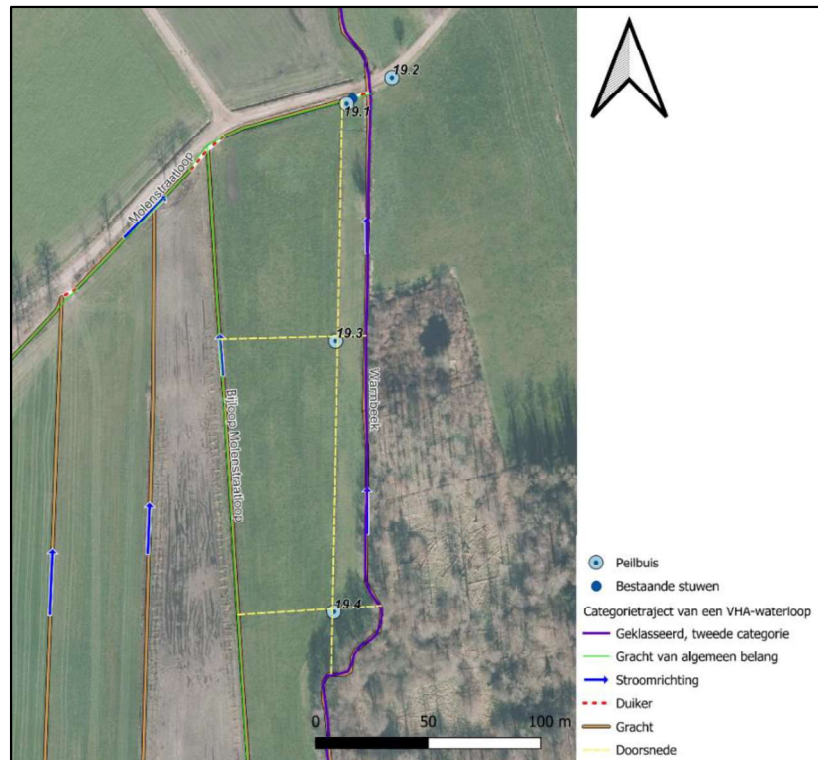
Figuur 3: Overzichtskartaal van de monitoring voor perceel 1. Elshoven (stuw 12) in Bocholt.

3.2 Winterdijkweg; stuw 19

Een kaart van het perceel is weergegeven in Figuur 4. Het perceel heeft een gedeelde functie als grasland en voor maisteelt. In het oosten grenst het perceel aan de Warmbeek, een VHA waterloop van 2^{de} categorie. Twee grachten van algemeen belang grenzen het perceel verder af in het westen en het noorden (respectievelijk de Bijloop Molenstraatloop en de Molenstraatloop). De Bodemkaart van België classificeert het perceel voornamelijk als bodemtype Zfg, zijnde een zeer natte zandbodem met duidelijke ijzer en/of humus B horizont. De bodemklasse V (veenbodem) is toegewezen aan de zone langsheen de Warmbeek.

Er bevindt zich een stuw in de Molenstraatloop. Deze stuw werd geplaatst op 3/04/2023.

Grondwaterstanden werden manueel gemonitord a.d.h.v. 4 peilbuizen. In de grachten en waterlopen werd de waterstand met een RTK gps sporadisch opgemeten (op 14/10/2022 en 18/10/2023).



Figuur 4: Overzichtskartaal van de monitoring voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19) in Bocholt.

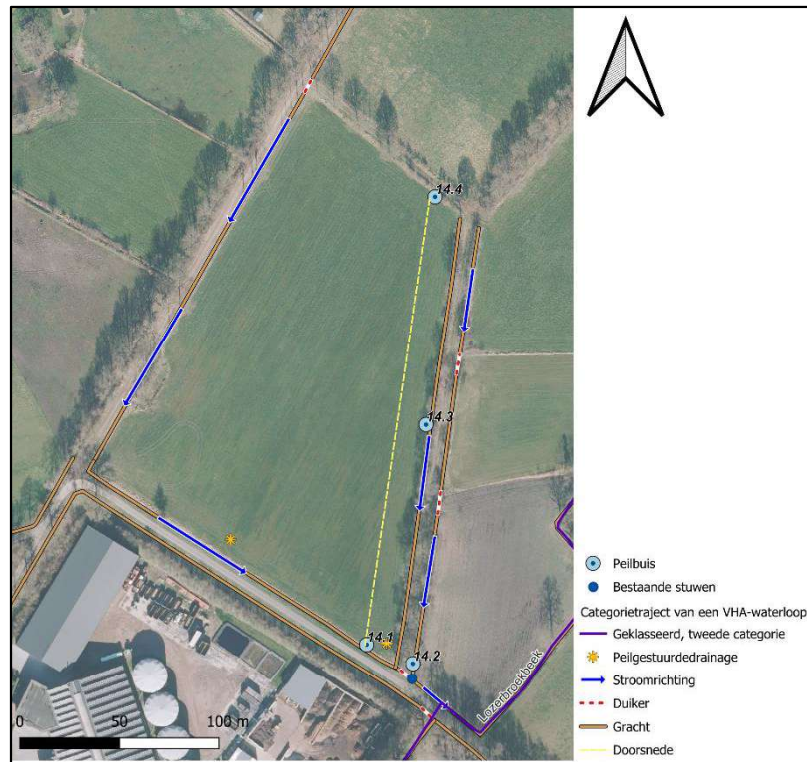
3.3 Pluimertenweg; stuw 14

Een kaart van het perceel is weergegeven in Figuur 5. Het perceel wordt gebruikt voor de teelt van grasklaver. Het perceel wordt afgegrensd door grachten aan de oost-, zuid- en westzijde. De Bodemkaart van België classificeert het perceel als bodemtype Seg, zijnde een natte lemige zandbodem met duidelijke ijzer en/of humus B horizont.

Een belangrijk kenmerk van het perceel is dat het grondwaterniveau gestuurd wordt door peilgestuurde drainage.

Er bevindt zich een stuw in de meest oostelijk gelegen gracht, dicht gelegen aan de weg. Deze stuw werd geplaatst op 14/03/2023.

Grondwaterstanden werden manueel gemonitord a.d.h.v. 4 peilbuizen. In de grachten werd de waterstand met een RTK gps sporadisch opgemeten (15/02/2023 en 18/10/2023).



Figuur 5: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 3. Plumertenweg (stuw 14) in Bocholt.

3.4 Weerterweg; stuw 26

Een kaart van het perceel is weergegeven in Figuur 6. Het perceel wordt gebruikt voor de teelt van maïs en grasklaver. Het perceel wordt afgegrensd door grachten aan de noordelijke en zuidelijke zijde. De Bodemkaart van België classificeert het perceel als bodemtype Sdg, zijnde een matig natte lemige zandbodem met duidelijke ijzer en/of humus B horizont.

Er bevindt zich een stuw in de noordelijk gelegen gracht, ter hoogte van de bomenrij die het perceel in het oosten afgrenst. Deze stuw werd geplaatst op 20/03/2023.

Grondwaterstanden werden gemonitord a.d.h.v. 6 peilbuizen, waarvan 5 door manuele metingen en 1 m.b.v. een diver. In de grachten werd de waterstand met een RTK gps sporadisch opgemeten (15/02/2023 en 18/10/2023), maar beide keren stonden de grachten droog.



Figuur 6: Overzichtskaart van de monitoring voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26) in Bocholt.

3.5 Watermolenweg; stuw 23

Een kaart van het perceel is weergegeven in Figuur 7. Het perceel wordt gebruikt voor de teelt van grasklaver. Het perceel wordt afgegrensd door de Kreilerrietbeek in het zuidoosten (2^{de} categorie waterloop), en door grachten langsheen de overige zijden. De Bodemkaart van België classificeert het perceel als bodemtype t-Sfc, zijnde een zeer natte lemige zandbodem met sterk gevlekte, verbrokkelde textuur B horizont.

Er bevindt zich een stuw vlakbij de noordelijke hoek van het perceel. Deze stuw werd geplaatst op 20/03/2023.

Op enkele locaties werd de bodem en de waterstand in de grachten met een RTK gps opgemeten op 18/10/2023. Er werd toen een significante waterstand opgemeten in de noordwestelijke gracht, maar de overige grachten stonden duidelijk droger. Ten slotte bevinden er zich 2 sensoren die het (grond)waterpeil continu opvolgen (sinds 5/10/2023): eentje in de noordwestelijke gracht en de andere in de noordoostelijke gracht vlakbij de weg.



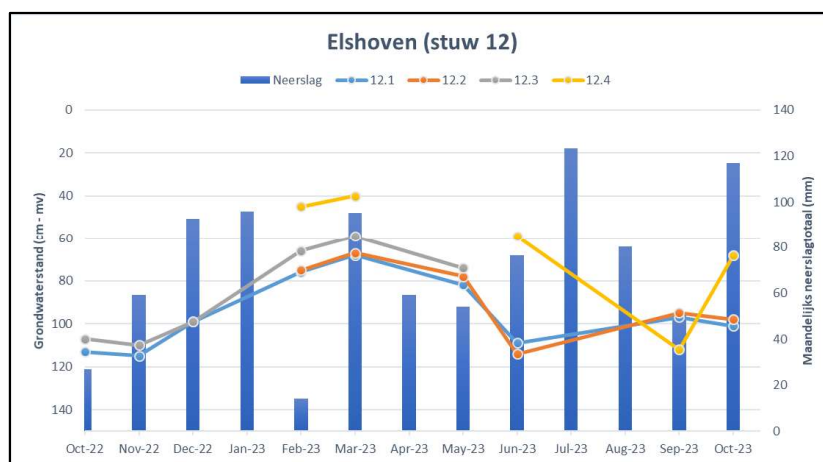
Figuur 7: Overzichtskaat van de monitoring voor perceel 5. Watermolenweg (stuw 23) in Bocholt.

4 Gemeten grondwatertijdreeksen

In deze sectie wordt de evolutie van de grondwaterstanden gevisualiseerd die manueel werden opgemeten in de peilbuizen. De eerste manuele metingen werden uitgevoerd op 14/10/2022 en de laatste metingen vonden plaats op 18/10/2023. Over deze tijdsperiode van iets langer dan een jaar werden op 9 verschillende tijdstippen grondwatermetingen uitgevoerd. Voor een groot aantal peilbuizen is de monitoring echter pas gestart op 15/02/2023. Ook zijn er ontbrekende metingen doordat bepaalde peilbuizen niet teruggevonden werden tijdens de meetcampagne. Deze factoren maken dat de meetreeksen onvolledig kunnen zijn.

4.1 Elshoven; stuw 12

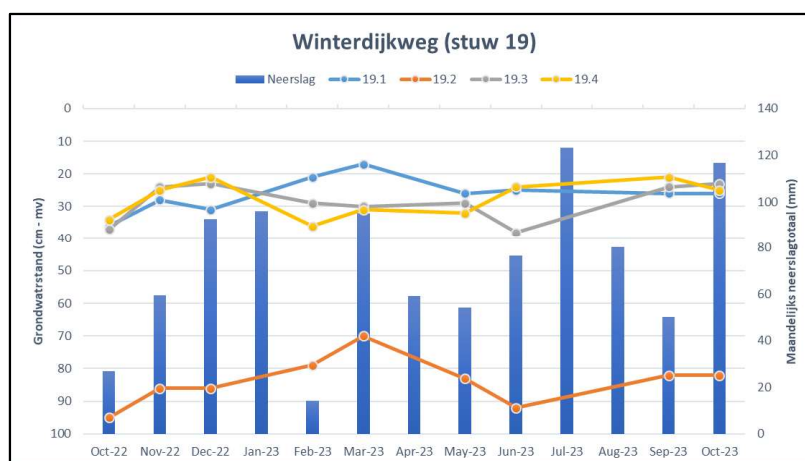
De grondwaterstanden aan perceel 1 kennen een duidelijke seizoenale variatie met een hogere grondwatertafel in maart en een aanhoudende lagere grondwatertafel gedurende de zomer en het najaar (Figuur 8). De grondwaterniveaus gemeten in peilbuizen 12.1, 12.2 en 12.3 volgen een zeer gelijkaardige situatie. Peilbuis 12.4 bevindt zich verder stroomopwaarts (zuidelijker) waar de grondwatertafel in het algemeen iets hoger t.o.v. het maaiveld komt.



Figuur 8: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).

4.2 Winterdijkweg; stuw 19

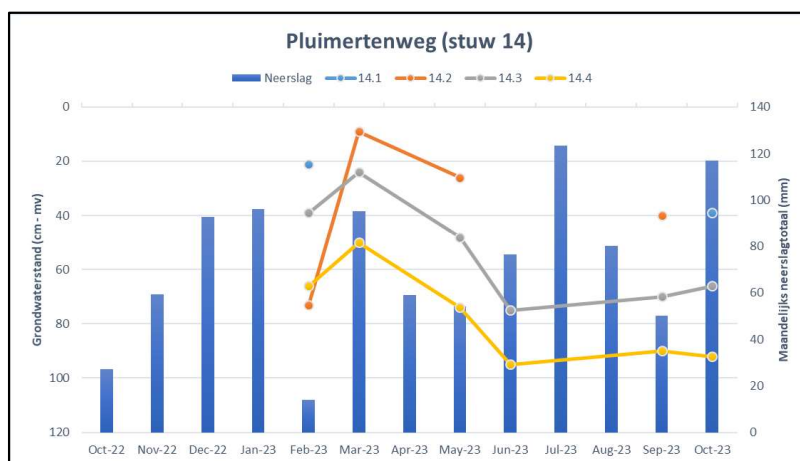
De grondwaterstanden aan perceel 2 kennen een eerder constant verloop met weinig variatie doorheen het jaar (Figuur 9). De peilbuizen die in het perceel staan (19.2, 19.3 en 19.4) geven zeer ondiepe grondwaterniveaus aan tussen de 20 en 40 cm onder het maaiveld. Peilbuis 19.2 bevindt zich buiten het perceel en stroomafwaarts van de stuw waar de grondwatertafel zich dieper bevindt. De stuw werd geplaatst begin april '23, maar er is nog geen effect waarneembaar uit de meetreeksen.



Figuur 9: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19) in Bocholt.

4.3 Pluimertenweg; stuw 14

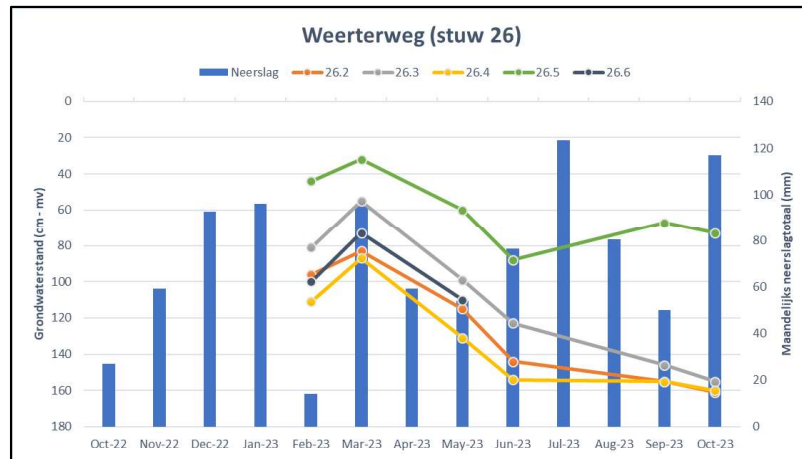
De grondwaterstanden aan perceel 3 kennen een seizoenale variatie met hogere grondwaterstanden in maart en een aanhoudende lagere grondwatertafel gedurende de zomer en het najaar (Figuur 10). Het perceel wordt peilgestuurd gedraineerd, wat een invloed kan hebben op de natuurlijke grondwaterschommelingen. De stuw werd geplaatst midden maart '23. Peilbuis 14.2 bevindt zich net stroomopwaarts van de stuw, maar de sterke stijging in het grondwater tussen februari en maart valt net voor de stuwplaatsing. De meting in september '23 voor peilbuis 14.2 kan wel (gedeeltelijk) het gevolg zijn van de stuw.



Figuur 10: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 3. Pluimertenweg (stuw 14) in Bocholt.

4.4 Weerterweg; stuw 26

De grondwaterstanden aan perceel 4 kennen een duidelijke seizoenale variatie met een hogere grondwatertafel in maart en een aanhoudende lagere grondwatertafel gedurende de zomer en het najaar (Figuur 11). In vergelijking met de andere gemonitorde percelen zakt de grondwatertafel voor dit perceel in het najaar veel dieper weg. De stuw werd geplaatst midden maart '23, maar er is nog geen effect waarneembaar uit de meetreeks.



Figuur 11: Evolutie in gemeten grondwaterstanden t.o.v. het maaiveld voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26) in Bocholt.

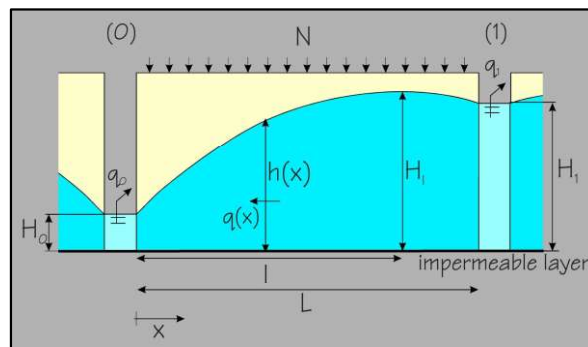
5 Doorsnedes met gemeten en gesimuleerde grondwatertafels

5.1 Methoden

Het merendeel van de peilbuizen werden geplaatst in een opstelling loodrecht op een gracht of tussen twee parallelle grachten. Dit laat toe de discontinue metingen te visualiseren in een twee-dimensionale doorsnede.

Met behulp van de Hooghoudt vergelijkingen wordt een inschatting gemaakt van de hoogte van de grondwatertafel voor de twee-dimensionale doorsnedes op de percelen. Het maken van zulke doorsnedes is enkel toepasbaar indien de parallelle grachten/waterlopen langsheen de percelen een drainerend effect op de grondwatertafel uitoefenen. Het was dus niet mogelijk om zulke doorsnedes te simuleren voor elke locatie. Indien er nog geen stuw geïnstalleerd is (of de stuw steeds volledig open heeft gestaan) kan ook een voorspelling van de grondwatertafel gemaakt worden bij opstuwing.

Een schets van de hoogte van de grondwatertafel tussen twee drainerende grachten wordt gegeven in Figuur 12. Hierbij is H de hoogte van de watertafel, L de afstand tussen de drainerende grachten, q het debiet aan grondwater dat de gracht onttrekt van de aquifer en N een parameter representatief voor zowel het neerslagoverschot als de aanvoer van grondwater uit een hoger gelegen gebied.



Figuur 12: Illustratie van de opbolling van de grondwatertafel tussen twee drainerende grachten.

De berekening van het grondwaterniveau gebeurt in drie stappen, telkens met bijbehorende vergelijkingen:

1. Berekening van l , de horizontale afstand tussen gracht 0 en de locatie met de hoogste grondwaterstand (met k de hydraulische conductiviteit):

$$l = \frac{(H_1^2 - H_0^2)K}{2NL} + \frac{L}{2}$$

2. Berekening van de debieten q_0 en q_1 in de parallelle grachten:

$$q_0 = Nl$$

$$q_1 = N(L - l)$$

3. Berekening van de hoogte van de grondwatertafel h in functie van de afstand x tot gracht 0:

- a. Voor $x < l$:

$$h = \sqrt{\frac{2q_0}{K}x - \frac{N}{K}x^2 + H_0^2}$$

b. Voor $l < x < L$:

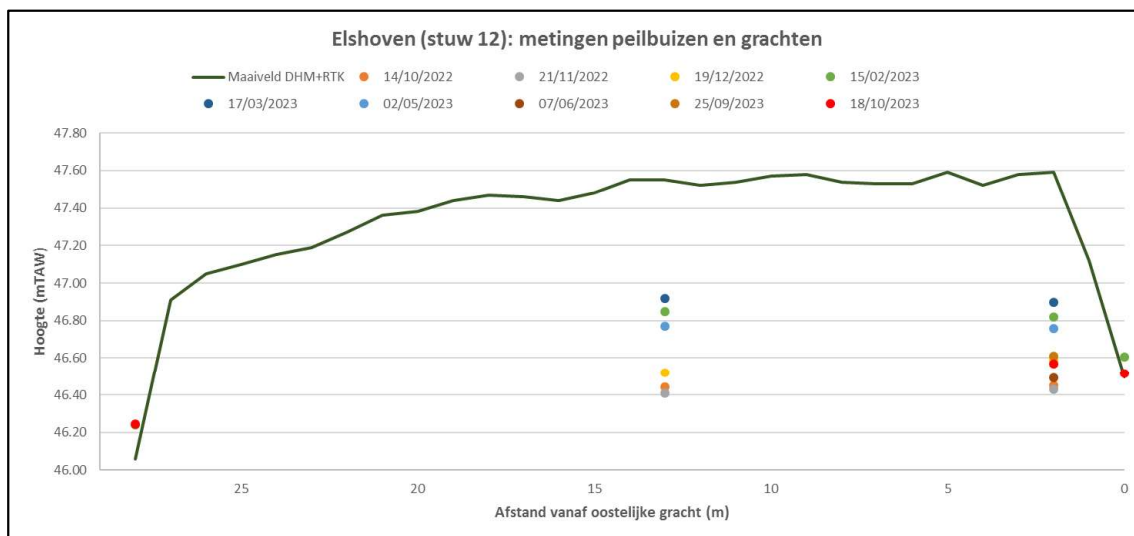
$$h = \sqrt{\frac{2(q_1 - NL)}{K}(L - x) + \frac{N}{K}(L^2 - x^2) + H_1^2}$$

Twee variabele parameters in deze vergelijkingen zijn de hydraulische conductiviteit, K (in m/d) en de grondwatervoeding N (in m/d). Deze waarden worden voor elke doorsnede afzonderlijk bepaald om tot een simulatie van de grondwatertafel te komen die zo goed mogelijk aansluit bij de gemeten grondwaterstanden.

5.2 Elshoven; stuw 12

Meetreeksen handmatige peilbuizen

De oost-west doorsnede met gemeten grondwaterniveaus voor perceel 1 in Figuur 13 toont aan dat de grachten bijna het volledige jaar door een drainerende invloed hebben op het perceel.



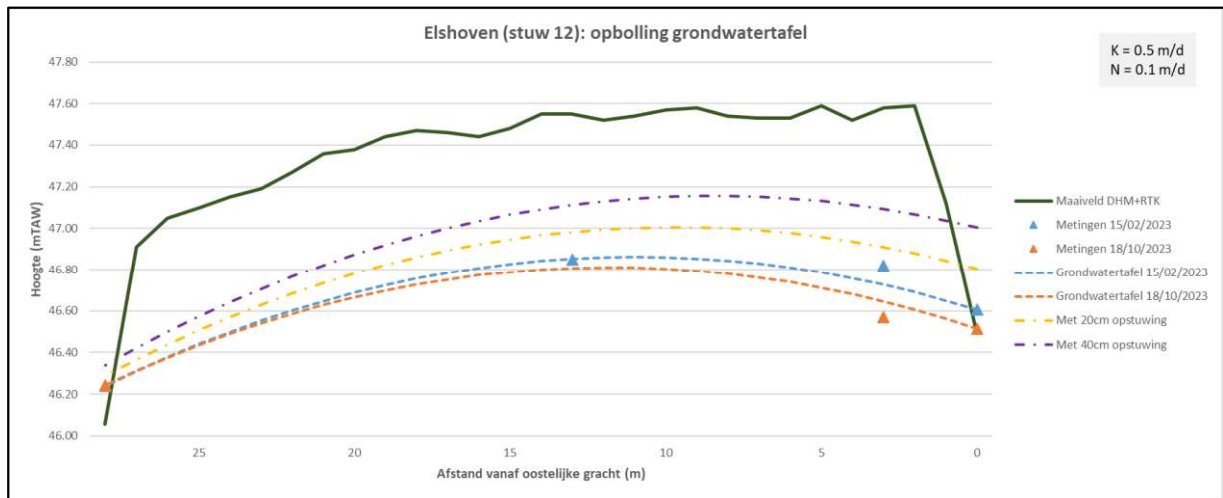
Figuur 13: Oost-west doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).

Opbollingseffect

Simulaties van de opbollende grondwatertafel in een situatie zonder stuw werden uitgevoerd voor 15/02/2023 en 18/10/2023 (Figuur 14). De twee sets van metingen werden gebruikt om parameters in de Hooghoudt vergelijkingen te fitten en resulteerden in een K van 0.5 m/d en een N van 0.1 m/d.

Daarnaast werd m.b.v. dezelfde Hooghoudt vergelijkingen een theoretisch scenario berekend waarbij een stuw 20/40 cm water ophoudt in de oostelijke gracht. Daarbij werd de veronderstelling gemaakt dat het water in de westelijke gracht ook 5/10 cm hoger zou komen te staan (omdat de grachten indirect in verbinding met elkaar staan). Deze opstuwing zou volgens de berekening leiden tot een verhoging van de

grondwatertafel met 19.5/39 cm aan de oostelijke gracht, 13/26 cm in het midden van de doorsnede en 5.5/11 cm aan de westelijke gracht (Figuur 14).

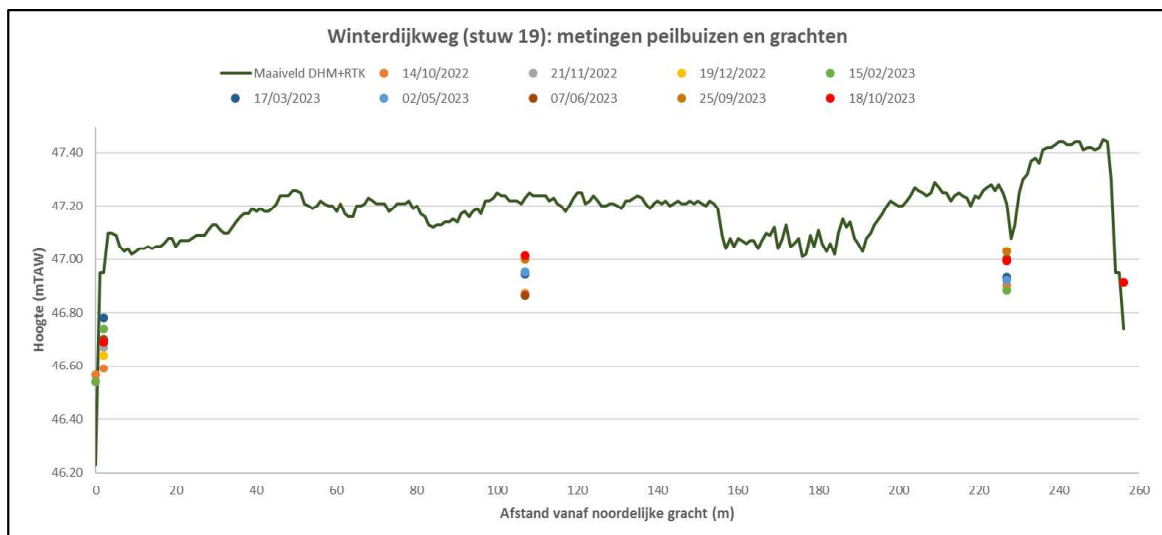


Figuur 14: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12). Twee scenario's zonder stuw en twee scenario's met opstuwing (van 20 cm en 40 cm in de oostelijke gracht) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.

5.3 Winterdijkweg; stuw 19

Meetreeksen handmatige peilbuizen

De noord-zuid doorsnede met gemeten grondwaterniveaus voor perceel 2 in Figuur 15 toont aan dat de grachten het volledige jaar door een drainerende invloed hebben op het perceel. De gemeten grondwaterniveaus bevinden zich tamelijk ondiep en vertonen weinig variatie.



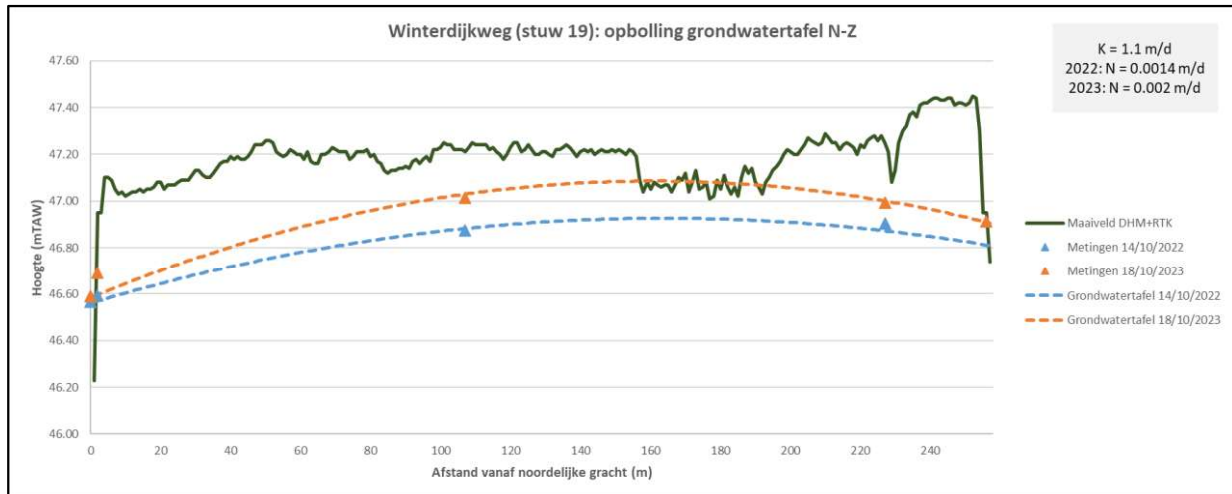
Figuur 15: Noord-zuid doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19).

Opbollingseffect

De opbolling van de grondwatertafel wordt gevisualiseerd voor zowel een noord-zuid doorsnede (Figuur 16) als een oost-west doorsnede (Figuur 17) doorheen het perceel.

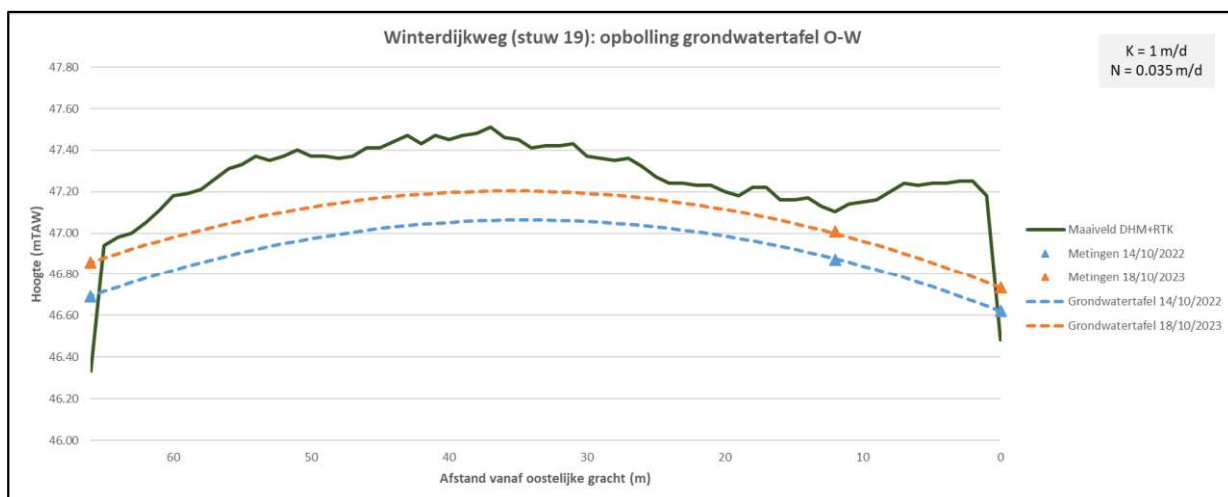
Simulaties van de opbollende grondwatertafel werden uitgevoerd voor 14/10/2022 (geen stuw aanwezig) en 18/10/2023 (met aanwezige stuw). De twee sets van metingen werden gebruikt om parameters in de vergelijking te fitten en resulteerden in een K van ca. 1 m/d en een N tussen 0.0014 en 0.035 m/d.

De toename in grondwatertafel voor oktober '23 t.o.v. oktober '22 bedraagt tussen de 10 en 15 cm voor beide doorsnedes. Voor de noord-zuid doorsnede (Figuur 16) is het weinig waarschijnlijk dat stuw hierin een rol heeft gespeeld aangezien de gemeten waterstanden in de noordelijke gracht net stroomopwaarts van de stuw voor beide meetdatums heel gelijkaardig waren. De hogere grondwaterstanden zullen voornamelijk toe te schrijven zijn aan de natte zomer van '23 (Figuur A1; KMI, 2023).



Figuur 16: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor de noord-zuid doorsnede van perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). Zowel een scenario voor stuwplaatsing (14/10/2022) als een scenario na stuwplaatsing (18/10/2023) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.

Voor de oost-west doorsnede (Figuur 17) is het mogelijke effect van de stuw moeilijk rechtstreeks af te leiden uit de doorsnede aangezien de stuw zich verder stroomafwaarts bevindt op een gracht waar de westelijke gracht van deze doorsnede op aansluit. De doorsnede toont een verhoging van de grondwatertafel met 11 cm in de oostelijke gracht, 14 cm in het midden van de doorsnede en 16.5 cm in de westelijke gracht.

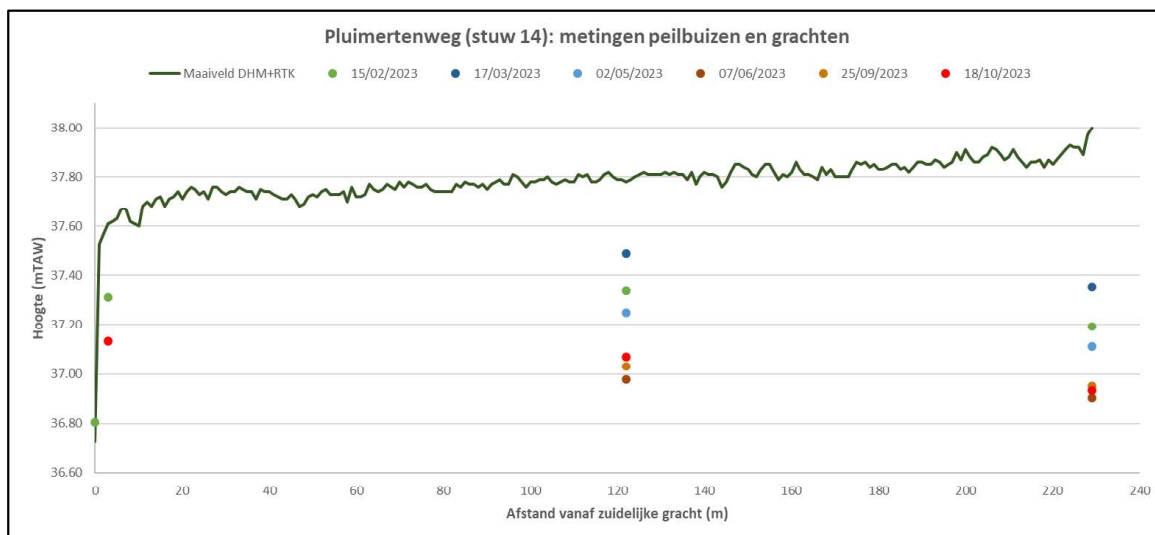


Figuur 17: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor een oost-west doorsnede van perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). Zowel een scenario voor stuwplaatsing (14/10/2022) als een scenario na stuwplaatsing (18/10/2023) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.

5.4 Pluimertenweg; stuw 14

Meetreeksen handmatige peilbuizen

De noord-zuid doorsnede met gemeten grondwaterniveaus voor perceel 3 in Figuur 18 toont aan dat de zuidelijke gracht het volledige jaar door een drainerende invloed heeft op het perceel.



Figuur 18: Zuid-noord doorsnede met grondwatermetingen voor perceel 3. Pluimertenweg (stuw 14).

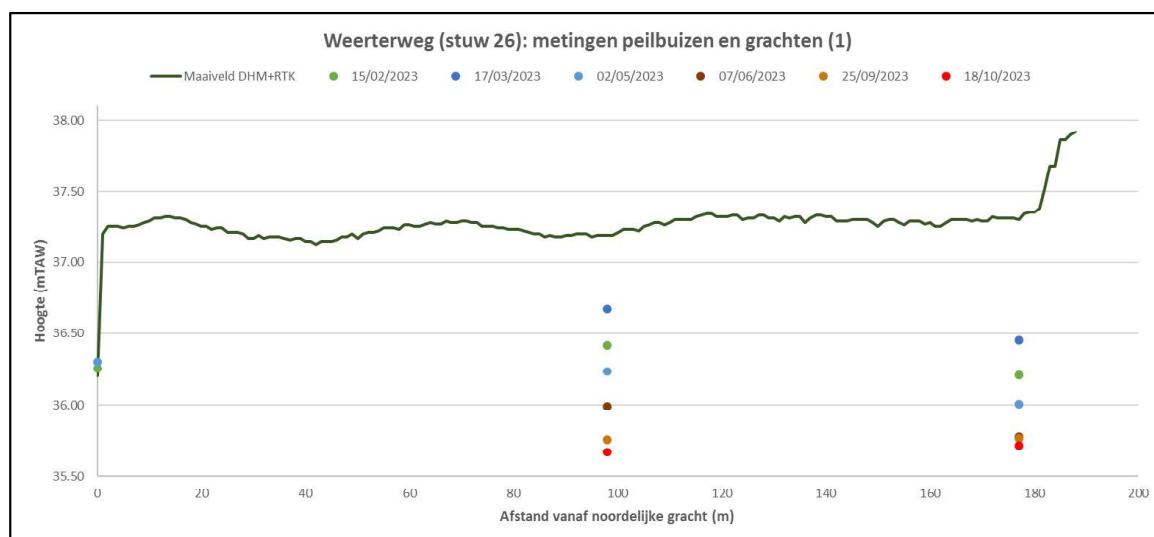
Opbollingseffect

Niet beschreven o.w.v. peilgestuurde drainage.

5.5 Weerterweg; stuw 26

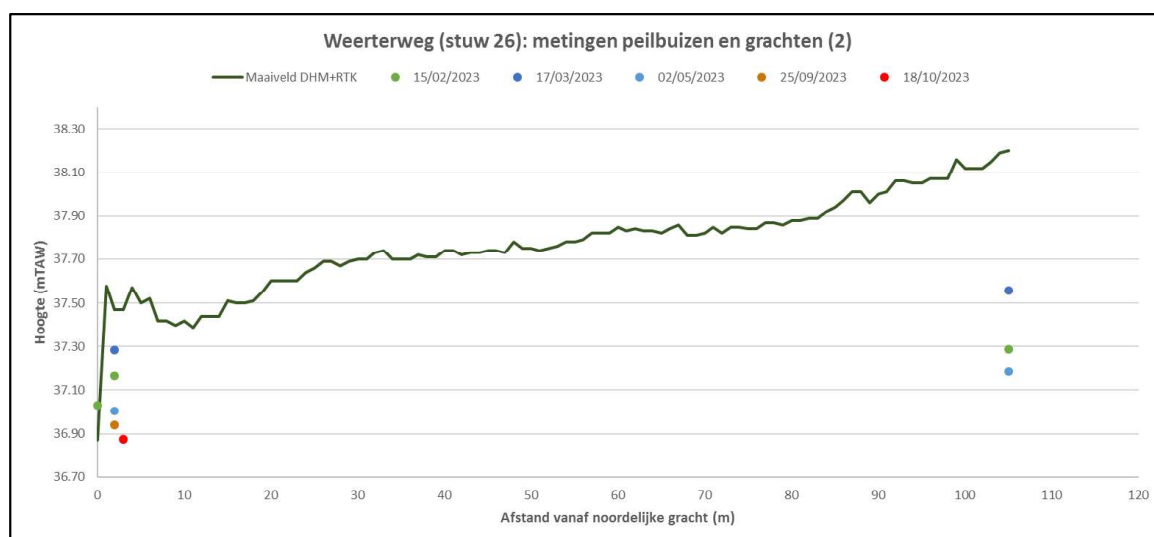
Meetreeksen handmatige peilbuizen

De eerste noordwest-zuidoost doorsnede met gemeten grondwaterniveaus voor perceel 4 in Figuur 19 toont aan dat de noordelijke gracht in februari en maart een drainerende invloed uitoefende op het perceel. Op de andere gemeten tijdstippen staat het grondwaterniveau laag en zal de gracht waarschijnlijk droog hebben gestaan.



Figuur 19: Noordwest-zuidoost doorsnede 1 met grondwatermetingen voor perceel 4. Winterweg (stuw 26).

De tweede noordwest-zuidoost doorsnede met gemeten grondwaterniveaus voor perceel 4 in Figuur 20 toont aan dat de noordelijke gracht gedurende een langere periode dan doorsnede 1 een drainerende invloed uitoefende op het perceel. Enkel voor de metingen uitgevoerd in september '23 en oktober '23 is de drainerende werking van de gracht onduidelijk of onwaarschijnlijk en zal de gracht wellicht ook droog gestaan hebben.



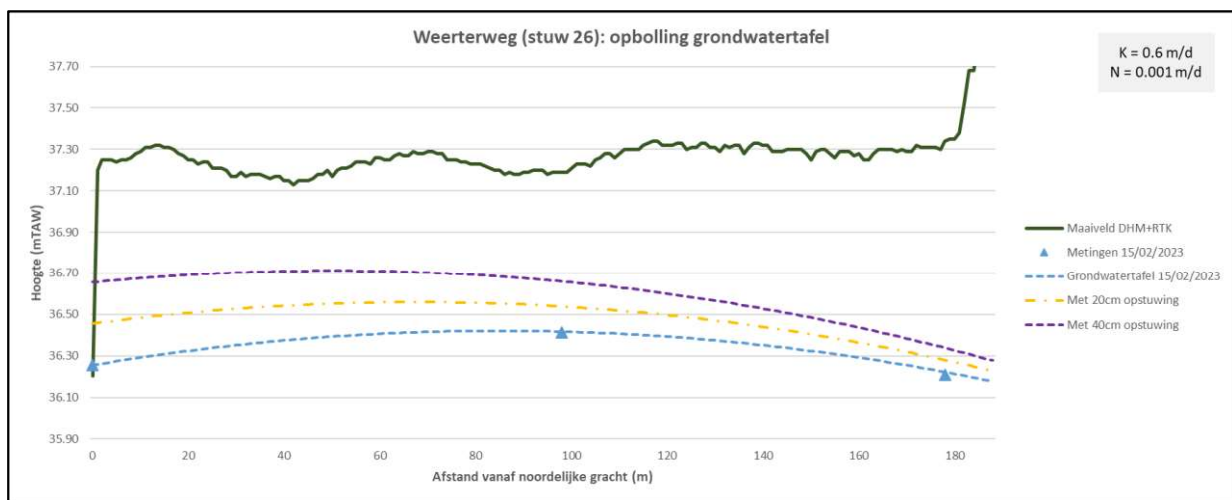
Figuur 20: Noordwest-zuidoost doorsnede 2 met grondwatermetingen voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26).

Opbollingseffect

De opbolling van de grondwatertafel wordt gevisualiseerd voor de eerste noordwest-zuidoost doorsnede in Figuur 21.

Een simulatie van de opbollende grondwatertafel werden uitgevoerd voor 15/02/2023 wanneer de noordelijke gracht een drainerende invloed uitoefende op het perceel. De meetreeks voor deze dag werd gebruikt om parameters in de vergelijking te fitten en resulteerden in een K van ca. 0.6 m/d en een N gelijk aan 0.001 m/d.

Daarnaast werd m.b.v. dezelfde Hooghoudt vergelijkingen een theoretisch scenario berekend waarbij een stuw 20/40 cm water ophoudt in de noordelijke gracht. Deze opstuwing zou volgens de berekening leiden tot een verhoging van de grondwatertafel met 19.9/39.8 cm aan de noordelijke gracht, 12/24 cm in het midden van de doorsnede en 5/10 cm in het zuiden.



Figuur 21: Theoretische berekening van de opbolling van de grondwatertafel voor de noord-zuid doorsnede van perceel 4. Weerterweg (stuw 26). Een scenario zonder stuw (15/02/2023) en twee scenario's met opstuwing (van 20 cm en 40 cm in de noordelijke gracht) werden berekend m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.

6 Modelleren bodemvochtreserve en grondwaterdynamiek

6.1 Methoden

6.1.1 Bodemwaterbalansmodel

Het bodemwaterbalans model laat toe om de verandering in vochtinhoud van de bodem doorheen de tijd te berekenen. Om de hoeveelheid water beschikbaar voor het gewas op dag i te berekenen, hanteert het model de volgende vergelijking:

$$OWR_i = OWR_{i-1} + R_i + CN_i + \Delta Z \cdot OW_i - ETa_i - D_i$$

Hierbij is:

- OWR_i : opneembaar waterreserve op dag i
- OWR_{i-1} : opneembaar waterreserve op de voorgaande dag
- R_i : efficiënte neerslag op dag i
- CN_i : capillaire nalevering sinds de voorgaande dag
- $\Delta Z \cdot OW_i$: toename van de opneembare waterreserve door wortelgroei sinds de voorgaande dag
- ETa_i : werkelijke evapotranspiratie op dag i
- D_i : drainage sinds de voorgaande dag

6.1.2 Park & Parker model

Het Park & Parker model simuleert grondwaterpeilen op basis van de grondwatervoeding bekomen uit het bodemwaterbalans model. Het model hanteert de volgende vergelijkingen:

$$h_t = h_{t-1} * e^k + \frac{a}{n} * (e^k - 1) * \frac{P_t}{k * 1000}$$

$$H_t = h_t + H_0$$

Hierbij is H_t de gemodelleerde grondwaterstand op tijdstip t in mTAW. H_0 is de minimale grondwaterstand en kan beschouwd worden als evenwichtssituatie waar het systeem naar evolueert indien geen grondwatervoeding plaatsvindt. De parameter h_t is de hoogte van het grondwater boven het evenwichtsniveau H_0 op tijdstip t . Een stijging van de grondwatertafel wordt bekomen wanneer de grondwatervoeding P_t groot genoeg is.

Enkele parameters van het model worden gekalibreerd aan de hand van discontinue grondwatermetingen. Deze parameters zijn:

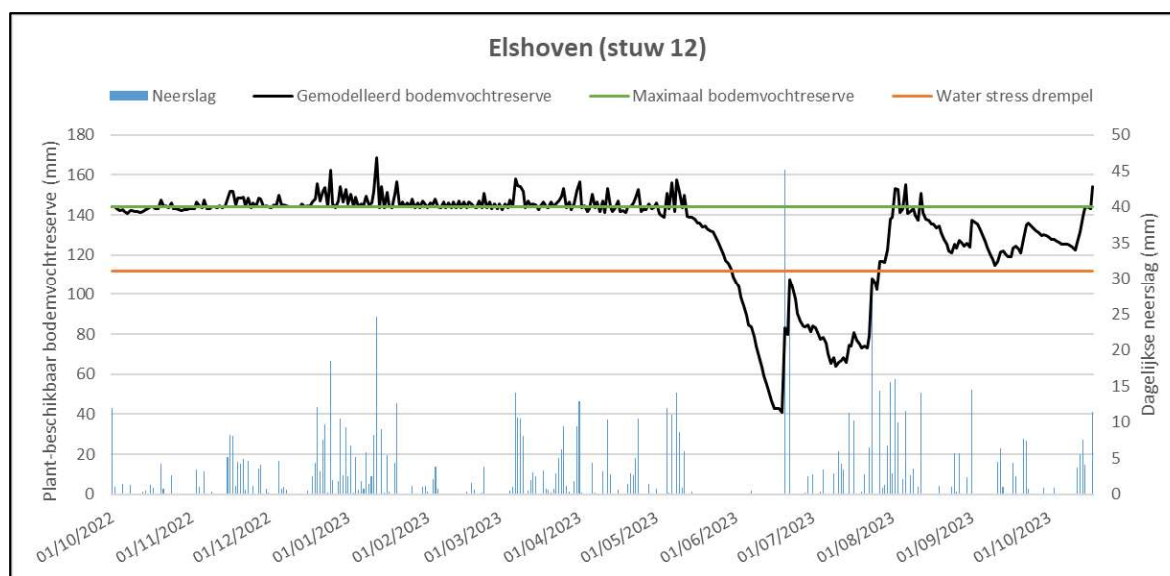
- k : verhouding tussen grondwaterstijging en -daling. Deze bepaalt de snelheid waarmee het grondwaterniveau wegzakt. De waarde ligt meestal in het bereik $[-0.03, -0.005]$.
- H_0 : grondwaterniveau bij evenwicht zonder grondwatervoeding.
- a/n : de verhouding tussen a (de fractie van grondwatervoeding die effectief bijdraagt aan een stijging in grondwaterniveau) en n (gedefinieerd als 'fillable porosity'). Deze verhouding kan als één parameter beschouwd worden voor kalibratie. De waarde ligt meestal in het bereik $[3, 6]$.

6.2 Elshoven; stuw 12

6.2.1 Bodemwaterbalans

Een berekening van de bodemwaterbalans doorheen de tijd voor perceel 1 is uitgevoerd over de periode 1/10/2022 – 18/10/2023. Het perceel doet dienst als grasland en wordt gekenmerkt door een zandige textuur. Deze kenmerken laten toe om, samen met de gemeten grondwaterstanden, de input parameters van het model te definiëren. De gehanteerde parameter instellingen bevinden zich in Tabel A 2 in bijlage.

Het resultaat van de berekende bodemvochttoestand voor perceel 1 wordt weergegeven in Figuur 22. Het plant-beschikbare bodemvochtreserve schommelt tussen oktober '22 en mei '23 steeds rond het maximum. Dit is te wijten aan de combinatie van de lage werkelijke evapotranspiratie en hoge neerslagtotalen. Echter, vanaf mei '23 daalt de waterbeschikbaarheid in de wortelzone door een lange periode met weinig tot geen neerslag. Dit leidt uiteindelijk tot een watertekort van het gewas tussen 31/05/2023 en 26/07/2023. De natte maanden juli en augustus konden het vochtgehalte tamelijk snel opnieuw op peil brengen in het najaar.



Figuur 22: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).

6.2.2 Park & Parker

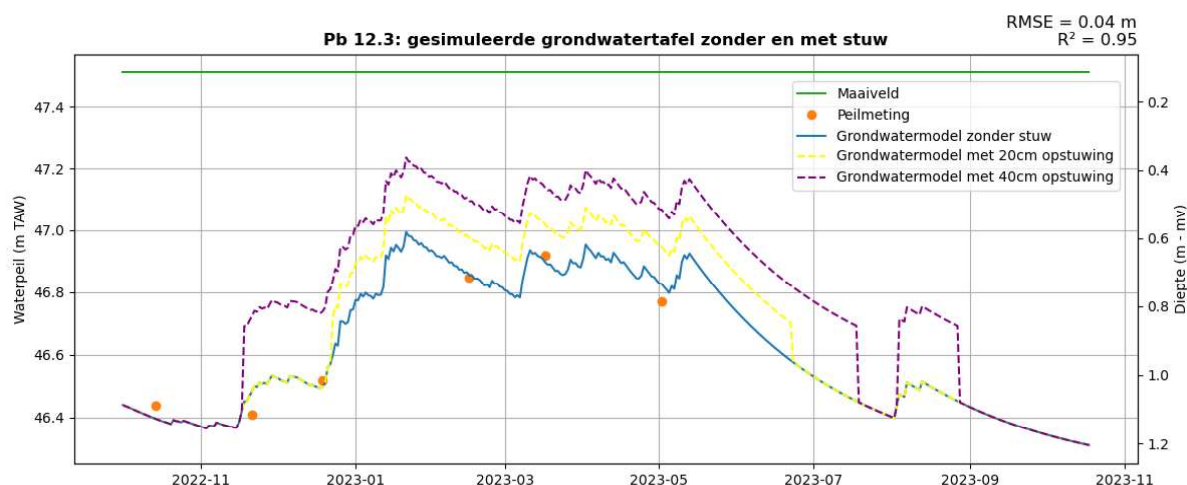
Het grondwatermodel kan afzonderlijk uitgevoerd worden voor de verschillende locaties met peilbuizen en wordt hier als voorbeeld berekend voor peilbuis 12.3. De modelkalibratie gebeurde a.d.h.v. de volledige meetreeks want tijdens de meetperiode stond er nog geen stuw. De resultaten van alle kalibraties bevinden zich in Figuur A 2 in bijlage.

Zoals weergegeven voor peilbuis 12.3 in Figuur 23 resulteerde de kalibratie van het grondwatermodel (zonder stuw) in een RMSE van 0.04 m en een R^2 van 0.95.

Wanneer er geen water in de grachten staat, staat het grondwaterniveau aan peilbuis 12.3 op 46.71 mTAW volgens de Hooghoudt vergelijkingen. Uit Figuur 23 kan vervolgens uit de gemodelleerde grondwatertafel (blauwe lijn) afgeleid worden dat tussen 30/12/2022 en 4/06/2023 er water in de grachten zou hebben gestaan.

Volgens de aanname dat de stuw 20/40 cm water ophoudt (wat een grondwaterniveau verhoging van 13/26 cm ter hoogte van peilbuis 12.3 zal veroorzaken (Figuur 14)) is een voorstelling gemaakt van het grondwaterniveau in geval van een stuw. Dit is weergegeven op de grafiek als een gele/paarse stippellijn. Er dient opgemerkt te worden dat de plaatsing van de stuw de periode verlengt waarvoor er water in de grachten staat. Dit komt overeen met de periodes dat de stippellijnen zich boven de blauwe lijn bevinden in Figuur 23.

De gemodelleerde verhoging van de grondwatertafel zou in het in het bijzonder voordelig geweest zijn om de daling van het plant-beschikbaar bodemvochtreservé, voorspeld vanaf midden mei '23 door het bodemwaterbalansmodel (Figuur 22), uit te stellen of te beperken. Welke positieve effecten een toename van het grondwaterniveau door opstuwing kan opleveren in termen van gewasopbrengsten wordt besproken in hoofdstuk 7 Gewasopbrengstberekening bij stuwplaatsing.



Figuur 23: Resultaat van het Park & Parker grondwatermodel voor peilbuis 12.3. In de twee situaties met stuw wordt een stijging van het grondwaterniveau met 13 cm (geel) en 26 cm (paars) voorspeld voor de periodes dat er volgens het model water in de gracht zou hebben gestaan.

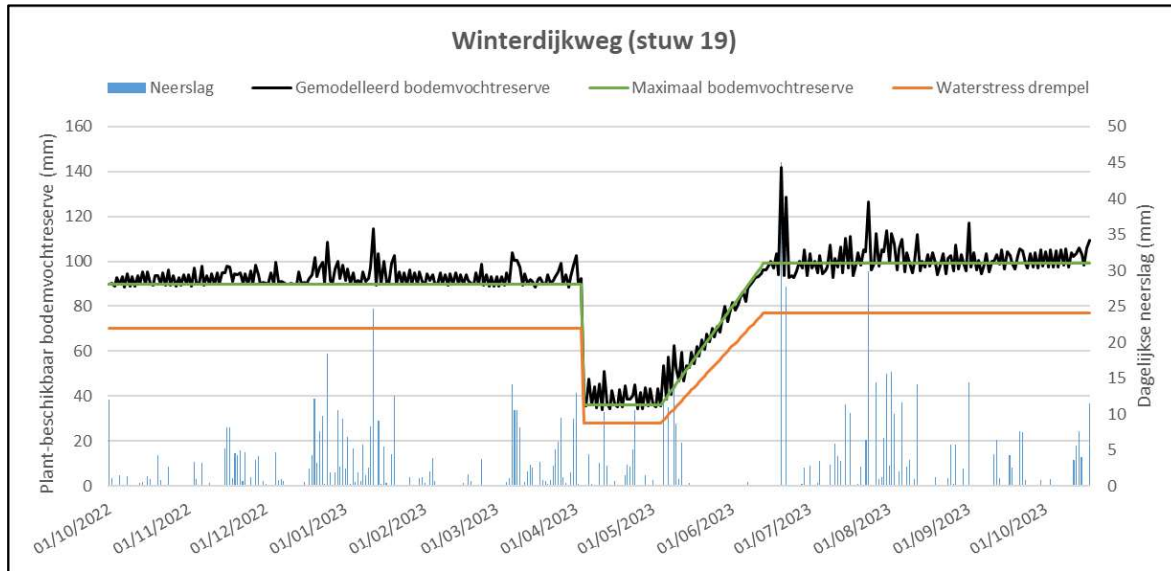
6.3 Winterdijkweg (stuw 19)

6.3.1 Bodemwaterbalans

Een berekening van de bodemwaterbalans doorheen de tijd voor perceel 2 is uitgevoerd over de periode 1/10/2022 – 18/10/2023. De berekening werd opgesplitst in twee aparte periodes o.w.v. verschillende karakteristieken. Tijdens de eerste periode deed het perceel dienst als grasland en stond er nog geen stuw. Tijdens de tweede periode werd maïs geteeld en was de stuw reeds geplaatst. De gehanteerde parameter instellingen bevinden zich in Tabel A 3.

Het resultaat van de berekende bodemvochttoestand voor perceel 2 wordt weergegeven in Figuur 24. Het beschikbaar vochtgehalte voor het gewas schommelt over de volledige tijdsperiode steeds rond het maximum (bepaald door de

veldcapaciteit van de bodem en worteldiepte van het gewas). Dit is te wijten aan de hoge grondwaterstanden voor het perceel. De sprong in bodemvochtreserve op 4/04/2023 is te wijten aan het gegeven dat het model overgaat van een situatie met grasland naar een perceel dat nog maar pas ingezaaid is met maïs. De toename in bodemvochtreserve tijdens mei-juni '23 werd veroorzaakt door de wortelgroei van de maïs.



Figuur 24: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).

6.3.2 Park & Parker

Het grondwatermodel werd afzonderlijk uitgevoerd voor de verschillende locaties met peilbuizen. De modelkalibratie gebeurde enkel a.d.h.v. de metingen voor stuwplaatsing (op 03/04/2023). Vervolgens werd het gekalibreerde model doorgerekend om de grondwatertafel ook voor de periode na stuwplaatsing te berekenen. De resultaten van de berekening bevinden zich in Figuur A 5 in bijlage.

Als de stuwplaatsing een effect heeft op de grondwatertafel zou het resultaat moeten zijn dat de gemeten grondwaterstanden na stuwplaatsing zich boven de gemodelleerde grondwatertafel bevinden. Een dergelijk resultaat werd niet eenduidig bekomen voor de verschillende peilbuizen aan het perceel. Enkel voor peilbuis 19.4 bevinden zich twee meetpunten (02/05/23 en 25/09/23) enkele centimeters boven de grondwatertafel die gemodelleerd werd voor de situatie zonder stuw (Figuur 25). Belangrijk op te merken is dat de kalibratie van het grondwatermodel een tamelijk grote misfit vertoont voor peilbuizen 19.3 en 19.4 (Figuur A 3 in bijlage). Dit kan te verklaren zijn door een te korte meetreeks of door onnauwkeurigheden in de metingen.



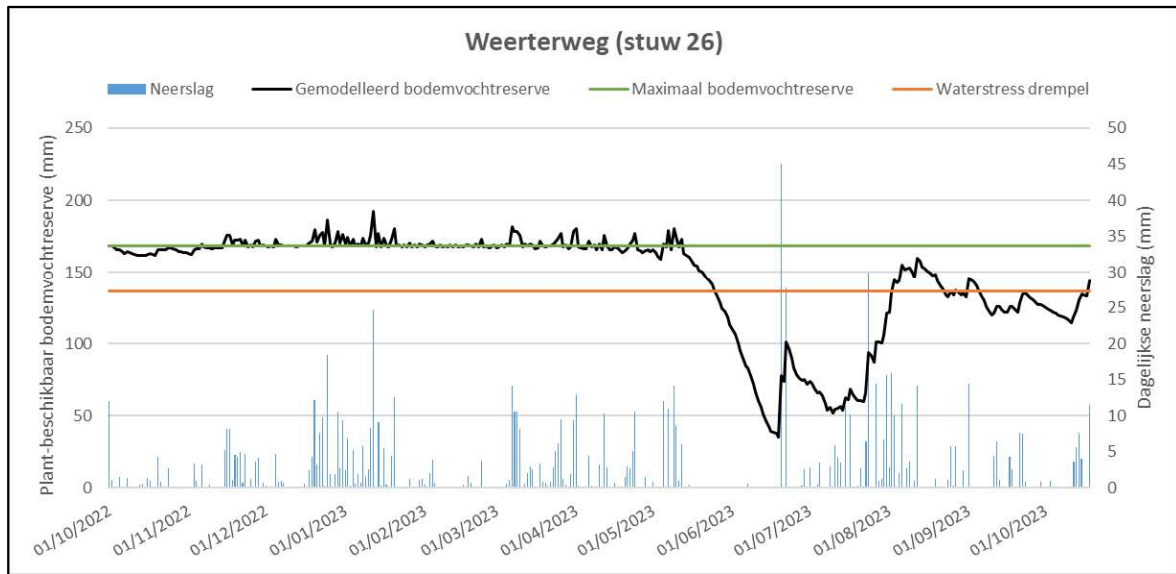
Figuur 25: Vergelijking van het gesimuleerde grondwaterniveau voor peilbuis 19.4 (gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen voor de stuwplaatsing) met de meetreeksen zowel voor als na stuwplaatsing.

6.4 Weerterweg (stuw 26)

6.4.1 Bodemwaterbalans

Een berekening van de bodemwaterbalans doorheen de tijd voor perceel 4 is uitgevoerd over de periode 1/10/2022 – 18/10/2023. Het perceel deed dienst als grasland en wordt gekenmerkt door een lemig-zandige textuur. Deze kenmerken laten toe om, samen met de gemeten grondwaterstanden, de input parameters van het model te definiëren. De gehanteerde parameter instellingen bevinden zich in Tabel A 4 in bijlage.

Het resultaat van de berekende bodemvochttoestand voor perceel 4 wordt weergegeven in Figuur 26. Het beschikbaar vochtgehalte voor het gewas schommelt tussen oktober '22 en mei '23 steeds rond het maximum (bepaald door de veldcapaciteit van de bodem en worteldiepte van het gewas). Dit is te wijten aan de combinatie van de lage werkelijke evapotranspiratie en hoge neerslagtotalen. Echter, vanaf mei '23 daalt de waterbeschikbaarheid in de wortelzone door een lange periode met weinig tot geen neerslag. Dit leidt uiteindelijk tot een watertekort van het gewas tussen 26/05/2023 en 2/08/2023. De natte maanden juli en augustus konden het vochtgehalte opnieuw op peil brengen in het najaar.



Figuur 26: Resultaat van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26). De bodemvochtreserve wordt uitgedrukt in mm. De groene lijn stelt de maximale vochtreserve beschikbaar in de wortelzone voor en wordt berekend door het verschil in veldcapaciteit en verwelkingspunt (beiden uitgedrukt in m^3/m^3) te vermenigvuldigen met de worteldiepte (in mm).

6.4.2 Park & Parker

Het grondwatermodel kan afzonderlijk uitgevoerd worden voor de verschillende locaties met peilbuizen en wordt hier als voorbeeld berekend voor peilbuis 26.3. De modelkalibratie gebeurde a.d.h.v. de volledige meetreeks want uit de metingen is gebleken dat de stuw (geplaatst op 20/03/2023) nog geen water opstuwde. De resultaten van de kalibraties bevinden zich in Figuur A 2 in bijlage. De volledige meetreeks werd dus beschouwd als een ongestuwde situatie. De resultaten van alle kalibraties bevinden zich in Figuur A 4 in bijlage.

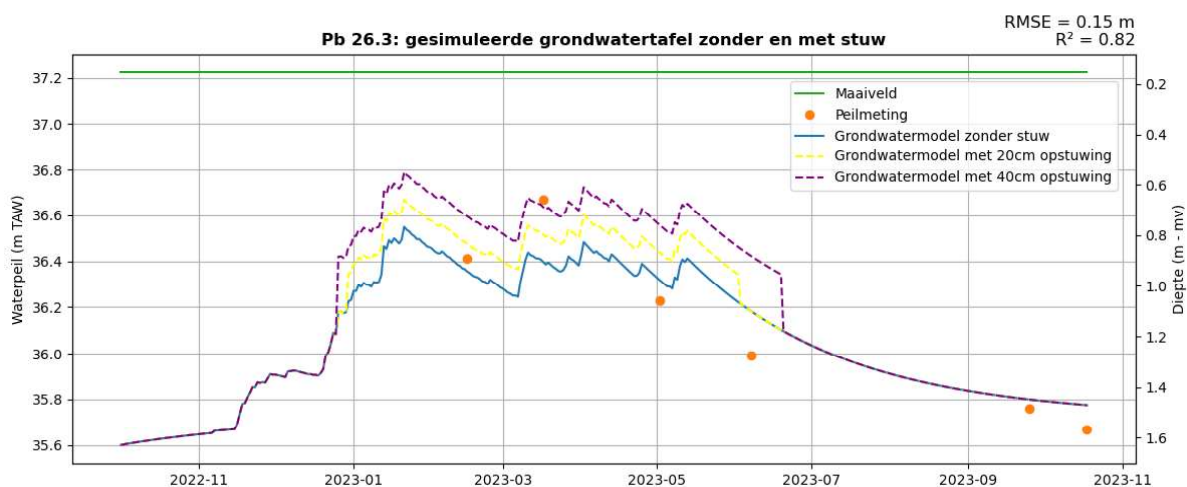
Zoals weergegeven voor peilbuis 26.3 in Figuur 27 resulteerde de kalibratie van het grondwatermodel (zonder stuw) in een RMSE van 0.15 m en een R^2 van 0.82.

Wanneer er geen water in de grachten staat, staat het grondwaterniveau aan peilbuis 26.3 op 36.34 mTAW volgens de Hooghoudt vergelijkingen. Uit Figuur 27 kan vervolgens uit de gemodelleerde grondwatertafel (blauwe lijn) afgeleid worden dat voor de periodes 12/01/2023 t.e.m. 16/02/2023, 9/03/2023 t.e.m. 21/04/2023, 24/04/2023 t.e.m. 29/04/2023 en 10/05/2023 t.e.m. 19/05/2023 er water in de grachten zou hebben gestaan.

Volgens de aanname dat de stuw 20/40 cm water ophoudt (wat een grondwaterniveau verhoging van 12/24 cm ter hoogte van peilbuis 26.3 zal veroorzaken (Figuur 21)) is een voorstelling gemaakt van het grondwaterniveau in geval van een stuw. Dit is weergegeven op de grafiek als een gele/paarse stippellijn. Er dient opgemerkt te worden dat de plaatsing van de stuw de periode verlengt waarvoor er water in de grachten staat. Dit komt overeen met de periodes dat de stippellijnen zich boven de blauwe lijn bevinden in Figuur 27.

De gemodelleerde verhoging van de grondwatertafel zou in het in het bijzonder voordelig geweest zijn om de daling van het plant-beschikbaar bodemvochtreserve, voorspeld vanaf midden mei '23 door het bodemwaterbalansmodel (Figuur 26), uit te stellen of te beperken. Welke positieve effecten een toename van het

grondwaterniveau door opstuwing kan opleveren in termen van gewasopbrengsten wordt besproken in hoofdstuk 7 Gewasopbrengstberekening bij stuwplaatsing.



Figuur 27: Resultaat van het Park & Parker grondwatermodel voor peilbuis 26.3. In de twee situaties met stuw wordt een stijging van het grondwaterniveau met 12 cm (geel) en 24 cm (paars) voorspeld voor de periodes dat er volgens het model water in de gracht zou hebben gestaan.

7 Gewasopbrengstberekening bij stuwplaatsing

7.1 Methoden

Aan de hand van het bodemwaterbalansmodel werden simulaties uitgevoerd van de bodemvochttoestand over een periode van 10 jaar (oktober 2013 t.e.m. september 2023). Hierbij werden drie verschillende scenario's doorgerekend: een scenario voor de huidige toestand waarbij er geen stuw aanwezig is, een scenario met stuw die 20 cm water in de gracht opstuwt en ten derde een scenario met stuw die 40 cm water in de gracht opstuwt.

De dagelijkse neerslaggegevens voor Overpelt (waterinfo.be) werden gebruikt als input van het model. De gegevens voor evapotranspiratie zijn afkomstig van de database van de Bodemkundige Dienst van België. Het weerstation in Kleine-Brogel werd gekozen aangezien deze zich het dichtste bij Bocholt bevindt.

De meerjarige simulaties van het bodemwaterbalansmodel werden uitgevoerd voor perceel 1. Elshoven en perceel 4. Weerterweg. Er werd gebruik gemaakt van dezelfde parameters die eerder werden toegepast in het bodemwaterbalansmodel voor beide percelen (Tabel A 2 en Tabel A 4 in bijlage).

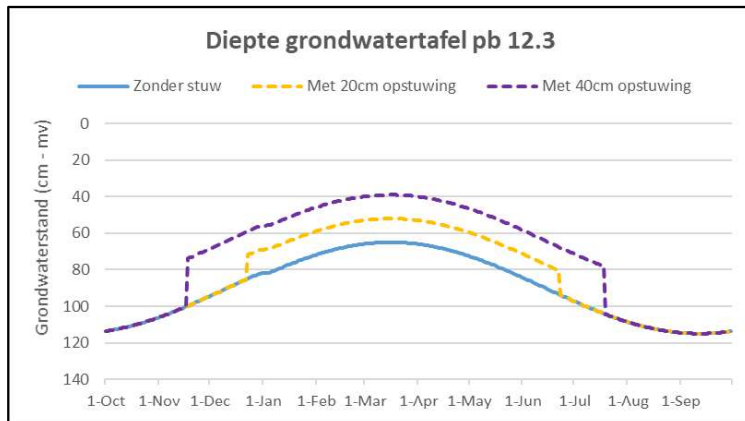
In het model wordt het grondwaterniveau doorheen het jaar voorgesteld m.b.v. een sinusfunctie waarbij de laagste grondwaterstand bereikt wordt in het najaar (gnj parameter) en de hoogste in het voorjaar (gvj parameter). Voor de scenario's met stuw werd het grondwaterniveau verhoogd gedurende de periode in het jaar dat de stuw werkzaam geacht wordt (Tabel 3). De mate van verhoging van het grondwaterniveau werd berekend met de Hooghoudt vergelijkingen (Tabel 4). Een visuele voorstelling van de grondwatertafelveranderingen doorheen het jaar voor ieder scenario en beide locaties is weergegeven in Figuur 28 en Figuur 29.

Tabel 3: Periodes voor de twee scenario's met stuw dat de stuw werkzaam geacht wordt volgens scenario en voor de specifieke peilbuis locatie.

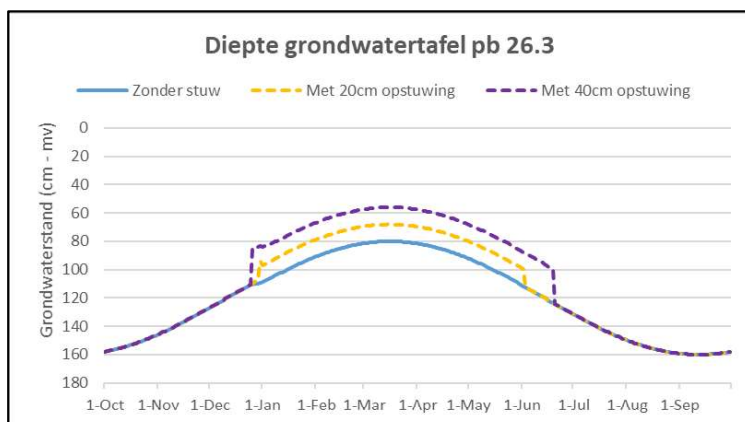
	Perceel 1. Elshoven (pb 12.3)	Perceel 4. Weerterweg (pb 26.3)
20 cm opstuwing	23 december – 22 juni	30 december – 2 juni
40 cm opstuwing	18 november – 18 juli	26 december – 19 juni

Tabel 4: Theoretische mate van verhoging van de grondwatertafel bekomen door opstuwing volgens scenario en voor de specifieke locatie. Deze waarden werden bekomen m.b.v. de Hooghoudt vergelijkingen.

	Perceel 1. Elshoven (pb 12.3)	Perceel 4. Weerterweg (pb 26.3)
20 cm opstuwing	+ 13 cm	+ 12 cm
40 cm opstuwing	+ 26 cm	+ 24 cm



Figuur 28: Vereenvoudigd verloop van de diepte van de grondwatertafel over 1 jaar (1 oktober - 30 september) voor perceel 1. Elshoven en voor drie scenario's. Het verloop werd gebruikt als input van het bodemwaterbalansmodel.



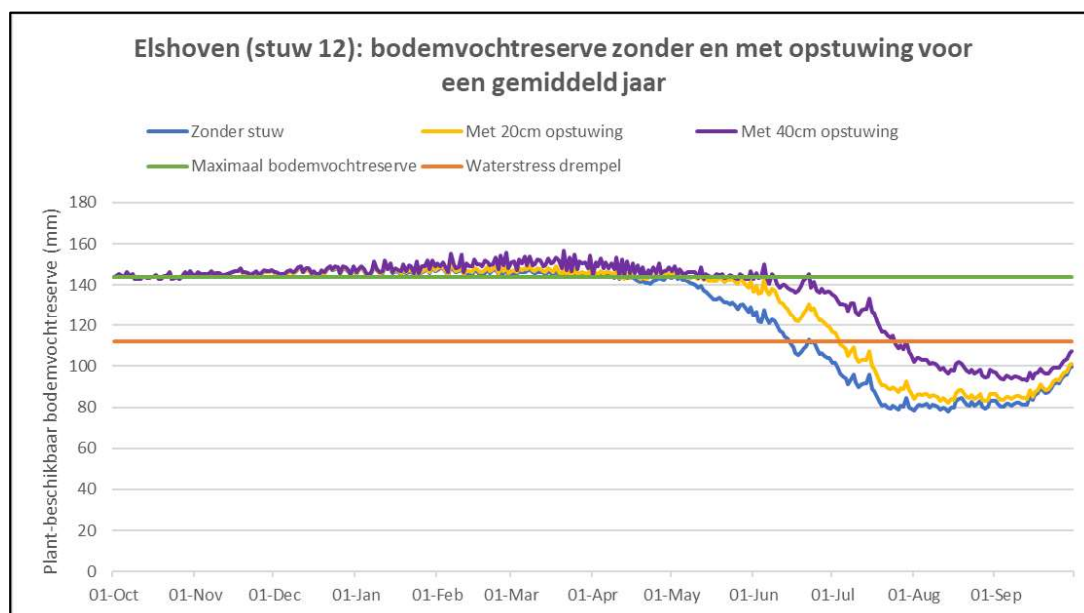
Figuur 29: Vereenvoudigd verloop van de diepte van de grondwatertafel over 1 jaar (1 oktober - 30 september) voor perceel 4. Weerterweg en voor drie scenario's. Het verloop werd gebruikt als input van het bodemwaterbalansmodel.

Om te berekenen wat de gewasopbrengst kan zijn in de scenario's met stuw, werd het verschil genomen tussen de gemodelleerde actuele evapotranspiratie van de scenario's met stuw en het referentiescenario zonder stuw. Dit verschil werd omgerekend naar een meeropbrengst in kg droge stof per hectare door het te vermenigvuldigen met de water use efficiency (WUE) van gras, die bedraagt ca. 15 kg DS/ha.mm (Vaerten et al., 2019). De meeropbrengst werd ook omgerekend in monetaire waarde door te vermenigvuldigen met 0.15 €/kg DS, oftewel de aankoop prijs van ruwvoeder (Vaerten et al., 2019).

7.2 Elshoven (stuw 12)

In Figuur 30 wordt voor elk scenario het verloop in bodemvochtreserve voor een klimatologisch gemiddeld jaar weergegeven. Uit de modelresultaten blijkt dat in de scenario's met stuw het plant-beschikbaar bodemvochtreserve pas later in het voorjaar begint te dalen dan in het scenario zonder opstuwing. Dit vertaalt zich in het feit dat het moment dat het gewas waterstress zal ondervinden zich later zal voordoen in de gestuwde scenario's (Tabel 5). Bovendien zou het vochtreserve ook minder sterk afnemen. Door de hogere waterbeschikbaarheid in de wortelzone kan het gewas een

grotere actuele verdamping aanhouden gedurende het voorjaar en de zomer en zal de gewasopbrengst hoger zijn.

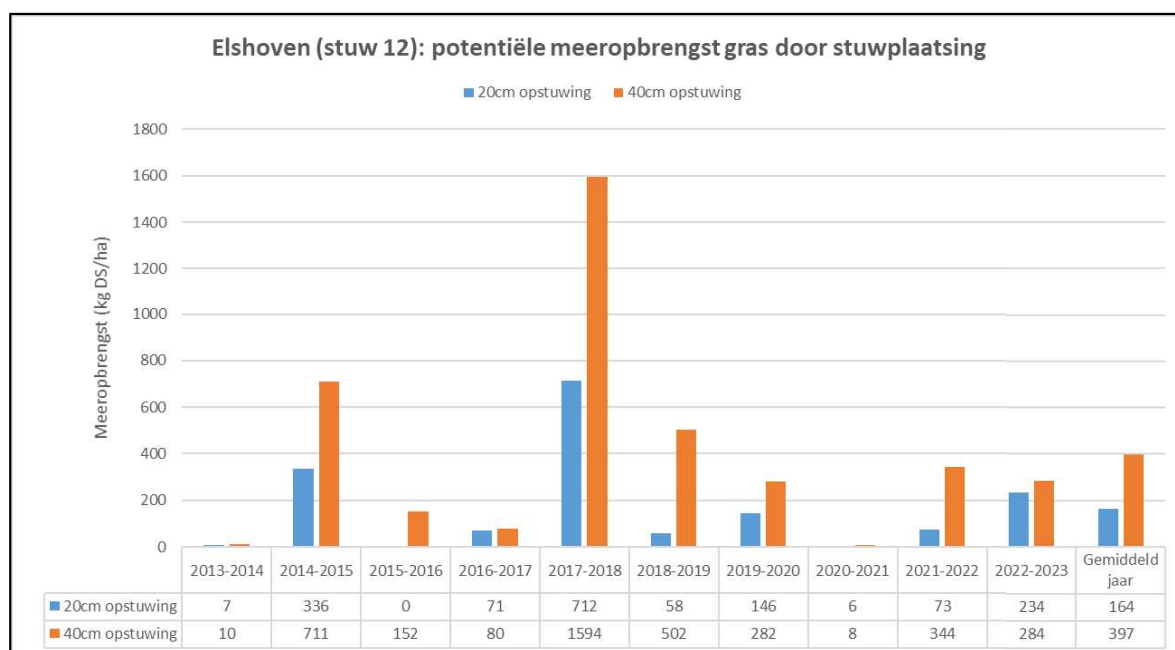


Figuur 30: Gemodelleerd bodemvochtreserve voor perceel 1. Elshoven onder de verschillende scenario's en voor een gemiddeld klimatologisch jaar.

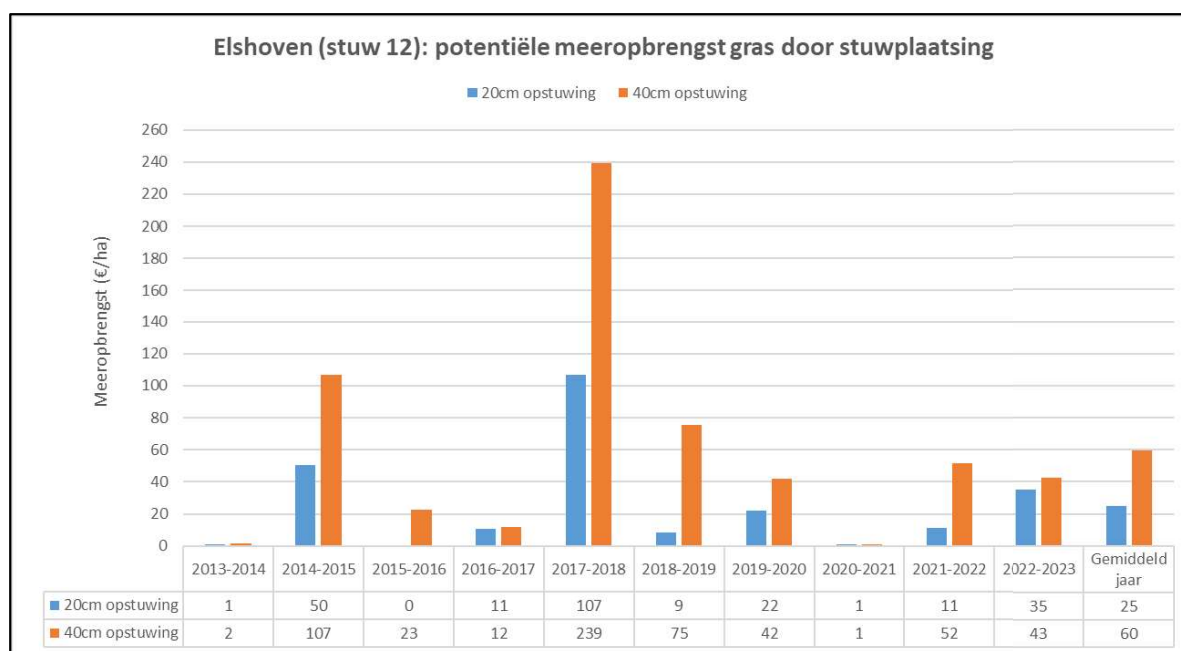
Tabel 5: Datums vanaf wanneer het gemodelleerd plant-beschikbaar bodemvochtreserve voor een gemiddeld jaar definitief onder de waterstress drempelwaarde zakt voor perceel 1. Elshoven.

	Zonder stuw	Met 20 cm opstuwing	Met 40 cm opstuwing
Waterstress drempel	25 juni	4 juli	30 juli

De meeropbrengst ten gevolge van een stuw is voor de voorbije 10 jaar en voor een klimatologisch gemiddeld jaar in termen van gewasproductie (kg DS/ha) en monetaire waarde (€/ha) weergegeven in respectievelijk Figuur 31 en Figuur 32. De grafieken maken duidelijk dat de meerwaarde van een stuw tamelijk sterk kan variëren op jaarbasis. Zo werd bijvoorbeeld de periode oktober '17 tot september '18 gekenmerkt door een aantal zeer droge maanden in mei, juni en juli die de bodemvochtreserve in de wortelzone sterk deed afnemen. Zulke extreme periodes maken de voordelen van het gebruik van stuwen des te duidelijker. Anderzijds blijkt ook dat wanneer het late voorjaar (mei, juni, juli) natter is geweest dan de normaalwaarden (zoals in 2014 en 2021), er geen of slechts een zeer beperkte meerwaarde bekomen wordt door de aanwezigheid van een stuw. Echter, gemiddeld genomen voorspelt het model jaarlijks een meeropbrengst van 164 kg DS/ha bij 20 cm opstuwing en 397 kg DS/ha bij 40 cm opstuwing voor perceel 1. Elshoven. Rekening houdend met de verwachting dat in de toekomst het voorkomen van extreme droge periodes zal toenemen, zal het belang om stuwen in te zetten alleen maar groter worden.



Figuur 31: Gemodelleerde meeropbrengst (in kg DS/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 1. Elshoven.

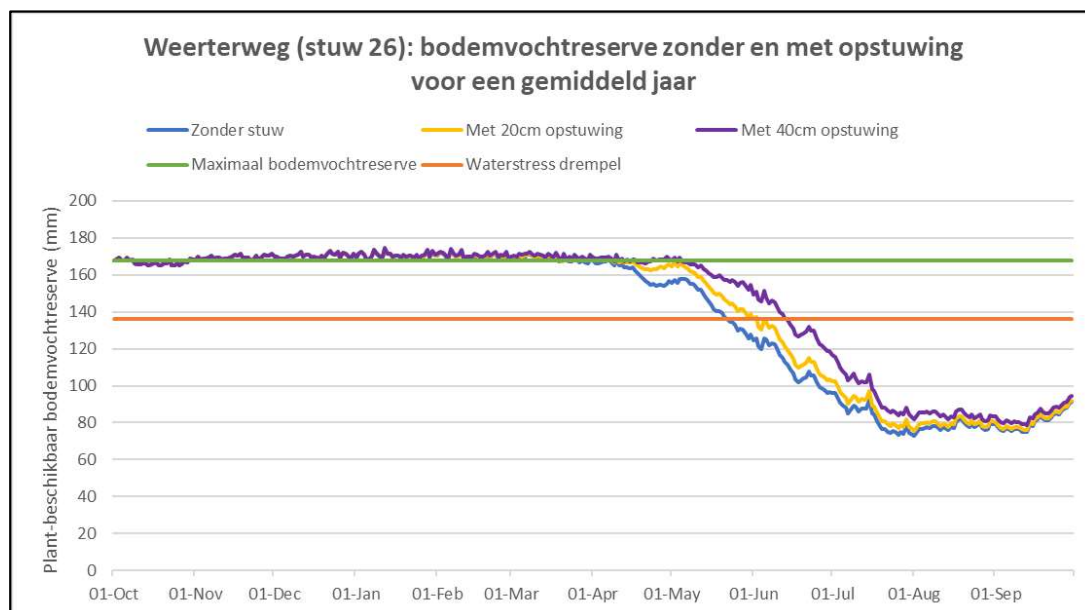


Figuur 32: Gemodelleerde meeropbrengst (in €/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 1. Elshoven.

7.3 Weerterweg (stuw 26)

In Figuur 33 wordt voor elk scenario het verloop in bodemvochtreserve voor een klimatologisch gemiddeld jaar weergegeven. Uit de modelresultaten blijkt dat in de scenario's met stuw het plant-beschikbaar bodemvochtreserve pas later in het voorjaar begint te dalen dan in het scenario zonder opstuwing. Dit vertaalt zich in het feit dat het moment dat het gewas waterstress zal ondervinden zich later zal voordoen in de gestuwde scenario's (Tabel 6). Bovendien zou het vochtreserve ook minder sterk

afnemen. Door de hogere waterbeschikbaarheid in de wortelzone kan het gewas een grotere actuele verdamping aanhouden gedurende het voorjaar en de zomer en zal de gewasopbrengst hoger zijn.

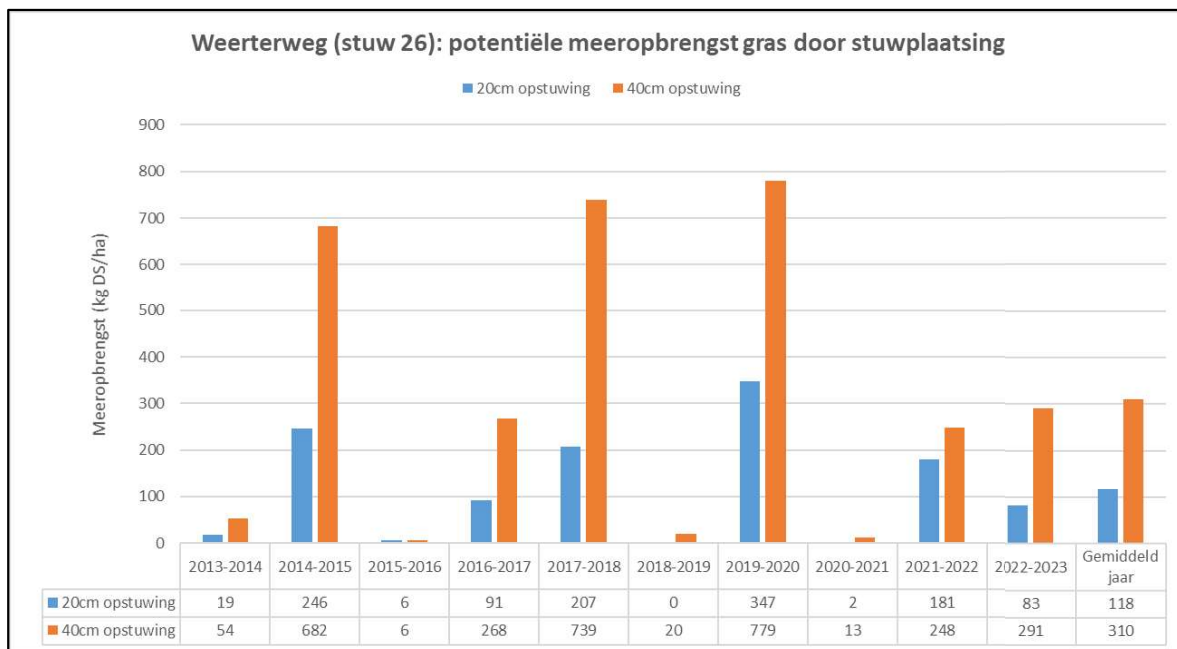


Figuur 33: Gemodelleerd bodemvochtreserve voor perceel 4. Weerterweg onder de verschillende scenario's en voor een gemiddeld klimatologisch jaar.

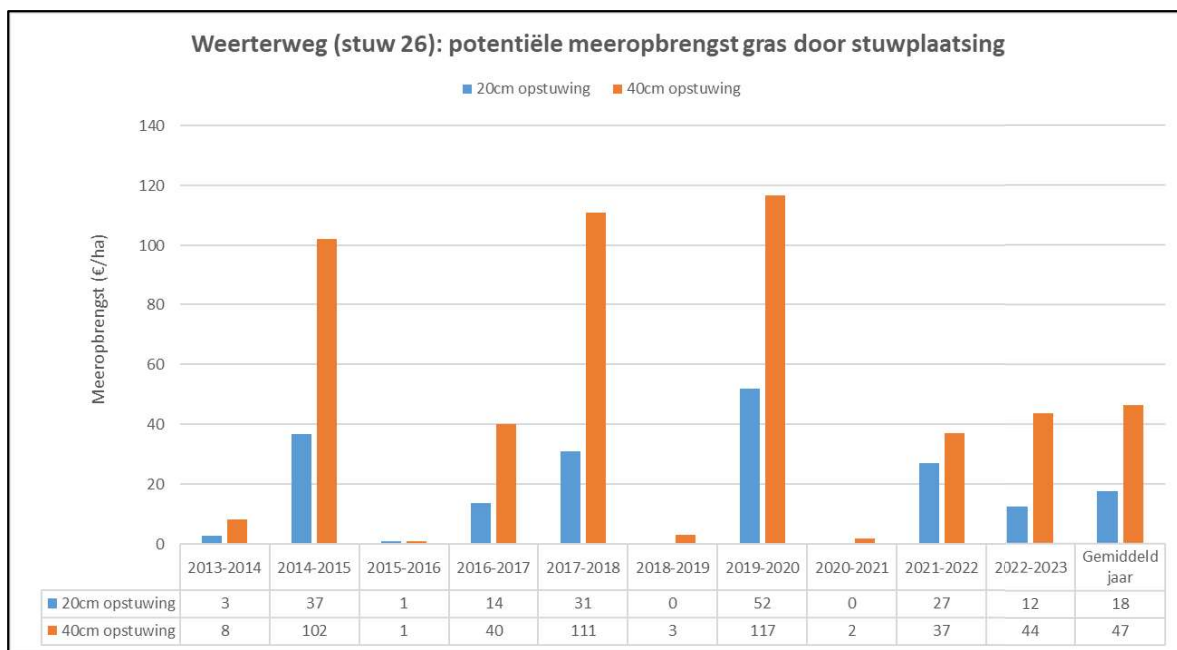
Tabel 6: Datums vanaf wanneer het gemodelleerd plant-beschikbaar bodemvochtreserve voor een gemiddeld jaar definitief onder de waterstress drempelwaarde zakt voor perceel 4. Weerterweg.

	Zonder stuw	Met 20 cm opstuwing	Met 40 cm opstuwing
Waterstress drempel	23 mei	3 juni	14 juni

De meeropbrengst ten gevolge van een stuw is voor de voorbije 10 jaar en voor een klimatologisch gemiddeld jaar in termen van gewasproductie (kg DS/ha) en monetaire waarde (€/ha) weergegeven in respectievelijk Figuur 34 en Figuur 35. De grafieken maken duidelijk dat de meerwaarde van een stuw tamelijk sterk kan variëren op jaarbasis. Zo werd bijvoorbeeld de periode oktober '17 tot september '18 gekenmerkt door een aantal zeer droge maanden in mei, juni en juli die de bodemvochtreserve in de wortelzone sterk deed afnemen. Zulke extreme periodes maken de voordelen van het gebruik van stuwen des te duidelijker. Anderzijds blijkt ook dat wanneer het late voorjaar (mei, juni, juli) natter is geweest dan de normaalwaarden (zoals in 2014 en 2021), er geen of slechts een zeer beperkte meerwaarde bekomen wordt door de aanwezigheid van een stuw. Echter, gemiddeld genomen voorspelt het model jaarlijks een meeropbrengst van 18 kg DS/ha bij 20 cm opstuwing en 47 kg DS/ha bij 40 cm opstuwing voor perceel 4. Weerterweg. Rekening houdend met de verwachting dat in de toekomst het voorkomen van extreme droge periodes zal toenemen, zal het belang om stuwen in te zetten alleen maar groter worden.



Figuur 34: Gemodelleerde meeropbrengst (in kg DS/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 4. Weerterweg.



Figuur 35: Gemodelleerde meeropbrengst (in €/ha) dankzij een opstuwing van 20 cm en 40 cm in de gracht voor perceel 4. Weerterweg.

8 Conclusies

Door het opzetten van een uitgebreid monitoringsnetwerk op verschillende percelen in Bocholt werden betere inzichten verkregen betreffende lokale grondwaterdynamieken in het gebied. De meetcampagne liep over een periode van één jaar (oktober '22 t.e.m. oktober '23). Tijdens deze periode werden omstreeks maart en april '23 in enkele grachten grenzend aan de percelen stuwen geplaatst. Er kon echter nog geen tendens afgeleid worden uit de grondwatermeetreeksen die het effect van de stuwen mogelijk kon aantonen. Een belangrijke reden hiervoor is dat de geplaatste stuwen in eerste instantie een aantal weken tot maanden open gelaten werden zodat de stuw zich kon inpassen in de gracht. Directe conclusies op basis van deze meetcampagne zijn bijgevolg moeilijk, maar het uitbouwen en aanvullen van de hier samengestelde dataset biedt op termijn wel de mogelijkheid om concretere resultaten te verkrijgen.

De meetcampagne werd daarom aangevuld met modelberekeningen om scenario's te simuleren waarbij een stuw een zekere hoeveelheid water in de grachten ophoudt. Het is hierbij belangrijk te vermelden dat er assumpties werden gemaakt (zoals constante stuwhoogte) die kunnen afwijken van de reële situatie. Desondanks geven de modelberekening al een eerste indicatie betreffende de effecten van stuwen op de grondwatertafel en het bodemvochtgehalte. Op die manier werd ook een analyse uitgevoerd om de potentiële gewasopbrengsten van stuwplaatsing te berekenen. De resultaten van deze scenario-analyse wijzen erop dat een stuw, door ophoging van de grondwatertafel in het nabijgelegen perceel, het plant-beschikbaar bodemvochtreservé voor een langere periode in het voorjaar en de zomer op een voldoende hoog gehalte kan houden. Dit vertaalt zich in een meeropbrengst van het gewas omdat het minder waterstress ondervindt tijdens de vaak warme en droge zomermaanden. De indicatieve modelberekeningen, op basis van één specifieke locatie, voorspellen voor gras jaarlijks een meeropbrengst van 164 kg DS/ha bij 20 cm opstuwing en 397 kg DS/ha bij 40 cm opstuwing. De resultaten toonden ook aan dat er, in termen van gewasopbrengst, een grote variatie kan optreden tussen verschillende jaren, afhankelijk van de klimatologische situatie voor dat jaar. De grootste meerwaarde van stuwen werd modelmatig voorspeld voor jaren met een droger dan normaal voorjaar. Met het oog op de verwachte klimaatverandering, lijken stuwen dus een belangrijk instrument om gewasopbrengsten te verzekeren.

9 Referenties

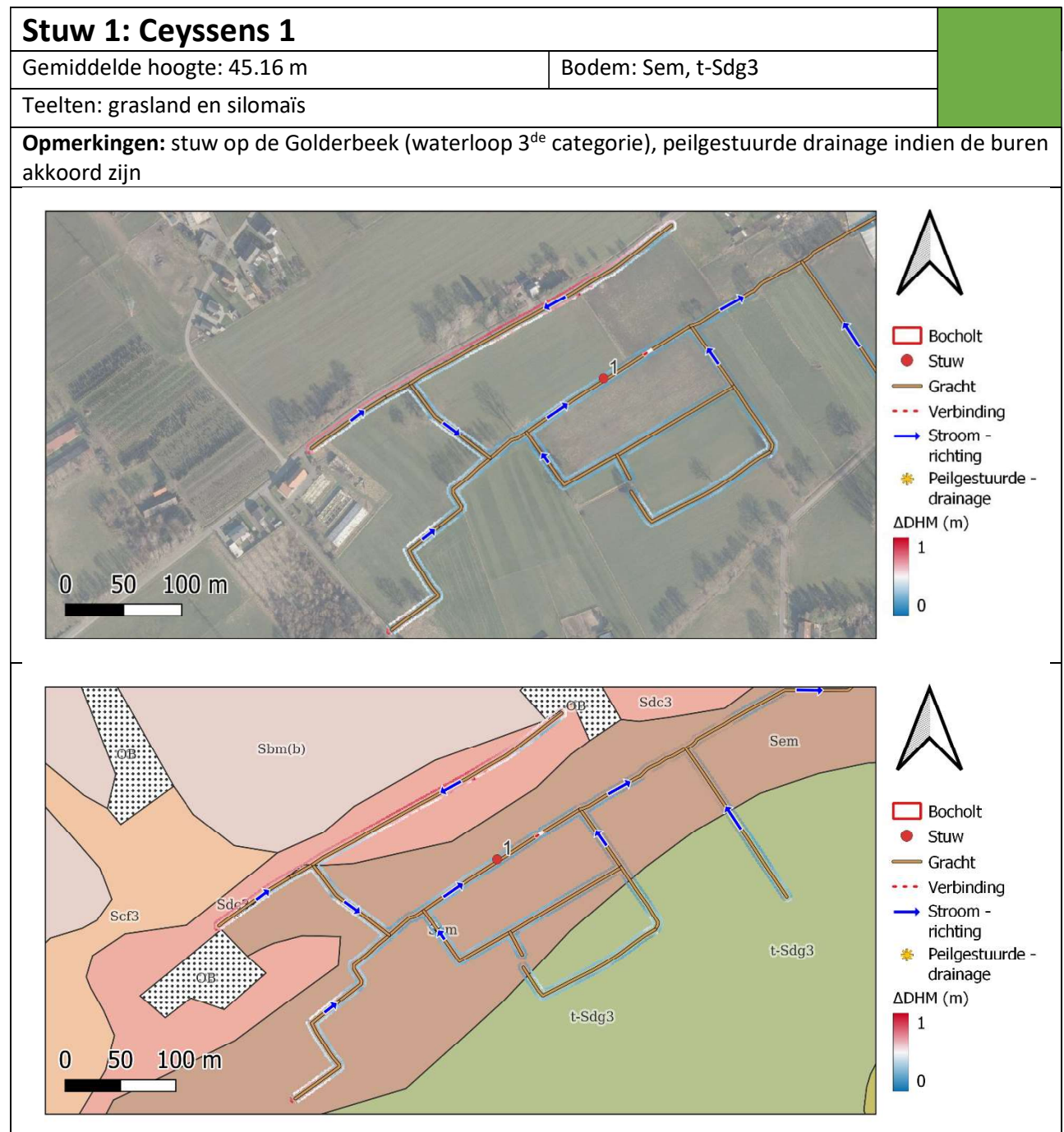
Agentschap Digitaal Vlaanderen. (2014). Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen II, DSM, raster, 1 m (2014.01) [Kaart]. <https://metadata.vlaanderen.be/srv/dut/catalog.search#/metadata/0da2e5e4-6886-426b-bb82-c0ffe6faeff6>

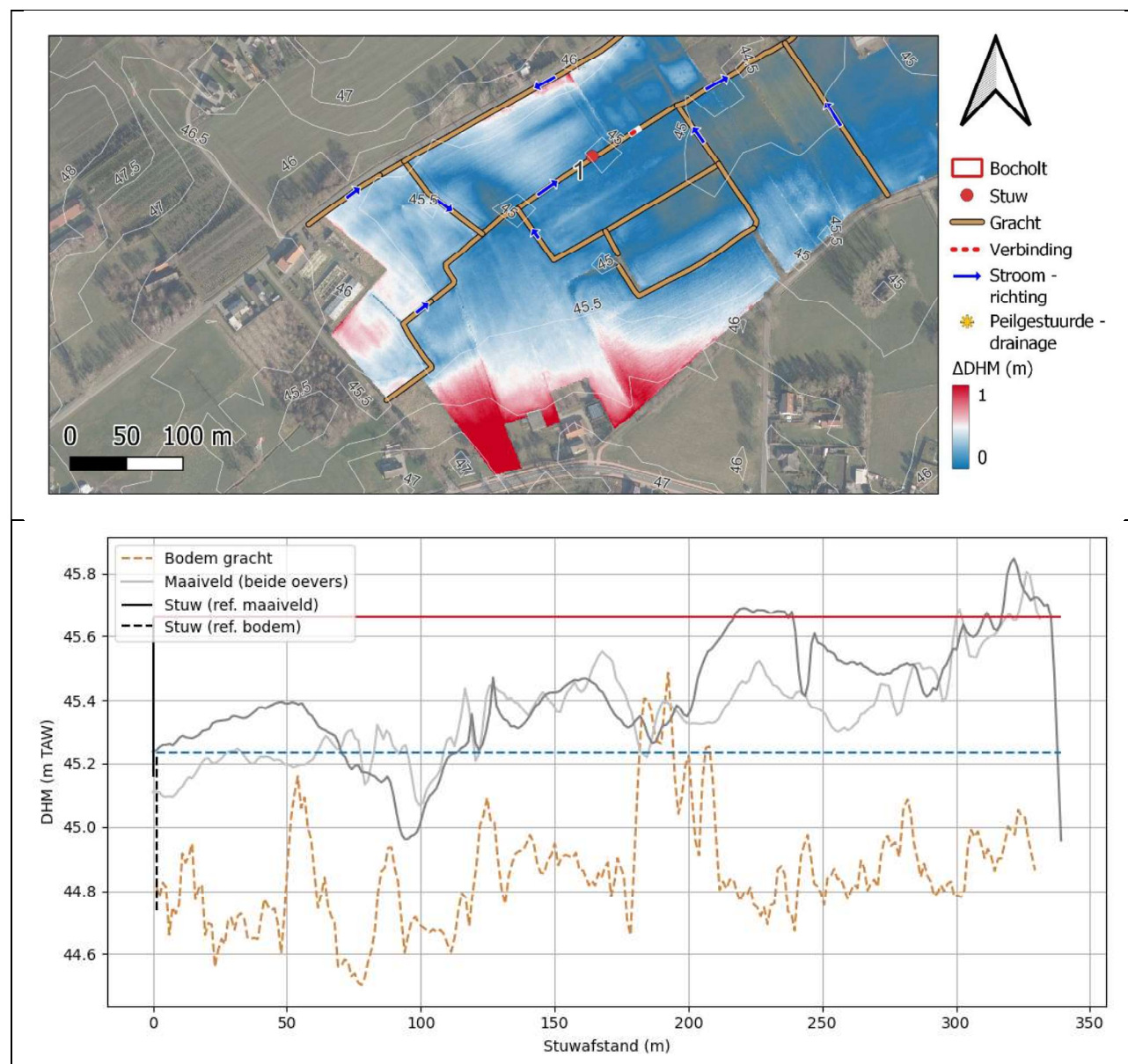
Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). (2023). Klimatologisch seizoenoverzicht zomer 2023. Geraadpleegd op 3 november 2023, van https://www.meteo.be/resources/climatology/pdf/klimatologisch_seizoenoverzicht_2023_S3.pdf

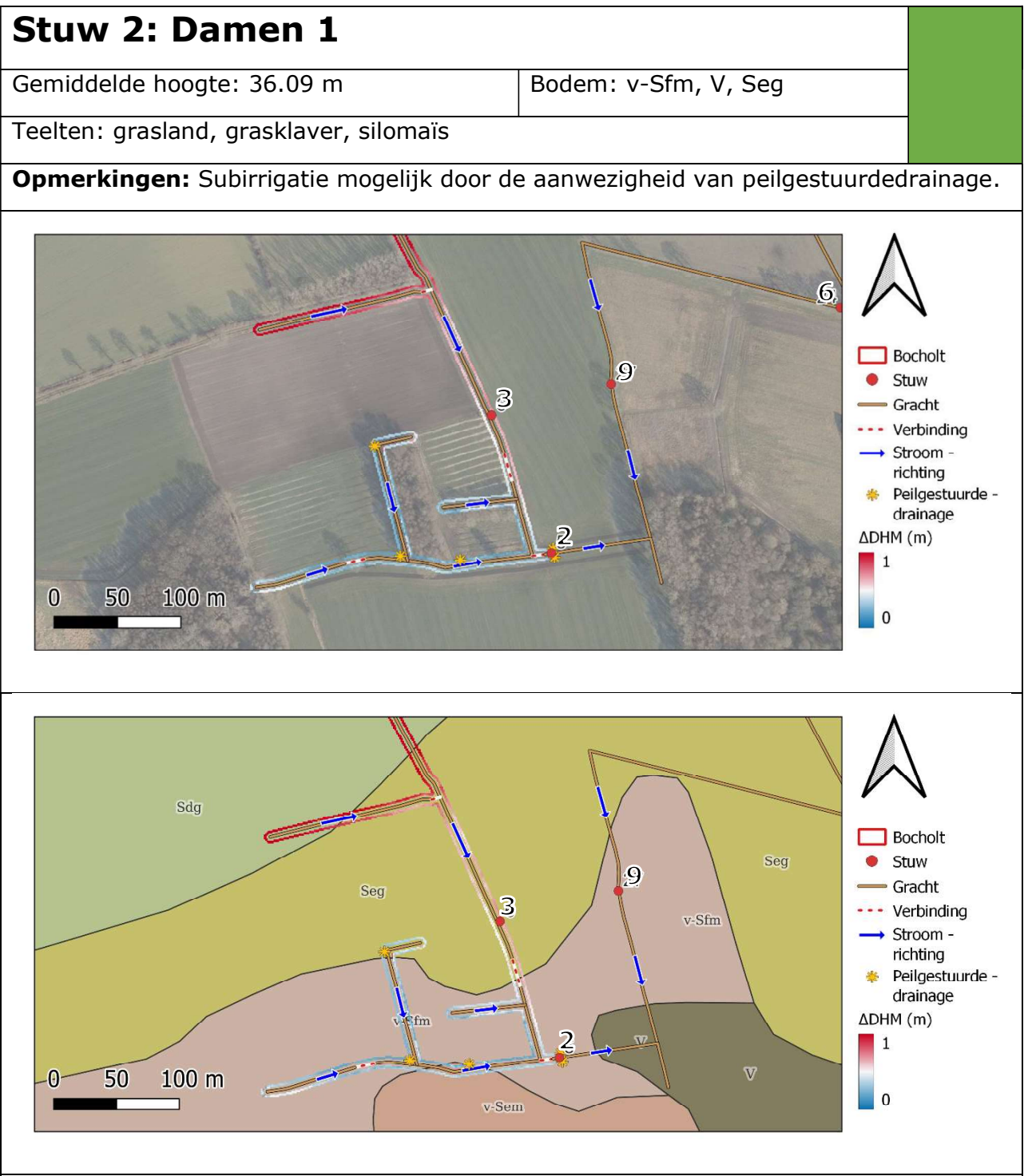
Vaerten J., Janssens P., Elsen A., Elsen F., Vandendriessche H. (2019). 30 jaar irrigatieproeven bij de Bodemkundige Dienst van België. Publicatie van de Bodemkundige Dienst van België. 102 pp.

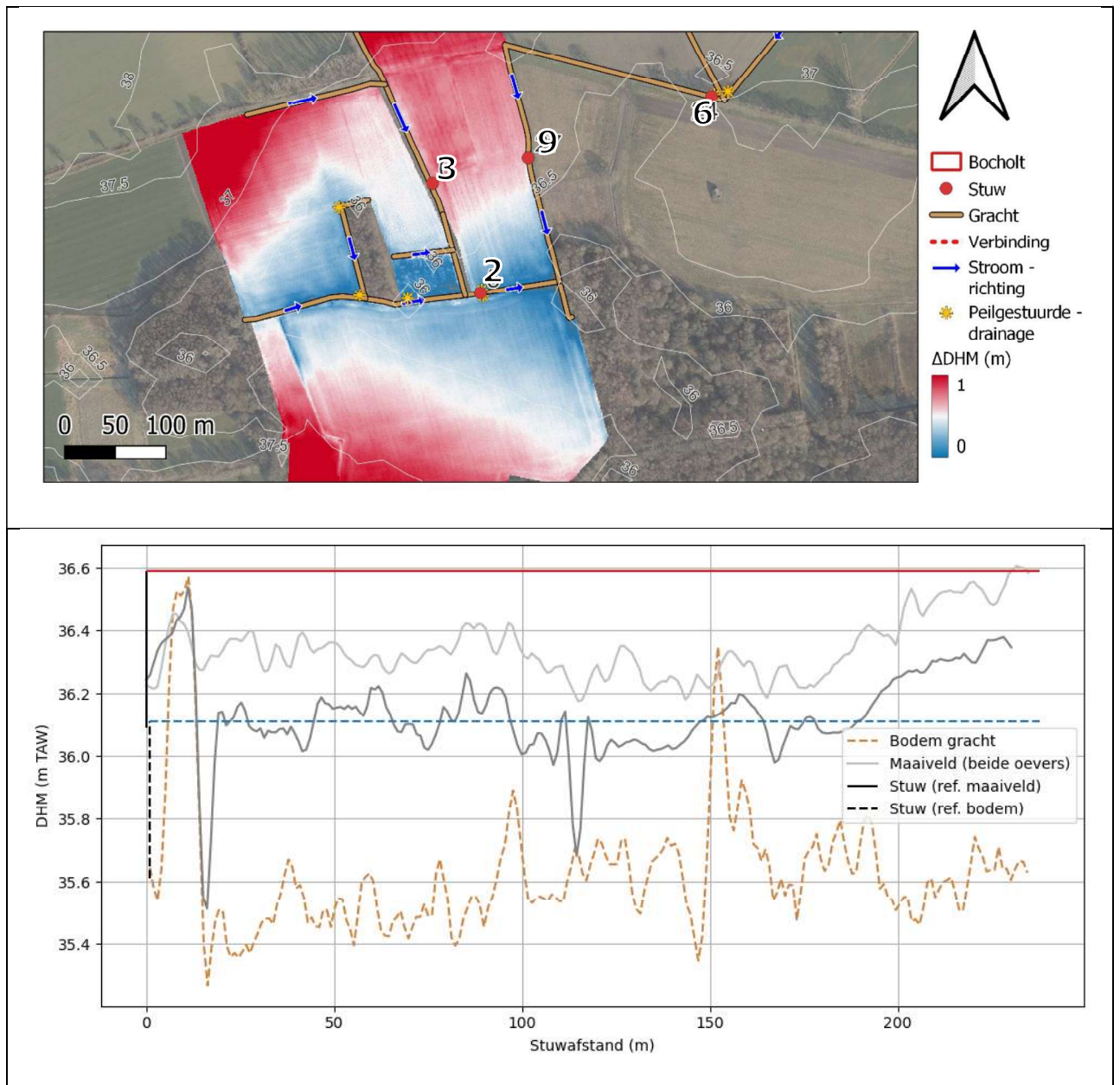
10 Bijlagen

10.1 Desktopstudie stuwgeschiktheid

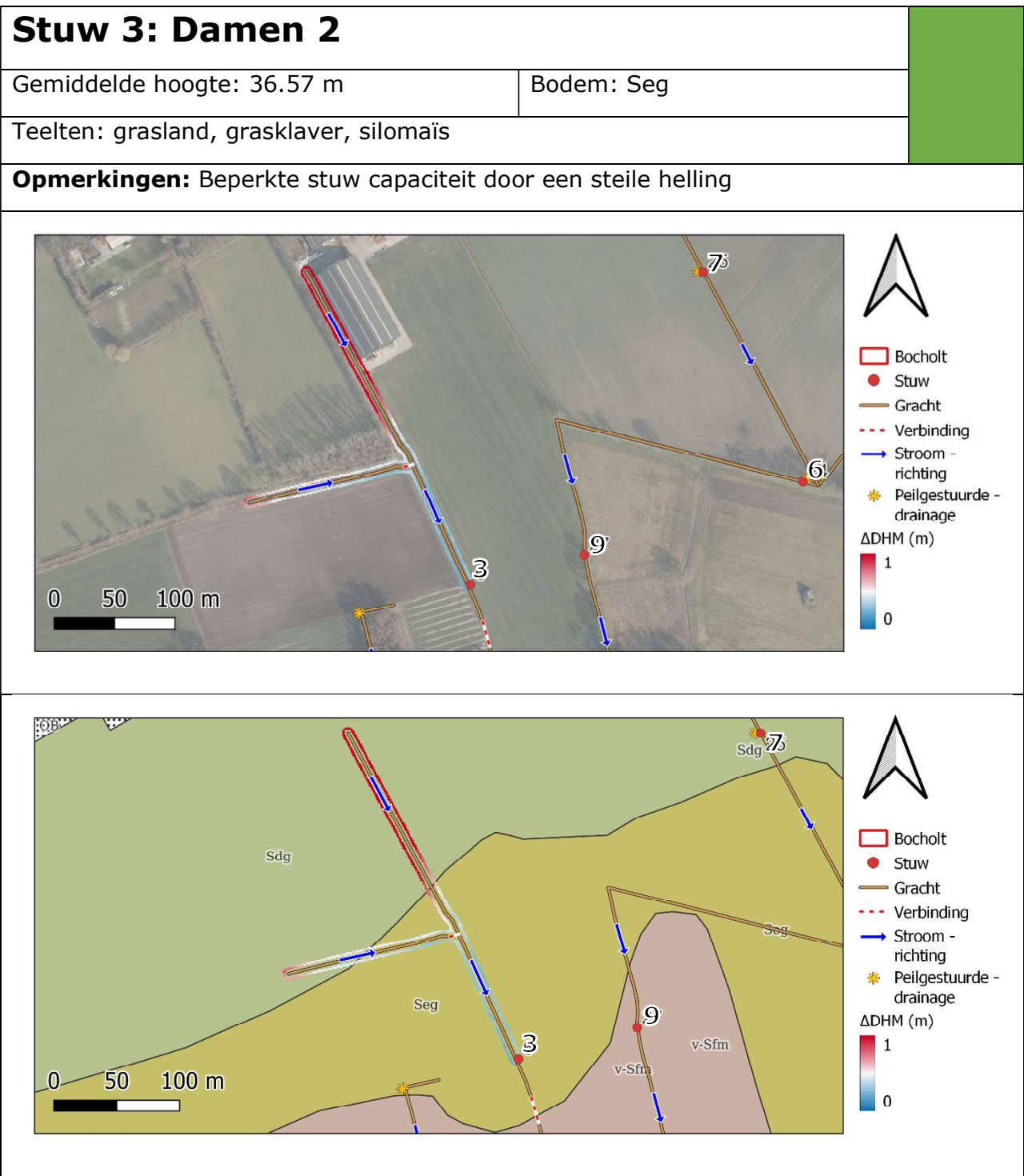


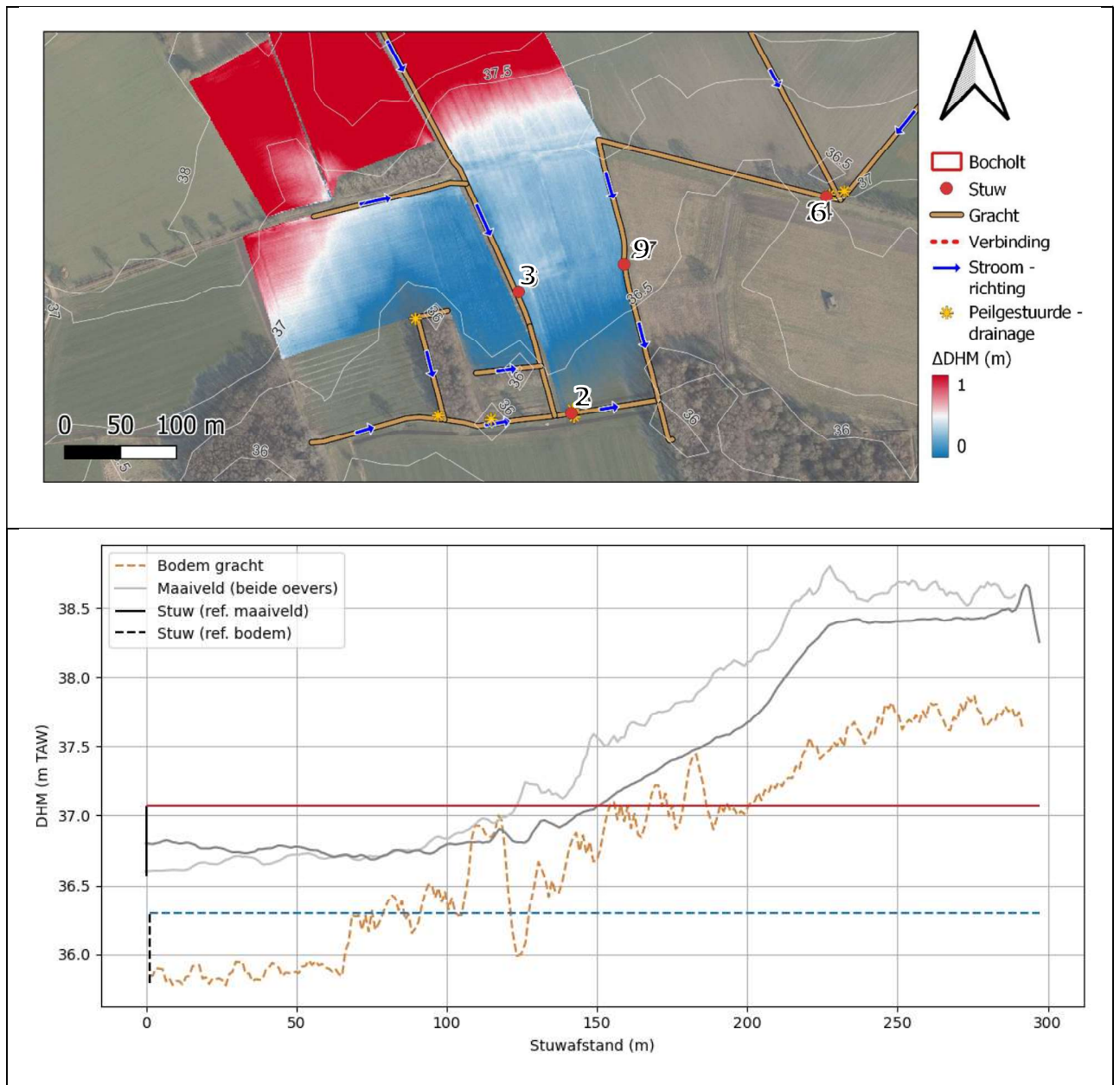




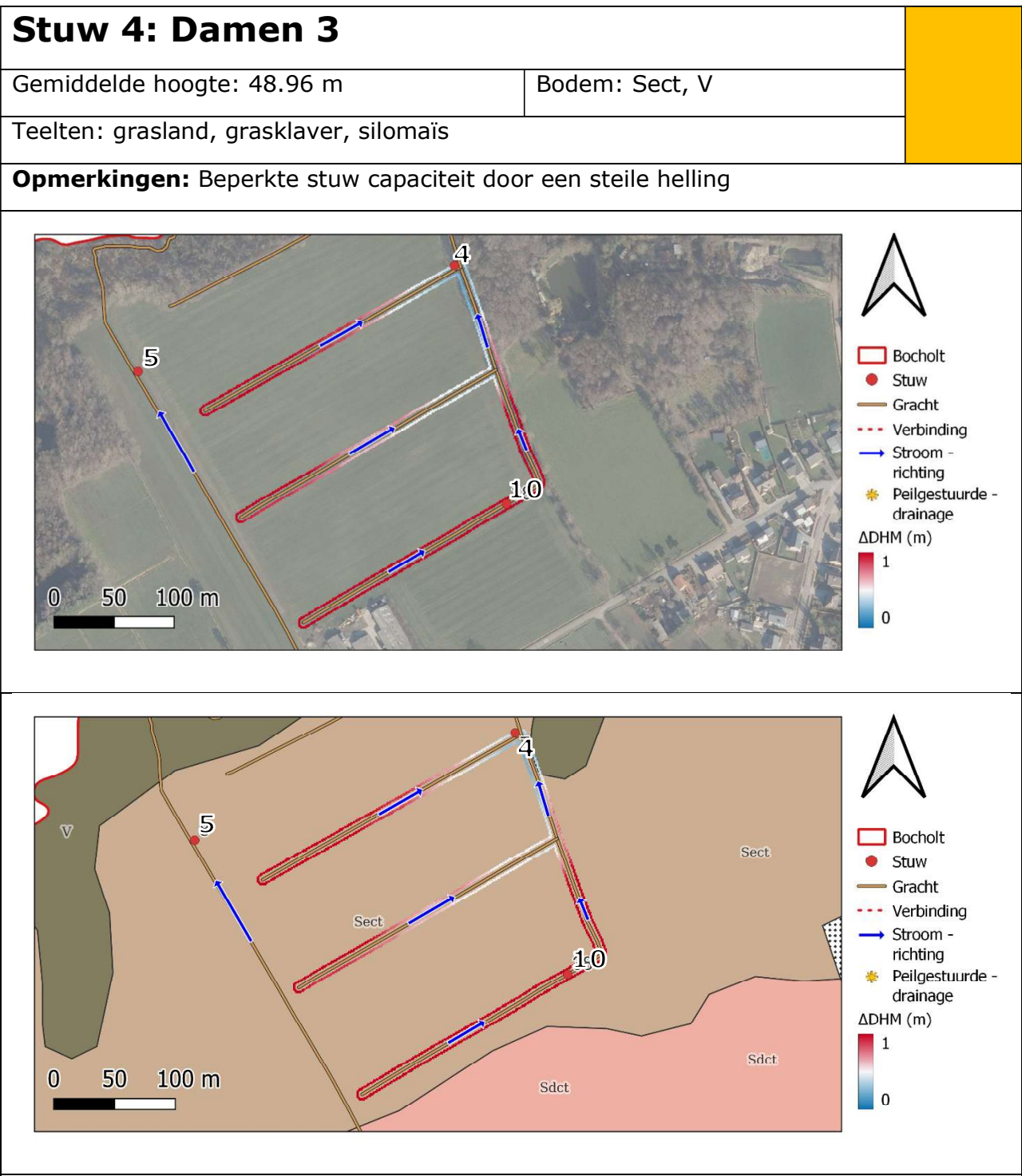


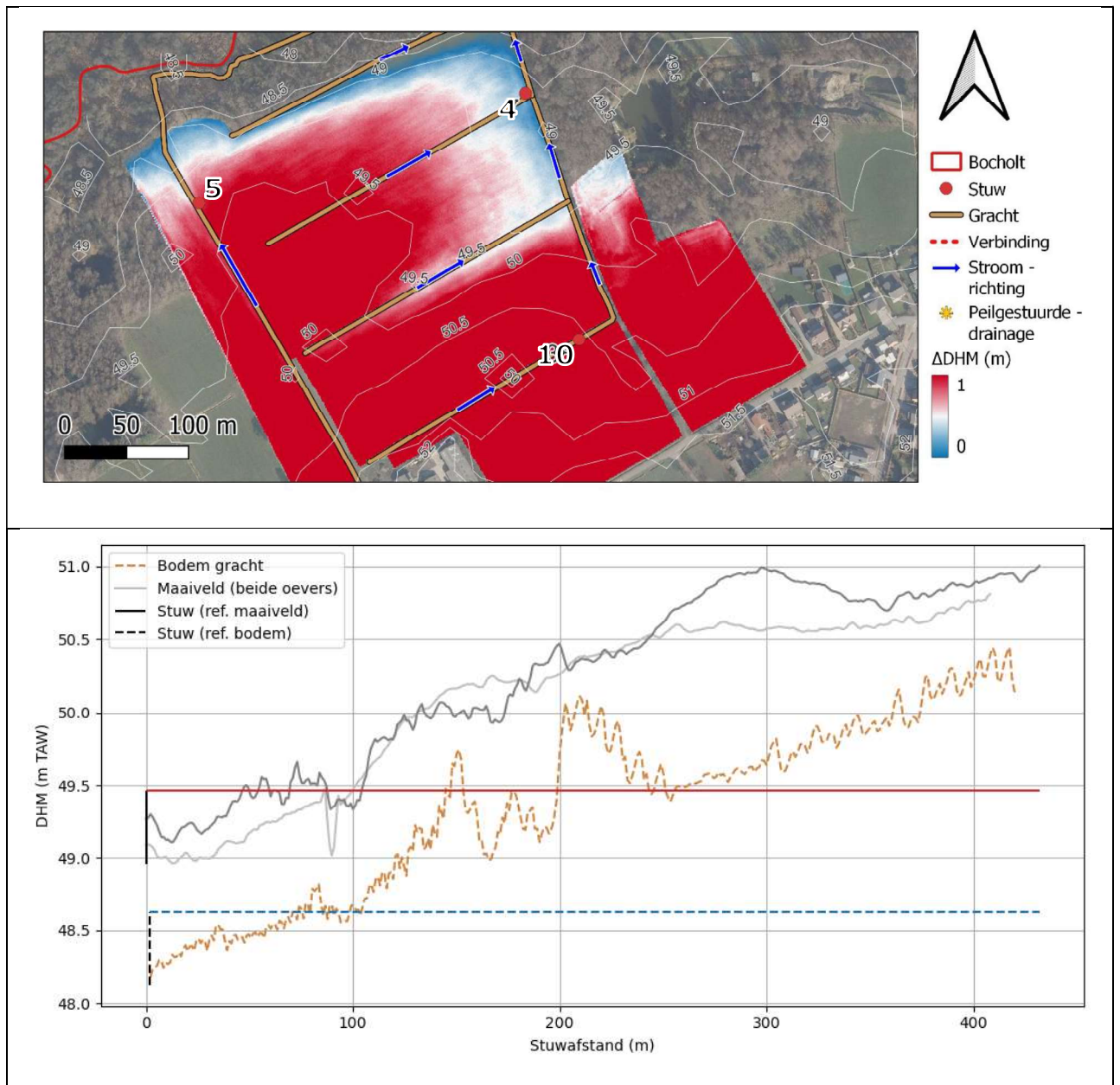


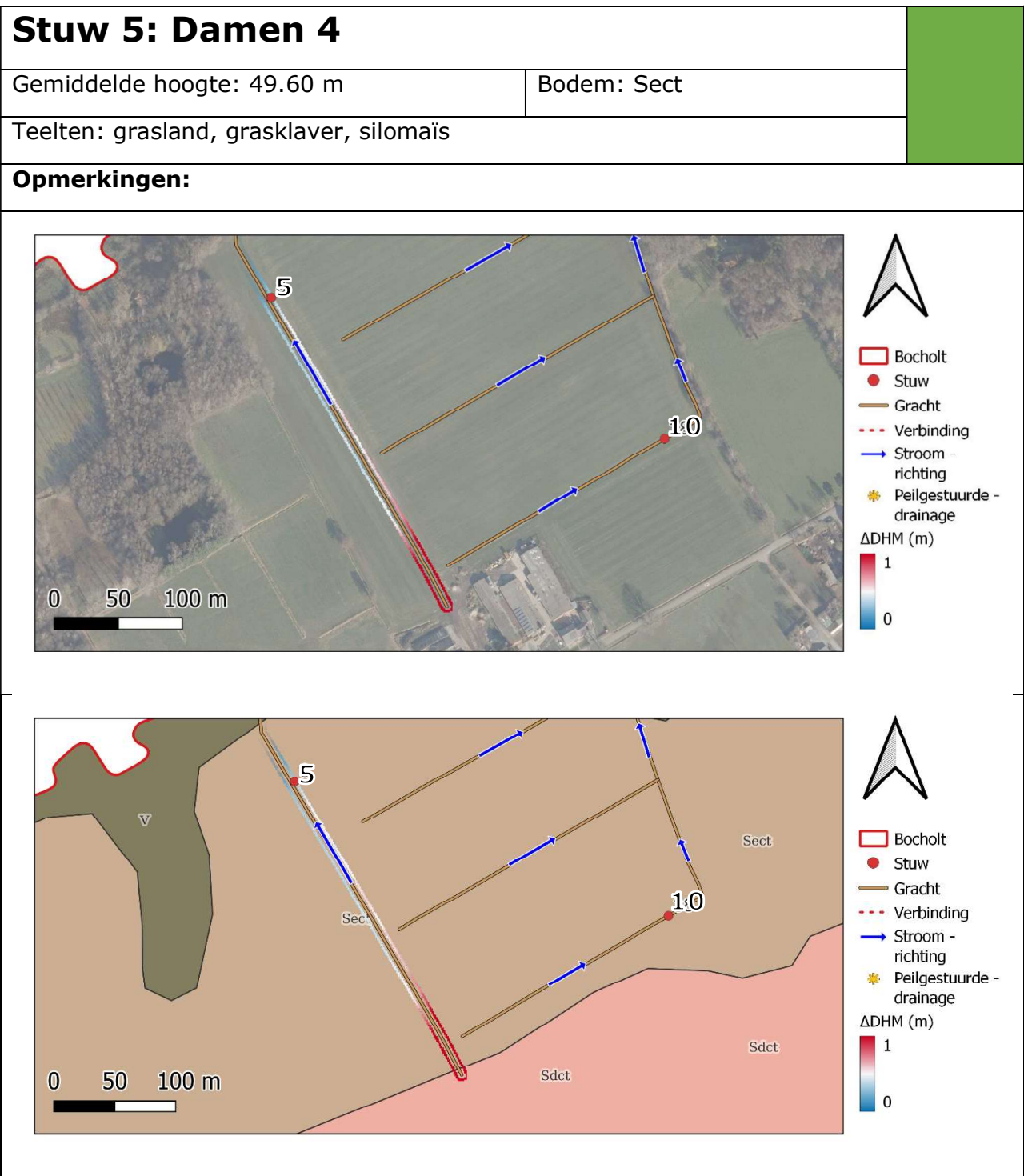


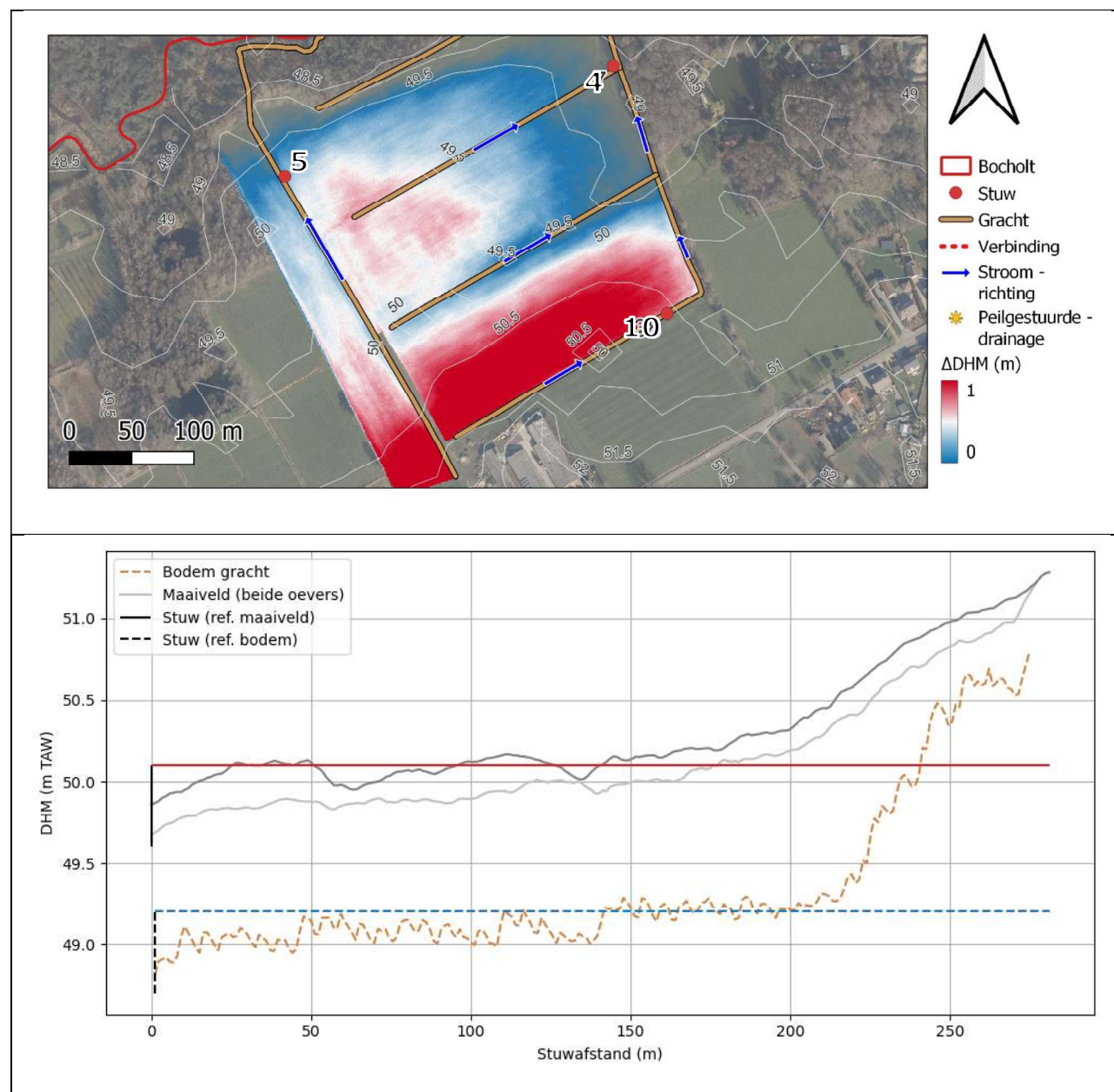


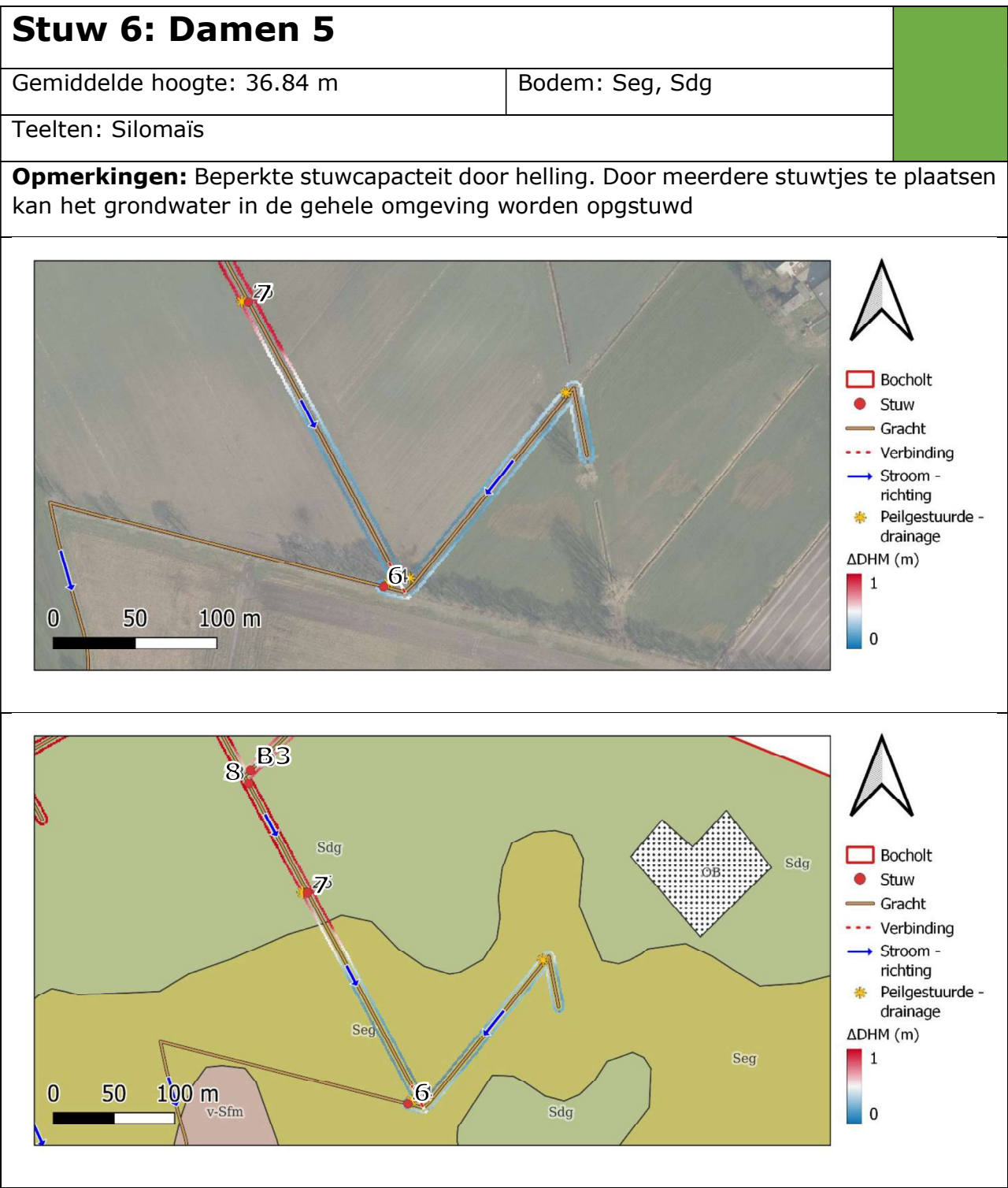


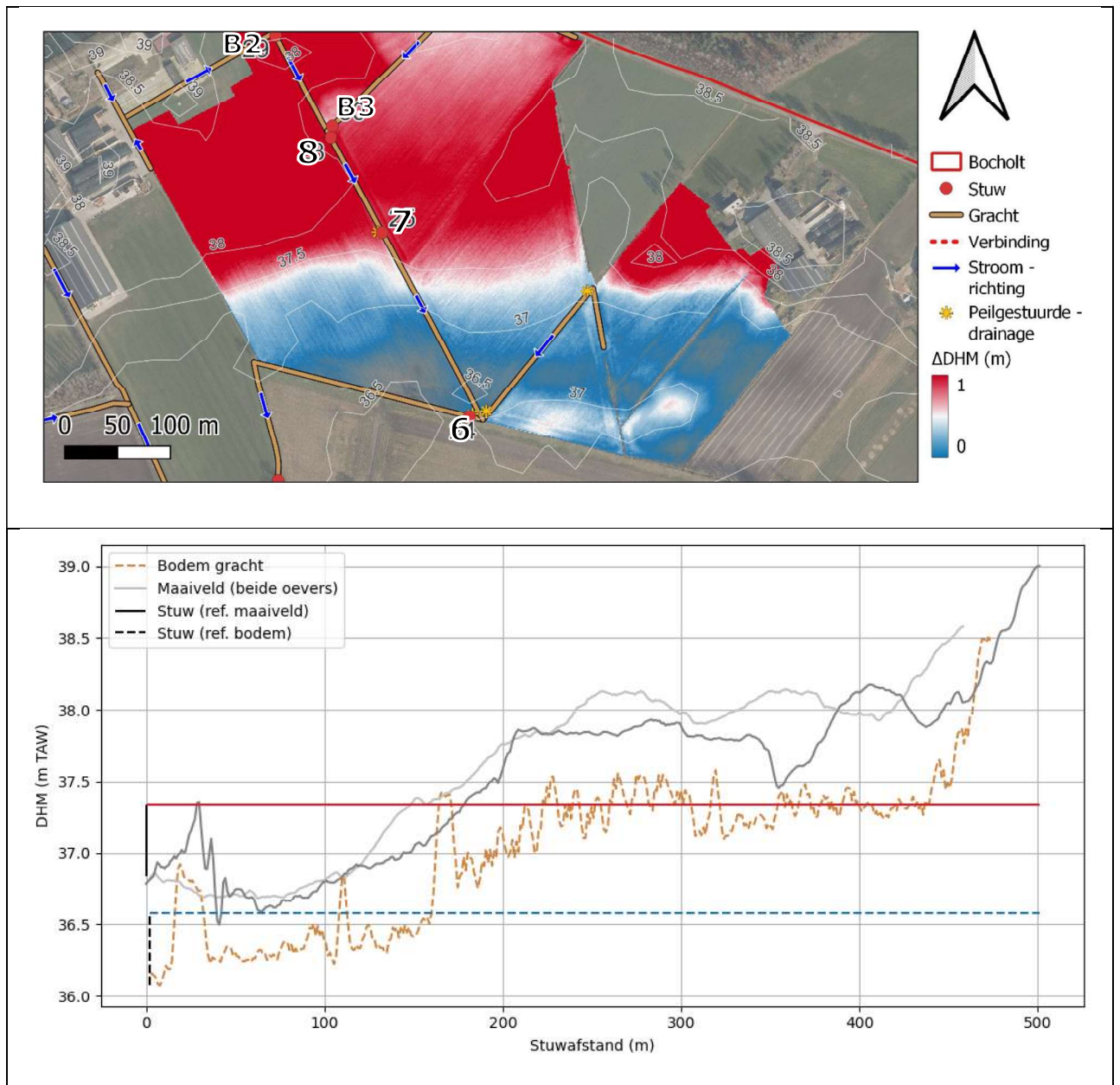




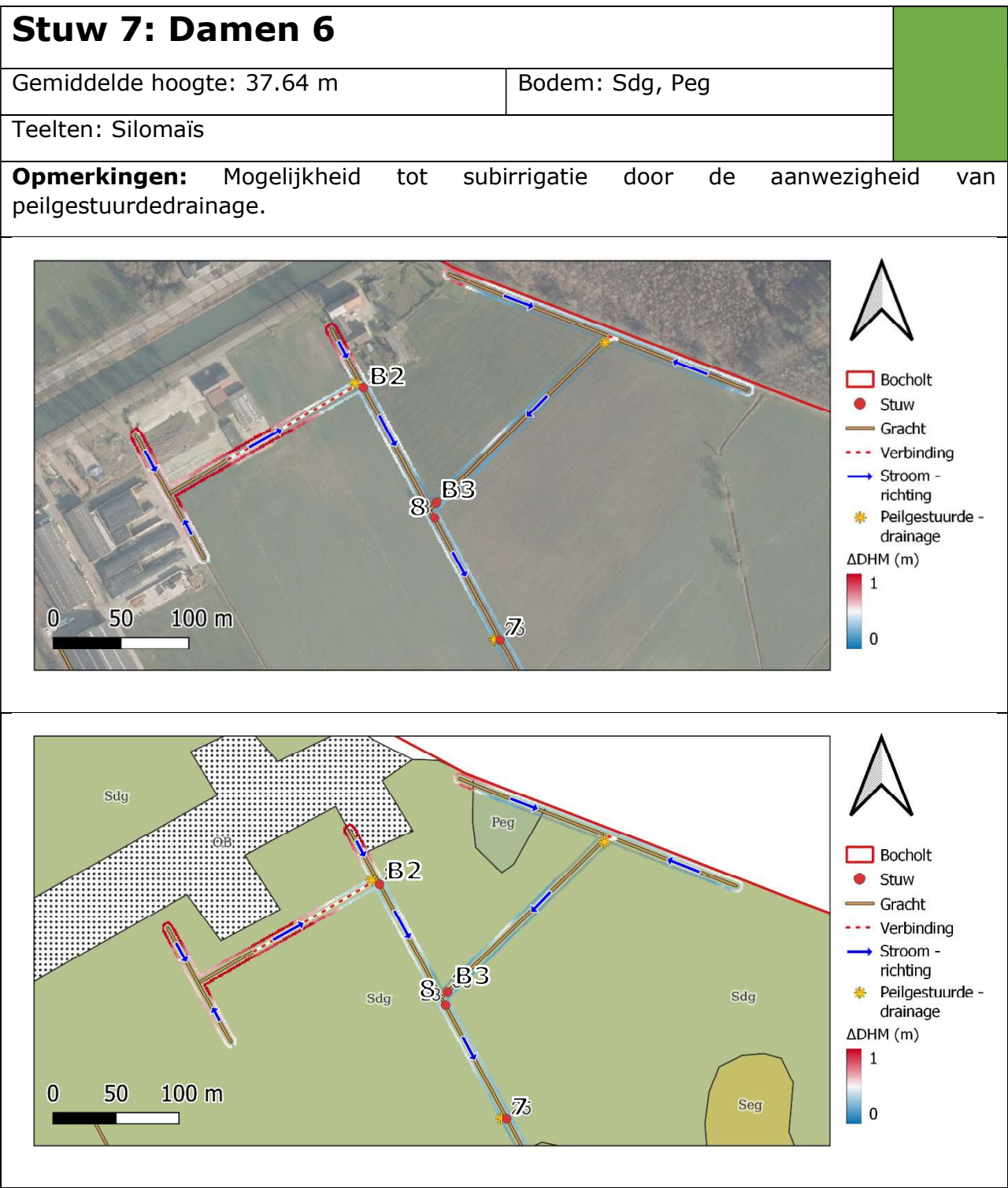


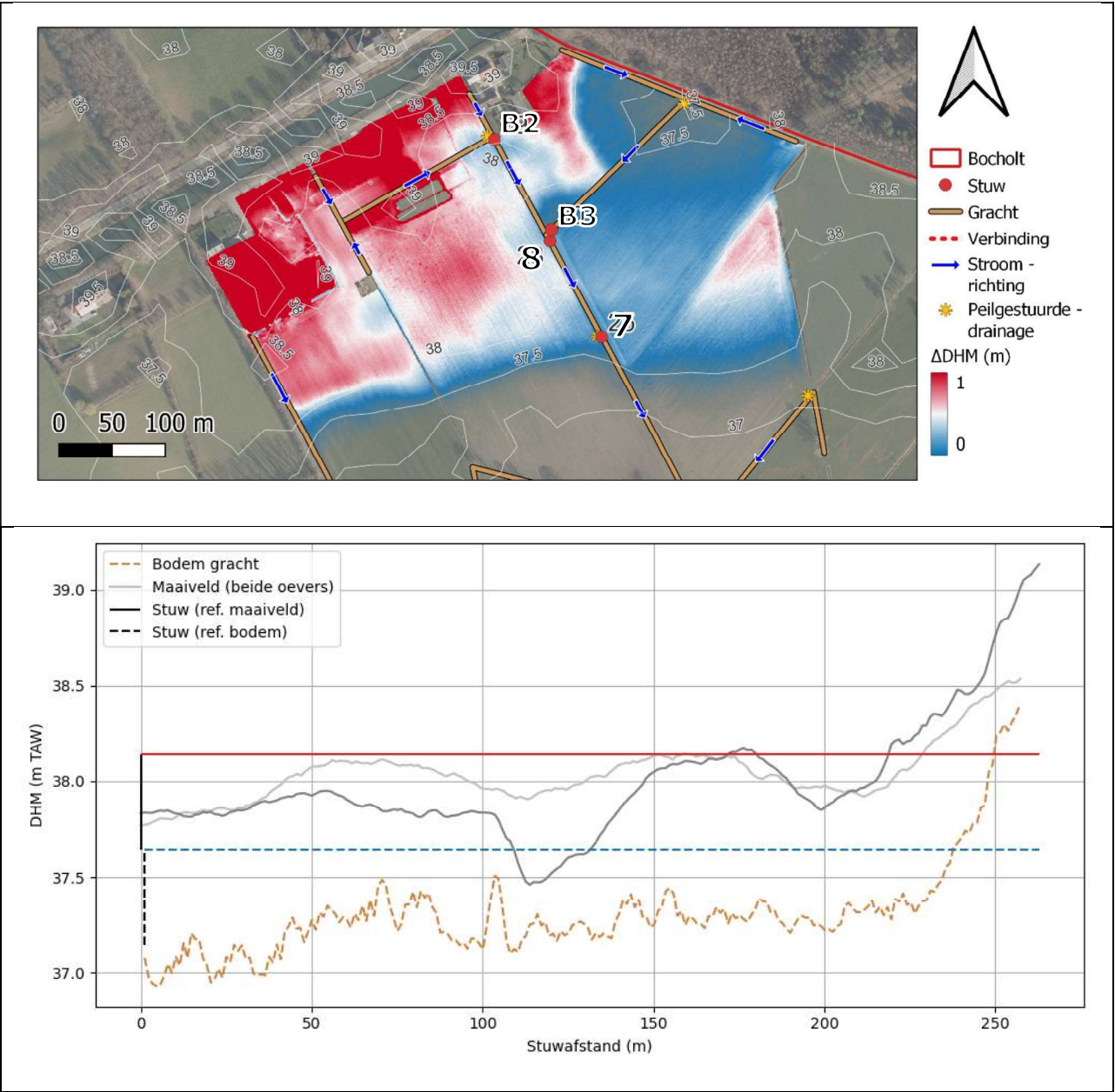




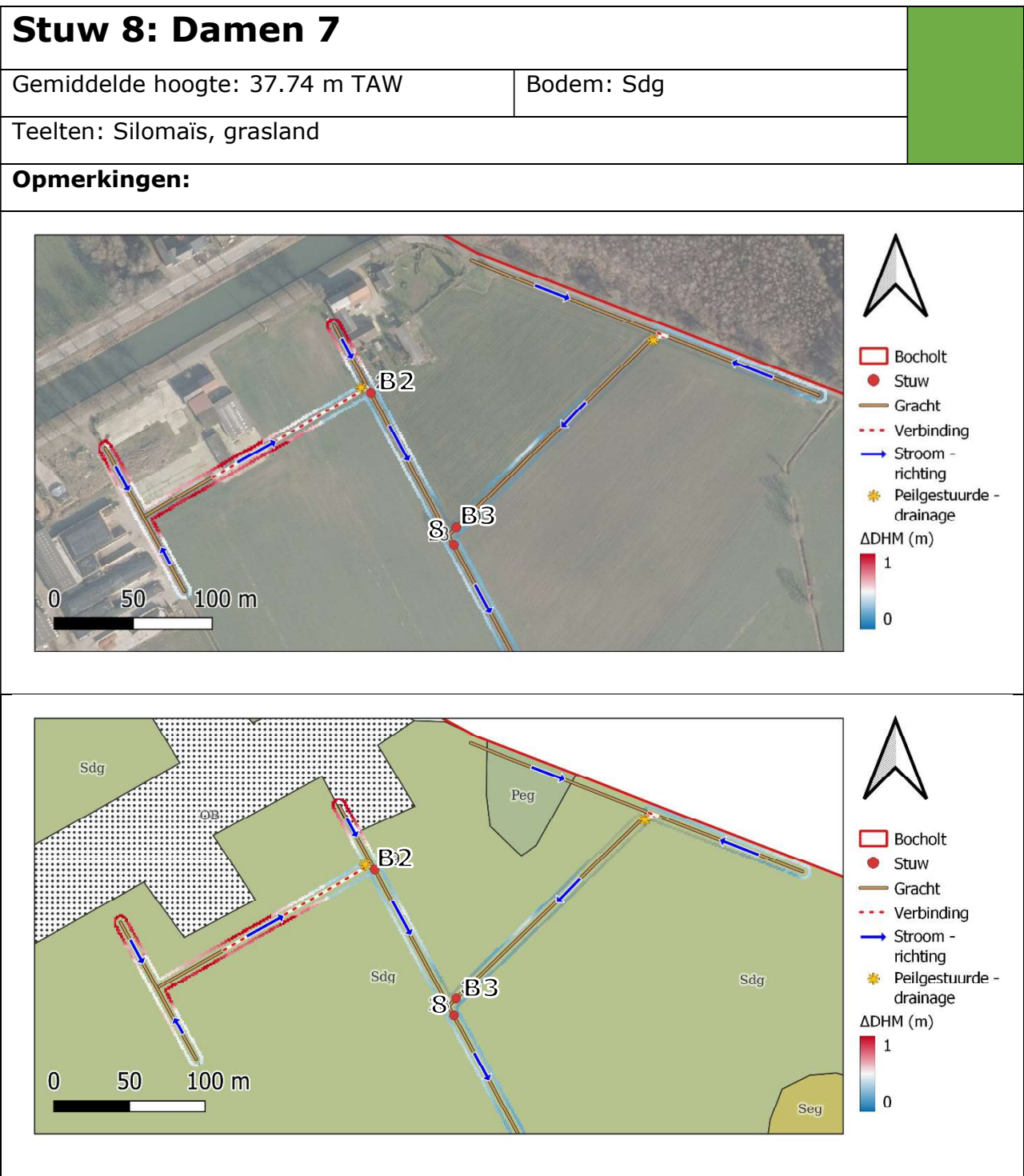


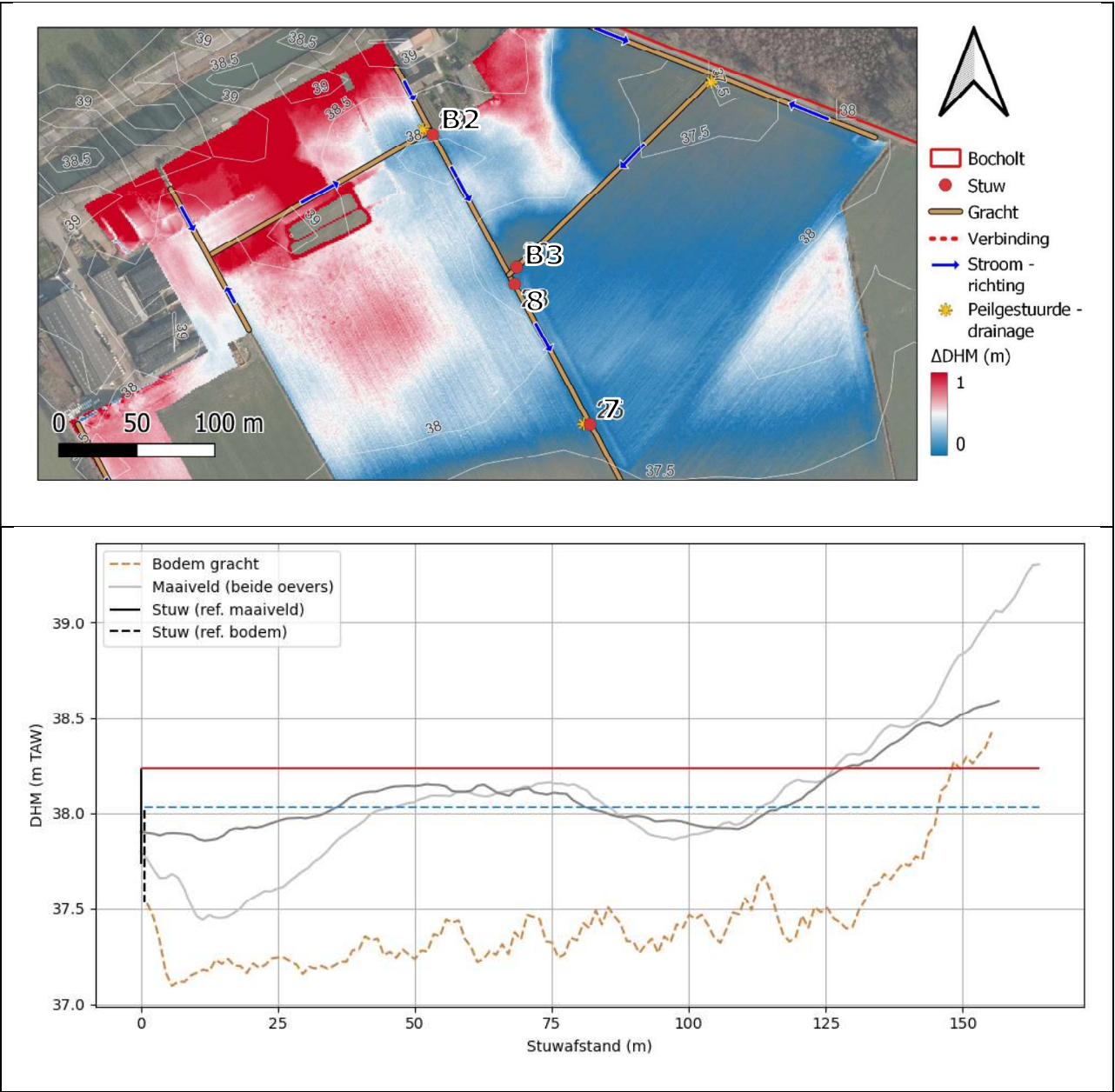


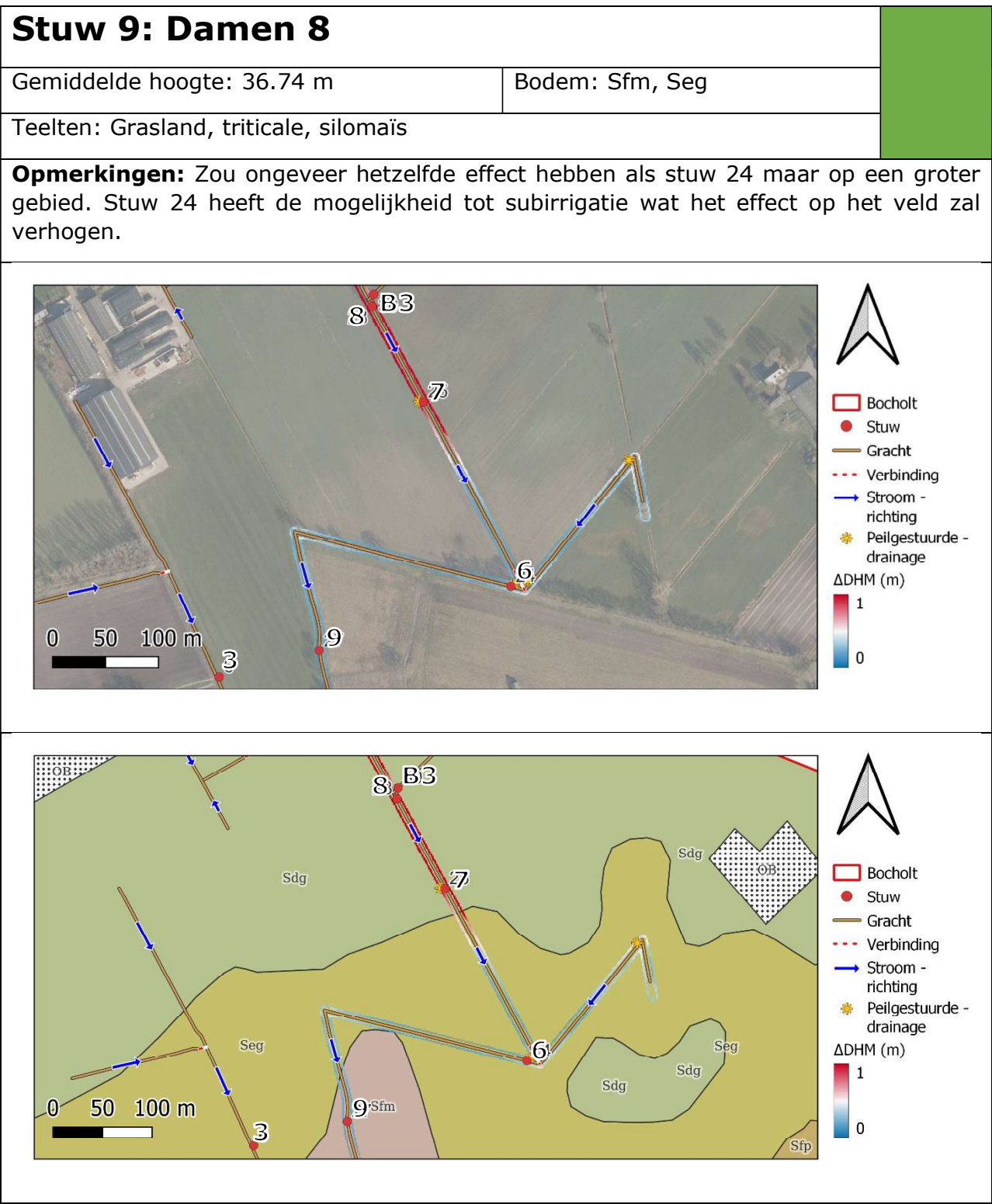


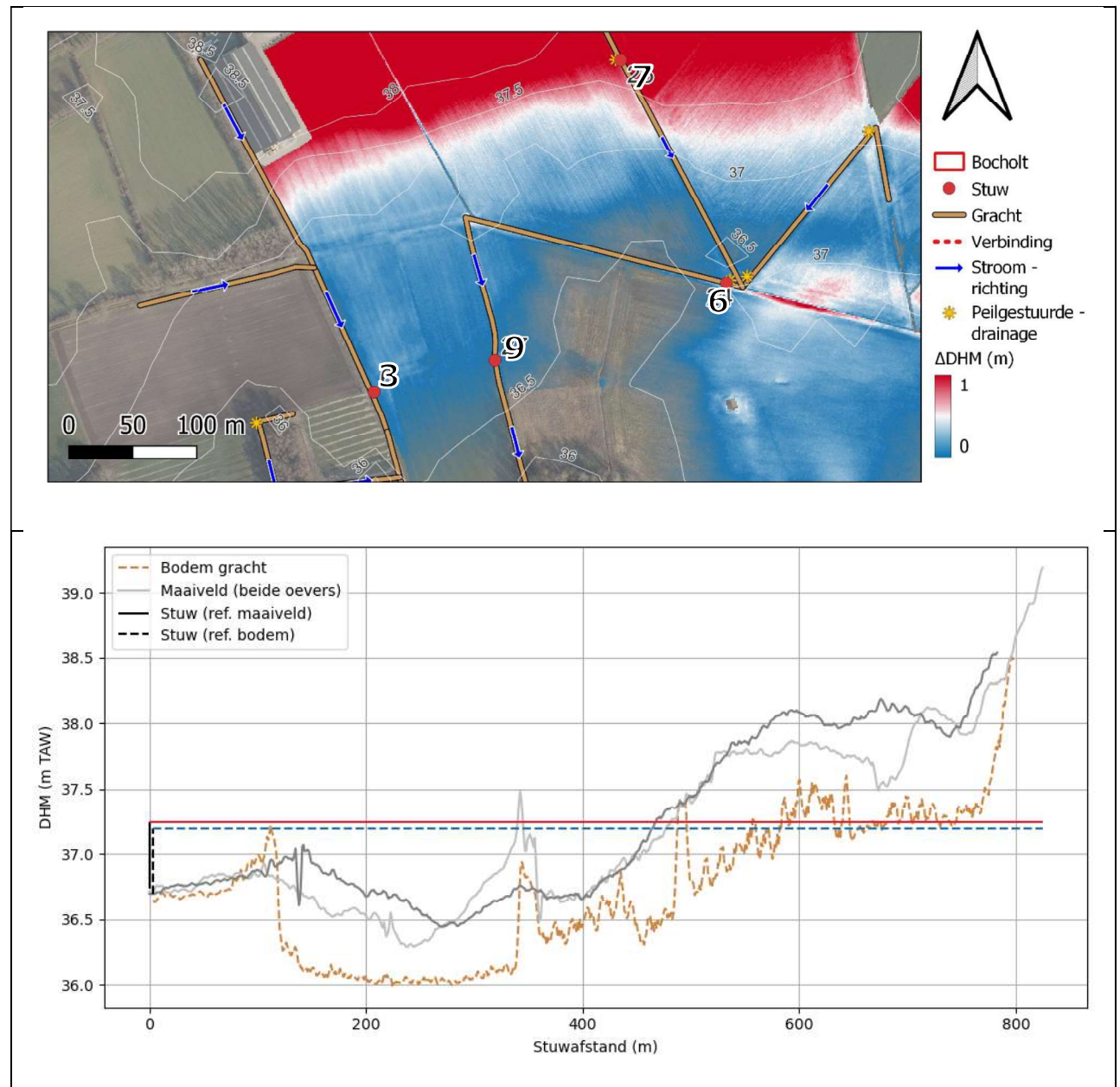


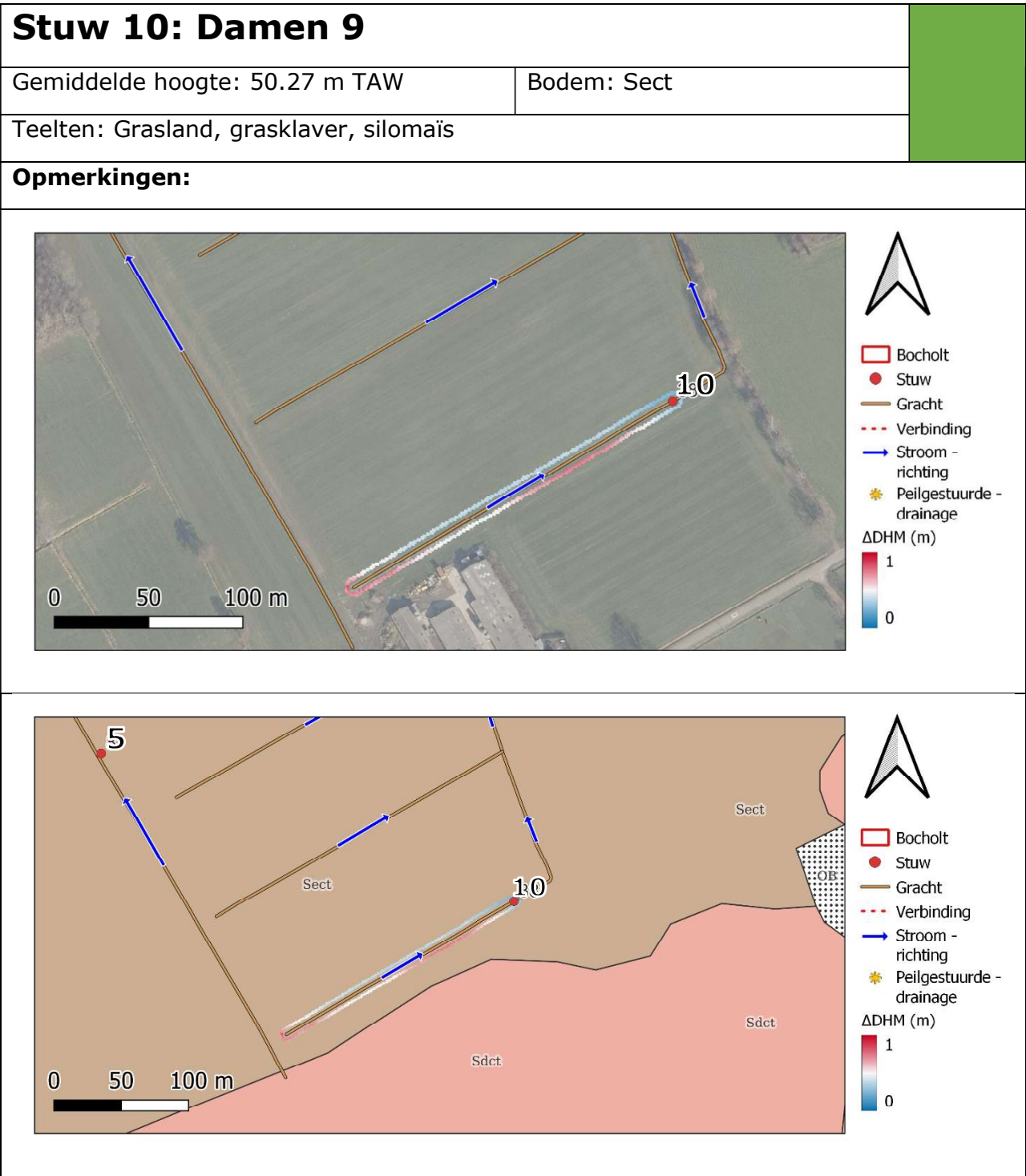


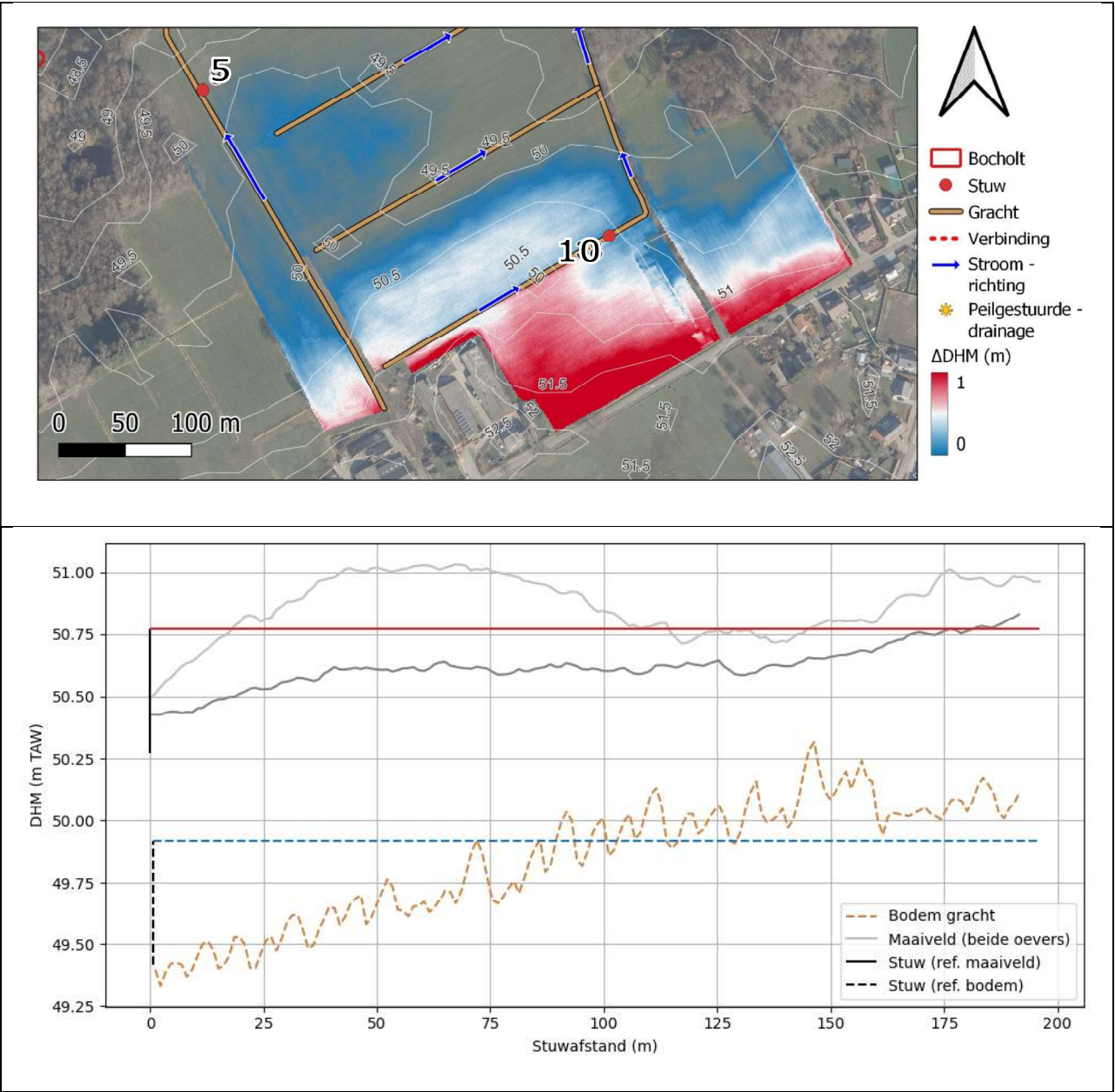


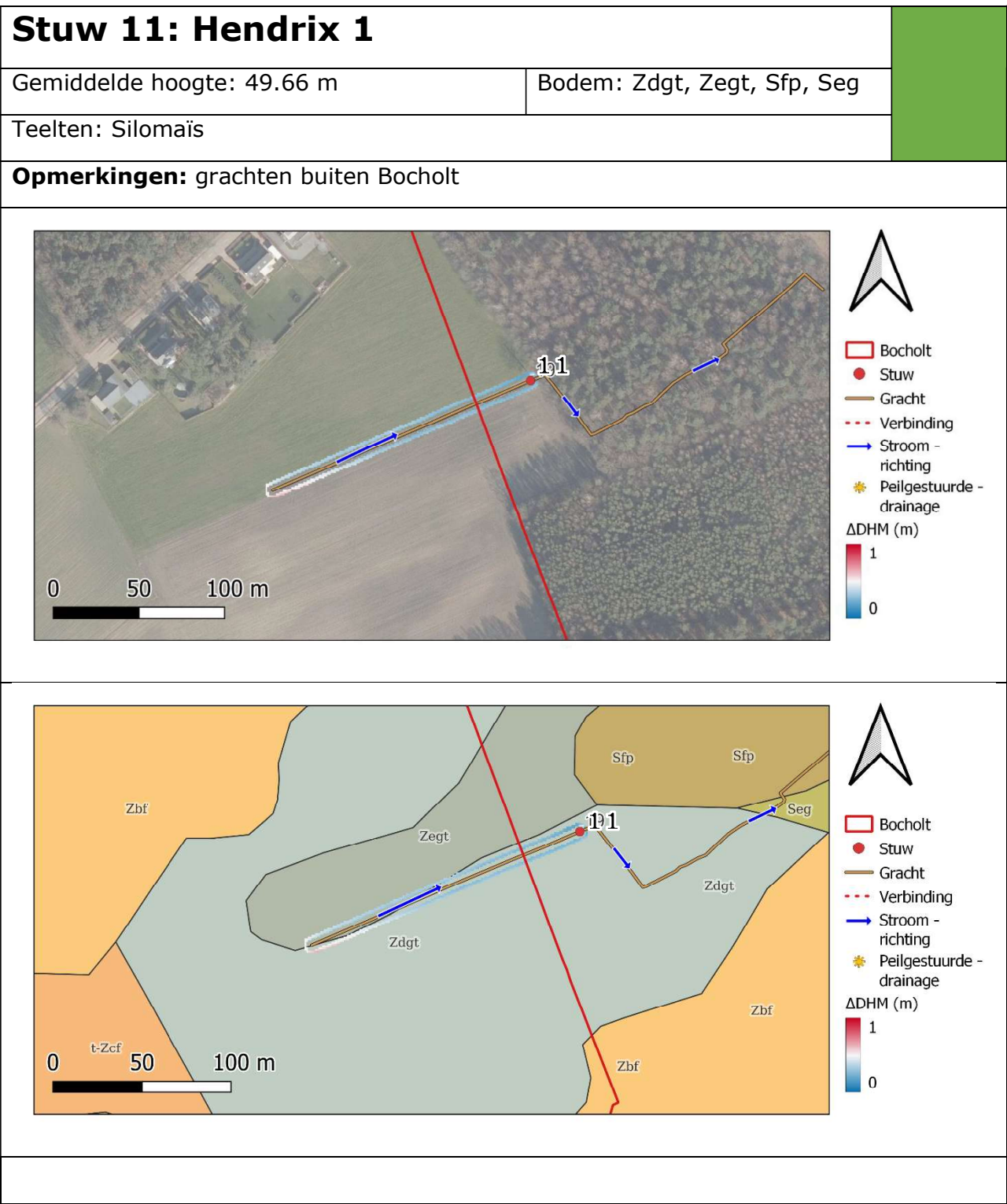


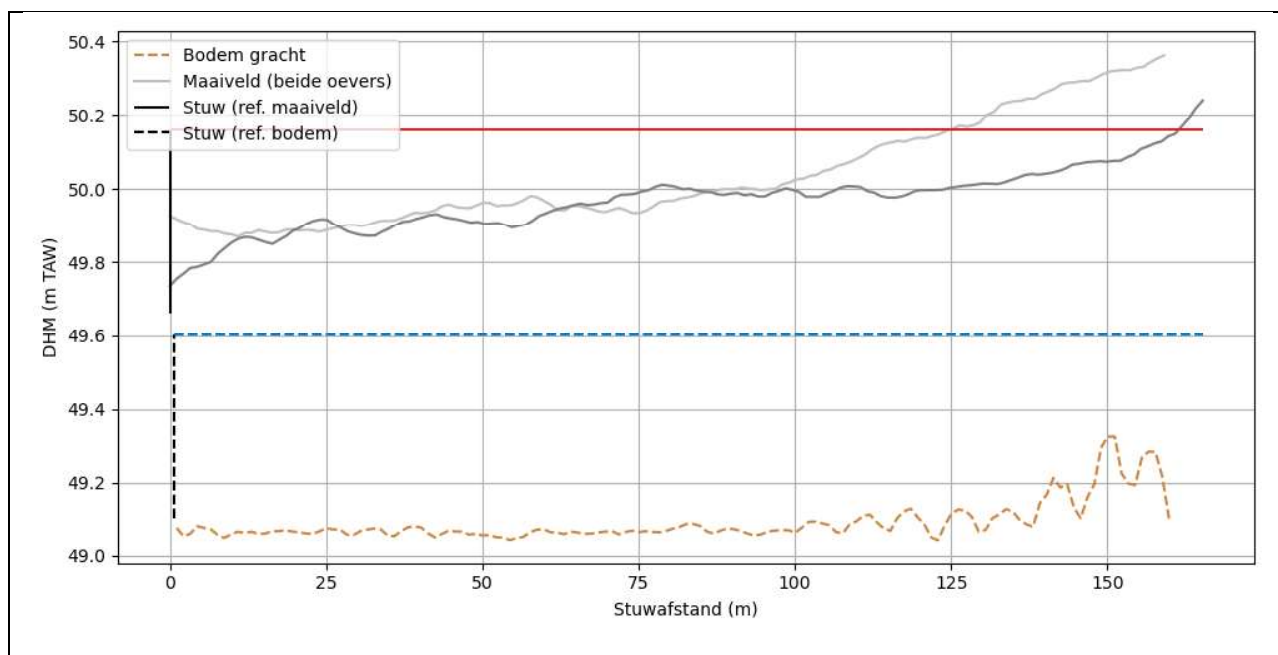


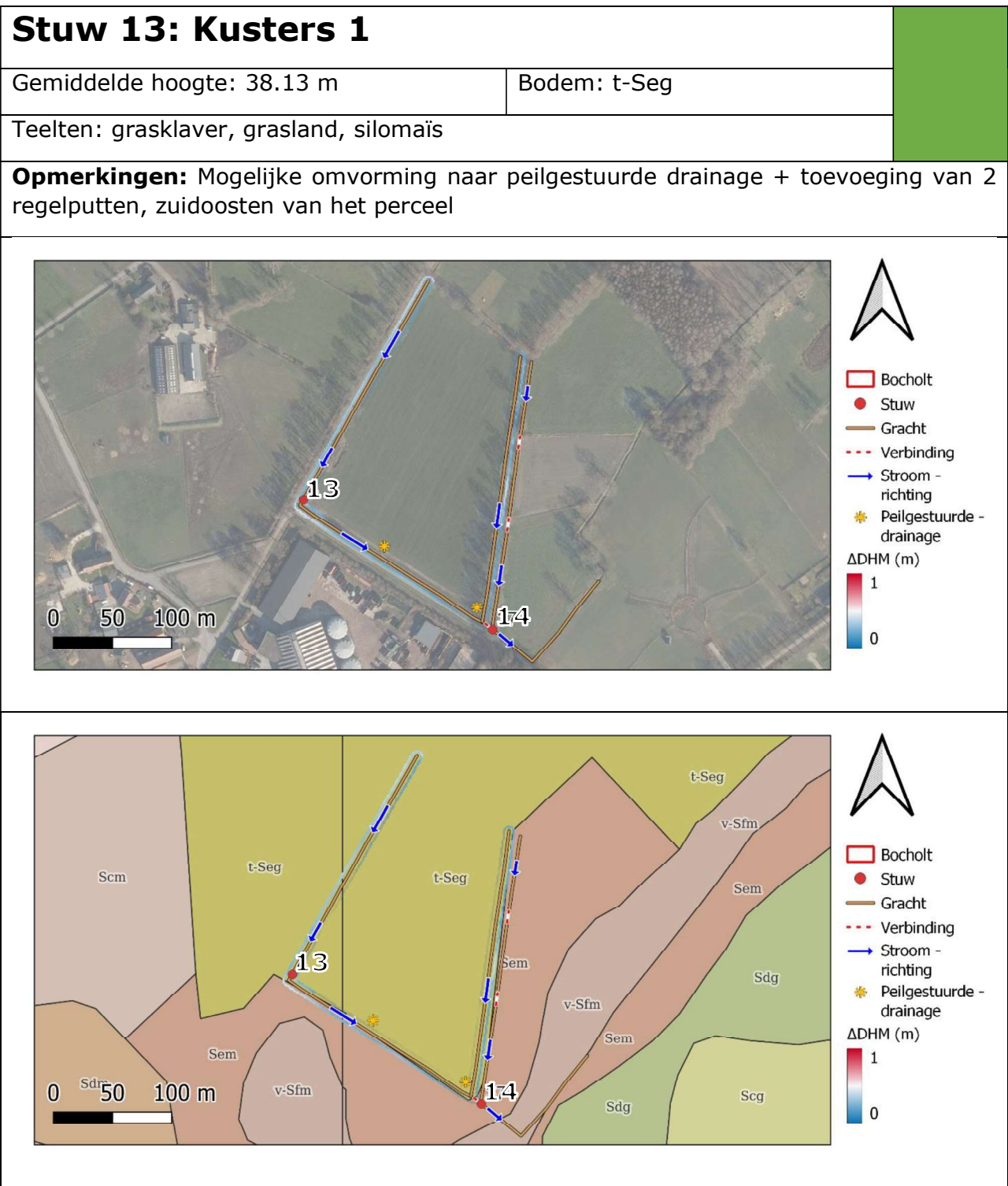


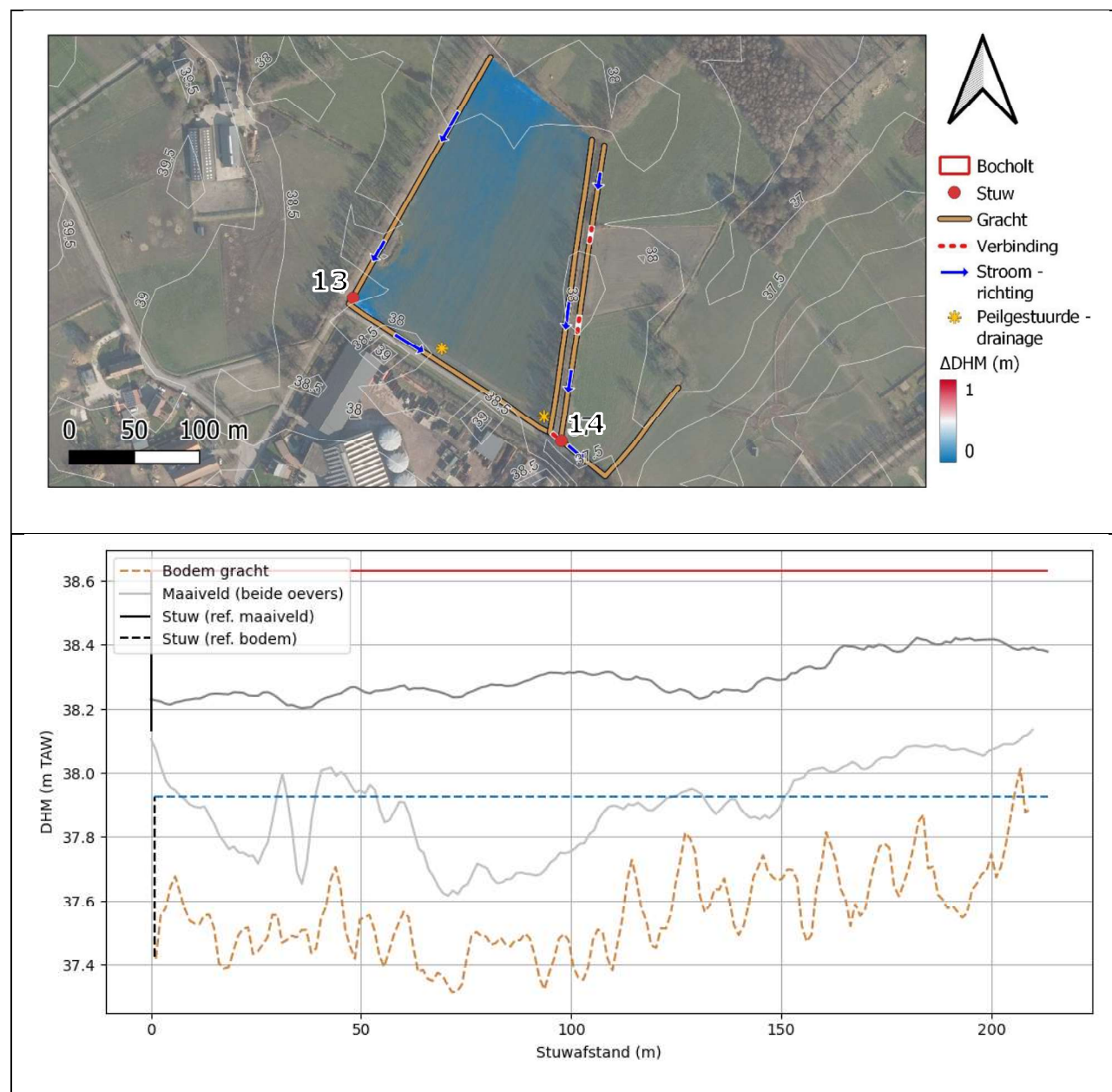


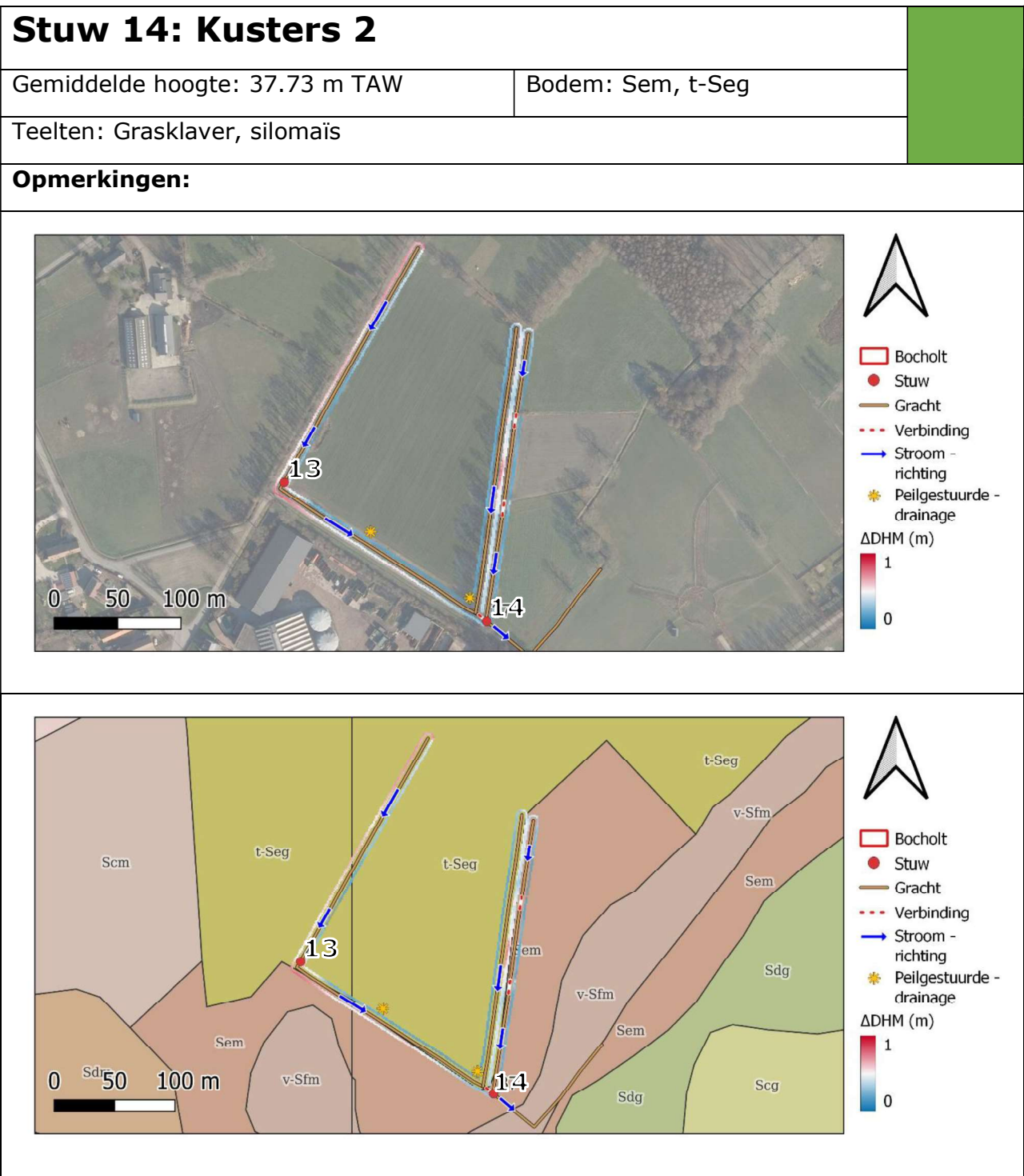


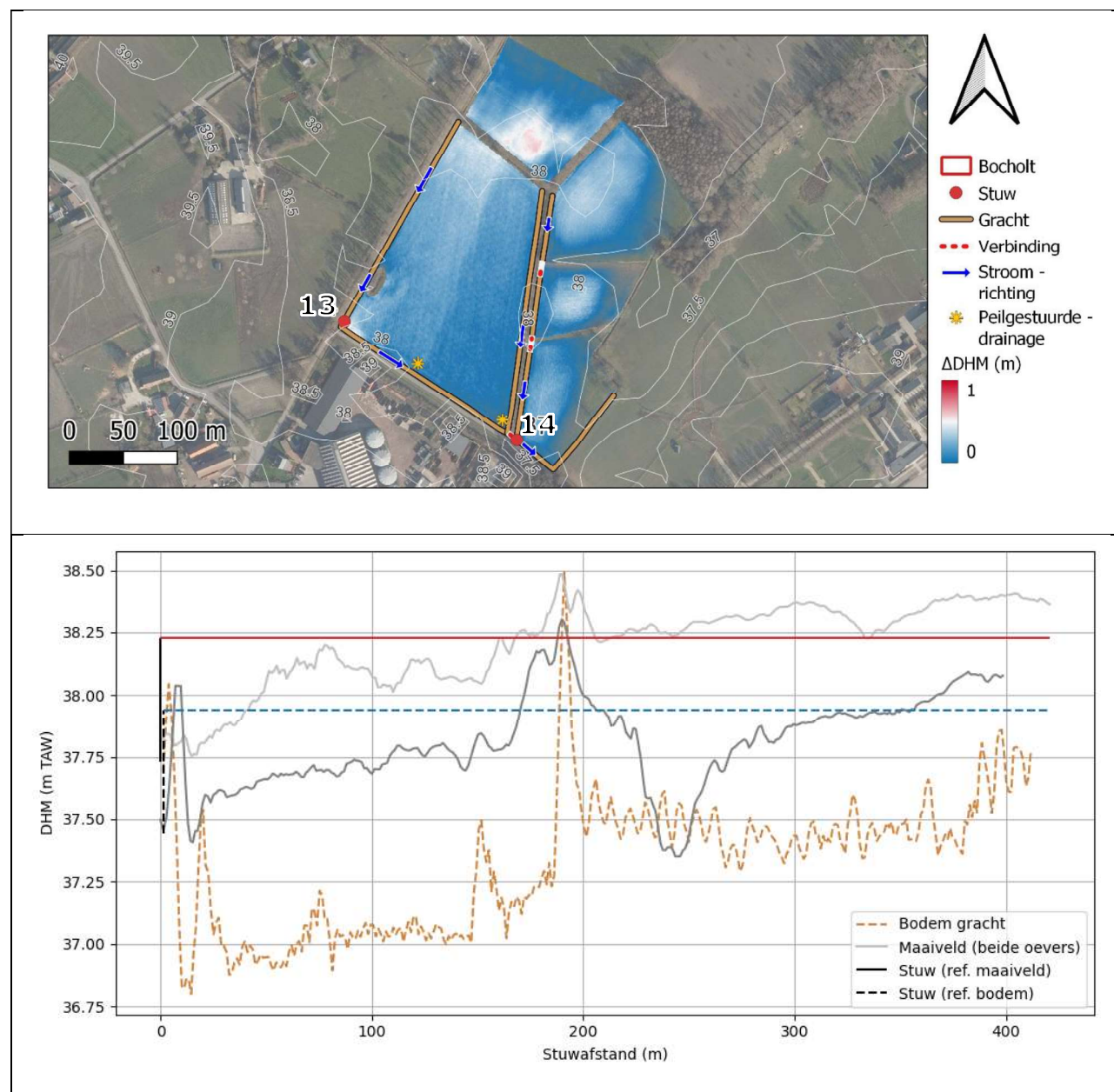


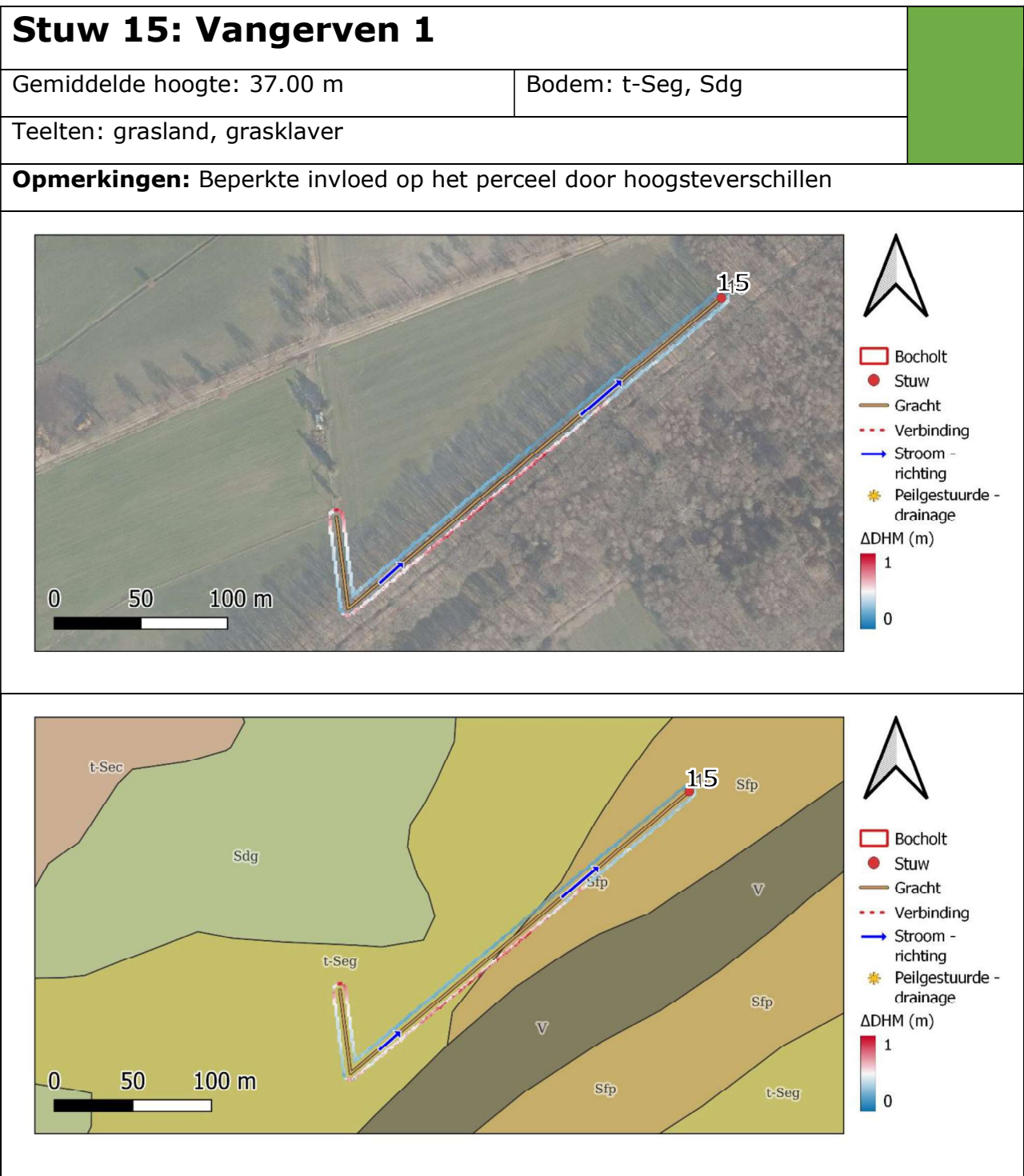


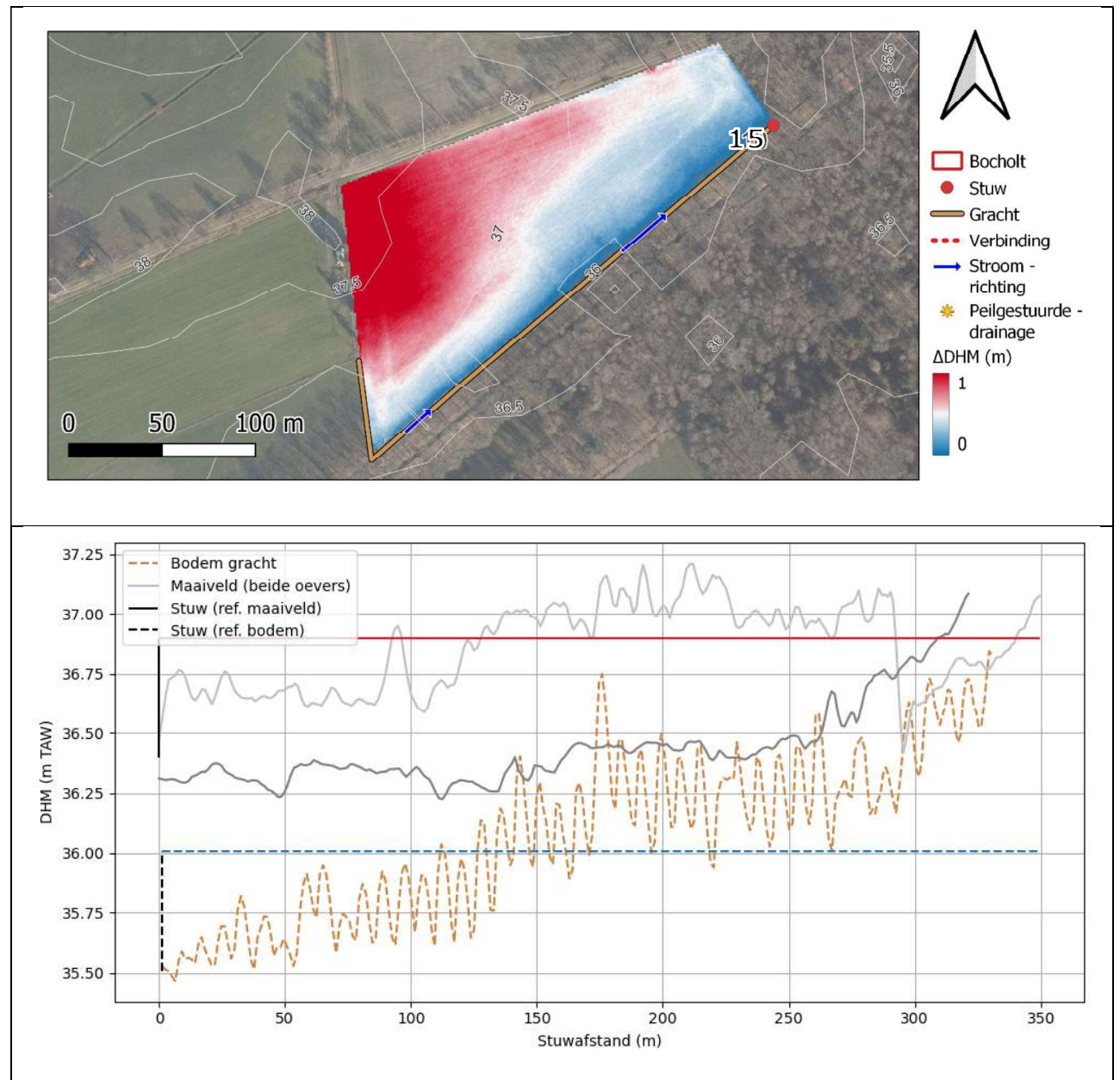




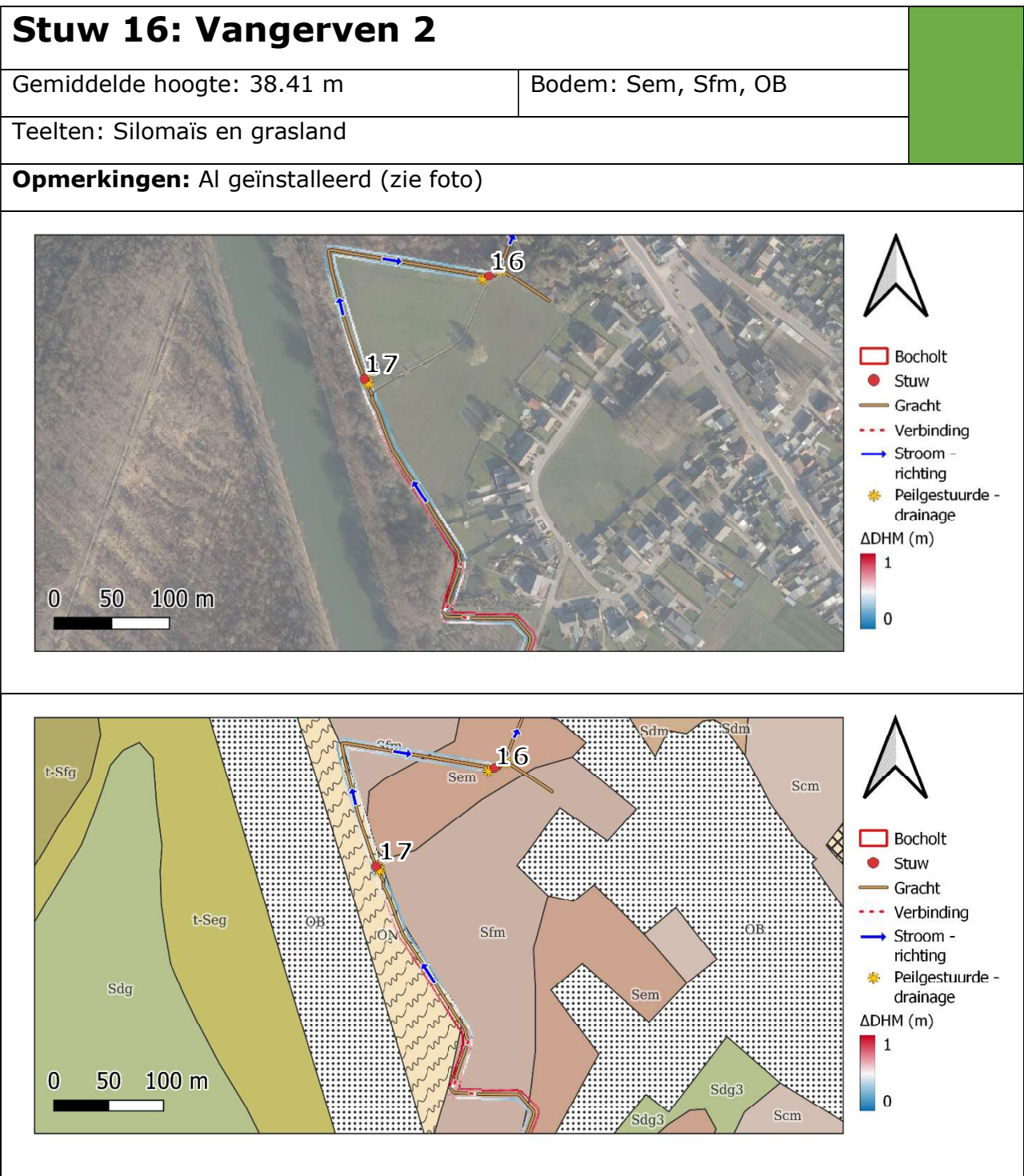


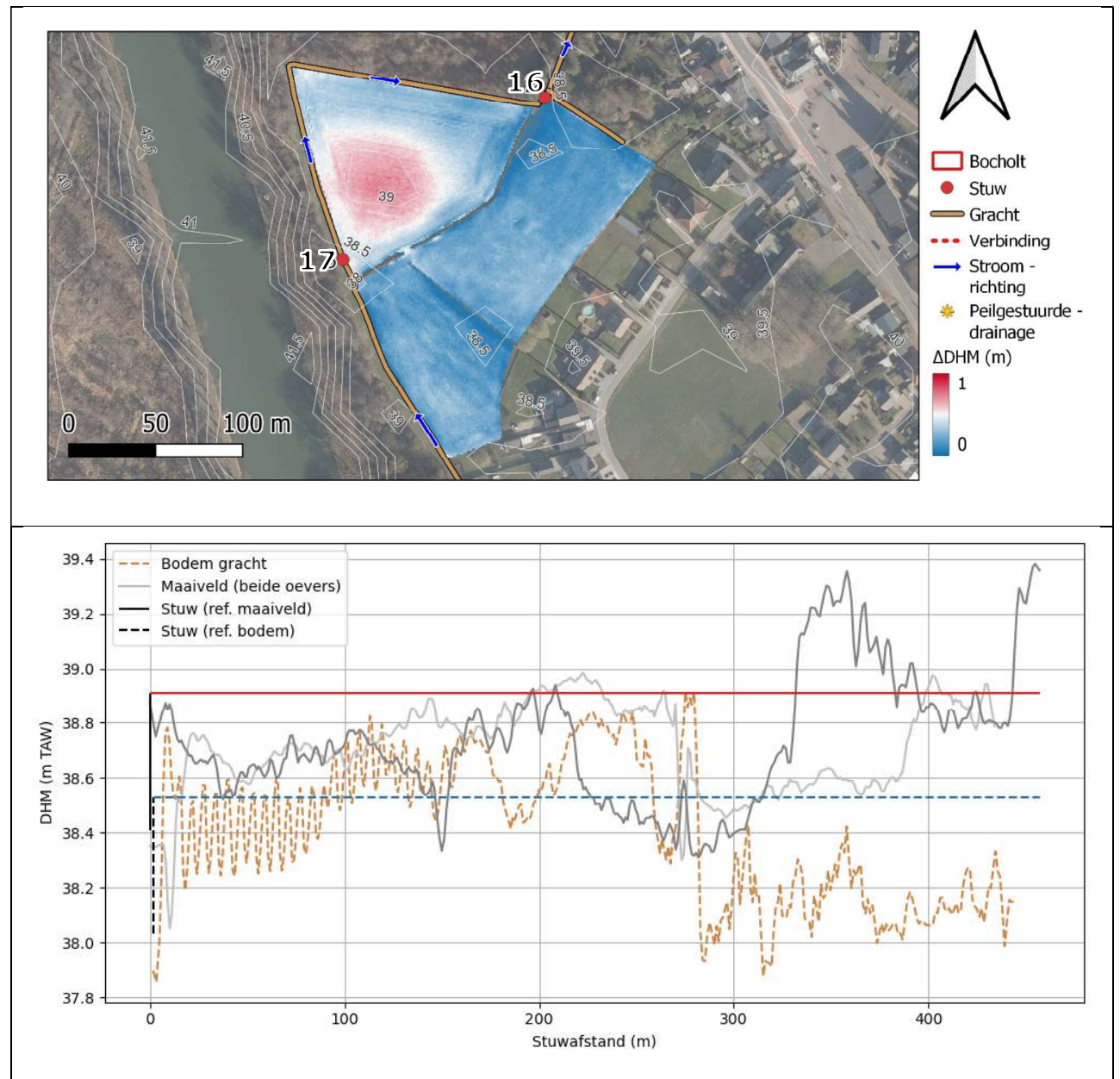




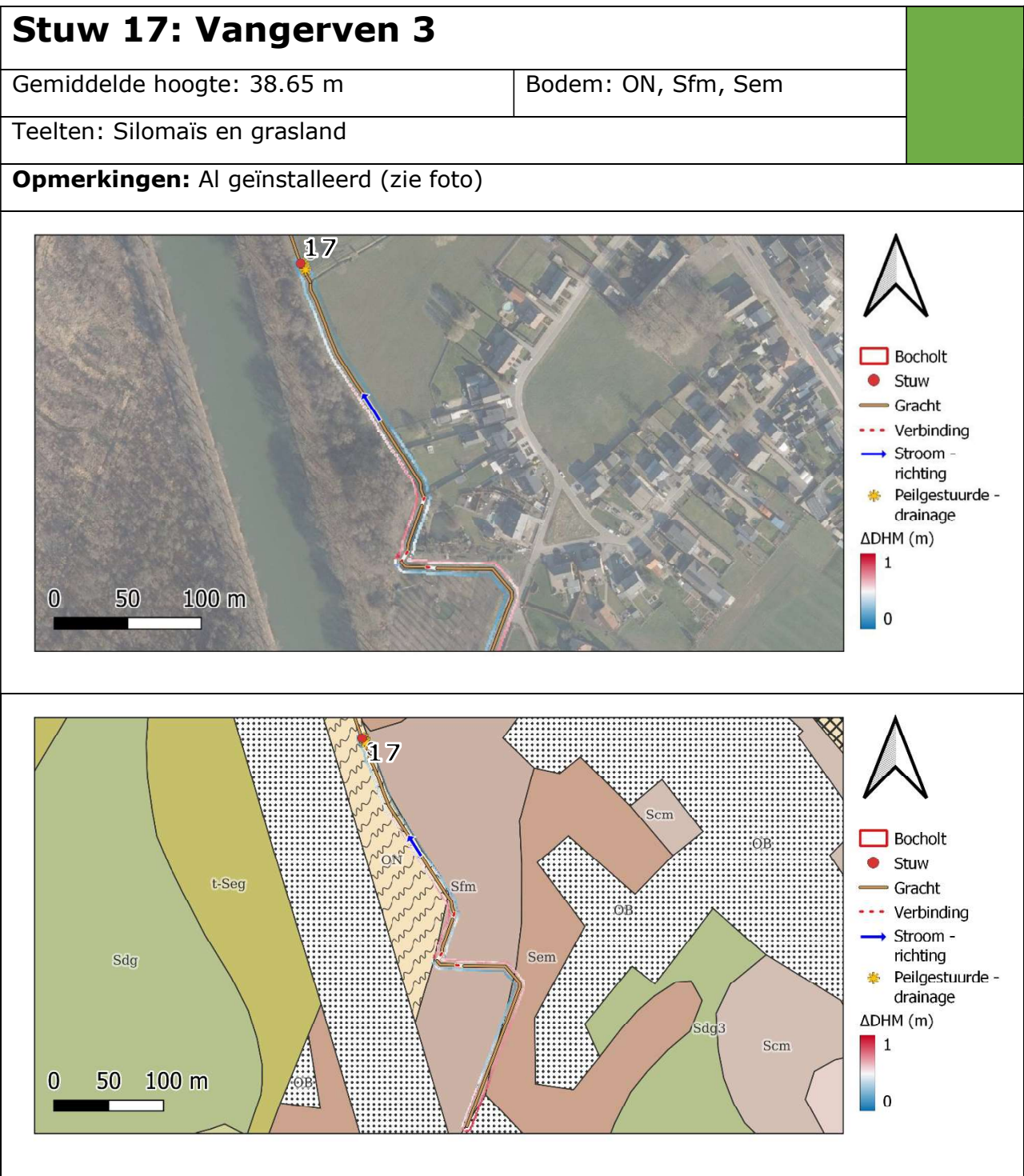


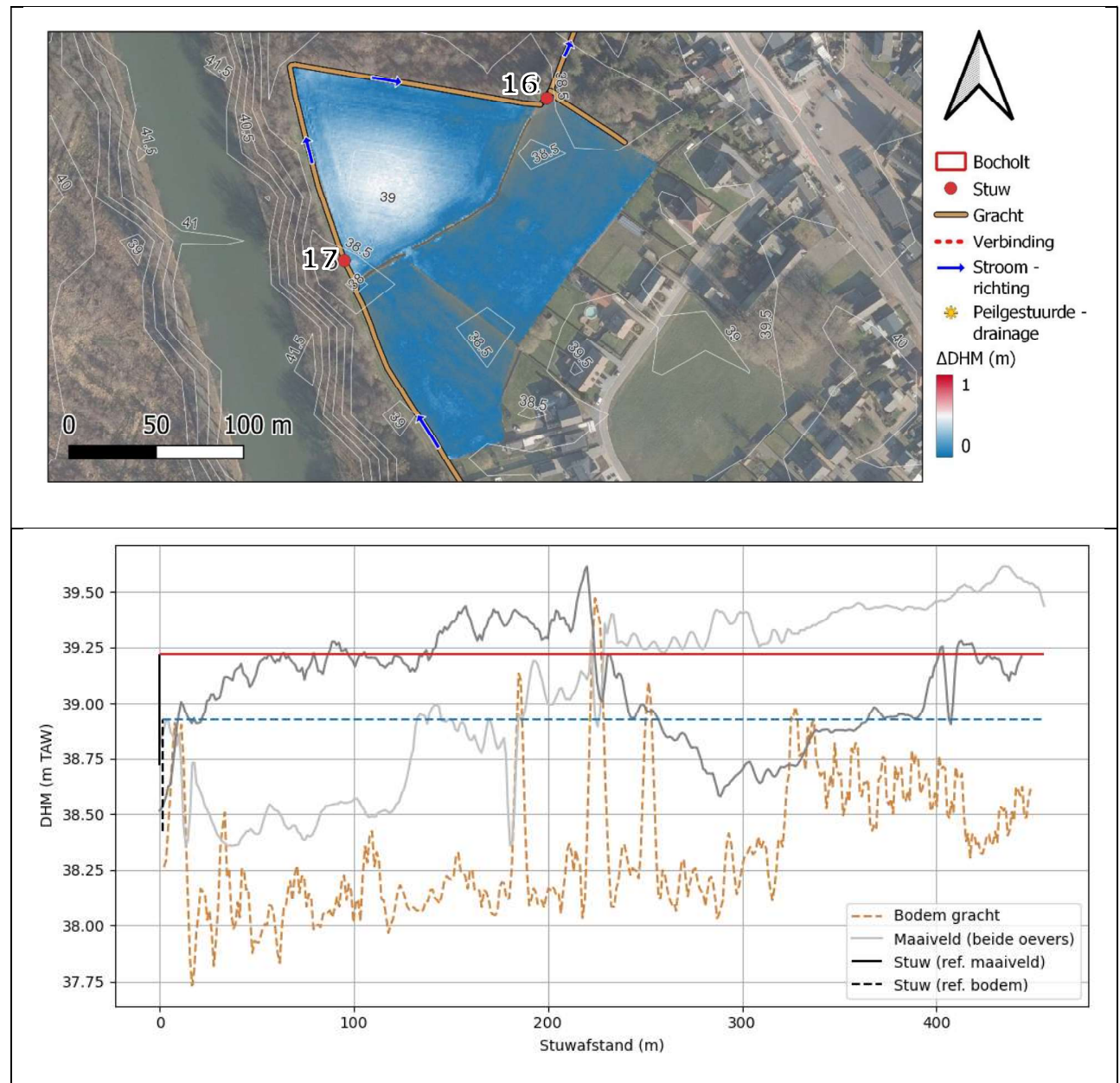




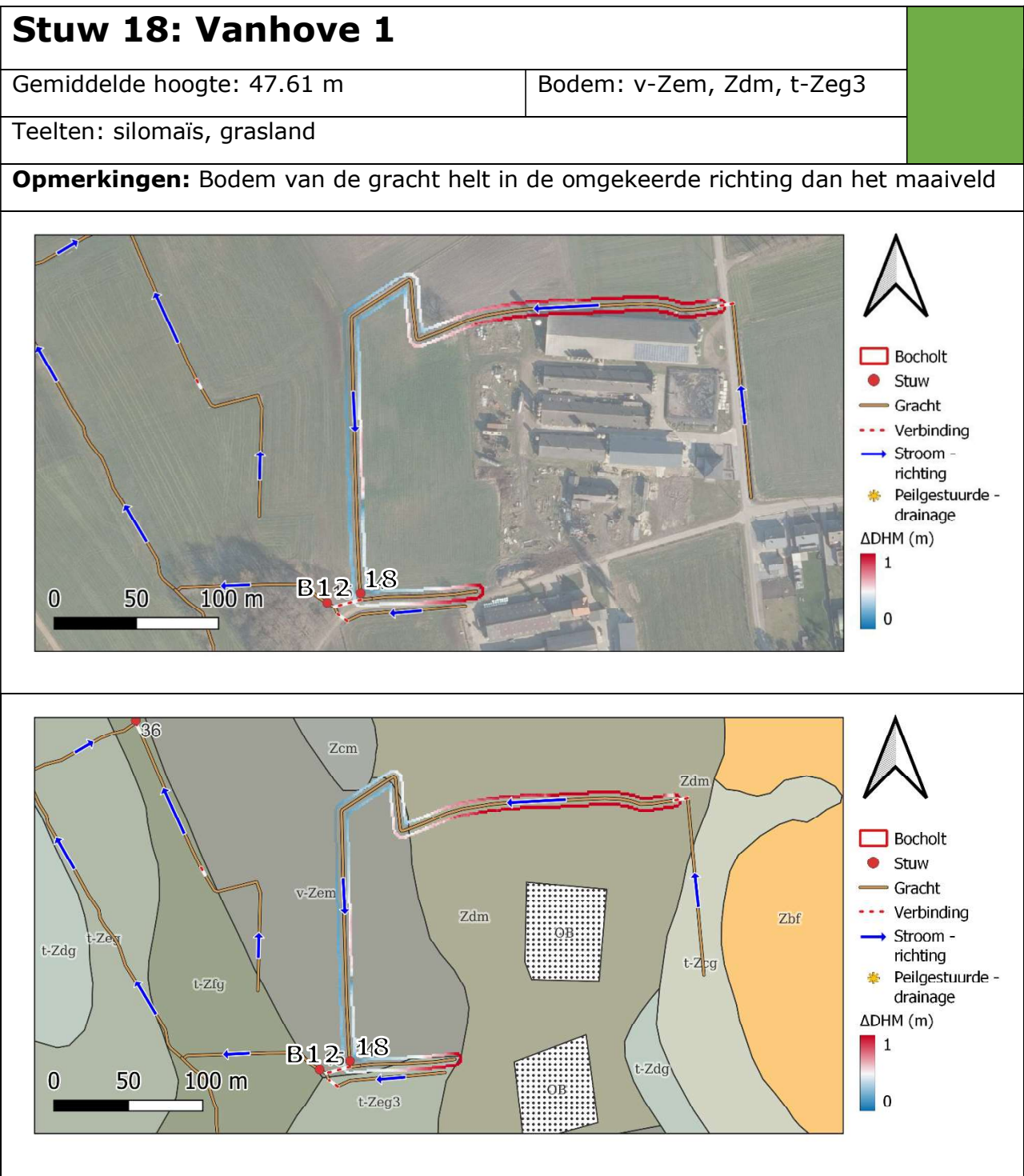


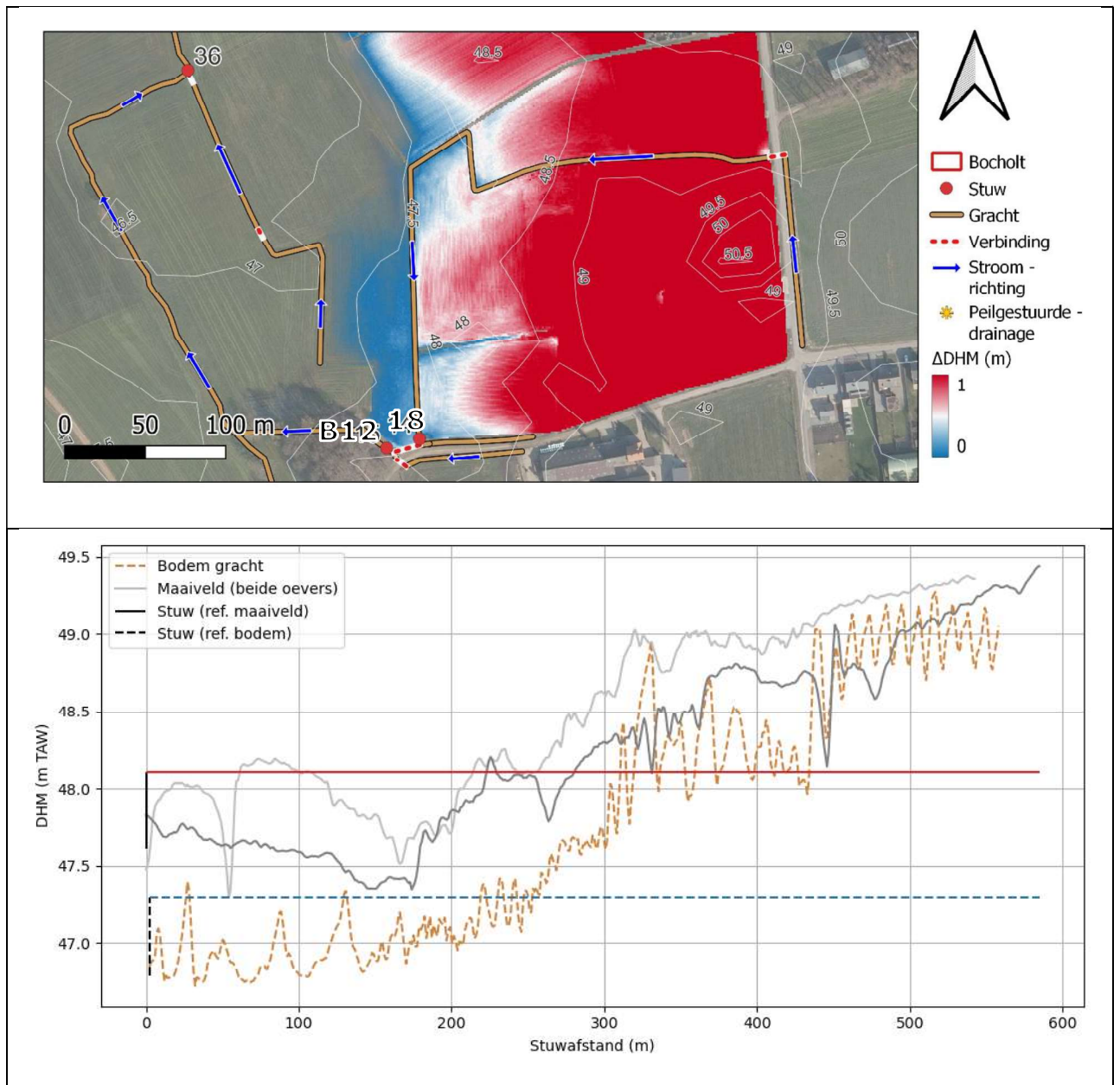




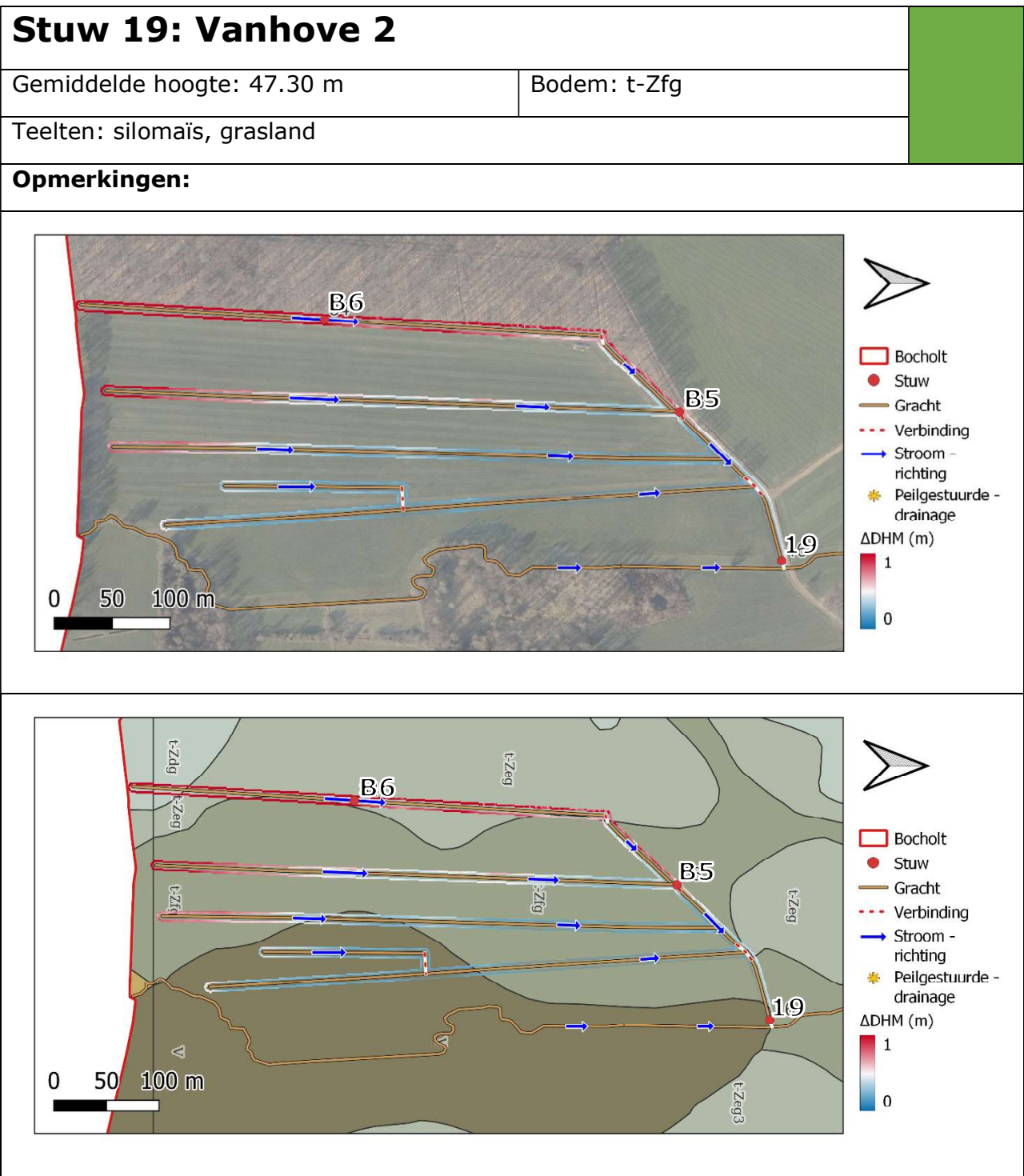


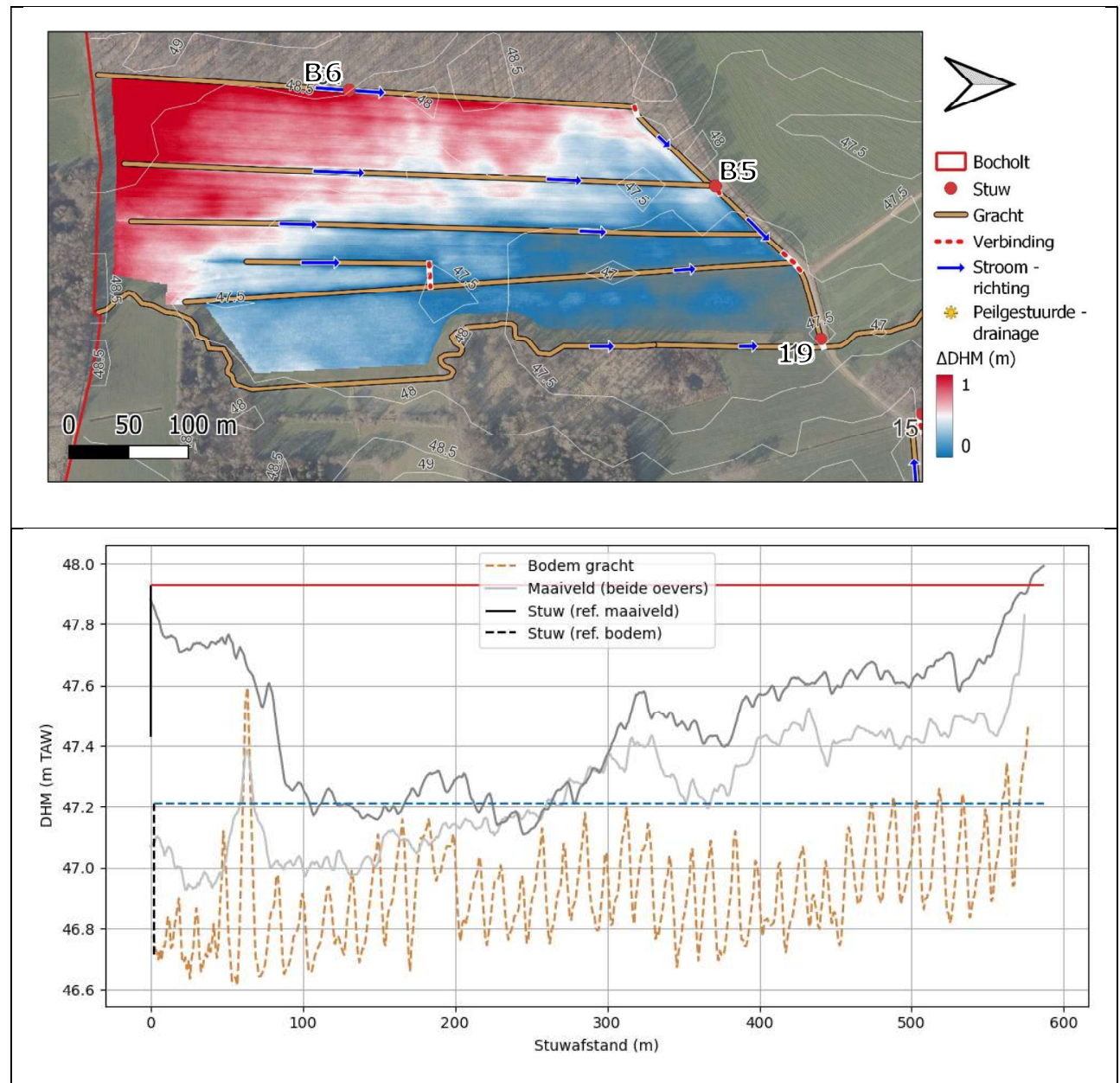


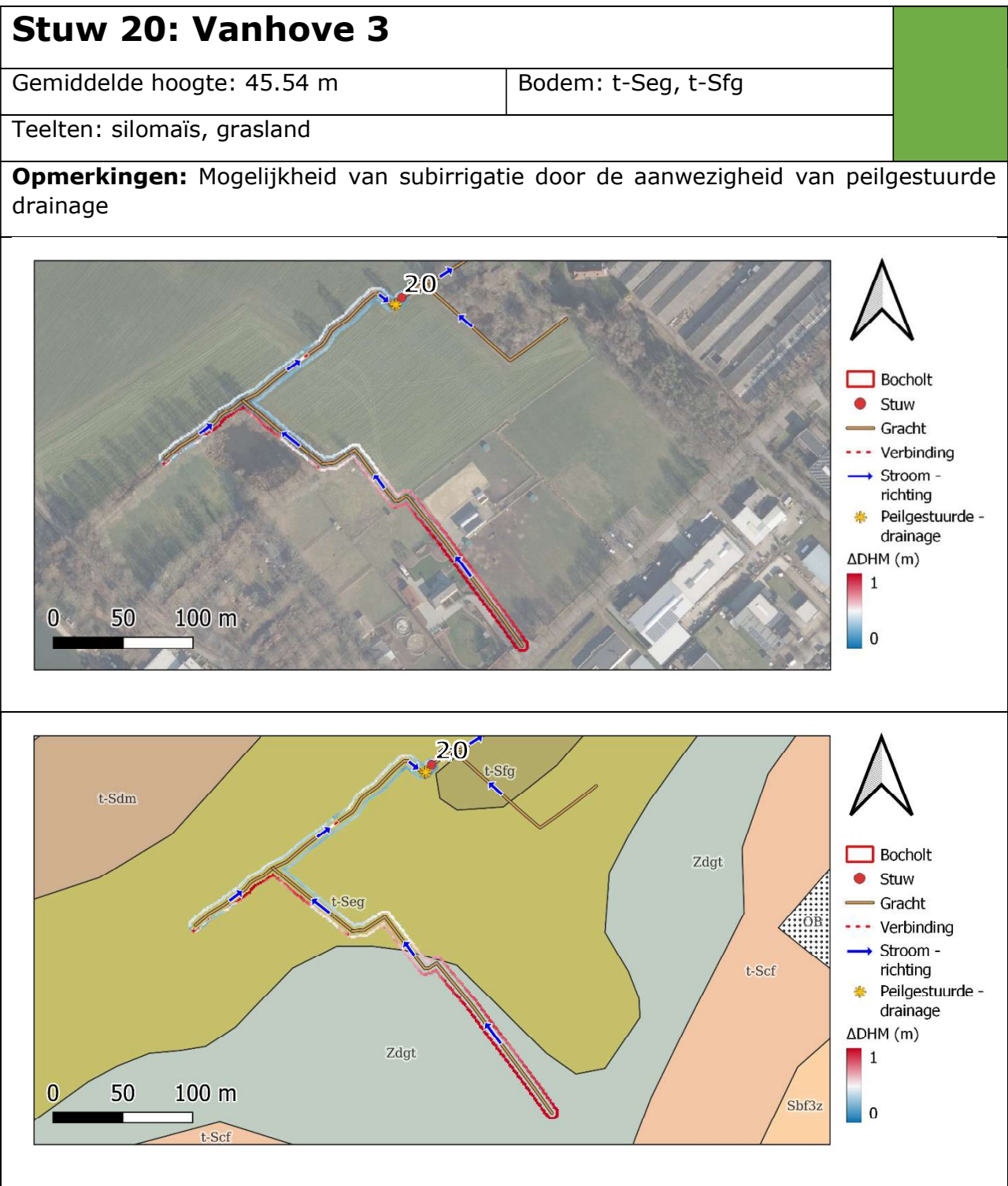


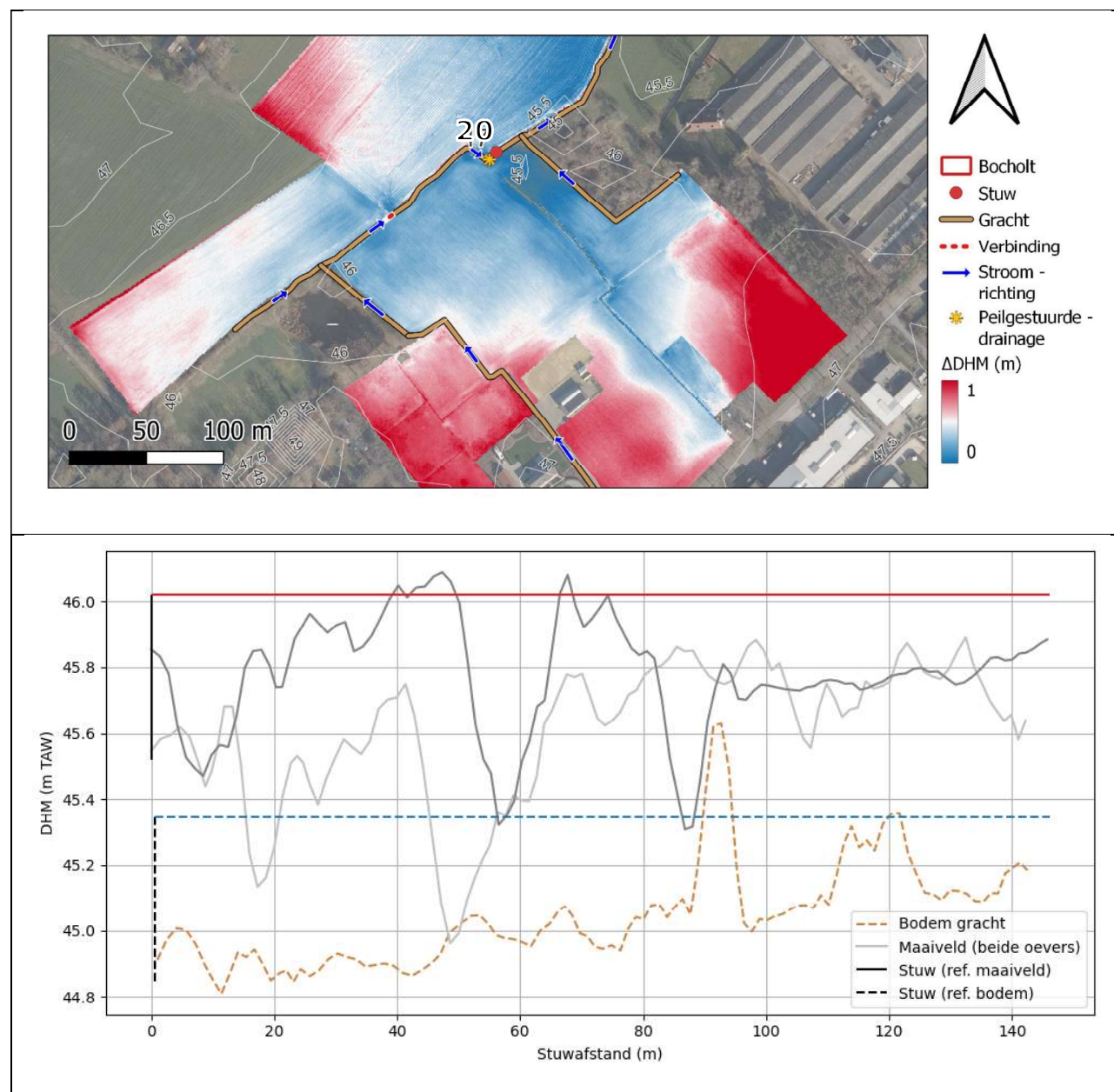




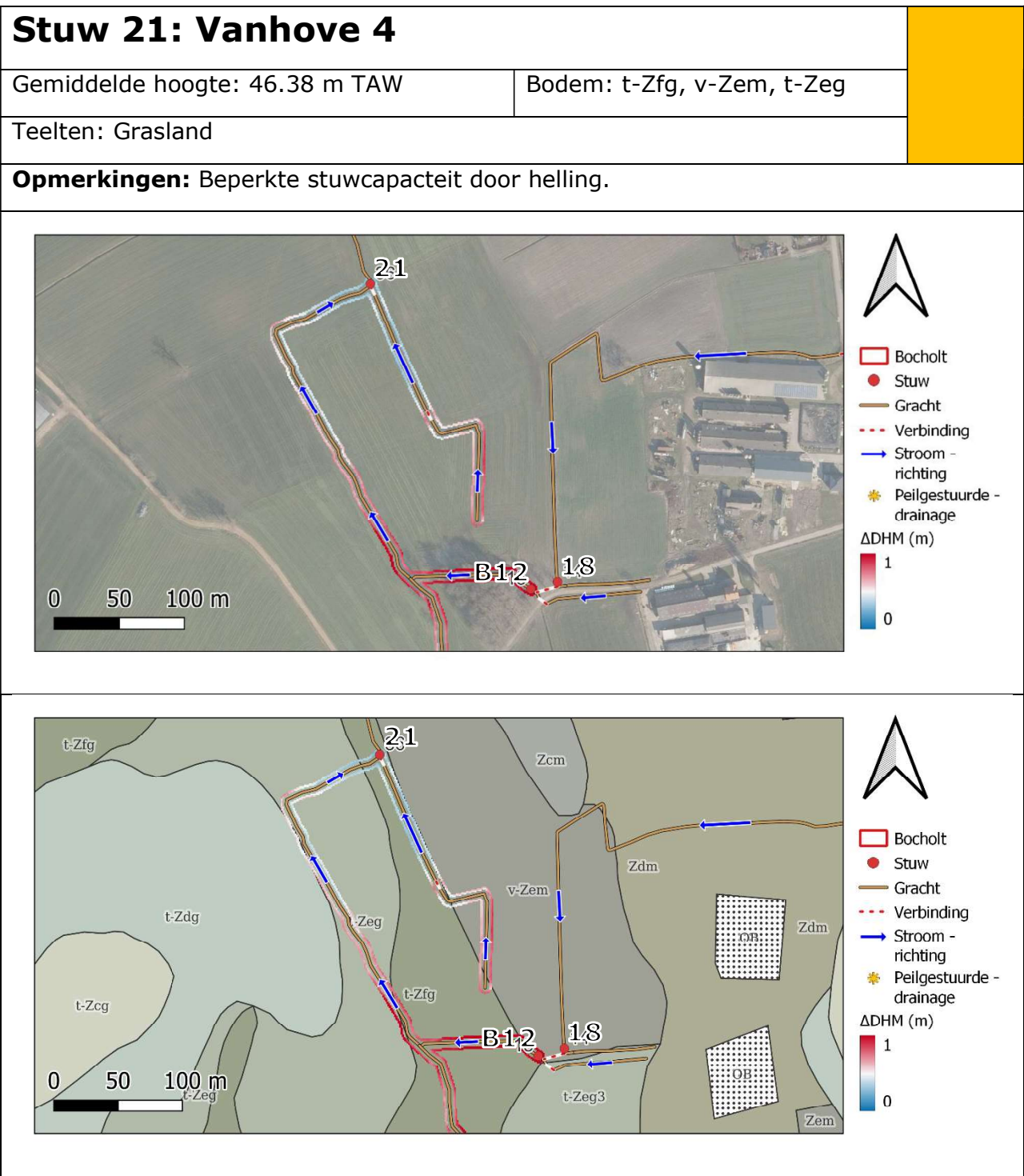


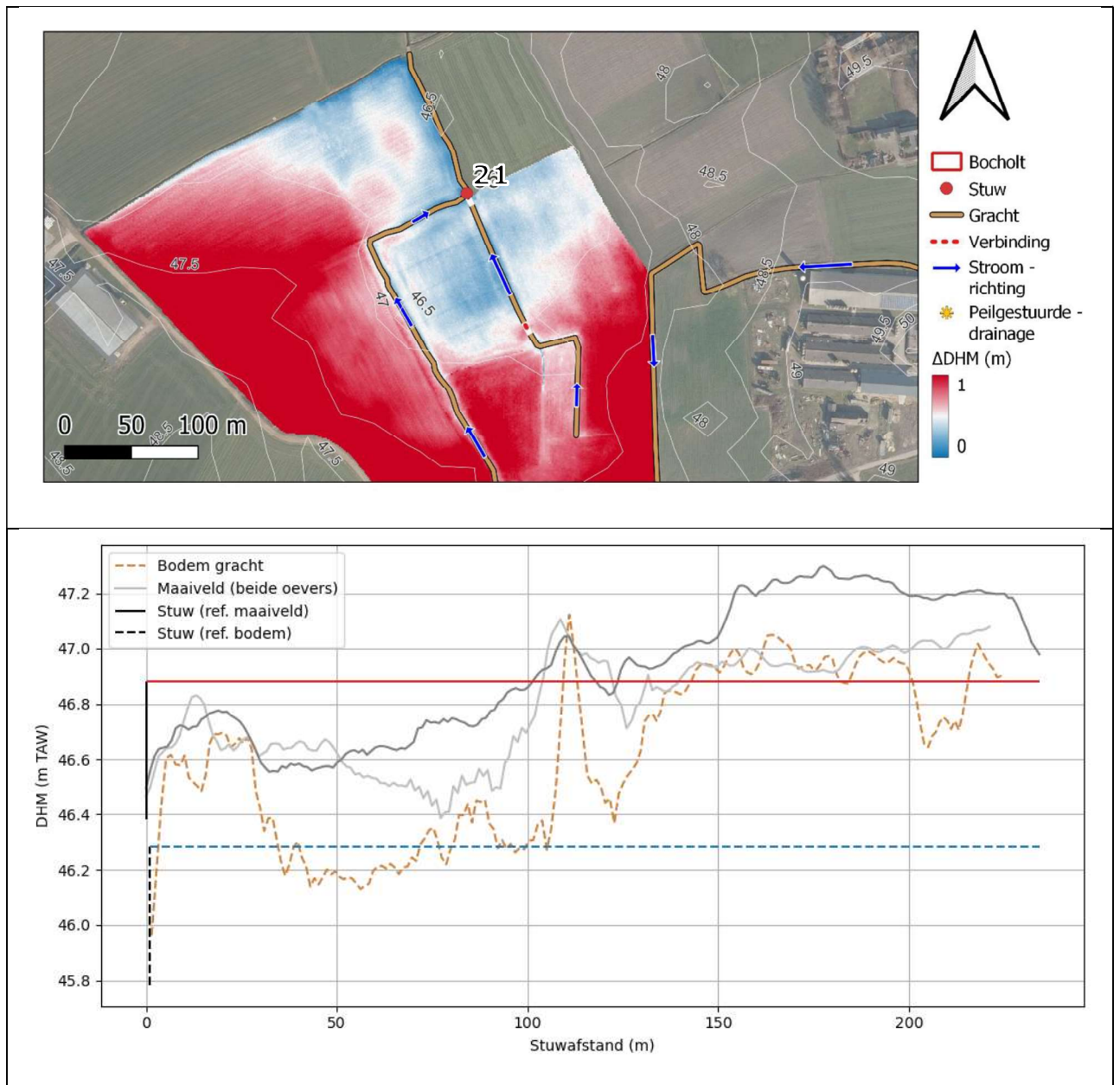




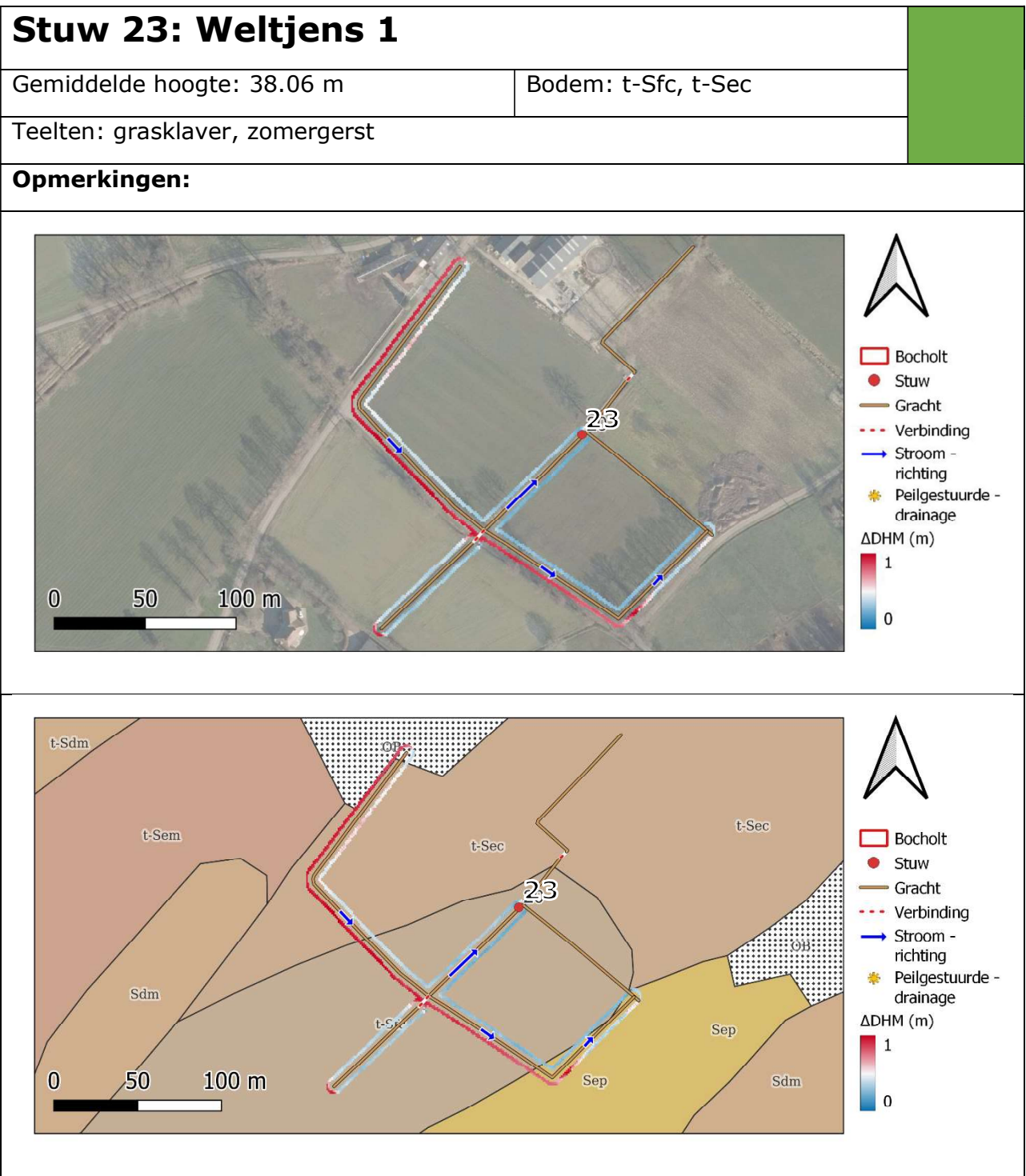


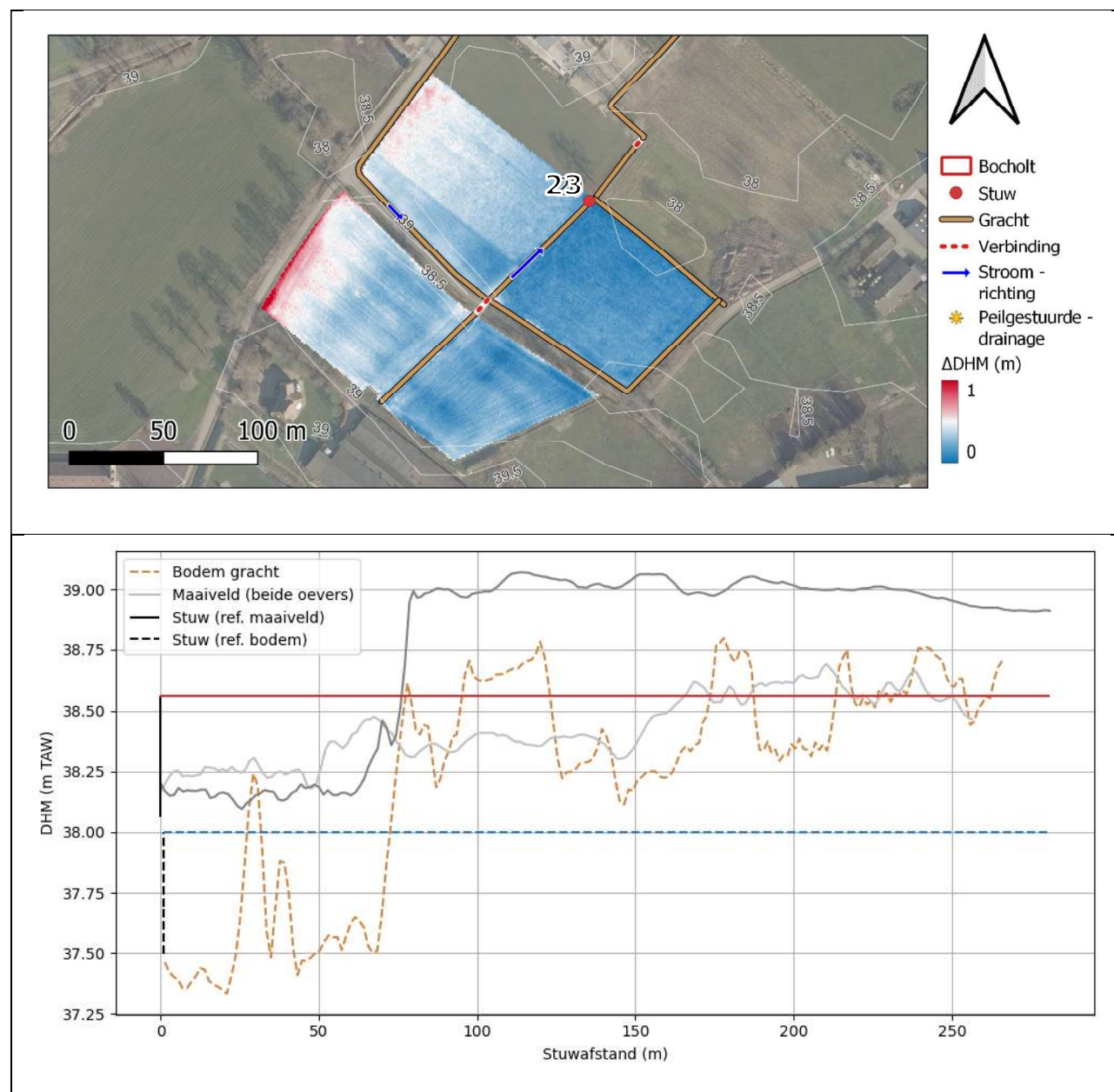


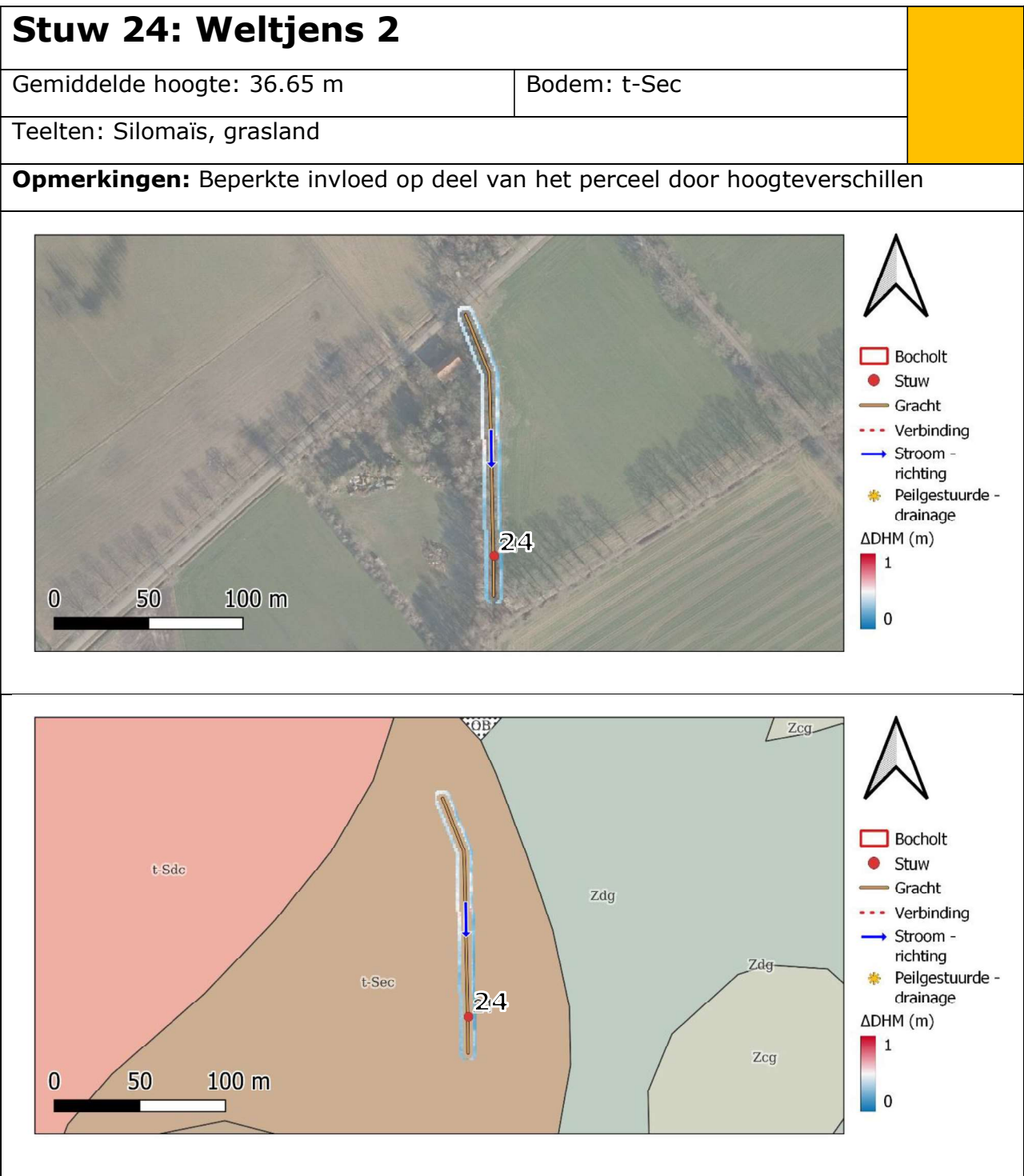


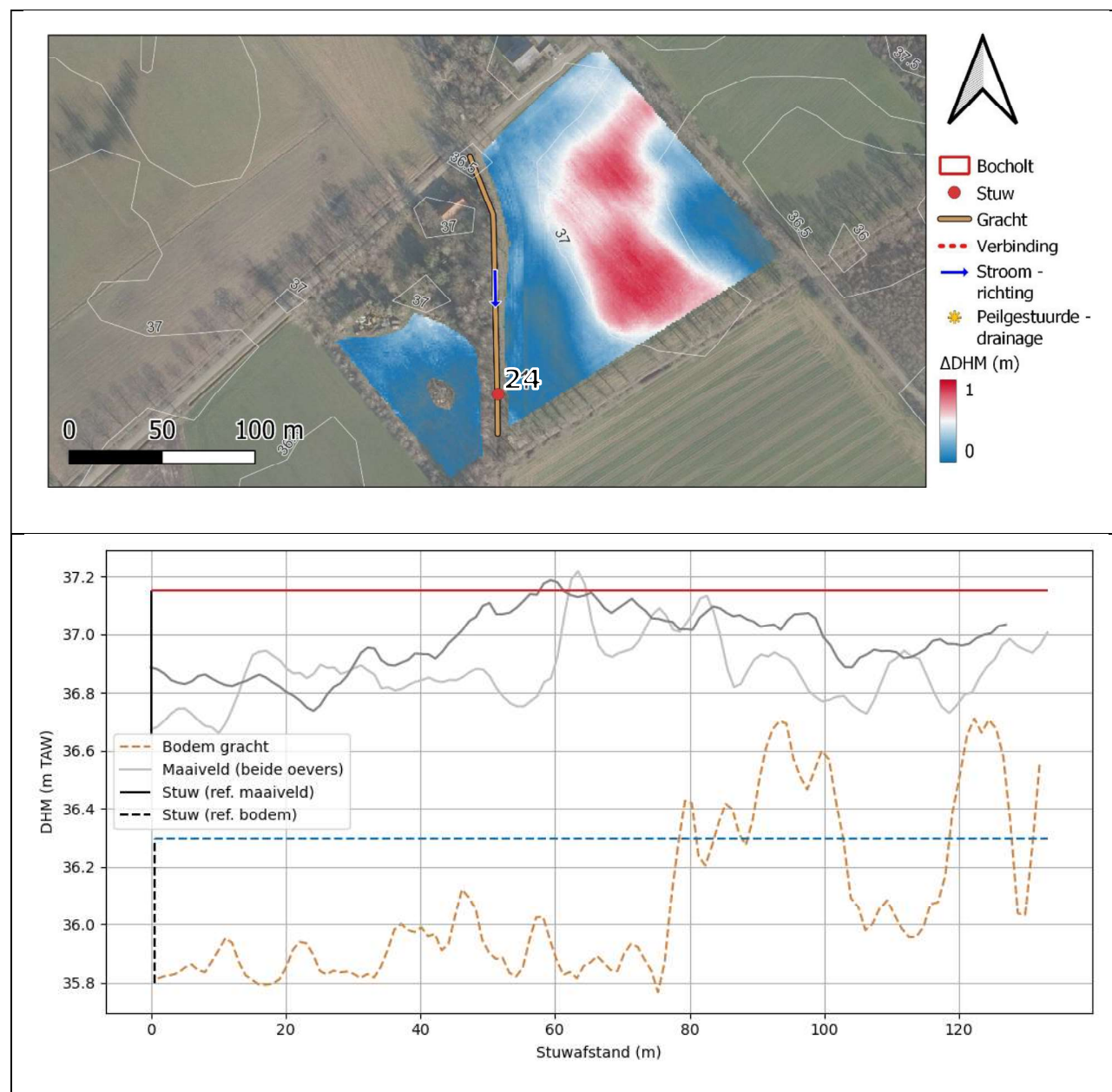


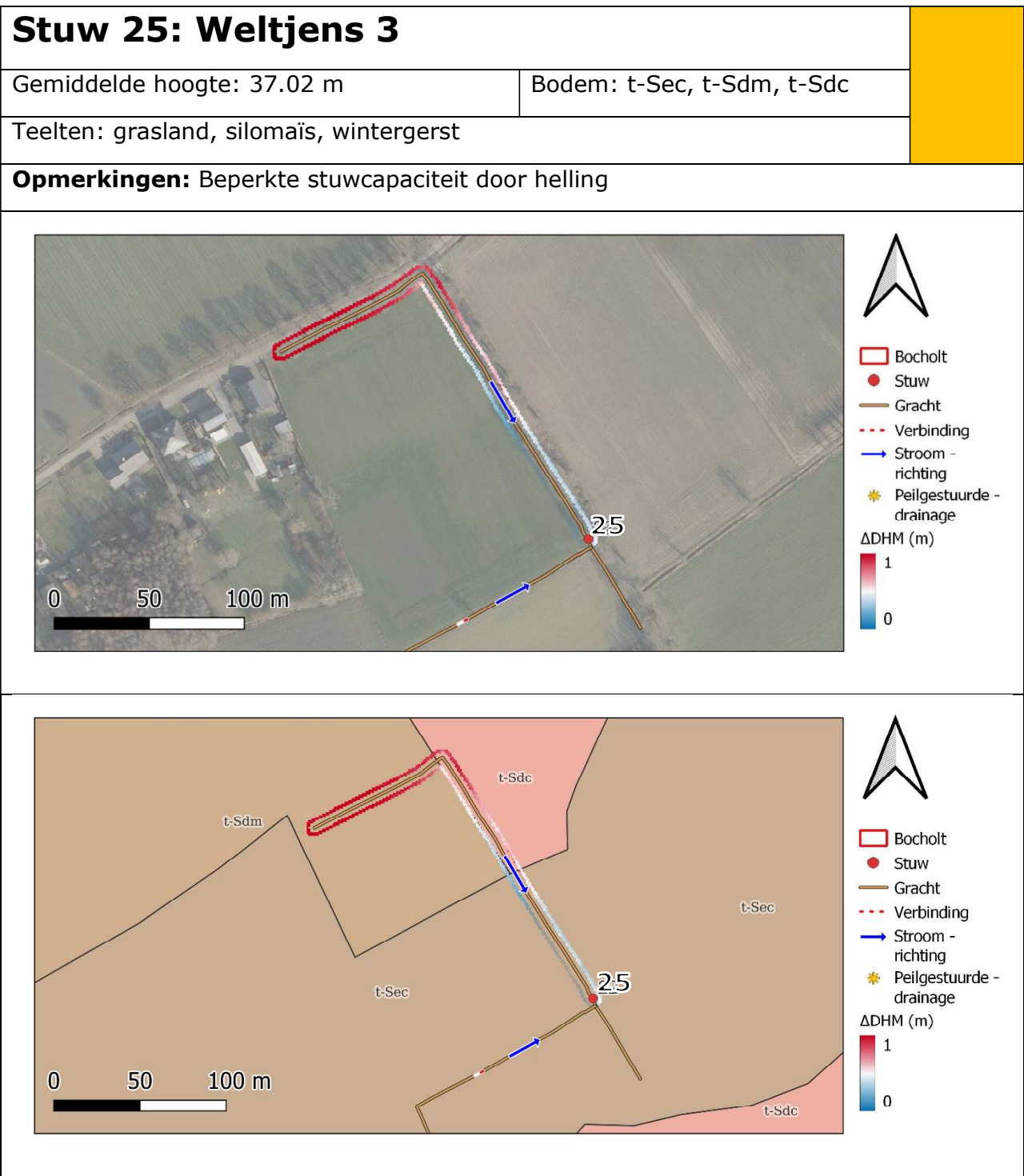


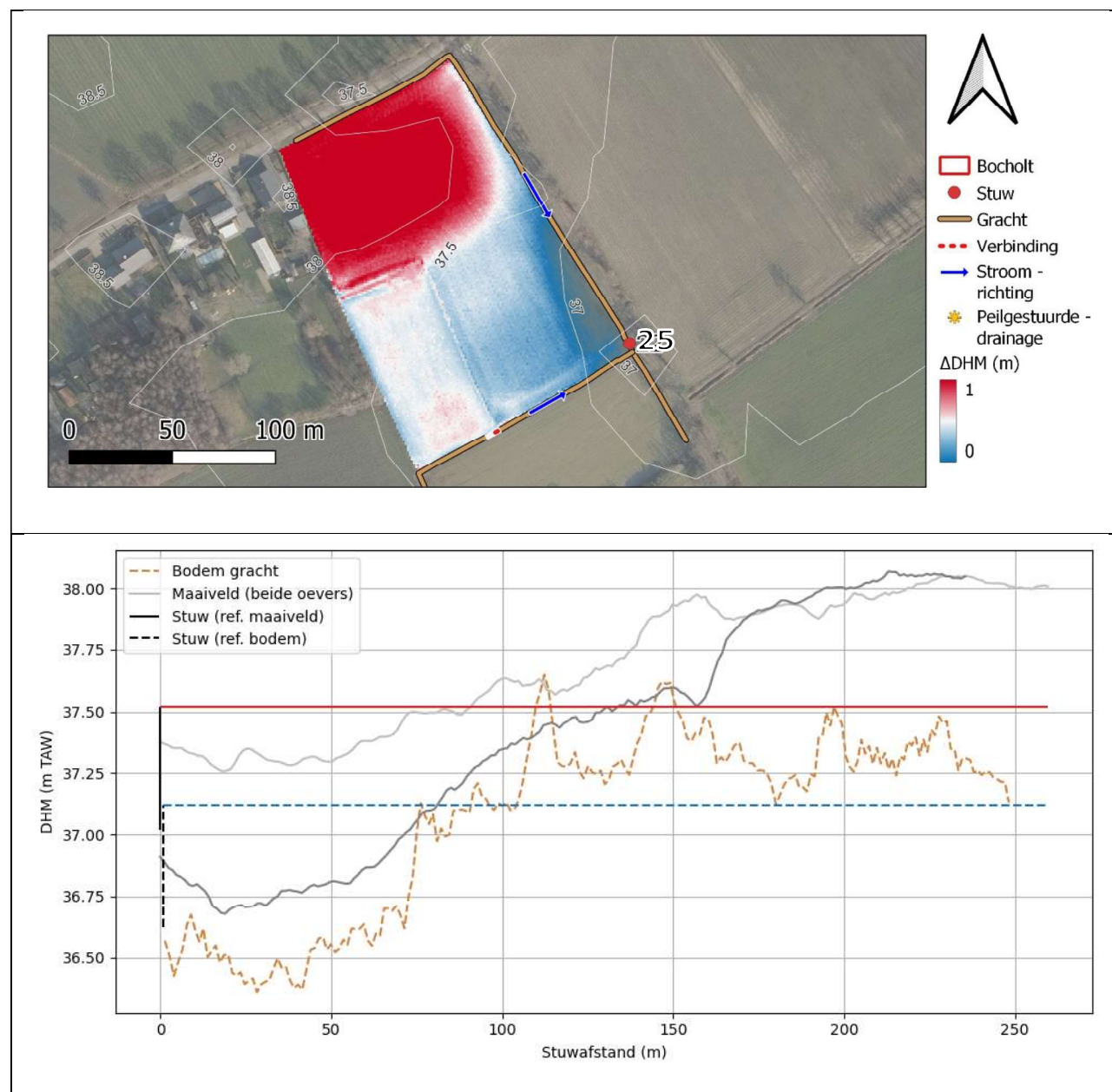


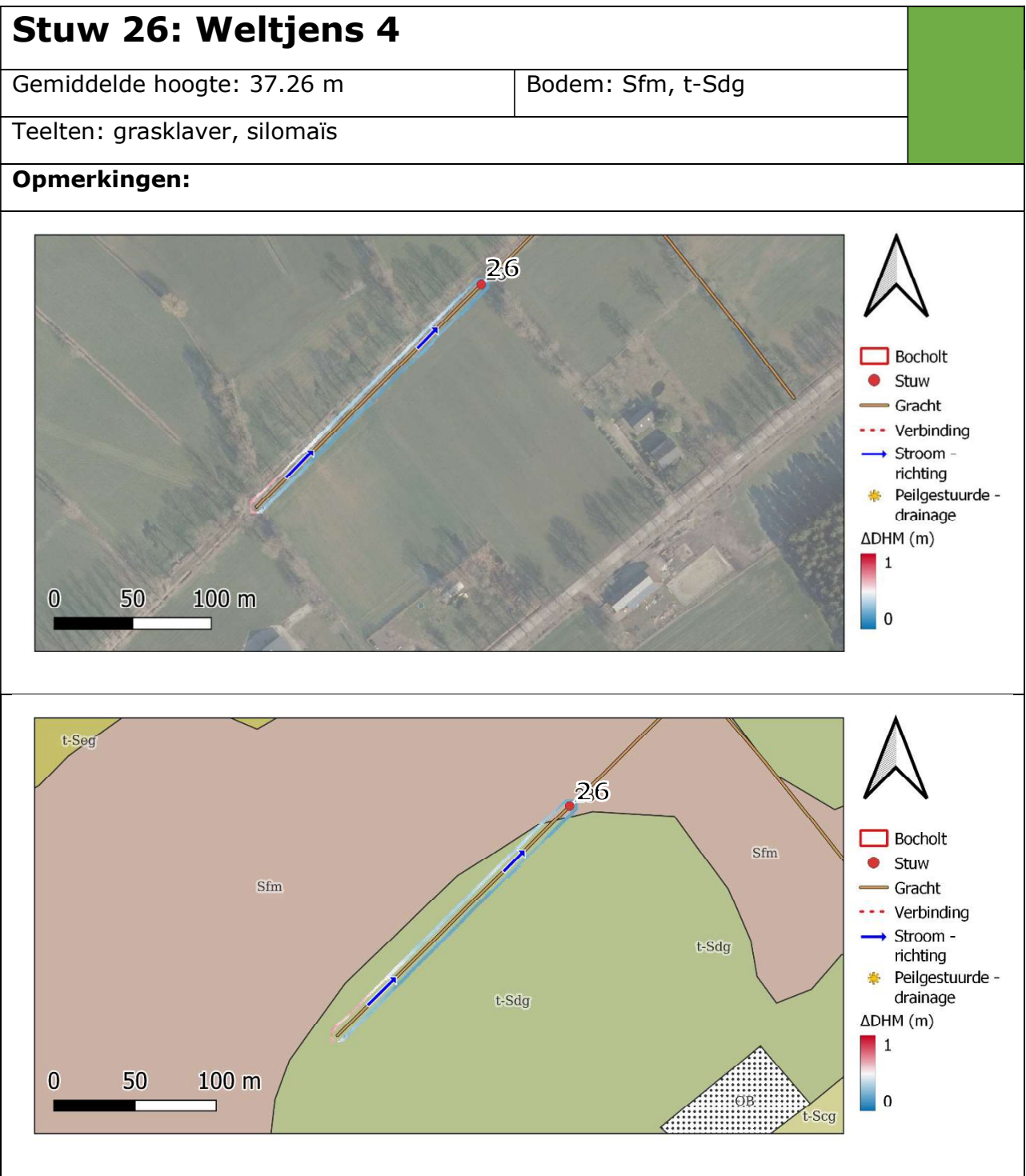


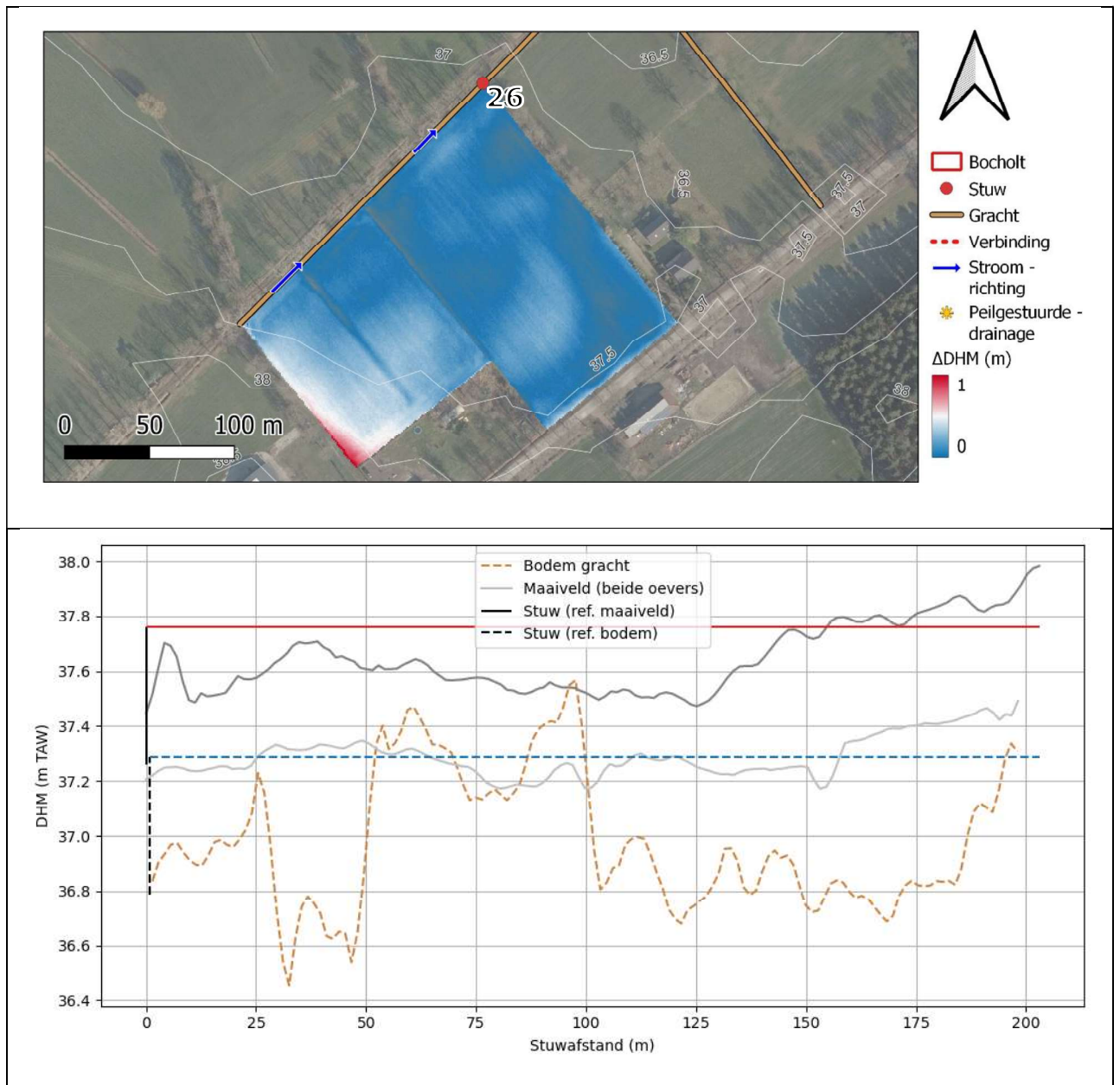






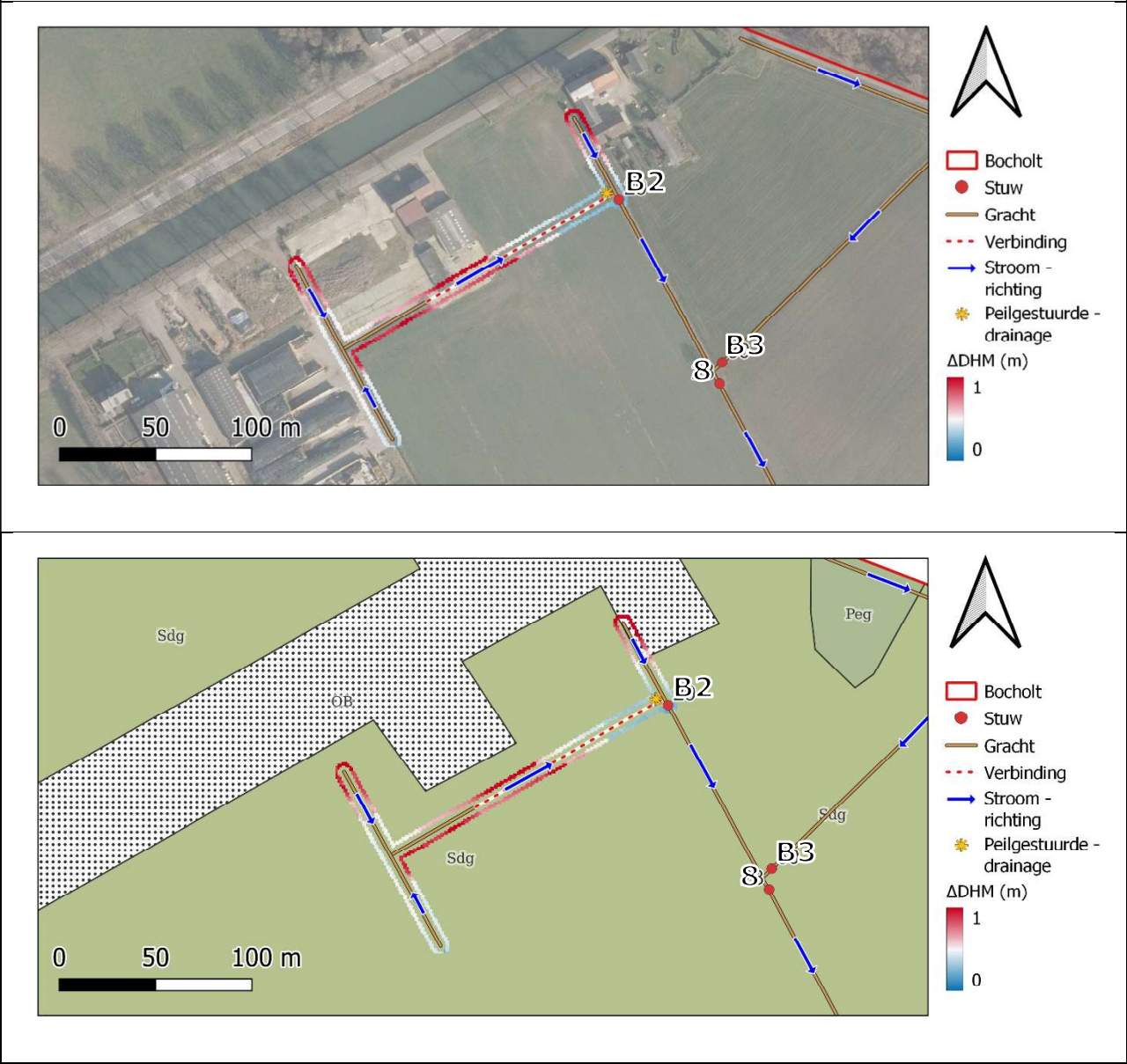


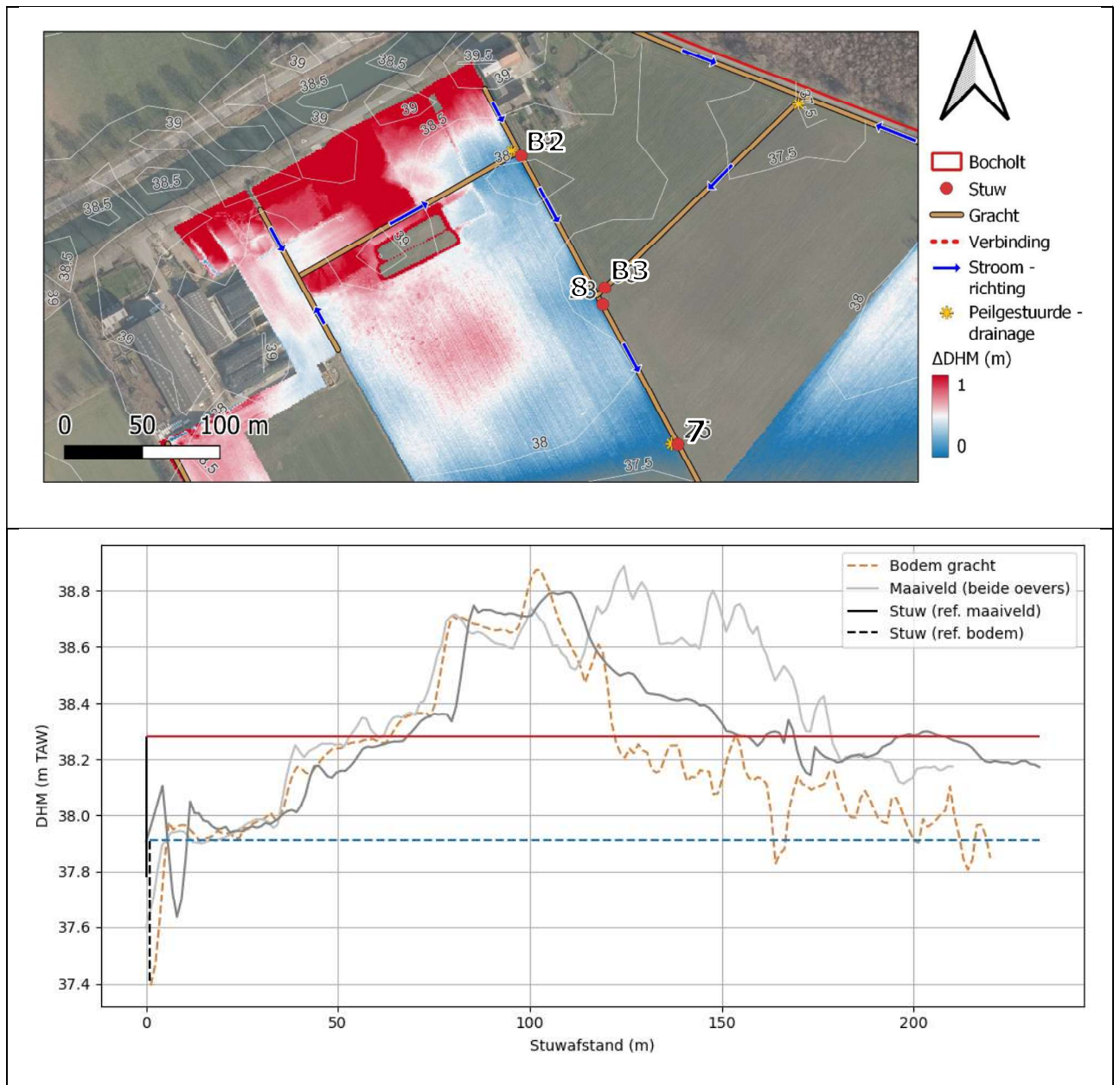




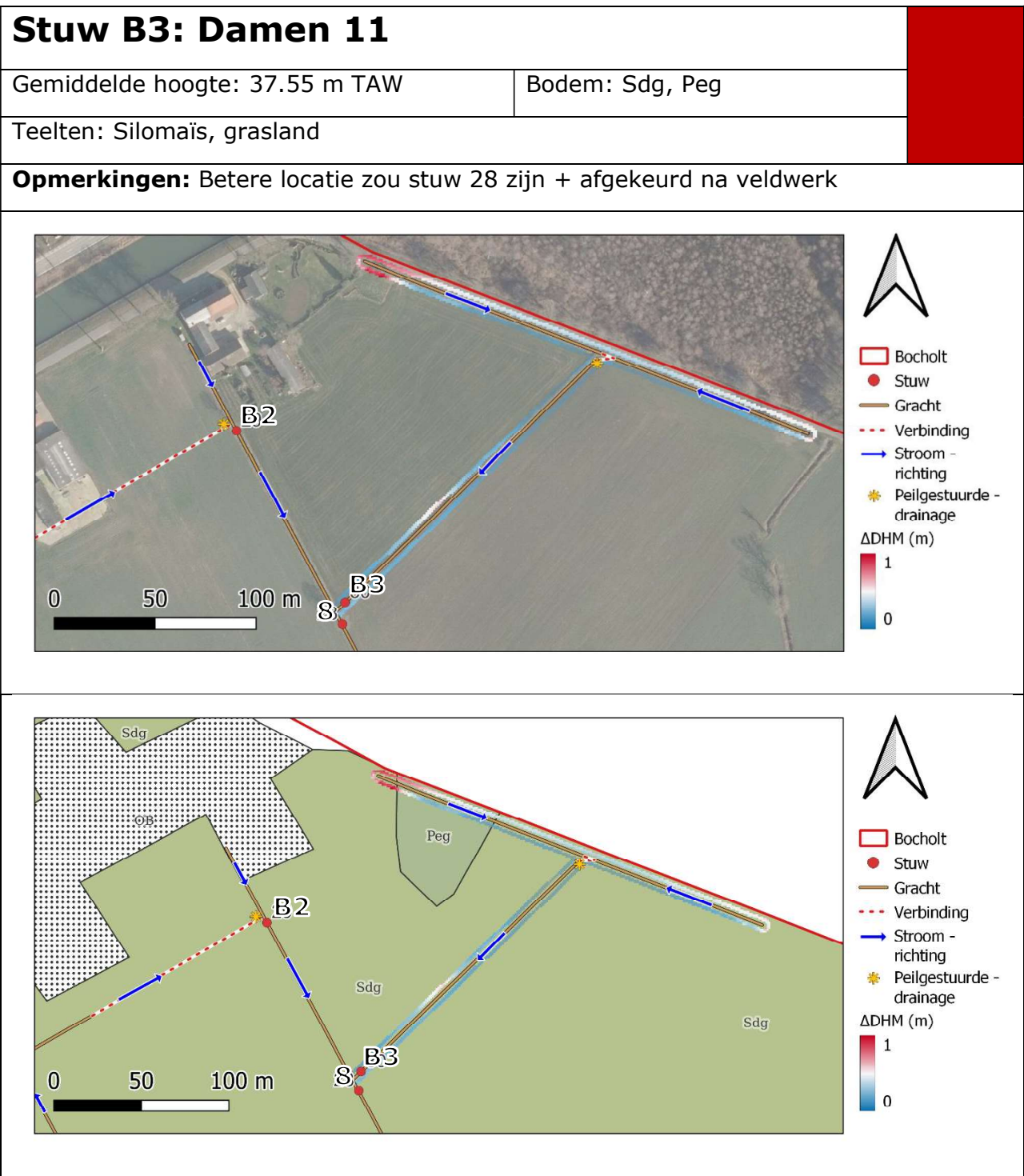
Afgewezen locaties:

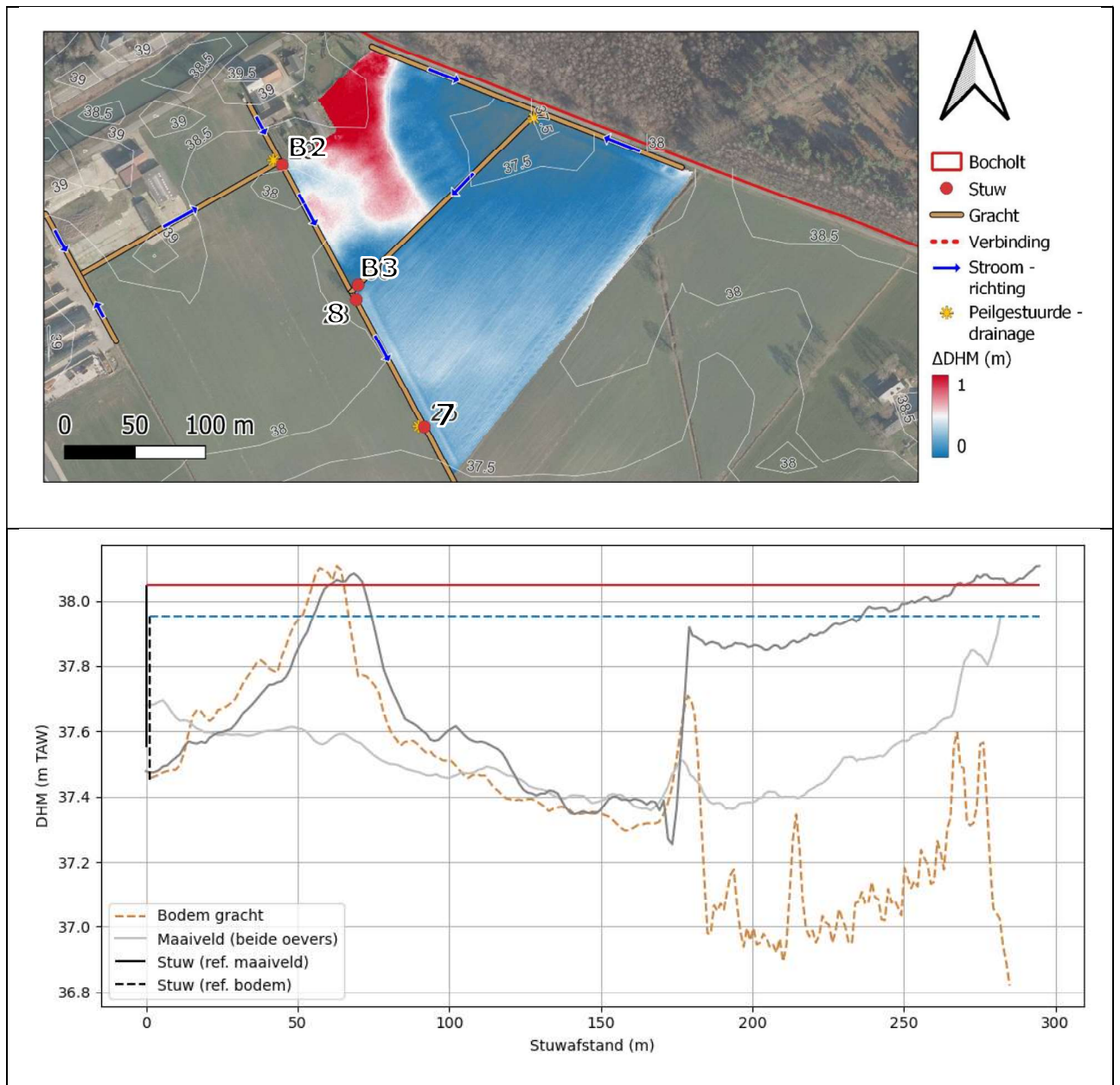
Stuw B2: Damen 10		
Gemiddelde hoogte: 37.78 m TAW	Bodem: Sdg	
Teelten: Silomaïs		
Opmerkingen: Beperkte stuwcapaciteit door helling + afgekeurd tijdens veldwerk		











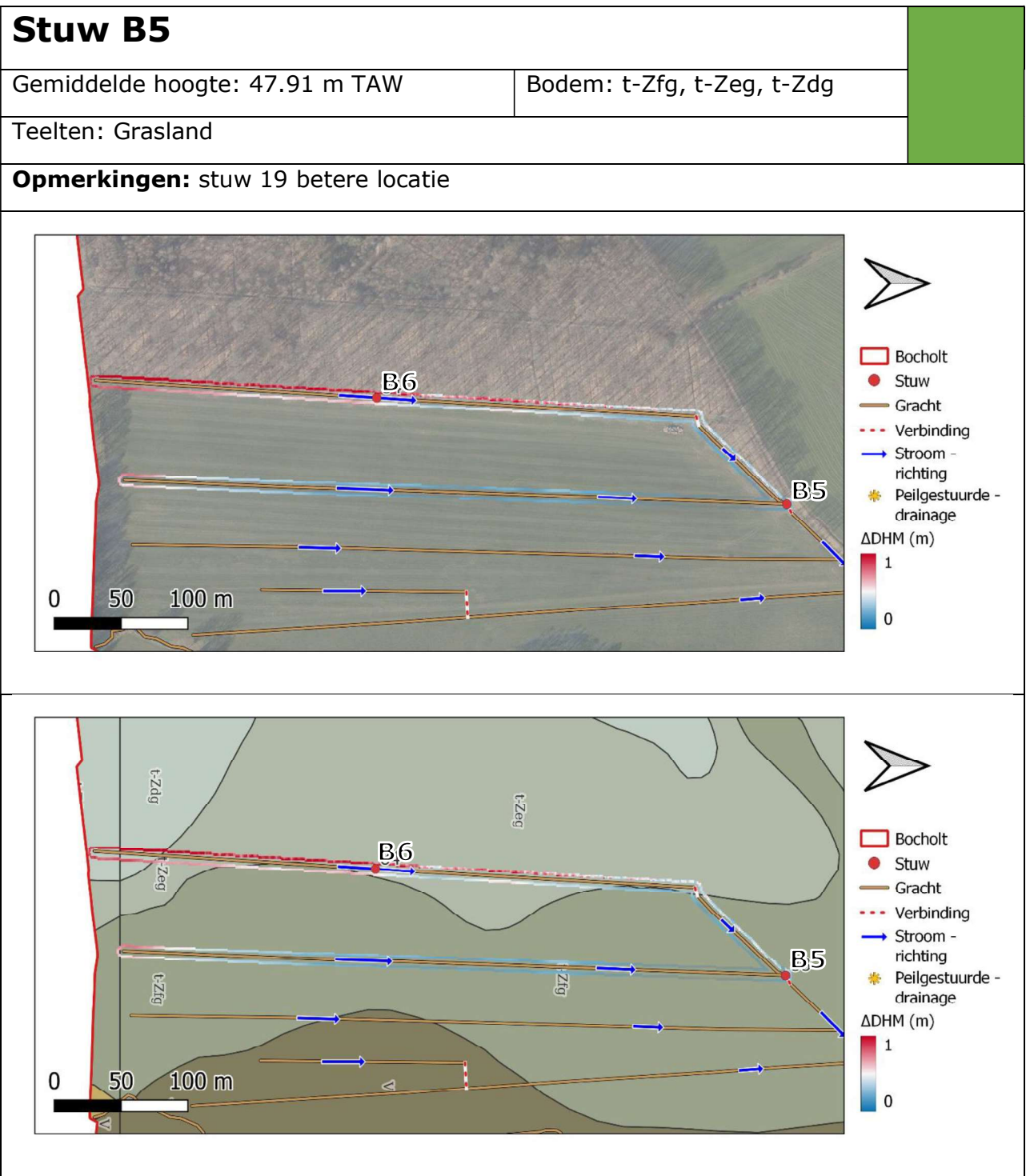


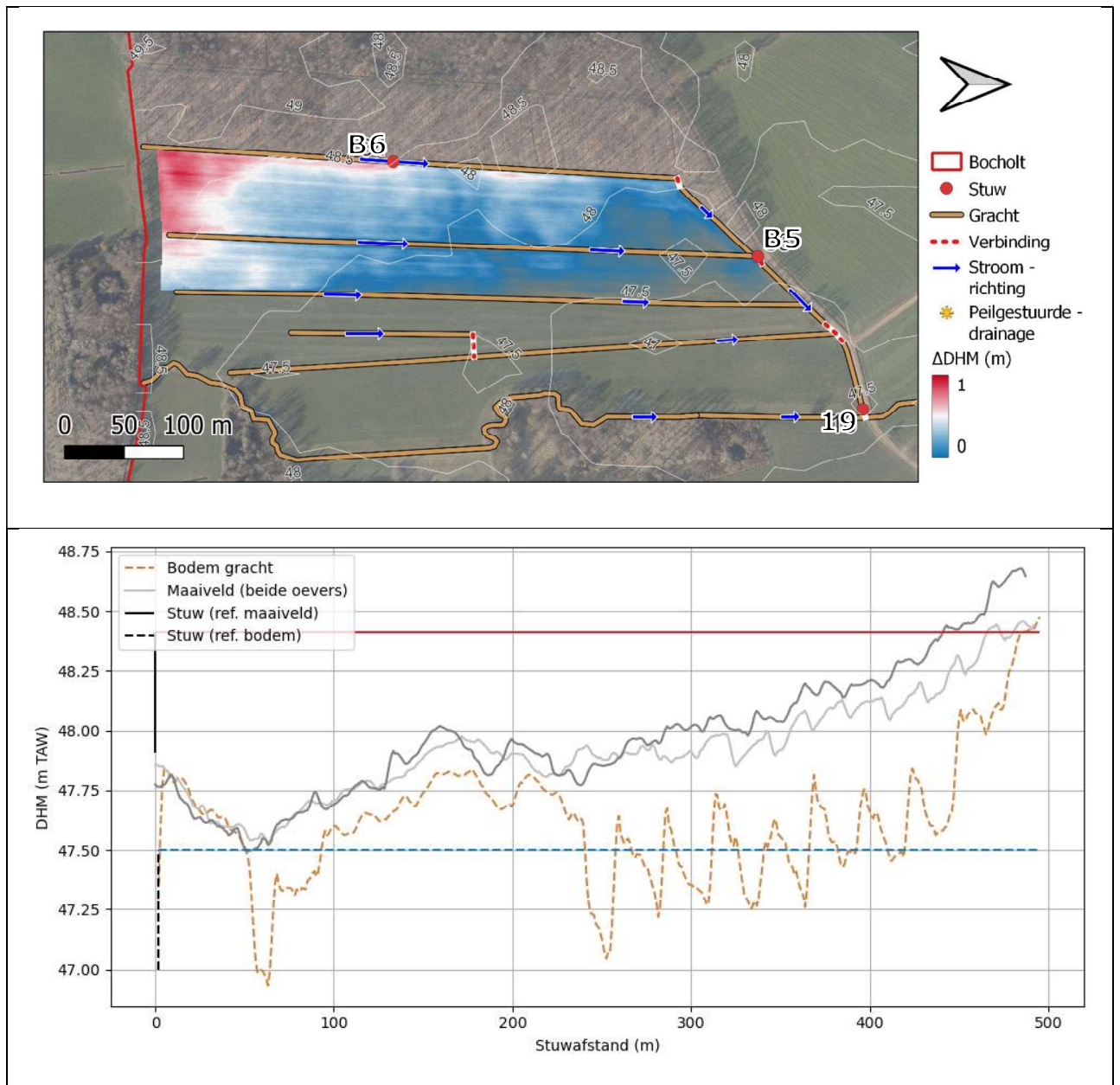
Stuw B4: Bert Keppens (zandput)

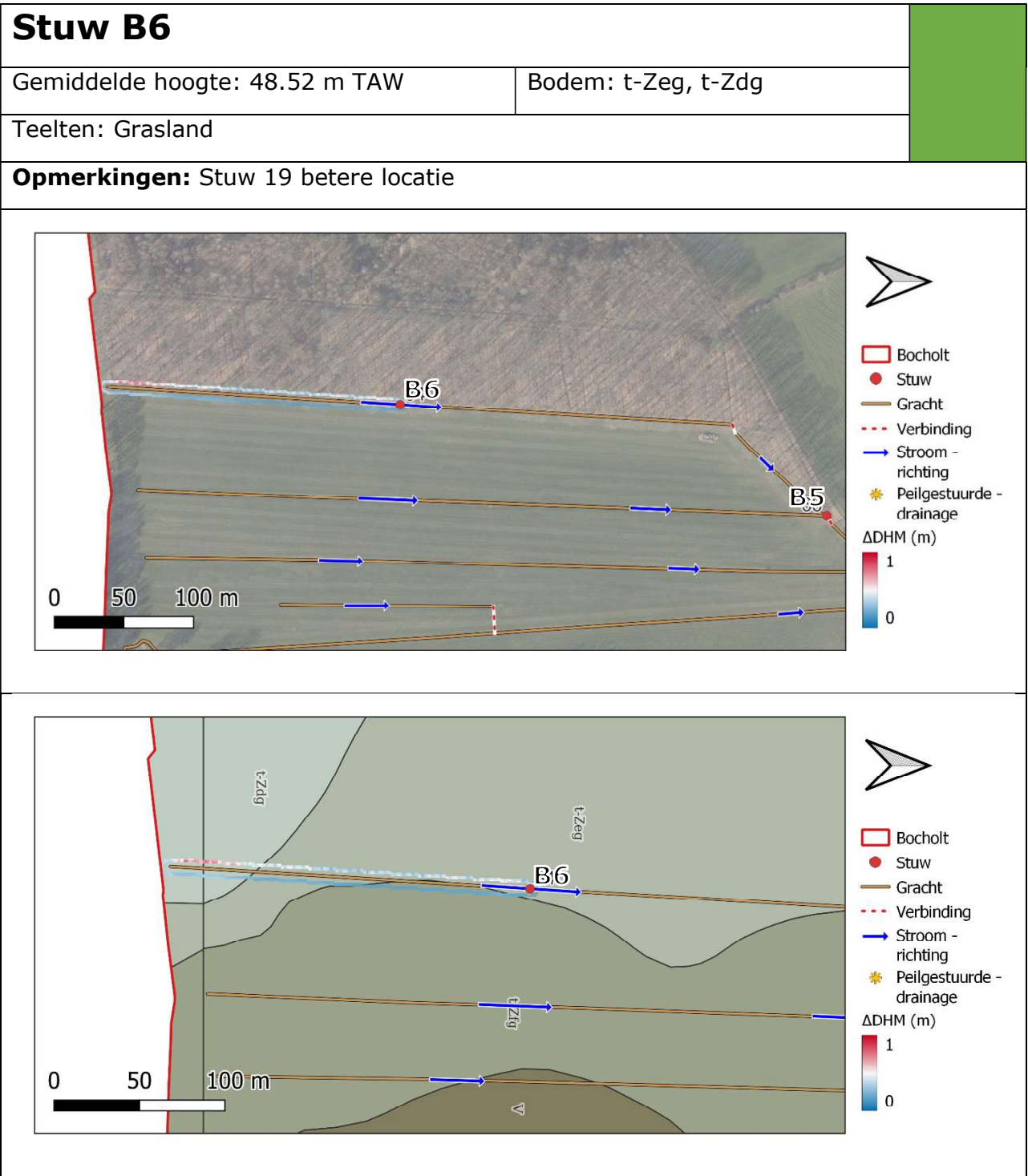
Gemiddelde hoogte: / m

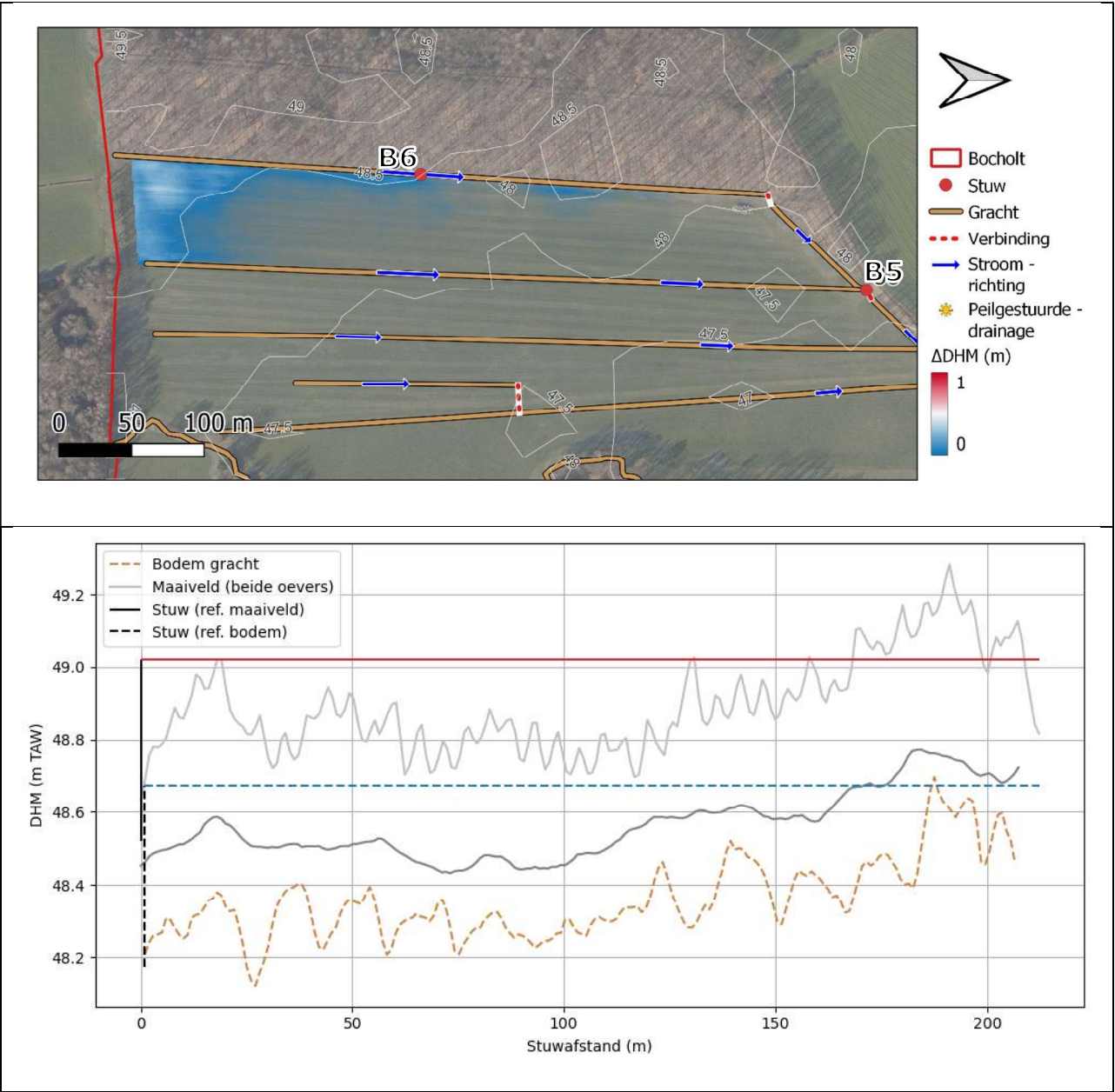
Opmerkingen: Eigendom stad Peer, onderzoeken mogelijkheid gebruik bevoeiing











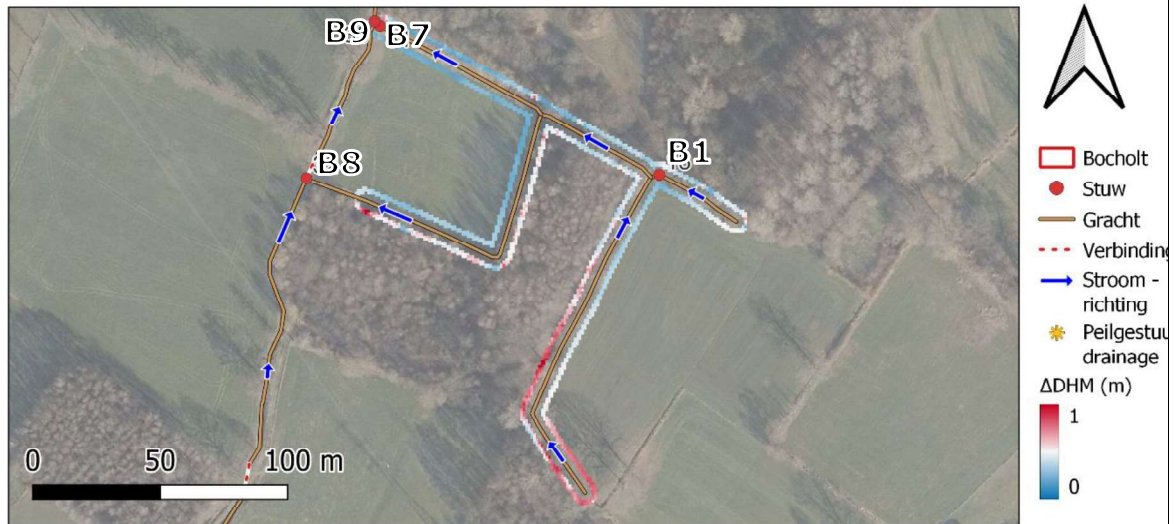
Stuw B7

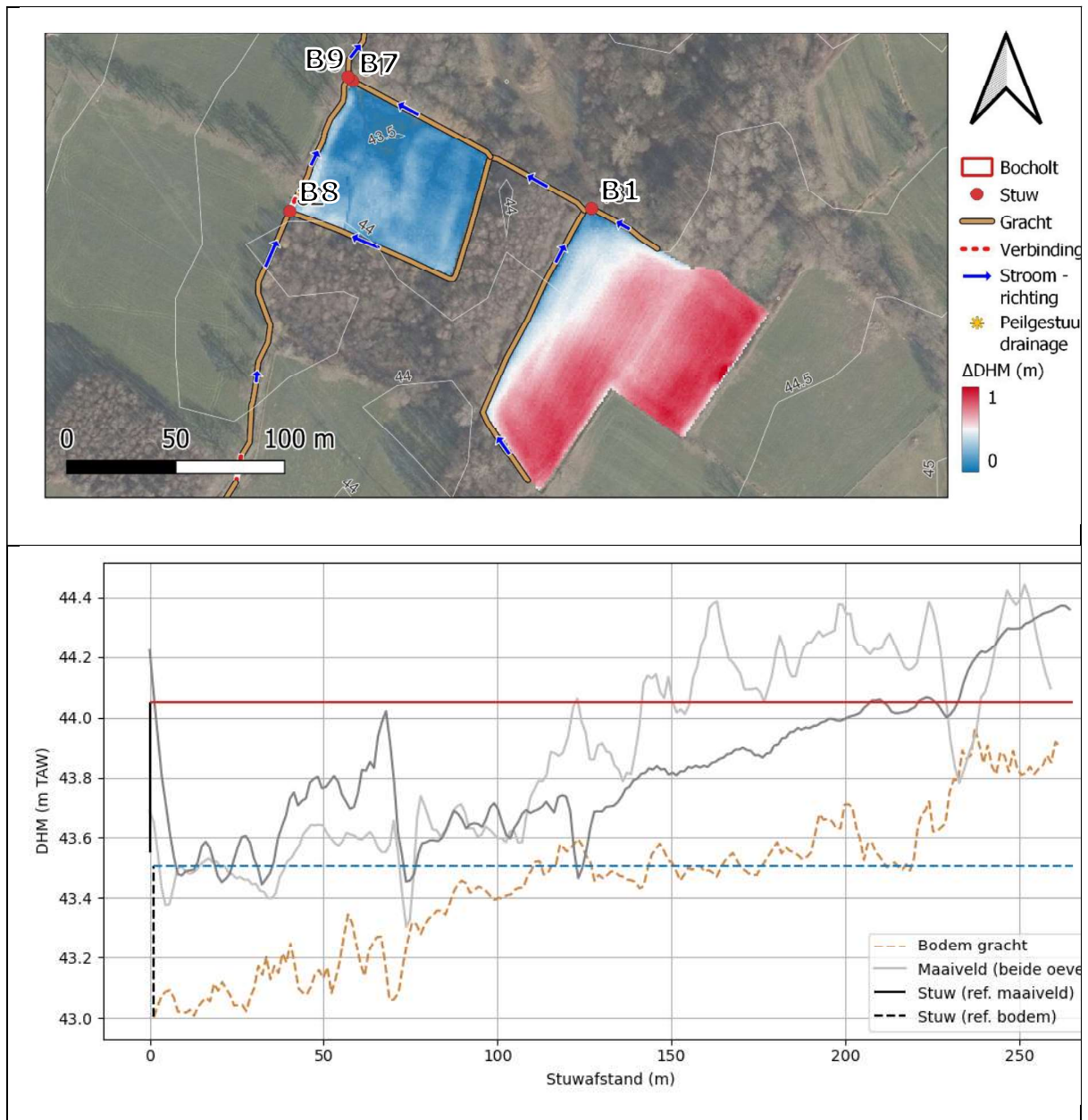
Gemiddelde hoogte: 43.55 m TAW

Bodem: t-Seg, Sfp3

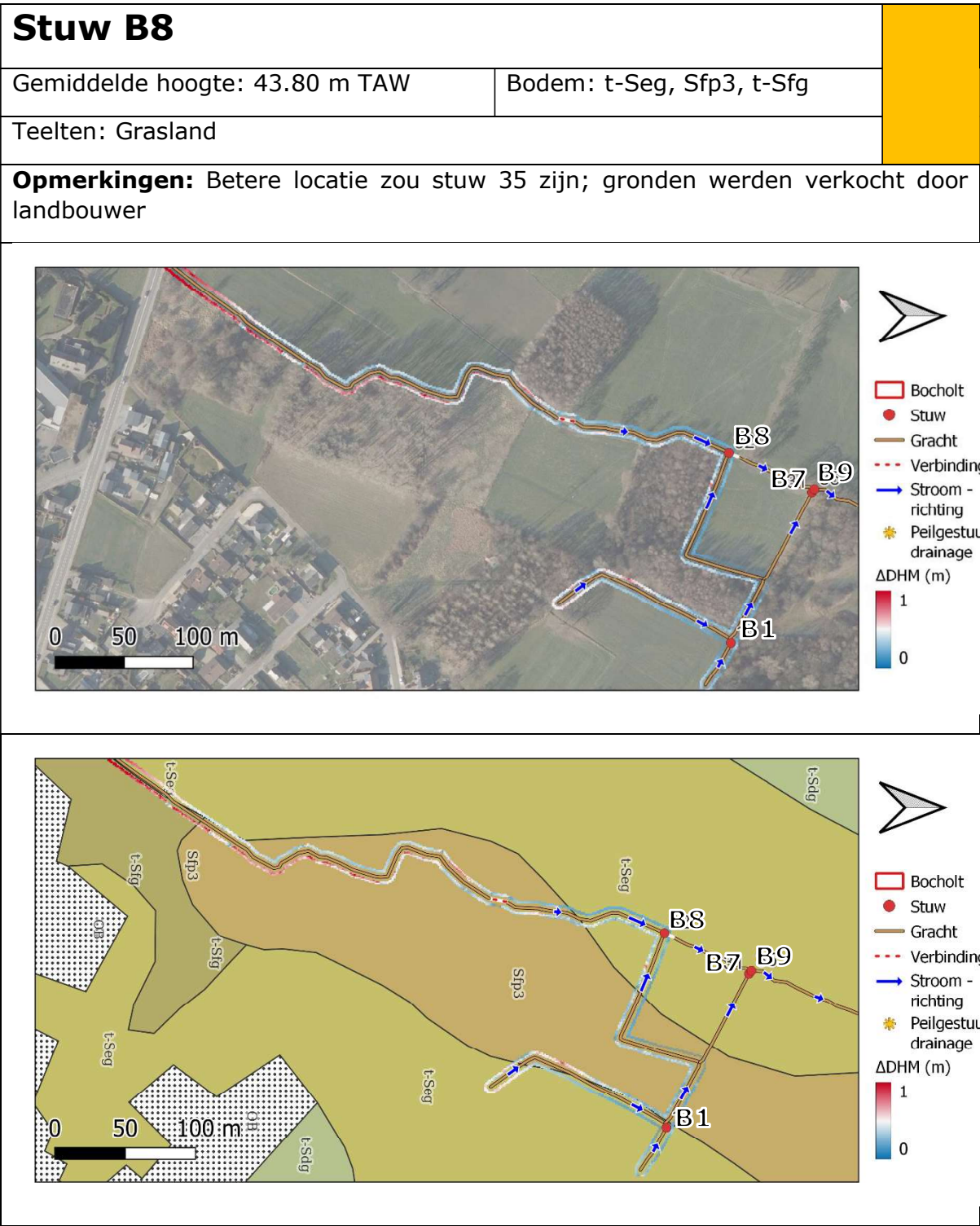
Teelten: Grasland

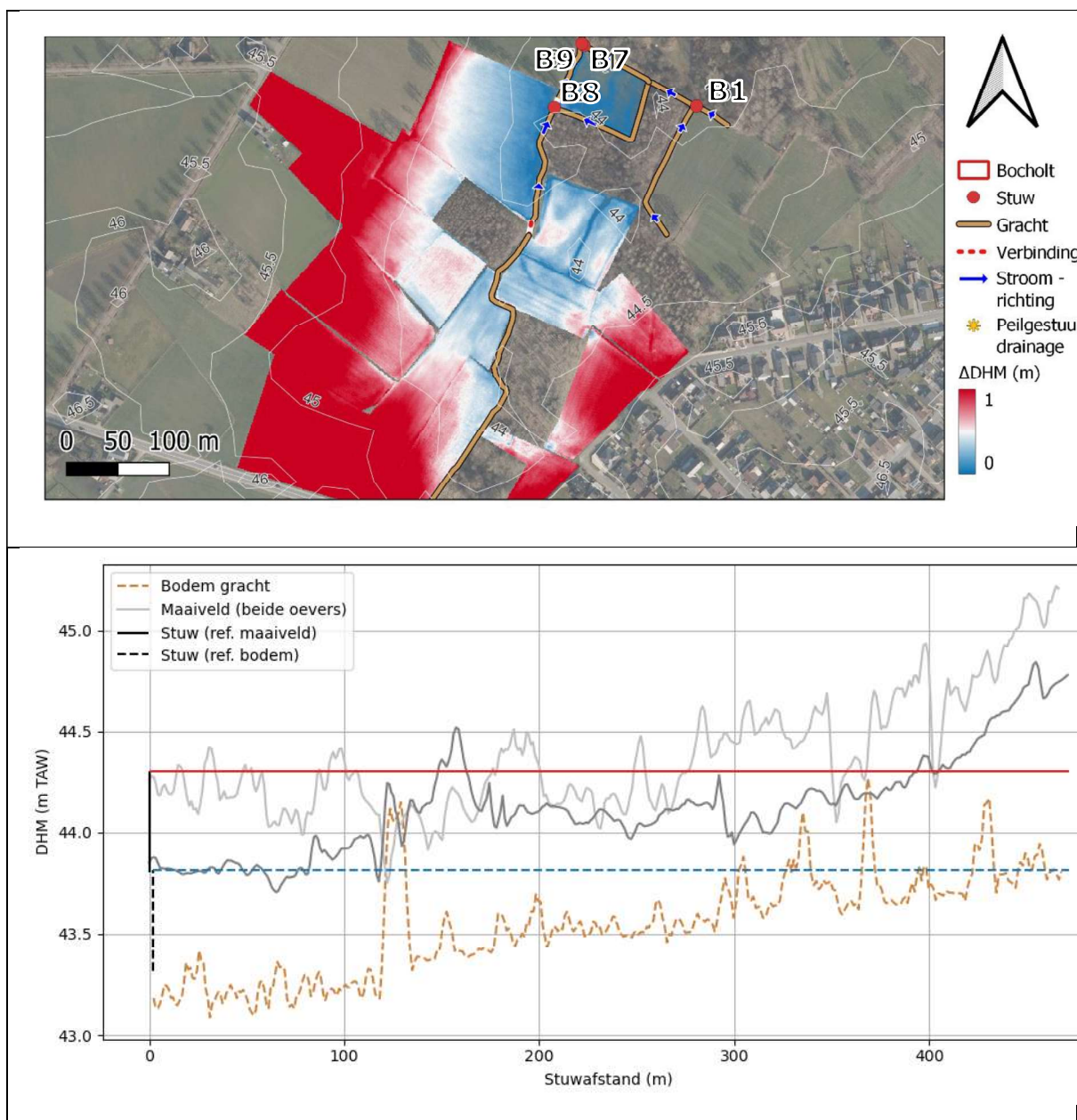
Opmerkingen: Betere locatie zou stuw 35 zijn; gronden werden verkocht door landbouwer











Stuw B9

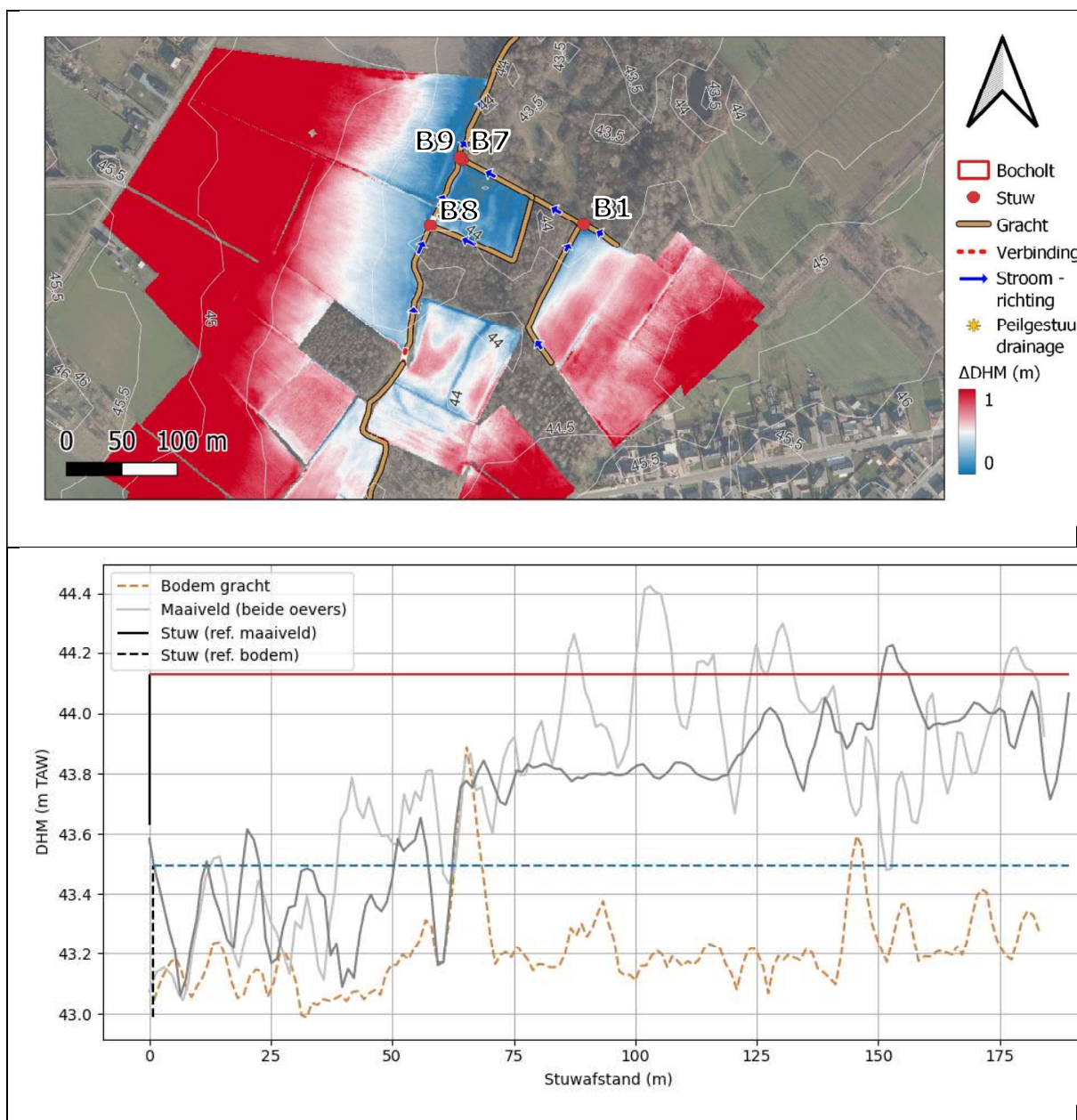
Gemiddelde hoogte: 43.63 m TAW

Bodem: t-Seg, Sfp3

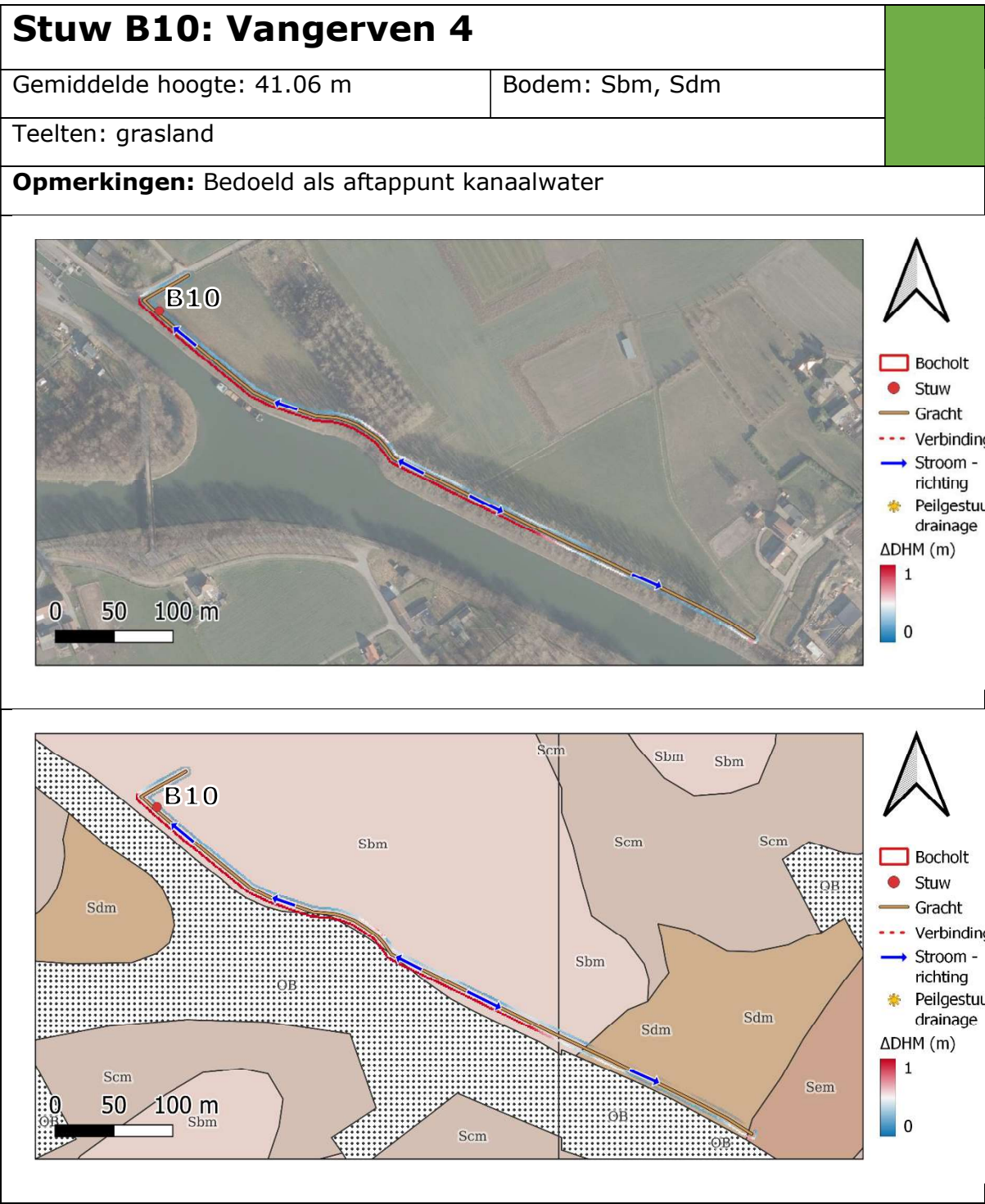
Teelten: Grasland

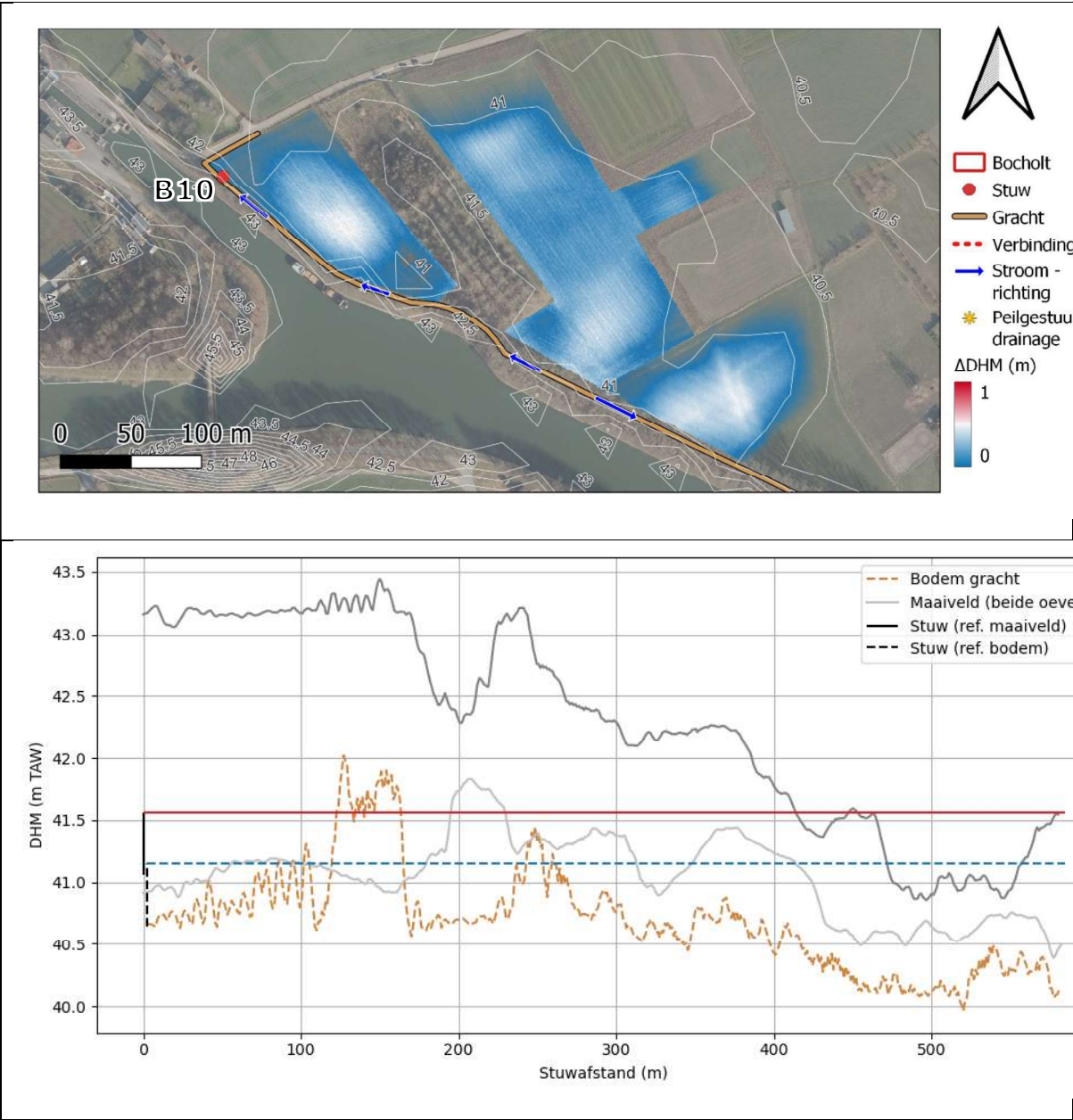
Opmerkingen: gronden werden verkocht door landbouwer

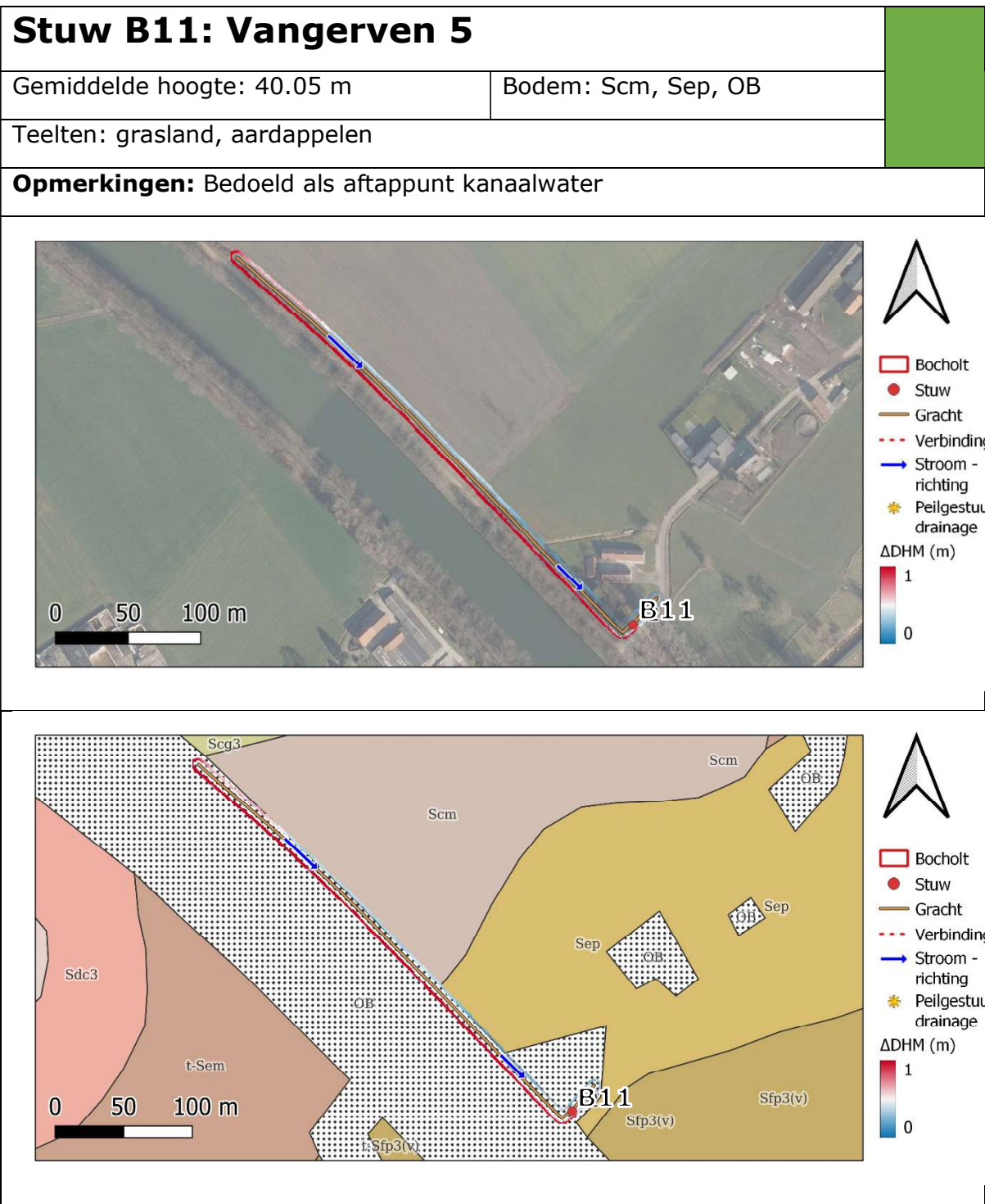


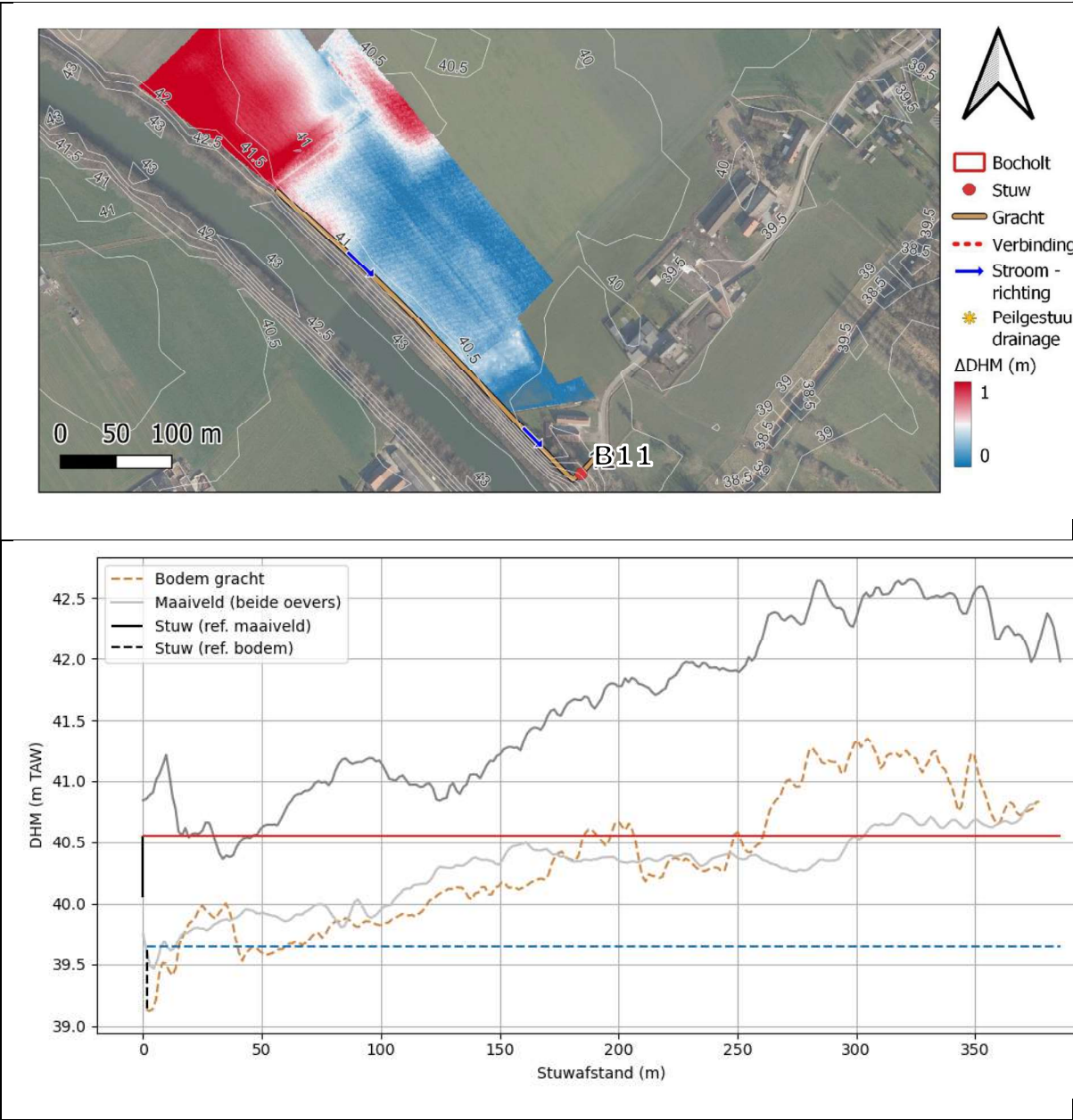












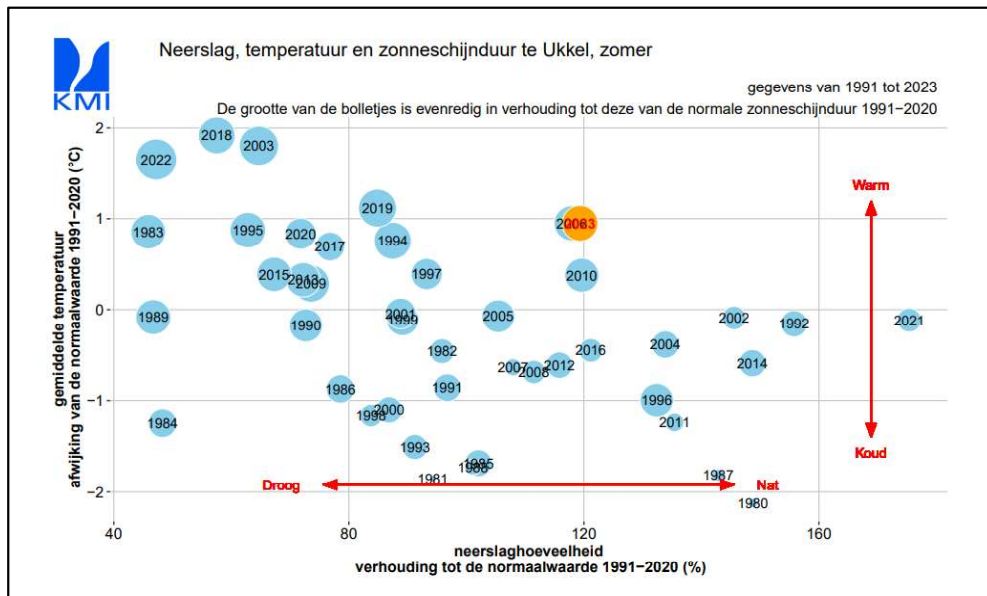
10.2 Overzicht peilbuizen BDB

Elke peilbuis bestaat uit een stijgbuis en een filterbuis die elkaar opvolgen in de diepte. De stijgbuis bevindt zich bovenop de filterbuis. Er werd gebruik gemaakt van een niet-snijdende peilbuis. Indien de filter droog komt te staan kan er geen meting worden uitgevoerd omdat het grondwater onder de peilbuis zit. De reeds bestaande grondwaterstanden van Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV) werden geraadpleegd om een schatting te bekomen van de diepste grondwaterstanden. Dit gaf een idee hoe diep de peilbuizen moesten komen. De geïnstalleerde peilbuizen zijn afgedekt met een putdeksel en straatsteen. Hierdoor is de peilbuis goed afgeschermd en kan de landbouwer vrij over z'n veld maaien of rijden.

Tabel A 1: Overzichtstabel van de peilbuizen geïnstalleerd door de Bodemkundige Dienst in Bocholt.

Stuw	Peilbuis	Lat	Lon	Diepste grondwater- stand DOV	Locatie tov. stuw	Afstand langsheen gracht vanaf stuw (m)	Onderkant filter (m- mv)	Lengte filter (cm)
12	12.1	51.18478	5.49496	/	Stroomopwaarts	5	2.8	200
	12.2	51.1849	5.49505	/	Stroomafwaarts	-10	2.8	200
	12.3	51.18481	5.49479	/	Loodrecht op gracht	5	2.8	200
	12.4	51.18138	5.49206	/	Grote afstand van stuw	455	2.8	200
14	14.1	51.20201	5.57221	2.04 m-mv	Stroomopwaarts	30	2.8	200
	14.2	51.20192	5.57246	2.04 m-mv	Stroomafwaarts	-30	2.8	200
	14.3	51.20300	5.57267	2.04 m-mv	Loodrecht op gracht	30	2.8	200
	14.4	51.20402	5.57273	2.04 m-mv	Loodrecht op gracht	30	2.8	200
19	19.1	51.18335	5.50112	/	Stroomopwaarts	5	2.8	200
	19.2	51.18345	5.50143	/	Stroomafwaarts	-20	2.8	200
	19.3	51.18239	5.50109	/	Loodrecht op gracht	5	1.8	100
	19.4	51.18132	5.50106	/	Loodrecht op gracht	5	1.8	100
26	26.1	51.10228	5.60948	2.20 m-mv	Stroomopwaarts	5	2.8	200
	26.2	51.19242	5.60973	2.20 m-mv	Stroomafwaarts	-20	2.8	200
	26.3	51.19160	5.61035	2.20 m-mv	Loodrecht op gracht	5	3	200
	26.4	51.19103	5.61105	2.20 m-mv	Loodrecht op gracht	5	3	200
	26.5	51.19108	5.60748	2.20 m-mv	Grote afstand van stuw	200	3	200
	26.6	51.19036	5.60835	2.20 m-mv	Grote afstand van stuw	200	3	200

10.3 Klimatologische vergelijking zomers sinds 1991



Figuur A 1: Klimatologische vergelijking van de zomers (juni t.e.m. augustus) sinds 1991 voor Ukkel op basis van temperatuur, neerslag en zonneshijnduur. Uit de gegevens blijkt dat de zomer van '23 natter was dan normaal en de zomer van '22 droger dan normaal. Bron: KMI, 2023.

10.4 Parameters bodemwaterbalans

Perceel 1; stuw 12

Tabel A 2: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 1. Elshoven (stuw 12).

Parameter	Waarde
Periode	1/10/22 – 18/10/23
Stuw?	Nee
Type	Grasland
Bodem	Zfg
fc	0.2
wp	0.02
vkrit	0.16
fsat	0.49
ksat	5.44E-06 m/s
g0	44835 (1/10/22)
L_tot	382 d
Kcb	1
Zr_min	0.8 m
Zr_max	0.8 m
Gvj	65 cm - mv
Gnj	115 cm - mv

Perceel 2; stuw 19

Tabel A 3: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 2. Winterdijkweg (stuw 19).

Parameter	Waarde I	Waarde II
Periode	1/10/22 – 03/04/23	04/04/23 – 18/10/23
Stuw?	Nee	Ja
Type	Grasland	Maïs
Bodem	Zfg	Zfg
fc	0.2	0.2
wp	0.02	0.02
vkrit	0.16	0.16
fsat	0.49	0.49
ksat	1.1574E-05 m/s	1.1574E-05 m/s
g0	44835 (1/10/22)	45020 (04/04/23)
L_ini	-	30 d
L_dev	-	40 d
L_mid	-	77 d
L_late	-	50 d
L_tot	185 d	197 d
Kcb_ini	1	0.15
Kcb_mid	1	1.10
Kcb_end	1	1
Zr_min	0.5 m	0.2
Zr_max	0.5 m	0.55
Gvj	70 cm - mv	60 cm - mv
Gnj	70 cm - mv	60 cm - mv

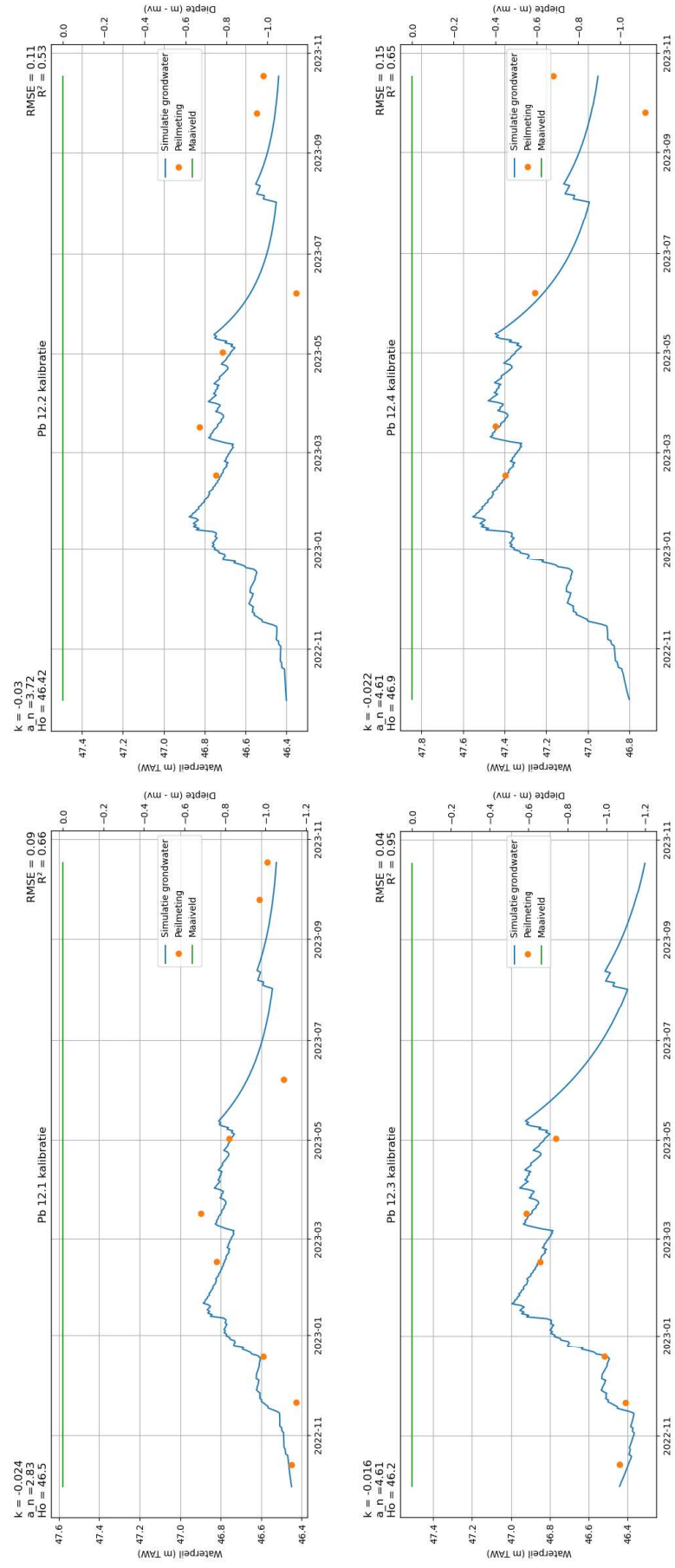
Perceel 4; stuw 26

Tabel A 4: Overzicht van de input parameters van het bodemwaterbalansmodel voor perceel 4. Weerterweg (stuw 26).

Parameter	Waarde
Periode	1/10/22 – 18/10/23
Stuw?	Nee (stuw na plaatsing steeds open)
Type	Grasland
Bodem	Sdg
fc	0.24
wp	0.03
vkrit	0.2
fsat	0.44
ksat	5.44E-06 m/s
g0	44835 (1/10/22)
L_tot	382 d
Kcb	1
Zr_min	0.8 m
Zr_max	0.8 m
Gvj	80 cm - mv
Gnj	160 - mv

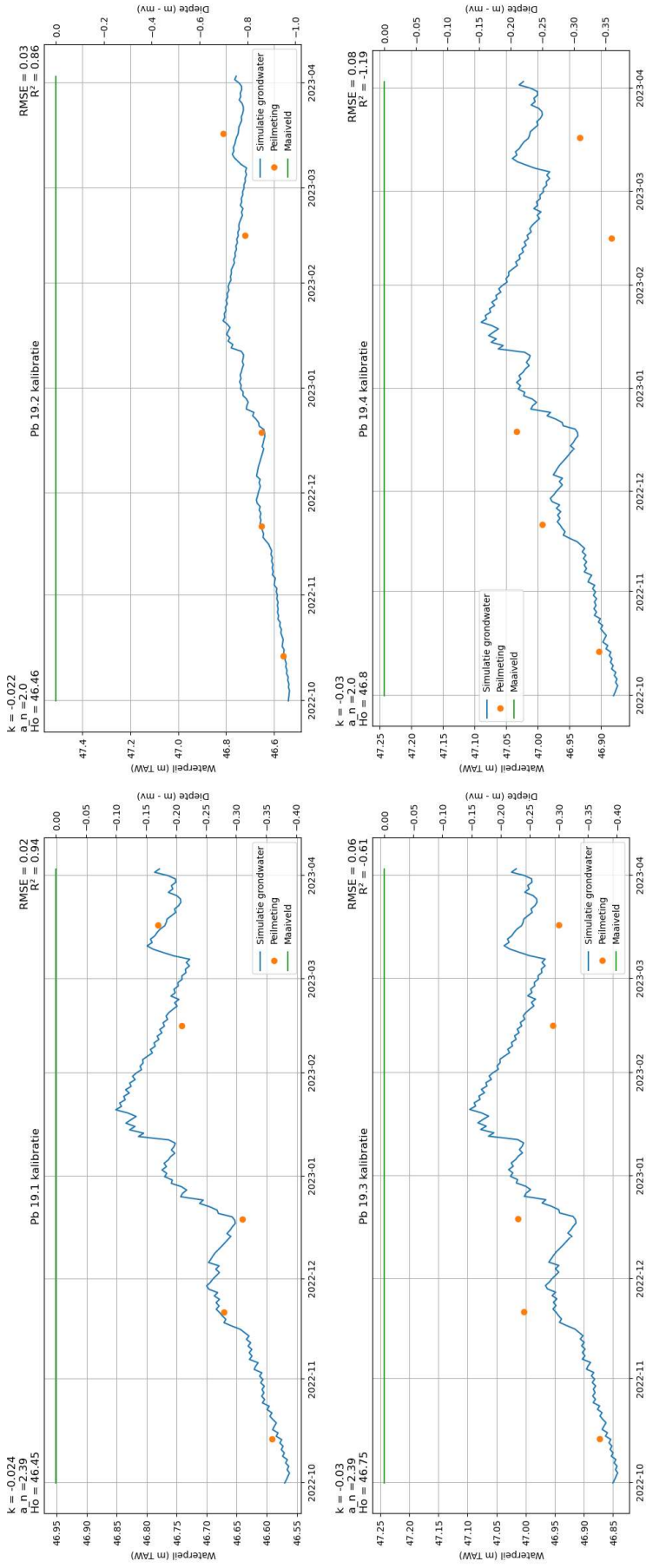
10.5 Kalibraties P&P

Perceel 1; stuw 12



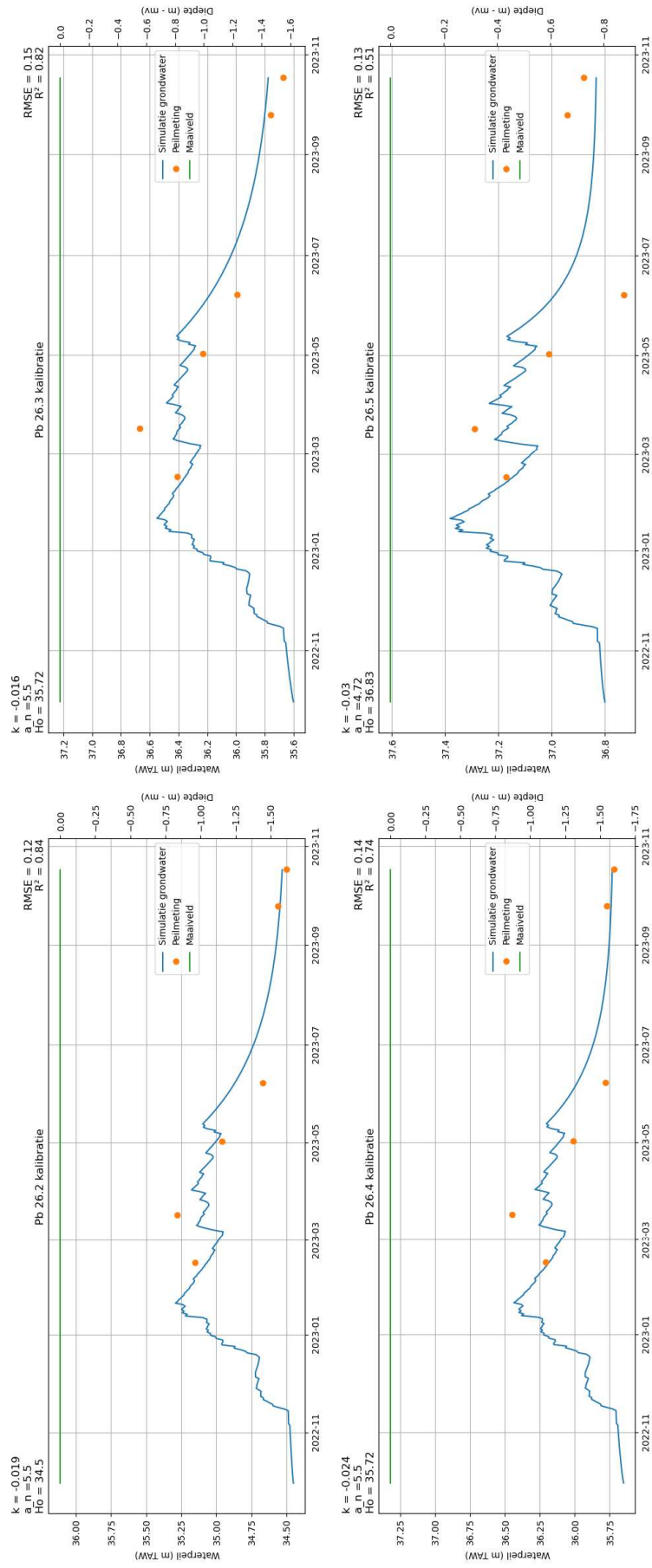
Figuur A 2: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 12.1, 12.2, 12.3 en 12.4 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R² in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.

Perceel 2; stuw 19



Figuur A 3: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 19.1, 19.2, 19.3 en 19.4 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R² in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.

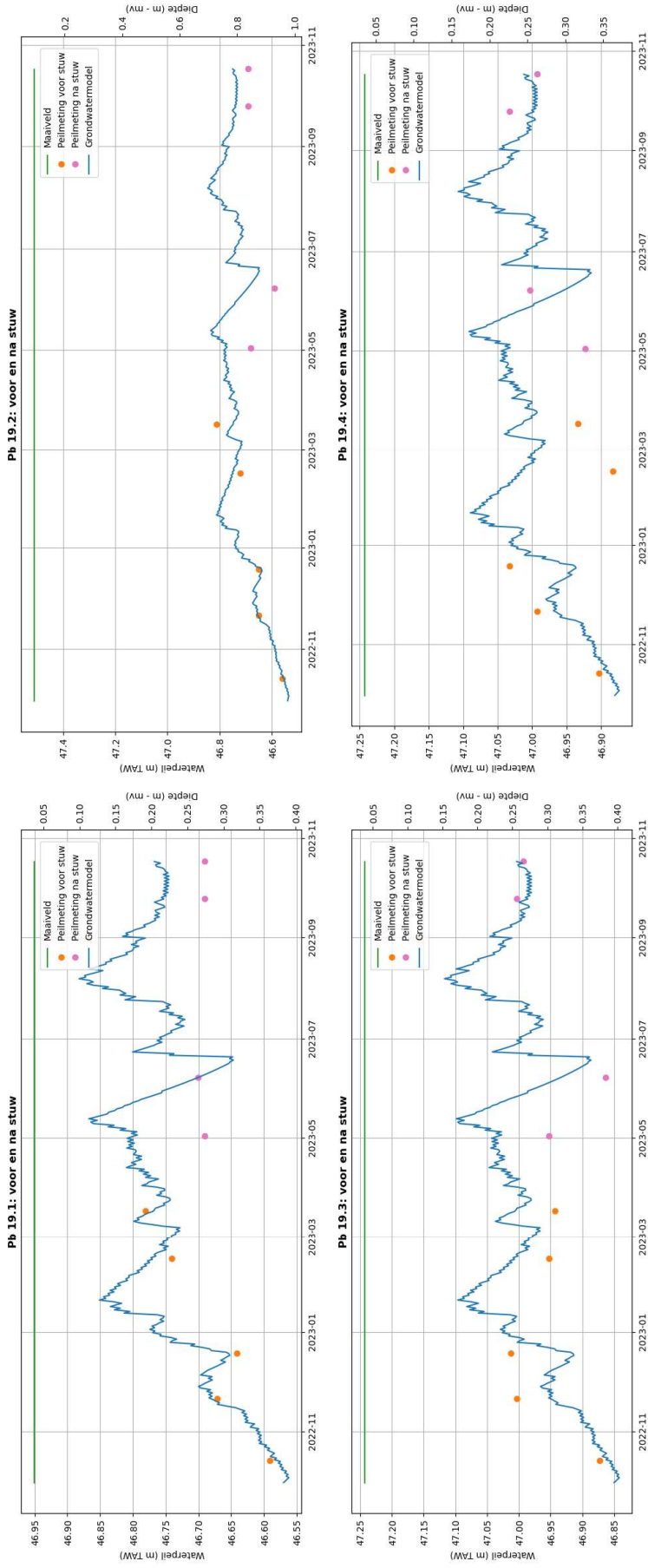
Perceel 4; stuw 26



Figuur A 4: Gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 26.2, 26.3, 26.4 en 26.5 en gekalibreerd a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen (voor stuw plaatsing). De waarde van de gekalibreerde parameters bevindt zich in de linkerbovenhoek van elke grafiek. De RMSE en R^2 in de rechterbovenhoek geven de goodness of fit weer tussen het model en de observaties.

10.6 P&P model zonder stuw vs. metingen na stuwplaatsing

Perceel 2; stuw 19:



Figuur A 5: Vergelijking van de gesimuleerde grondwaterniveaus voor peilbuizen 19.1, 19.2, 19.3 en 19.4 (die gekalibreerd zijn a.d.h.v. de beschikbare meetreeksen voor de stuwplaatsing) met de meetreeksen zowel voor als na stuwplaatsing.

