

Rapport

Geofysisch onderzoek Ieper- Burchtsite

Universiteit Gent

Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen

Vakgroep Omgeving



Colofon

Project

Geofysisch onderzoek Ieper-Burchtsite

Opdrachtgever

Beleidsdomein Omgeving

agentschap Onroerend Erfgoed

Havenlaan 88 bus 5

1000 Brussel

Contactpersoon: Peter Vandenhove <peter.vandenhove@vlaanderen.be>

Uitvoering

Onderzoeksgroep SENSE (Vakgroep Omgeving-Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen)

Dr. Jeroen Verhegge

Maarten Appels

Prof. Dr. Philippe De Smedt

Contactgegevens

Prof. Dr. Philippe De Smedt

Vakgroep Omgeving, UGent

Coupure Links 653

9000 Gent

Tel: +32(0)9246.60.42

E-Mail: Philippe.DeSmedt@Ugent.be

Datum Rapportering

5 december 2025

Inhoud

Colofon	2
Inhoud	3
Geofysisch onderzoek Ieper-Burchtsite	4
I. Doelstellingen en studiegebied	4
II. Geofysische prospectie	8
Algemene duiding van onderzoeksanpak	8
Grondradar	8
III. Resultaten	13
Zone 1 en 2	13
Zone 3	17
IV. (Geo-)Archeologische interpretatie	26
Zone 1 en 2	26
Zone 3	27
V. Conclusie en aanbevelingen voor verder onderzoek	29
VI. Geofysische onzekerheid	30
VII. Databeschikbaarheid en -archivering	30
Referenties	30
Appendices	31
Appendix 1: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 1 en 2	31
Appendix 2: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 3	112

Geofysisch onderzoek Ieper-Burchtsite

I. Doelstellingen en studiegebied

Doel van het onderzoek is de afbakening van de site van de grafelijke motte in Ieper te optimaliseren met behulp van geofysische technieken. De voornaamste te verwachten fenomenen zijn muurwerk en grachten.

Het onderzoeksgebied bestaat uit drie zones (zone 1, 2 en 3; totaal 2316 m²), afgebakend op Figuur 1. In zone 1 bestaat de ondergrond uit gras en verharding met betontegels (Figuur 2). In zone 2 betreft de ondergrond een wegdek in asfalt en in zone 3 bestaat de ondergrond uit wegdek met klinkers, een pad in gravel, een grasperk (Figuur 3) en een iets dieper gelegen kelder met (bak)stenen vloer (Figuur 4).



Figuur 1: Rechts: aanduiding van de onderzochte zone op het grootschalige referentiebestand Vlaanderen (GRB © Informatie Vlaanderen, 2025). Links: orthofoto van het studiegebied (middenschallige kleurenorthofoto – meest recent © Informatie Vlaanderen, 2025).

Vanwege de tijdsdruk bij de opdrachtgever diende de opdracht zo snel mogelijk na toekenning uitgevoerd te worden, waardoor bij in het inplannen van het veldwerk geen optimalisatie van weers- en bodemvochtomstandigheden voor de beste resultaten nagestreefd kon worden. Hierdoor is de dataverzameling uitgevoerd op een dag (31 oktober 2025) waarop het oppervlak matig droog was, terwijl het de dagen voordien veel geregend had. Zone 1 werd opgemeten, zoals gevraagd. In zone 2 konden de voetpaden vanwege hun beperkte breedte niet worden opgemeten. In zone 3 werd in overleg met de opdrachtgever besloten om de surveyzone naar het zuiden te verschuiven, omdat de waarschijnlijkheid van het aantreffen van de neerhofgracht grootst was in het zuiden van zone 3 en vanwege de niet-geschiede ondergrond (bomen, struiken) in het noorden van dit deel van het onderzoeksgebied. De ingemeten zones zijn weergegeven in Figuur 1-survey.



Figuur 2: Actiefoto survey zone 1 (© Agentschap Onroerend Erfgoed-Peter Vandenhove).



Figuur 3: Actiefoto survey zone 3 (© Agentschap Onroerend Erfgoed-Peter Vandenhove).



Figuur 4: Actiefoto survey zone 3 (© Agentschap Onroerend Erfgoed-Peter Vandenhove).

II. Geofysische prospectie

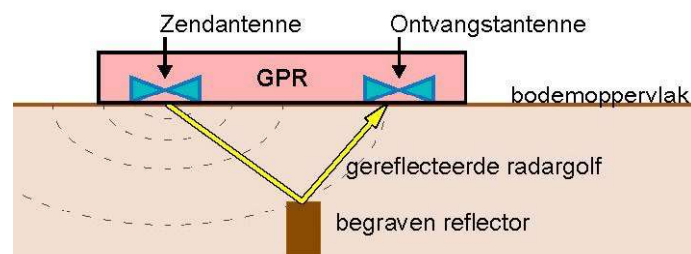
Algemene duiding van onderzoeksaanpak

Op basis van de complexe terreincondities in het onderzoeksgebied, een combinatie van verharde ondergrond en gras, de aanwezigheid van verschillende hindernissen (bomen, struiken, muren, recente verstoringen, ...) in een stedelijke omgeving, de aard van de verwachte archeologische materialen (mogelijk smalle muren in natuursteen en grachten met complexe stratigrafie), de natte, geleidende ondergrond, de beperkte oppervlakte van het onderzoeksgebied en de vraagstelling van het onderzoek werd een surveystrategie met één methode voorgesteld, namelijk manuele, hoge resolutie grondradar (*ground penetrating radar*, GPR).

Bij grondradar bestaat het risico dat een te hoog klei- en watergehalte het verzamelen van archeologisch nuttige informatie onmogelijk maakt. Hoewel in stedelijke contexten het verwachte bodemvochtgehalte algemeen lager is dan in rurale of open landschappelijke context, blijven goede weers- en bodemvochtomstandigheden voor de uitvoering dus essentieel. Grondradar biedt de hoogst mogelijke meetresolutie en laat toe om rechtstreeks verticale bodemvariaties weer te geven, waardoor het potentieel voor kennisverwerving bij deze methode het grootst is. Daarnaast is het in stedelijke context relatief weinig gevoelig voor bronnen van elektromagnetische ruis en is er in tegenstelling tot elektrische weerstandsmeting geen fysieke doordringing van het bodemoppervlak noodzakelijk.

Grondradar

Grondradar of GPR is een actieve prospectietechniek, waarbij elektromagnetische golven in de bodem worden gestuurd met een of meerdere zendantennes, waarna de reflecties en refracties van deze golven vervolgens worden opgevangen met ontvangstantennes (Figuur 5). Het achterliggende principe is dat van een tijdsmeting tussen het uitzenden van een radiogolf met een bepaalde frequentie en het ontvangen van zijn reflectie. Uit deze tweeweg tijdsmeting kan de diepte van het reflecterend voorwerp bepaald worden (Conyers 2023).



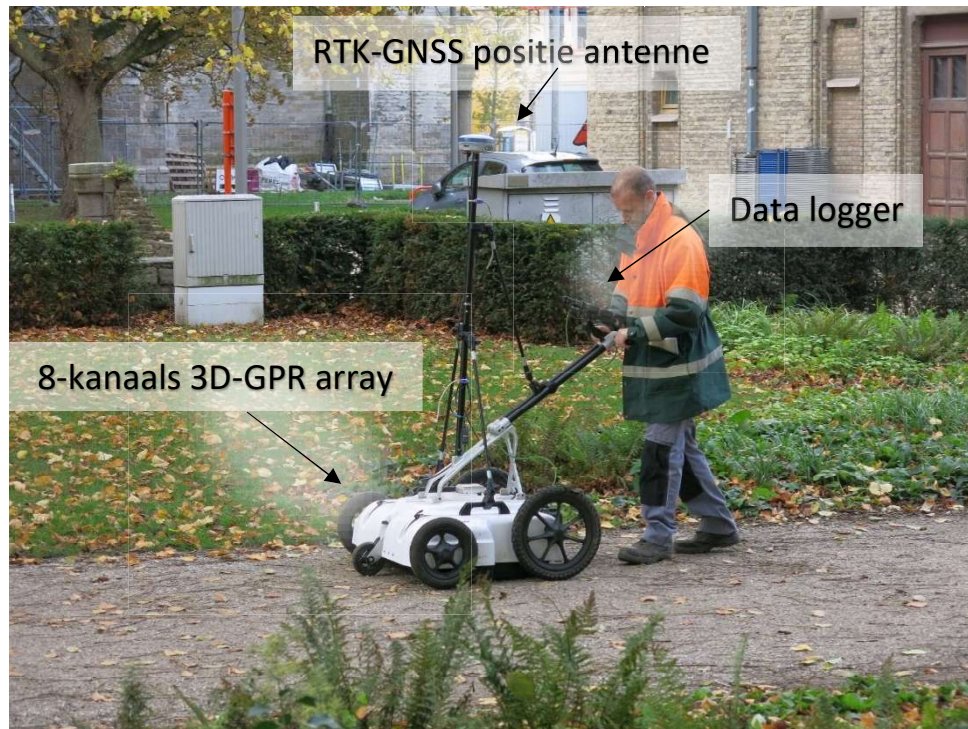
Figuur 5: schematische voorstelling van GPR-principe.

Het fysische kenmerk dat voor een reflectie zorgt, is het contrast in diëlektrische permittiviteit tussen de bodem en het begraven object of holte. Hoe hoger dit kenmerk, hoe trager de golf zich voortbeweegt. In lucht is deze snelheid het hoogst, in water het laagst (ongeveer 9 keer trager dan in lucht). De permittiviteit van ondergrondse (bodem) materialen wordt hoofdzakelijk beïnvloed door het vochtgehalte. Eenvoudig gesteld, zijn de contrasten die met grondradar gedetecteerd kunnen worden representatief voor verschillen in vochthuishouding in de ondergrond.

De resolutie en de dieptepenetratie van grondradarobservaties hangen af van de frequentie van de uitgestuurde golven. Hoe hoger de frequentie, hoe fijner de meetresolutie. Deze hogere resolutie gaat ten koste van het dieptebereik, dat vergroot naarmate lagere frequenties worden gebruikt. Een grondradarmeting laat dus toe om indicaties te bekomen van de positie (in ruimte en diepte) van contrasterend of afwijkend materiaal.

Instrumentarium & meetconfiguratie

Voor 3D radarkartering werd een Impulse Radar Raptor-systeem ingezet. Dit systeem is een multichannel 3D-GPR-array die met hoge snelheid metingen uitvoert met een meetinterval van circa 5 cm langs de meetlijn. Het betreft een *impulse* radarsysteem, waarbij discrete pulsen worden uitgezonden en de gereflecteerde energie wordt geregistreerd in functie van de tijd. Het systeem maakt gebruik van Raptor-45-antennes met een centrale frequentie van 450 MHz.



Figuur 6: mobiele opstelling van de GPR array met aanduiding van de verschillende componenten.

De metingen zijn uitgevoerd met *Pushcart*-systeem uitgerust met vijf zendantennes en vier ontvangstantennes, opgesteld in schuine configuratie (*offset-array*). Deze opstelling maakt een hogere laterale resolutie mogelijk, doordat de effectieve kanaalafstand kleiner is dan de fysieke breedte van de antennes. Hierdoor kunnen acht kanalen (meetlijnen) worden geregistreerd binnen een scanbreedte van 60 cm en wordt uiteindelijk een ruimtelijke resolutie bereikt van circa 7.5 cm tussen de meetlijnen en circa 5 cm binnen elke meetlijn. De sensor is ontworpen om handmatig over een onderzoeksgebied te worden geduwd maar is tijdens dit onderzoek ook voortgesleept, gezien de oneffenheid en wrijving van het gras in zone 1 (Figuur 2).

Motivatie toegepaste surveytechniek

De gebruikte GPR survey techniek laat toe om bodemvariaties die gekenmerkt worden door een di-elektrisch contrast met de omgevende bodem in hoge resolutie en in drie dimensies te in kaart te brengen. Dit is bijzonder waardevol bij het opsporen van kleinschalige sporen, zoals relatief smalle muren. De mogelijkheid om data met een interval van slechts een vijftal centimeters te verzamelen, verhoogt de kans op detectie van kleine sporen en zwakke reflectoren die anders onopgemerkt zouden blijven. Dankzij de hoge laterale en verticale resolutie van gebruikte moderne multichannel 3D GPR-systemen kunnen deze sporen nauwkeurig worden gelokaliseerd.

De grondradar werd in een manueel getrokken opstelling gebruikt, omdat het dan mogelijk is om discontinue te werken tot aan de randen van het surveygebied en hindernissen en vegetatie te vermijden. Hierdoor konden in een hoge ruimtelijke resolutie metingen uitgevoerd worden en kunnen eventuele di-elektrische contrasten tussen archeologische resten en natuurlijke bodem gedetecteerd worden.

Dataverwerking

Voor de eigenlijke GPR dataverwerking werden GPS locaties waar geen RTK fix of RTK float positionering bereikt werd uit de dataset weg gefilterd met Impulse Radar ViewR software. Daarna werden GPR data in Condor 1.6.64 software met de verwerkingstappen en variabelen weergegeven in Tabel 1. Deze verwerkte data werden gevisualiseerd als horizontale dieptedoorsneden van de amplitude enveloppe met een dikte van circa 2.5 cm. Deze wordt weergegeven in een grijswaardenschaal, waarbij zwart op lage reflectiviteit wijst en wit op sterke reflectiviteit wijst. Doorsneden/transecten worden weergegeven in de omgekeerde grijswaardenschaal en zonder verwerkingsstappen *interpolation*, *migration* en *postprocessing*.

Tabel 1: overzicht van de gebruikte verwerkingsstappen en variabelen in Condor-software.

Zone 1 en 2	Zone 3
Dewow: Time window width: 41 samples Filter width: 8 samples	Dewow: Time window width: 41 samples Filter width: 8 samples
Time Zero Adjustment: Threshold: 3000 Correct for antenna separation: yes Adjustment velocity: 15 cm / ns Fixed time zero: yes	Time Zero Adjustment: Threshold: 3000 Correct for antenna separation: yes Adjustment velocity: 15 cm / ns Fixed time zero: yes
Geometry Binding: Minimum positioning step: 0.5 m Interpolation distance interval: 0.042 m	Geometry Binding: Minimum positioning step: 0.5 m Interpolation distance interval: 0.042 m
— Preprocessed #1 — Muting: High-amplitude muting ratio: 3 Low-amplitude muting ratio: 3	— Preprocessed #1 — Muting: High-amplitude muting ratio: 2 Low-amplitude muting ratio: 2
Amplitude Correction: Mode: AGC Operator length: 4 ns Application basis: Centered	Amplitude Correction: Mode: AGC Operator length: 19 ns Application basis: Centered
Antenna Ringdown Removal: Operator design window: 501 traces	Antenna Ringdown Removal: Operator design window: 501 traces
	Bandpass Filtering: Low cut: 100 MHz Low pass: 180 MHz High pass: 720 MHz High cut: 900 MHz
— Interpolated #1 — Interpolation: Max allowed gap: 0.25 m Interpolate every 2 slice When swaths overlap: Use the topmost	— Interpolated #1 — Interpolation: Max allowed gap: 0.25 m Interpolate every 2 slice When swaths overlap: Use the topmost

— Migrated 8.6 — Migration: Migration velocity: 8.6 cm / ns	— Migrated 10 — Migration: Migration velocity: 9.39 cm / ns
— Postprocessed #1 — Amplitude Envelope: (none)	— Postprocessed #1 — Amplitude Envelope: (none)

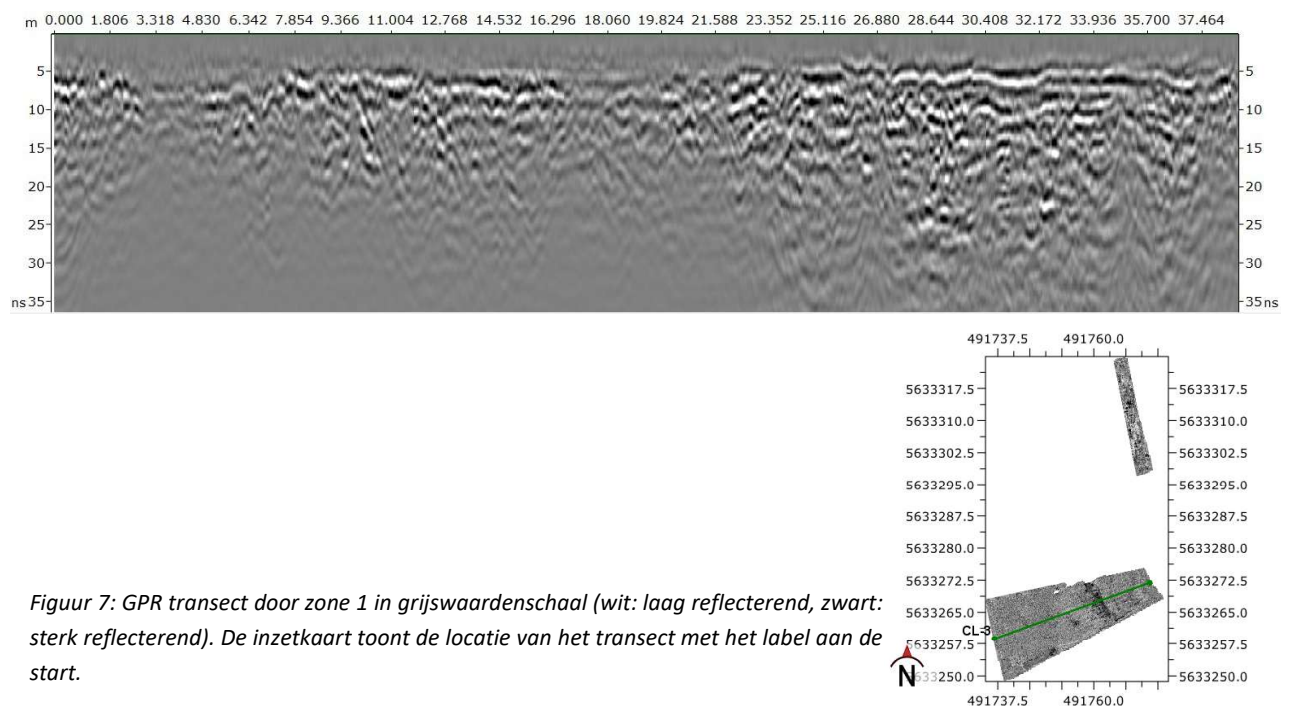
III. Resultaten

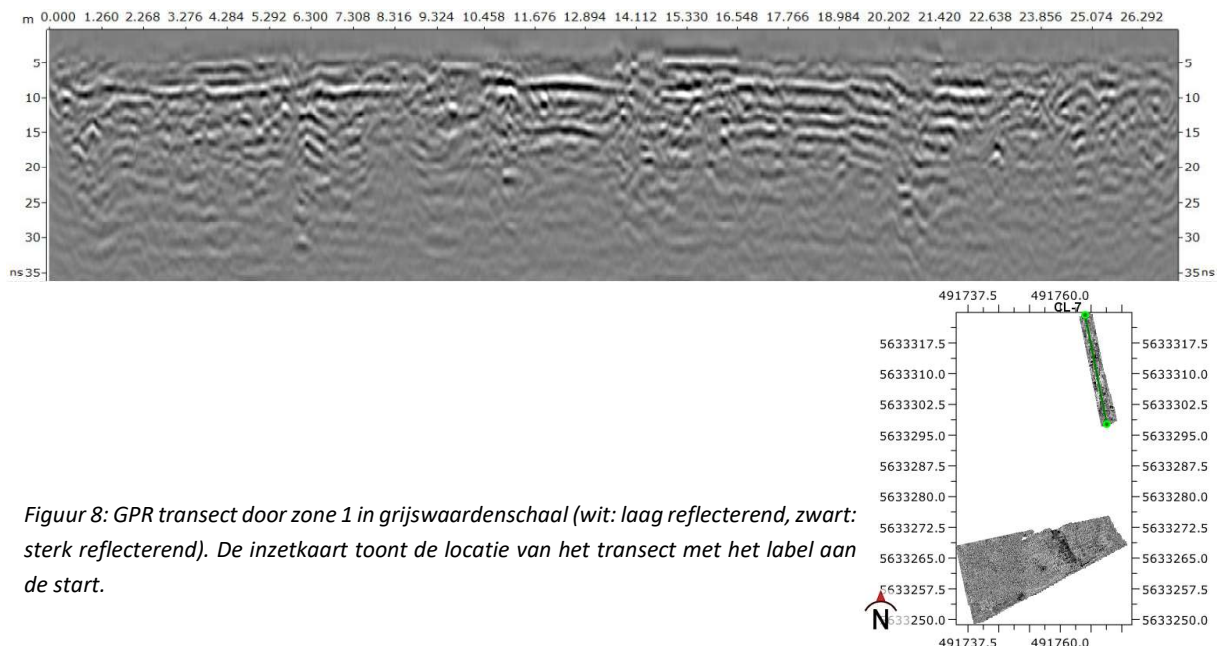
Een referentie-transect van zone 1 wordt weergegeven in Figuur 7, van zone 2 in Figuur 8 en van zone 3 in Figuur 13 tot Figuur 16. Enkele horizontale referentie-dieptedoorsneden met aanduiding van relevante anomalieën worden weergegeven in Figuur 9 tot Figuur 12 voor zone 1 en 2, en in Figuur 17 tot Figuur 22 voor zone 3 met de visualisatie van de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal. Hierbij worden de minima van elke doorsnede in zwart (=weinig reflectief) en maxima in wit (=sterk reflectief weergegeven) weergegeven per 2.5 cm diepte. Alle dieptedoorsneden zijn opgenomen in Appendix 1: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 1 en 2 en Appendix 2: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 3.

Door hyperbolen aan te passen aan hyperboolvormige anomalieën in de GPR data kon een golfsnelheid van circa 8.6 cm/ns afgeleid worden en gebruikt voor de tijdsdiepte-omzetting voor zone 1 en 2. In zone 3 wordt deze op 9.39 cm/ns geschat. Door de verwachte variabiliteit van de bodemsamenstelling is de golfsnelheid echter niet uniform over het hele studiegebied, waardoor deze omzetting steeds een fout heeft. Deze golfsnelheid wijst erop dat de bodem vermoedelijk uit vochtig lemig- tot zeer nat zand bestaat.

Zone 1 en 2

De golfsnelheid in zone 1 en 2 wijst eerder op een vochtige lemige- en/of kleirijke bodem. In het westen van zone 1 zijn reflectoren tot ca. 20 ns (ca. 86 cm) herkenbaar, terwijl in het oosten en in zone 2 reflectoren tot een diepte van ca. 30 ns (ca. 129 cm) herkenbaar zijn op de transecten (Figuur 7, Figuur 8). Diepere data geven voornamelijk ruis weer. De reflecties die toch aanwezig zijn in de dataplots op grotere dieptes zijn waarschijnlijk veroorzaakt door *ringing* van ondiepere sterkere reflectoren of worden veroorzaakt door data (verwerkings-)artefacten.





Figuur 8: GPR transect door zone 1 in grijswaardenschaal (wit: laag reflecterend, zwart: sterk reflecterend). De inzetkaart toont de locatie van het transect met het label aan de start.

In de horizontale dieptedoorsneden ligt in het oosten van zone 1 op lage diepte een scherp afgelijnde zone met sterk lagere reflectiviteit (Figuur 9-1), terwijl de oostkant en zuidoostelijke rand door sterke reflecties worden gekenmerkt (Figuur 9-2). Zone 2 wordt daarentegen gekenmerkt door een mengeling van amorf sterke en zwakke reflectoren.



Figuur 9: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 18 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

Op een diepte van ca. 68 cm in de horizontale dieptedoorsneden blijft het westen van zone 1 gekenmerkt door een zone met sterke attenuatie. Deze spreidt zich echter verder uit naar het zuiden onder het betegelde pad. Er

lopen enkele opvallende smalle, lineaire reflectoren door deze verder attenuerende zone (Figuur 10-3). Het oosten van zone 1 blijft eerder sterker reflecterend (Figuur 10-2) maar ook hier lopen enkele smalle lineaire reflectoren met variabele oriëntatie (Figuur 10-4,5,6,7). Ter hoogte van de uiterste oostzijde verschijnt een zone met duidelijk lagere reflectiviteit (Figuur 10-8). In zone 2 zijn op deze diepte smalle, lineaire, sterke reflectoren aanwezig die enerzijds loodrecht (Figuur 10-9,10) en anderzijds parallel (Figuur 10-11,12) liggen met de richting van de weg.



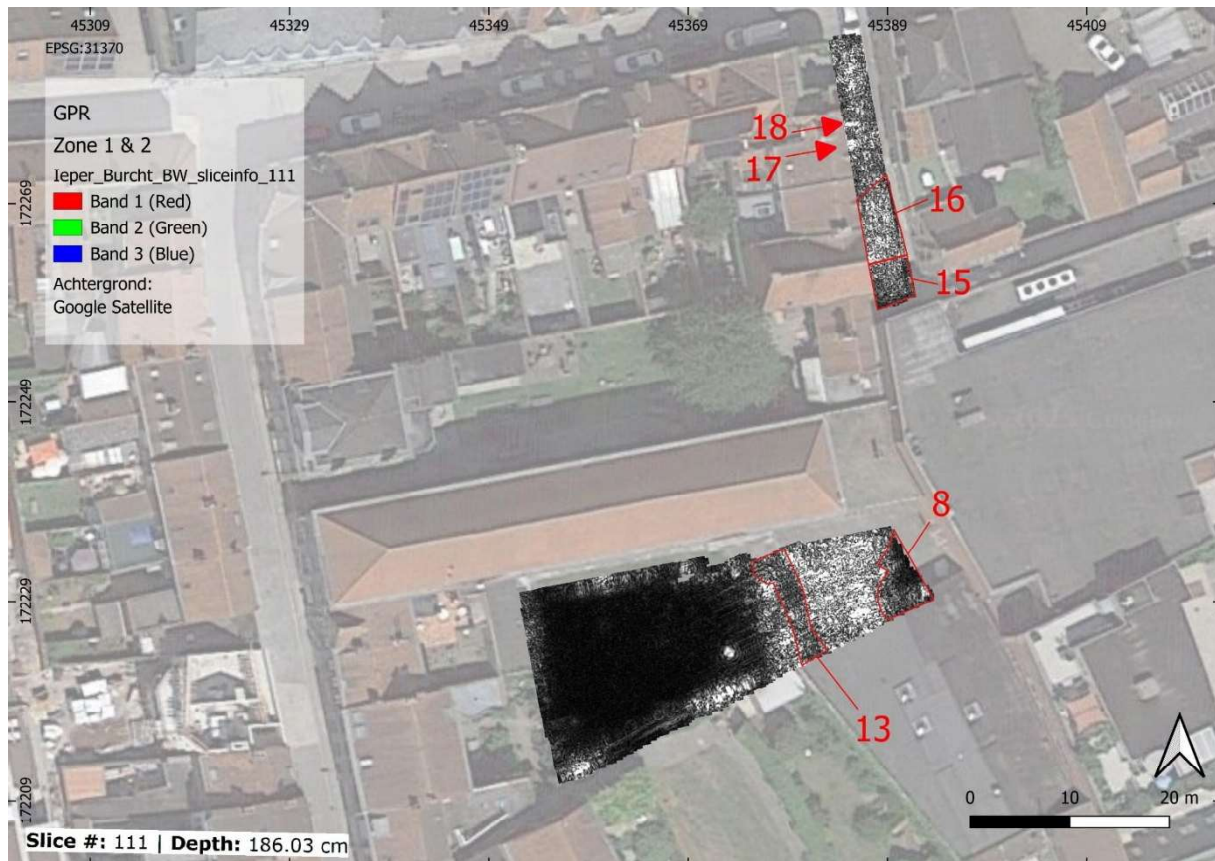
Figuur 10: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 68 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

Op een diepte van ca. 105 cm zijn in de horizontale dieptedoorsneden opvallend minder reflectoren herkenbaar. In het westen van de zone 1 zijn vrijwel geen reflectoren meer herkenbaar. In het oosten van zone 1 heeft de attenuerende zone zich verder uitgebreid (Figuur 11-8) ten koste van de zone met reflecties en is er een tweede brede lineaire attenuerende zone verschenen (Figuur 11-13). In zone 2 zijn nog enkele resten van de smalle lineaire reflectoren parallel met het verloop van de weg herkenbaar (Figuur 11-14).



Figuur 11: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 105 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

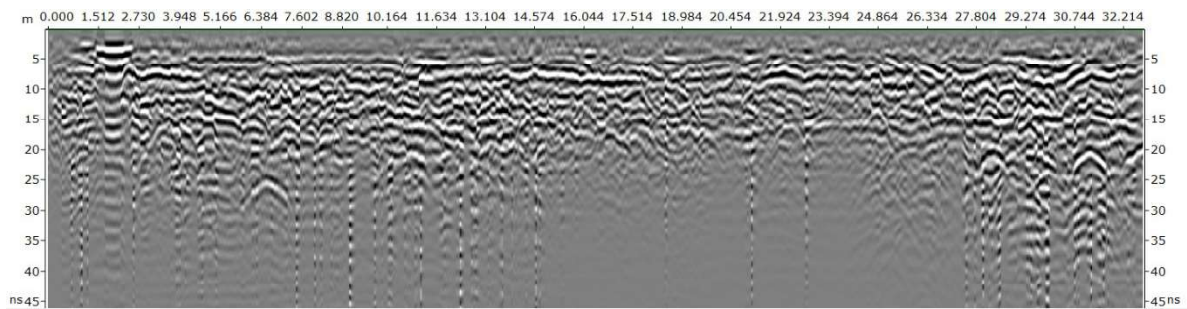
In zone 1 zetten dezelfde ruimtelijke patronen zich verder op de horizontale doorsnede op ca. 186 cm diepte (Figuur 12-8,13). In zone 2 kunnen echter binnen het dataruis zones met eerder weinig discrete puntreflecties (Figuur 12-15) en meer dergelijke reflecties (Figuur 12-16) herkend worden. Tenslotte zijn er nog een amorf (Figuur 12-17) en een eerder lineaire sterke reflectie, loodrecht op de rand van de weg (Figuur 12-18).



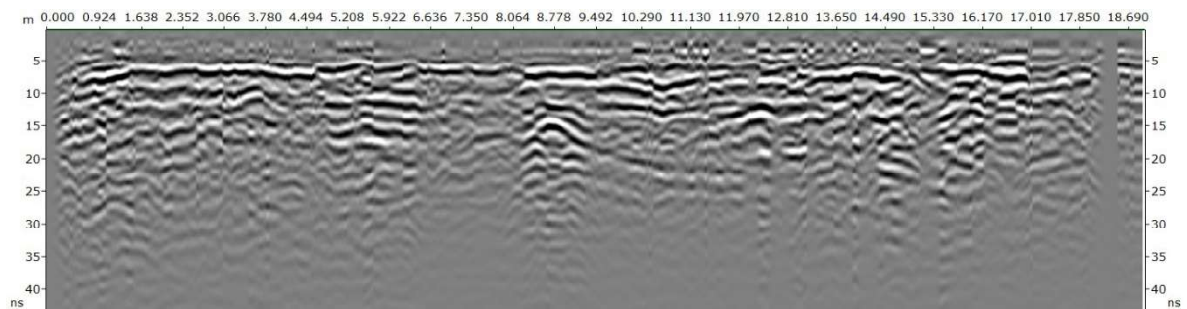
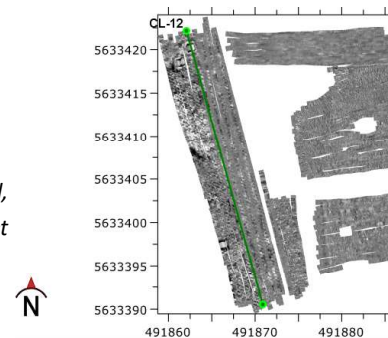
Figuur 12: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 186 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

Zone 3

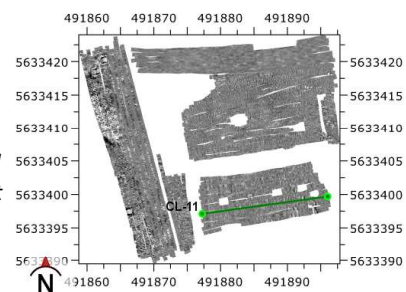
De golfsnelheid van 9.39 cm/ns in zone 3 wijst op een iets drogere bodem dan in zone 1 en 2. Deze werd afgeleid van een diepe hyperbool onder het straatoppervlak en kan dus wat lager liggen onder het gras. Onder de verharde weg zijn in de noordwestelijk hoek reflectoren tot ca. 30 ns (ca. 141 cm) herkenbaar, terwijl in het zuidwesten reflectoren tot een diepte van ca. 40 ns (ca. 188 cm) herkenbaar zijn (Figuur 13). Onder de vloer van het ca. 40 à 50 cm dieper gelegen klooster werden reflecties tot ca. 35 ns (ca. 164 cm) waargenomen (Figuur 14). Bij de interpretatie van de dieptedoorsneden is het belangrijk te onthouden dat de reflecties die op de dieptedoorsneden worden weergegeven een lagere absolute hoogteligging hebben. In de noordoostelijke hoek van zone 3 toont Figuur 15 dat de radiosignalen hier opvallen minder diep zijn doorgedrongen tot maximaal 25 ns (117.5 cm) ter hoogte van het gras en het grindpad. Het GPR transect op dit grindpad (Figuur 16) toont echter dat aan de westkant (straatkant) weer reflectoren tot ca 35 ns (ca. 164 cm) diepte herkend worden. Diepere data geven voornamelijk ruis weer. De reflecties die toch aanwezig zijn in de dataplots op grotere dieptes zijn waarschijnlijk veroorzaakt door *ringing* van ondiepere sterkere reflectoren of worden veroorzaakt door data (verwerkings-)artefacten.

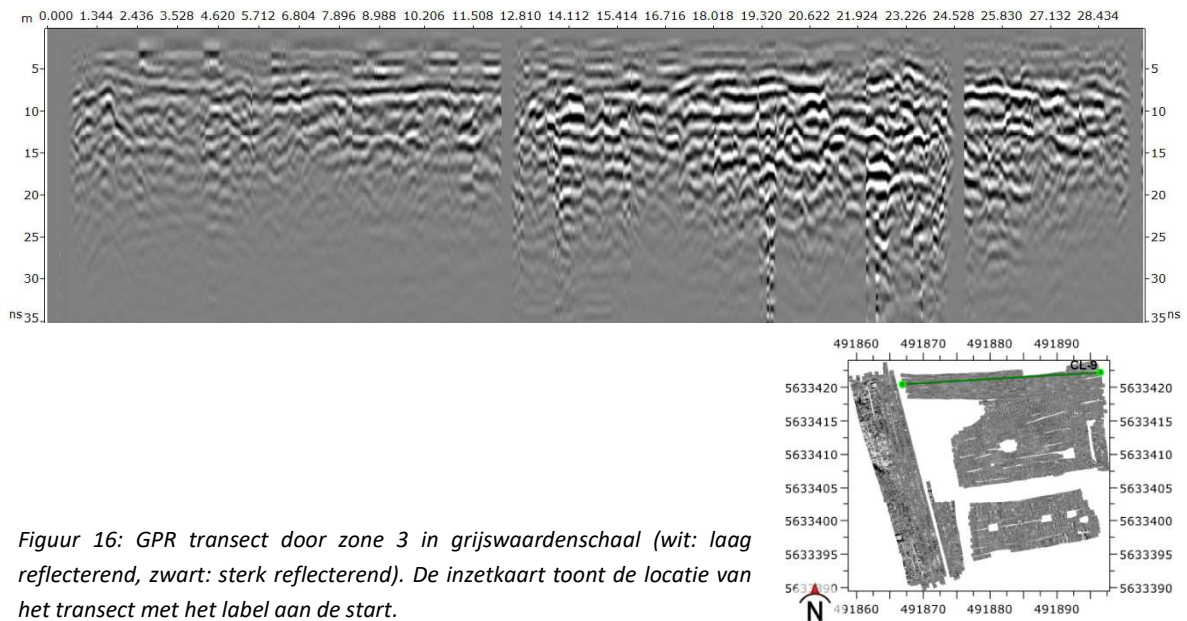
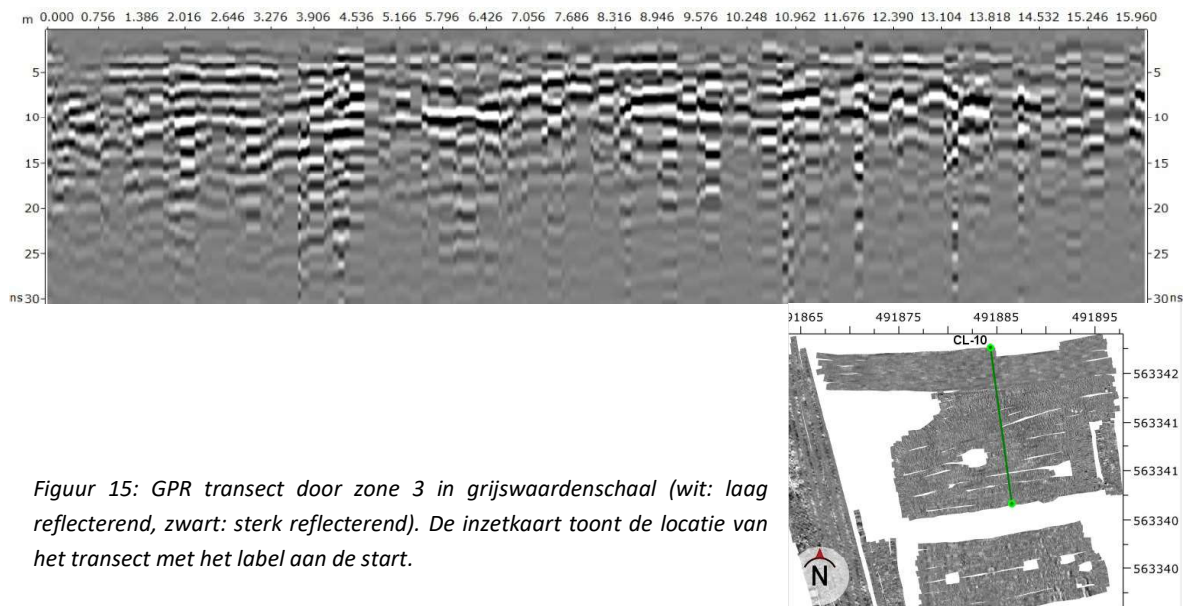


Figuur 13: GPR transect door zone 3 in grijswaardenschaal (wit: laag reflectierend, zwart: sterk reflectierend). De inzetkaart toont de locatie van het transect met het label aan de start.



Figuur 14: GPR transect door zone 3 in grijswaardenschaal (wit: laag reflectierend, zwart: sterk reflectierend). De inzetkaart toont de locatie van het transect met het label aan de start.





In het algemeen domineren in de ondiepe horizontale dieptedoorsneden vierkante tot rechthoekige, sterke reflectoren in het westen van het studiegebied (Figuur 17-19, 20, 21, 22). De noordzijde van het surveygebied ter hoogte van het grindpad wordt gekenmerkt door een reeks parallelle matige reflectoren die loodrecht op het verloop van het grindpad liggen (Figuur 17-23). Centraal in het oosten van het surveygebied is een rechthoekige zone met matige reflectoren aanwezig ter hoogte van een wegdek in kasseien (Figuur 17-24).



Figuur 17: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 9 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

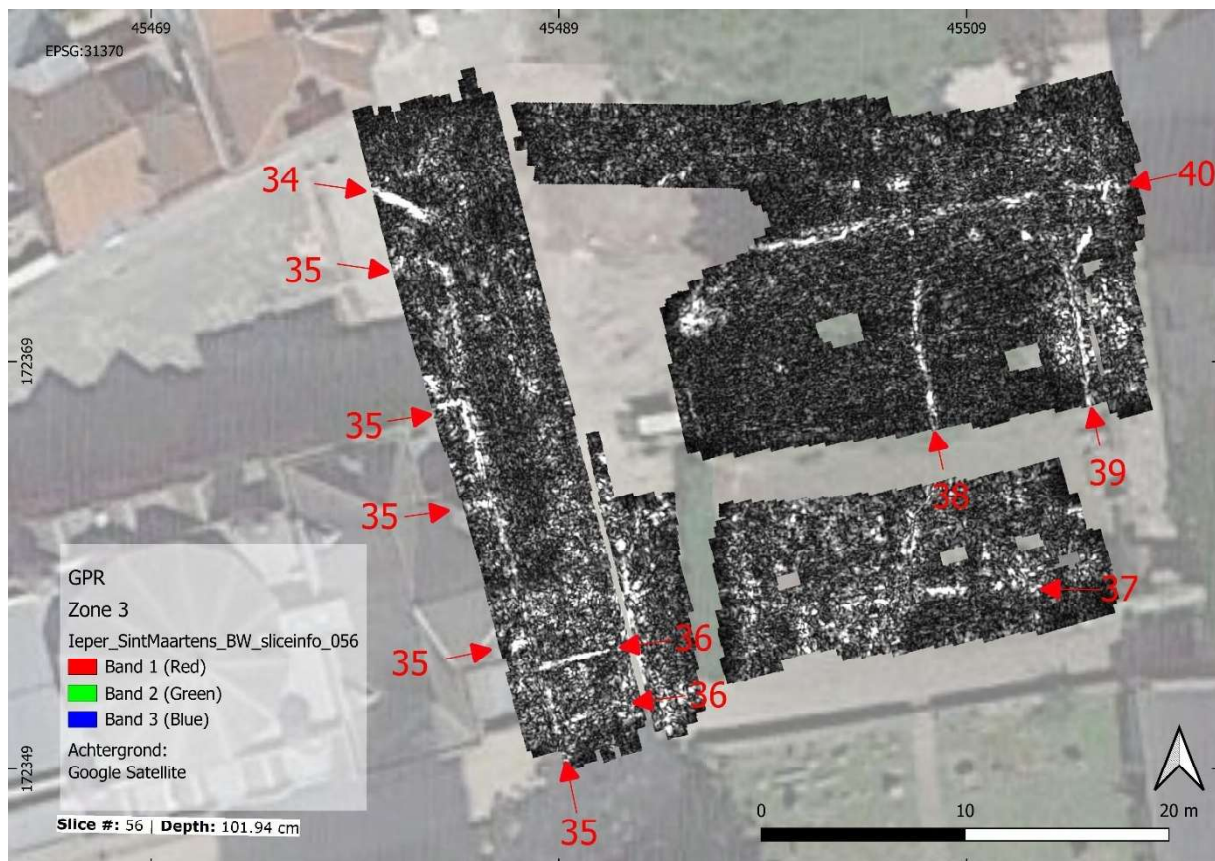
Vanaf 61 cm diepte is op de horizontale dieptedoorsneden een nieuwe, sterke vierkante reflector herkenbaar in de noordwestelijke hoek van zone 3 (Figuur 18-25). Onder hetzelfde wegdenk is verder naar het zuiden een amorfe zone met matige reflectoren aanwezig (Figuur 18-26). Net ten westen ervan loopt een smalle lineaire matige reflector (Figuur 18-27). Onder de dieper gelegen kloostervloer loopt een curvi-lineaire sterke reflector van 20-30 cm breed dwars onder deze ruimte (Figuur 18-28). Een korte sterke lineaire reflector ligt net ten oosten ervan (Figuur 18-29). Het westen van deze ruimte wordt gekarakteriseerd door matig reflecterende lineaire reflectoren (Figuur 18-30, 31, 32) met orthogonale oriëntatie. Deze lijken aan te sluiten op Figuur 18-28. Het noordoostelijke deel van zone 3 heeft op deze diepte weinig reflectoren, met uitzondering van een smalle, subtiële lineaire reflector die parallel met het grindpad loopt.



Figuur 18: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 61 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

Vanaf een diepte van ca. 100 cm verschijnt in de doorsneden een netwerk van sterke lineaire reflectoren. In het noordwesten verschijnt Figuur 19-34. Deze anomalie daalt richting het zuidoosten (Figuur 20-34). Een reeks aaneensluitende, orthogonaal georiënteerde matig tot sterke reflectoren loopt parallel en loodrecht met de westkant van de weg (Figuur 19-35, Figuur 20-35). In het zuiden wordt de weg loodrecht gekruist door twee parallelle sterke, lineaire reflectoren (Figuur 19-36). Onder de kloostervloer lijkt een subtiële, ietwat bredere anomalie met oostwest oriëntatie aanwezig (Figuur 19-37, Figuur 20-37). Een ondieper gelegen reflector onder de kloostervloer (Figuur 18-28) lijkt ten noorden van het klooster verder te lopen op een diepte van 100 cm (Figuur 19-38). Parallel eraan kan een nieuwe lineaire reflector herkend worden (Figuur 19-39). Deze buigt af naar het westen en loopt op grotere diepte verder naar het noorden (Figuur 20-42). Op een andere locatie maar vrijwel parallel aan Figuur 18-28 is op 102 cm diepte een nieuw lineaire reflector herkenbaar (Figuur 19-40). Deze is nog aanwezig op 117 cm diepte (Figuur 20-40) maar hier verschijnt een nieuwe reflector parallel ten noorden (Figuur 20-41). Aan de westkant lijkt deze naar het noorden af te buigen. Tenslotte verschijnt er in de dieptedoorsnede op 146 cm diepte tussen deze lineaire reflectoren nog een bredere lineaire reflector (Figuur 21-43) die verder naar het westen op grotere diepte onder het wegdek lijkt verder te lopen (Figuur 22-45). Loodrecht op deze reflector verschijnt in de dieptedoorsnede op 146 cm diepte ook een lineaire reflector die naar het noorden het surveygebied uit loopt (Figuur 21-44).

Tenslotte verschijnen er op de diepste horizontale dieptedoorsneden waarop structureel coherente anomalieën herkenbaar zijn ca. 163-175 cm nog een aantal nieuwe anomalieën. Twee parallel subtiële lineaire reflectoren (Figuur 22-46,47) worden vrijwel loodrecht gekruist door een enkele subtiële lineaire reflector (Figuur 22-48). Onder het wegdek is nog een amorfe of korte lineaire reflector herkenbaar (Figuur 22-49). Op grotere diepte dan ca. 185 cm konden geen ruimtelijk coherente anomalieën meer vastgesteld worden.



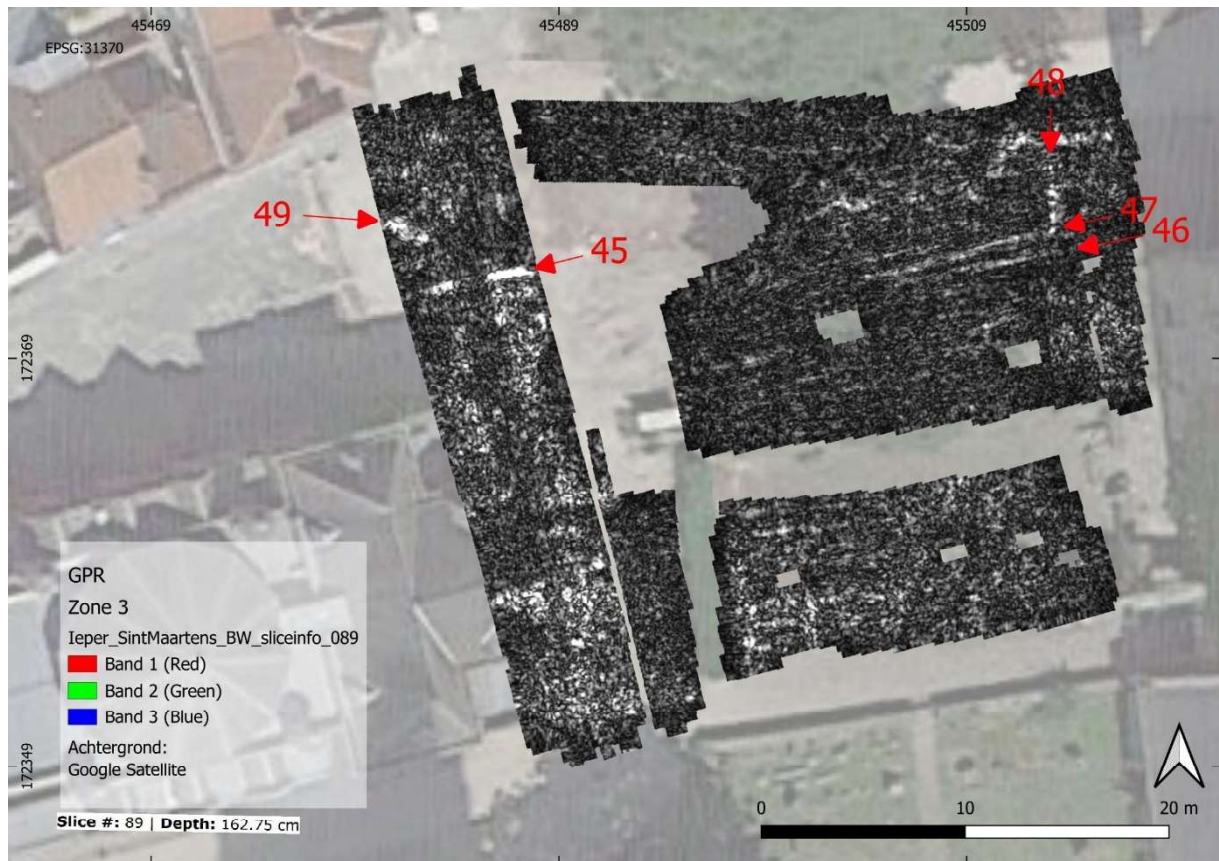
Figuur 19: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 102 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.



Figuur 20: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 117 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.



Figuur 21: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 146 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.



Figuur 22: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 163 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van de belangrijkste anomalieën.

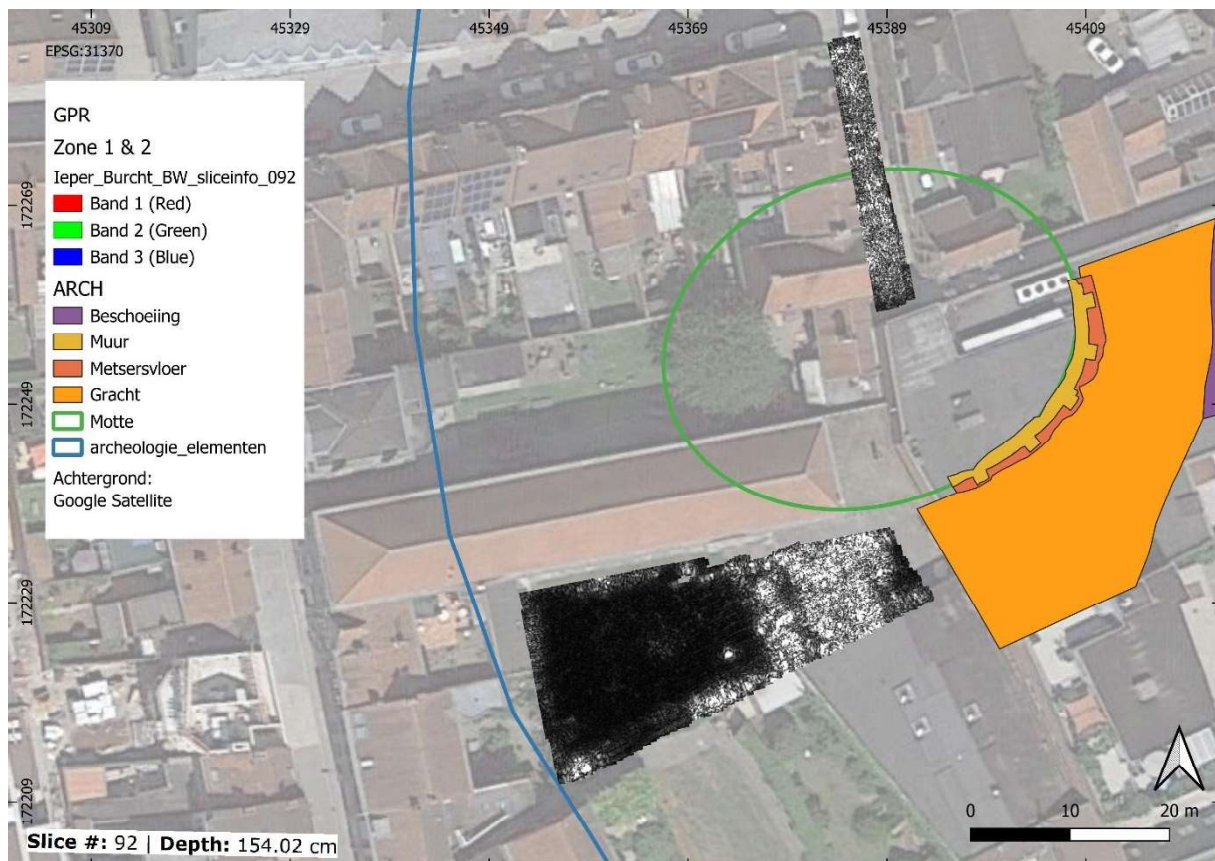
IV. (Geo-)Archeologische interpretatie

Bij de (geo-)archeologische interpretatie van de geofysische anomalieën worden de gemeten geofysische eigenschappen rechtstreeks of door extrapolatie gerelateerd aan beschikbare achtergrondinformatie over het onderzoeksgebied, zoals publiek beschikbare geologische en bodemkaarten, digitaal hoogtemodel, historische kaarten en archeologische data die publiek of door de opdrachtgever ter beschikking gesteld worden. Ook de voorkennis van de interpretator is hierbij van belang en daarom zijn deze interpretaties is ook nooit volledig objectief. Deze omvatten dan ook verschillende gradaties van (on)zekerheid die bij onderstaande tekstuele beschrijving van de interpretaties worden aangegeven door modale bijwoorden (bv. misschien, mogelijk, waarschijnlijk, hoogstwaarschijnlijk, zeker, ...).

Bij het geofysisch onderzoek van Ieper-Burchtsite is de ter beschikking gestelde ruimtelijke informatie met relevantie tot de onderzoeksvraag door de opdrachtgever echter beperkt tot de locatie van de reeds opgegraven resten van de burchtsite. Dit bemoeilijkt een vergevorderde interpretatie van de aangetroffen anomalieën.

Zone 1 en 2

Gezien de diepteligging van de opgegraven resten van de Burchtsite (ca. 2 m onder het maaiveld) en de bereikte meetdiepte van het GPR signaal, zoals besproken in de resultaten, en de oriëntatie van de waargenomen bodemvariaties, is het weinig waarschijnlijk dat in zone 1 de reflecties rechtstreeks geïnterpreteerd kunnen worden als de resten van de burcht (Figuur 23). Er is een duidelijke opsplitsing waarneembaar tussen de zone met sterke attenuatie in het westen (Figuur 9-1) en de zone met meer en diepere reflecties in het oosten (Figuur 9-2). Dit verschil valt toe te wijzen aan de verschillende bodembedekking, respectievelijk gras en betongegels. Waar de bodem onder het gras de regen van de dagen voorafgaand aan de survey geabsorbeerd heeft en het GPR signaal absorbeert, is het regenwater waarschijnlijk beter afgevoerd en de bodem droger gebleven onder het betegelde deel van het terrein. Anderzijds is het ook mogelijk dat het sediment onder het gras homogener en/of fijner is dan onder de tegels, waar de bodem rijker kan zijn aan puin- en steenresten, recent aangevoerd of van voormalige structuren die ook op historische kaarten kunnen herkend worden. De zuidwaartse uitspreiding van de attenuerende zone onder het betegelde pad langs de zuidkant van zone 1 kan er misschien op wijzen dat ook onder de betegelde vloer vochtigere of fijnere sedimenten aanwezig zijn. De aanwezigheid van fijnere of vochtigere sedimenten in het westen van zone 1 kan gelinkt worden aan een voormalige waterloop, de Ieperlee. De smalle lineaire reflectoren die de dataset in zone 1 domineren (Figuur 10-3,4,5,6,7) kunnen vermoedelijk als nutsleidingen geïnterpreteerd worden, hoewel de aanwezigheid van smalle muurresten niet kan uitgesloten worden. Een brede, lineaire, attenuerende anomalie (Figuur 13-13) kan in deze zin als een sleuf uitgegraven voor de aanleg van nutsleidingen zijn maar kan eventueel ook een uitbraakspoor van muurresten zijn. Ook de aanwezigheid van Figuur 13-8 wijst erop dat de ondergrond onder de tegelvloer niet helemaal homogeen is en zowel uit eerder puinrijke reflecterende eenheden als uit fijnere en/of puinarmere, minder reflecterende eenheden bestaat. Een meer gedetailleerde interpretatie is helaas niet mogelijk op basis van de ter beschikking gestelde data.



Figuur 23: Horizontale dieptedoorsnede van de GPR data op 154 cm diepte met de amplitude enveloppe in grijswaardenschaal (zwart: zwak reflectief tot wit: sterk reflectief) met aanduiding van plannen van opgegraven burcht en afbakening Sint-Maartenkern in CAI (archeologie_elementen).

In zone 2 zijn de lineaire reflectoren in de ondiepe horizontale dieptedoorsneden (Figuur 10-9,10,11,12; Figuur 11-14) waarschijnlijk te interpreteren als nutsleidingen, hoewel ook hier de aanwezigheid van smalle muurresten niet kan uitgesloten worden. De lineair anomalieën die op grotere diepte verschijnen (Figuur 12-17,18), kunnen veroorzaakt zijn door diepere leidingen of *ringing* van bovenliggende reflectoren. Een interpretatie als archeologische muurresten is hier ook mogelijk. Op grotere diepte is een zone met opvallende, meer puntreflectoren herkenbaar die mogelijk meer grove, stenige materialen bevat (Figuur 12-16), terwijl net ten zuiden ervan een minder reflecterende zone, mogelijk uit eerder homogeen en fijner materiaal ligt (Figuur 12-15). Deze anomalieën zijn min of meer georiënteerd volgens het gereconstrueerde traject van de motte en zouden nazaklagen kunnen zijn maar het kunnen zeker ook latere ophogingslagen zijn die niets met de burcht te maken hebben.

Zone 3

Binnen het volledige surveygebied van zone 3 worden reflectoren waargenomen tot op relatief grote diepte (1.2-1.8 m). Opvallend is dat er slechts een beperkt verschil in dieptepenetratie optreedt tussen zones met verharding en zones met gras.

Onder het wegdek komen ondiepe lineaire reflectoren voor, die mogelijk wijzen op de aanwezigheid van nutsleidingen (Figuur 18-27, Figuur 19-34,35,36; Figuur 20-34,35). Toch kan niet uitgesloten worden dat sommige van deze reflectoren verband houden met archeologische muurresten, in het bijzonder op grotere diepte (Figuur 22-45,49). De aanwezigheid van rechthoekige, sterke reflectoren die duidelijk overeenkomen met putdeksels en inspectieputten (Figuur 17-19,20,21,22; Figuur 18-25) maakt het aannemelijk dat de reflectoren die hierop

aansluiten met grote zekerheid als nutsleidingen geïnterpreteerd kunnen worden. Amorfe reflectoren (Figuur 18-26) worden als puinlagen geïnterpreteerd.

Onder de dieper gelegen ruimte van het voormalige kloostercomplex worden geen moderne nutsleidingen verwacht. De aangetroffen reflectoren in deze zone worden daardoor eerder geïnterpreteerd als oudere nutsleidingen of muurresten (Figuur 18-28,29,30,31,32; Figuur 19-37; Figuur 20-37). Eén van deze reflectoren (Figuur 18-28) loopt verder door naar het noorden (Figuur 19-38), wat deze interpretatie versterkt.

Voor de deelzone onder het gras en het grindpad blijft het onduidelijk of er nutsleidingen aanwezig zijn. De reeks parallelle reflectoren lijkt op de aanwezigheid van een drainagesysteem te wijzen (Figuur 17-23). Verder worden hier verschillende lineaire reflectoren met een oost-westoriëntatie op uiteenlopende dieptes waargenomen (Figuur 18-33; Figuur 19-40; Figuur 20-40,41; Figuur 21-43; Figuur 22-46,47), wat wijst op een complexe stratigrafische opbouw. Daarnaast komen er lineaire anomalieën voor die loodrecht op deze structuren lijken aan te sluiten (Figuur 19-38,39; Figuur 20-42; Figuur 21-44; Figuur 22-48). Tot vrij recent lag hier een weg met parkeerplaatsen. Daarnaast tonen historische kaarten tonen aan dat in dit deel van zone 3 vroeger gebouwen hebben gestaan, waardoor zowel oudere nutsleidingen, resten van weginfrastructuur, als muurresten mogelijke oorzaken zijn. Door deze overlap in mogelijke interpretaties is het niet mogelijk om de anomalieën met enige zekerheid toe te wijzen aan de burchtfase.

V. Conclusie en aanbevelingen voor verder onderzoek

Het onderzochte terrein wordt gekenmerkt door een uitdagende archeologische context: een complexe urbane stratigrafie die zich boven mogelijke sporen van de burchtzone, de focus van dit onderzoek, bevindt. Deze situatie is verder bemoeilijkt door de aanzienlijke diepte van de lagen en de ongunstige bodemomstandigheden, met name het hoge bodemvocht, wat de effectiviteit van GPR aanzienlijk heeft beperkt. Verder leidt de grote hoeveelheid puntreflectoren veroorzaakt door puin in de bodem tot verstrooiing van het GPR-sigitaal, waardoor het moeilijker wordt om structuren duidelijk af te bakenen. Hierdoor was de kans op succes bij het beantwoorden van de onderzoeksvraag – het in kaart brengen van de burchtzone – van meet af aan klein.

De afwezigheid van duidelijke reflectoren kan in bepaalde zones vanaf grotere dieptes, gezien de moeilijke surveyomstandigheden, daarom geïnterpreteerd worden als een gevolg van deze omstandigheden maar niet als een indicatie van het ontbreken van archeologische resten. Er zijn tot immers op een diepte van ca. 1 tot 2 m reflectoren waargenomen. Het is aannemelijk dat een groot deel van de ondiepere reflectoren verband houdt met nutsleidingen, terwijl de diepere zowel gerelateerd kunnen worden aan nutsleidingen als archeologische resten. Op basis van hun morfologie en de beschikbare contextuele informatie is een sluitende interpretatie echter niet mogelijk.

We adviseren om de bestaande leidingplannen te raadplegen en analyseren, om vast te stellen welke gedetecteerde reflectoren overeenkomen met bekende nutsleidingen. Dit helpt om storende elementen uit te sluiten en de interpretatie van overige anomalieën te verfijnen. Daarnaast kan een regressieve historische kaartanalyse helpen om inzicht te krijgen in de vroegere inrichting van het terrein en mogelijke archeologische interpretatie van de resterende anomalieën. De relevante anomalieën met mogelijk archeologische interpretatie kunnen gevalideerd worden met minimaal invasief onderzoek, zoals handboringen op graszones, om een eerste indicatie te krijgen van stratigrafie en mogelijke archeologische lagen. Op verharde zones en waar puin aanwezig is, kunnen mechanische boringen uitgevoerd worden. Gerichte proefsleuven en/of proefputten bieden de meest betrouwbare methode om archeologische validatie te verkrijgen en de hypothese omtrent de burchtzone op grotere diepte te toetsen.

Indien verder geofysisch onderzoek wordt overwogen, dient dit bij drogere bodemomstandigheden gepland te worden om de effectiviteit van GPR te verhogen. Er kan dan eventueel ook een lagere frequentie GPR-antenne (100–250 MHz) gebruikt worden om een betere penetratie en detectie van diepere structuren te realiseren. Deze zal dan wel een lagere ruimtelijke resolutie hebben.

VI. Geofysische onzekerheid

De geofysische metingen gebruikt in deze studie zijn uitgevoerd in een configuratie om potentiële archeologische sporen te detecteren. Ook de verwerking gebeurde met het oog hierop. Ondanks deze kwaliteitsbetrachting is geen enkele, en daarom ook niet de hier toegepaste, geofysische techniek of combinatie daarvan in staat alle fenomenen in de ondergrond te detecteren en sluitend te interpreteren. De interpretatie van de metingen is gebaseerd op uitgebreide theoretische wetenschappelijke kennis, gecombineerd met praktische terreinervaring. Gezien de inherente onzekerheid van geofysische meetdata en de archeologische en materiaalkundige interpretatie ervan, zeker wanneer invasieve validatiedata niet of beperkt voorhanden zijn, blijft het niet-detecteren van structuren en sporen in de bodem of een afwijkende interpretatie steeds waarschijnlijk.

VII. Databeschikbaarheid en -archivering

De meetgegevens en daarvan afgeleide datasets zijn in deze studie meegegeven als digitale bijlagen. Deze bestaan uit:

- rasterdata (geotif, EPSG:31370 (Belge Lambert 72)):

 - Geotiffs van de verwerkte datasets

- vectordata (geosjon, EPSG: 31370 (Belge Lambert 72)) met:

 - de omtrek van het surveygebied voor elke methode ('blank');

- alle figuren opgenomen in dit rapport.

Referenties

Conyers, L. B., 2023. *Ground-penetrating radar for archaeology*. Rowman & Littlefield.

Appendices

Appendix 1: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 1 en 2



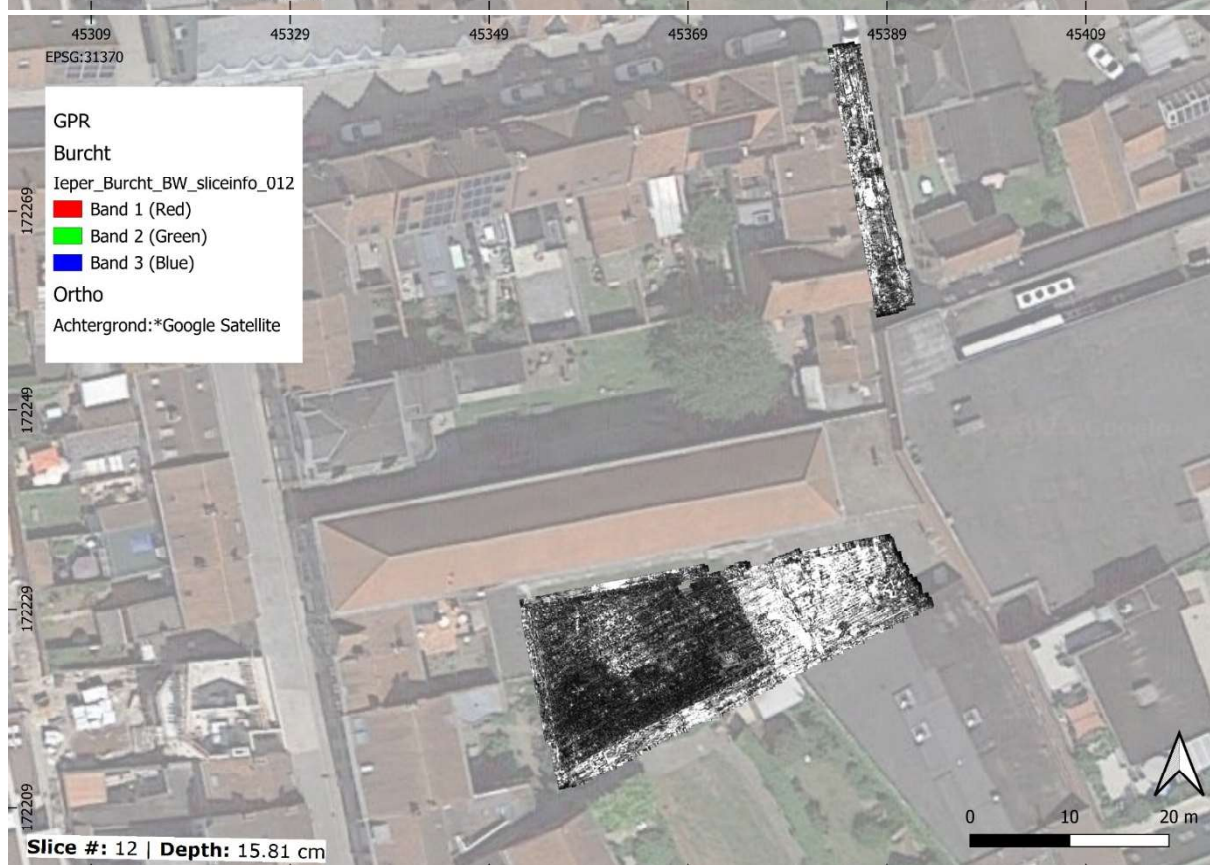
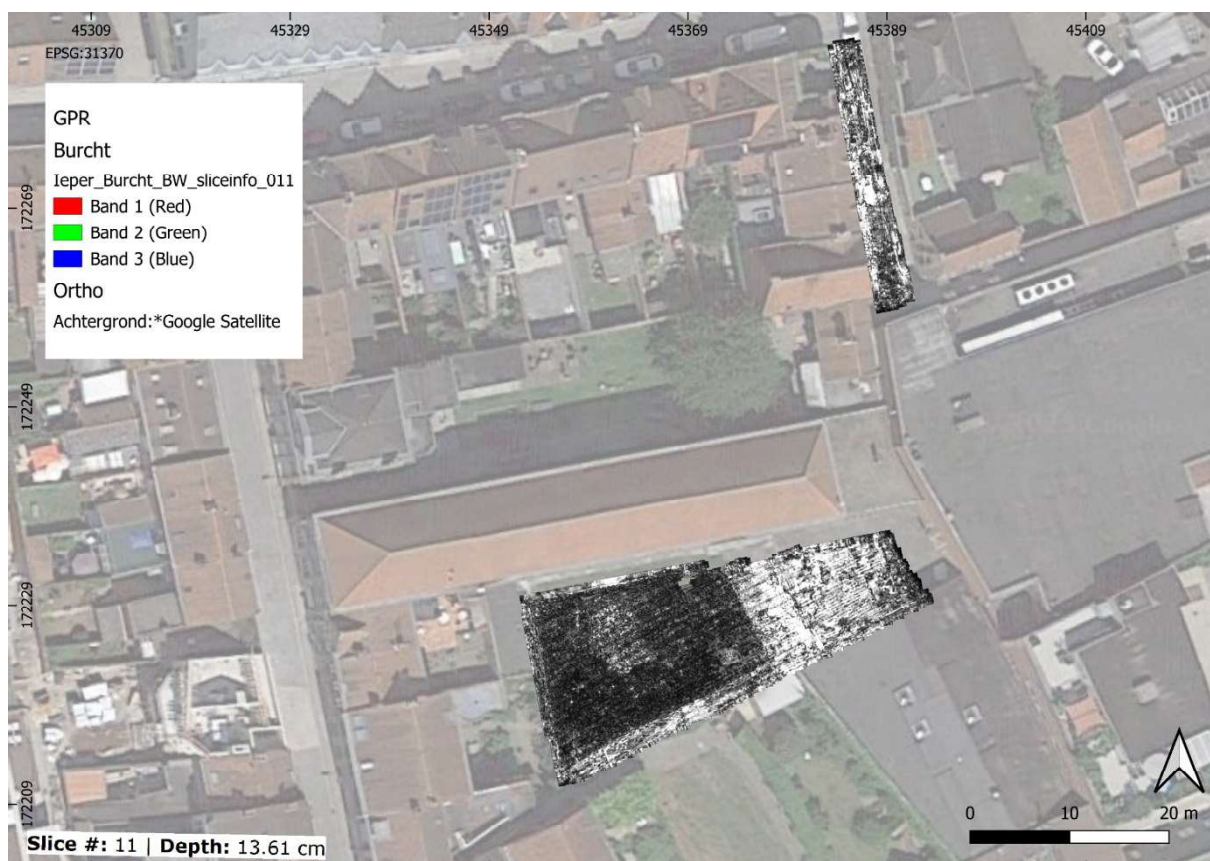


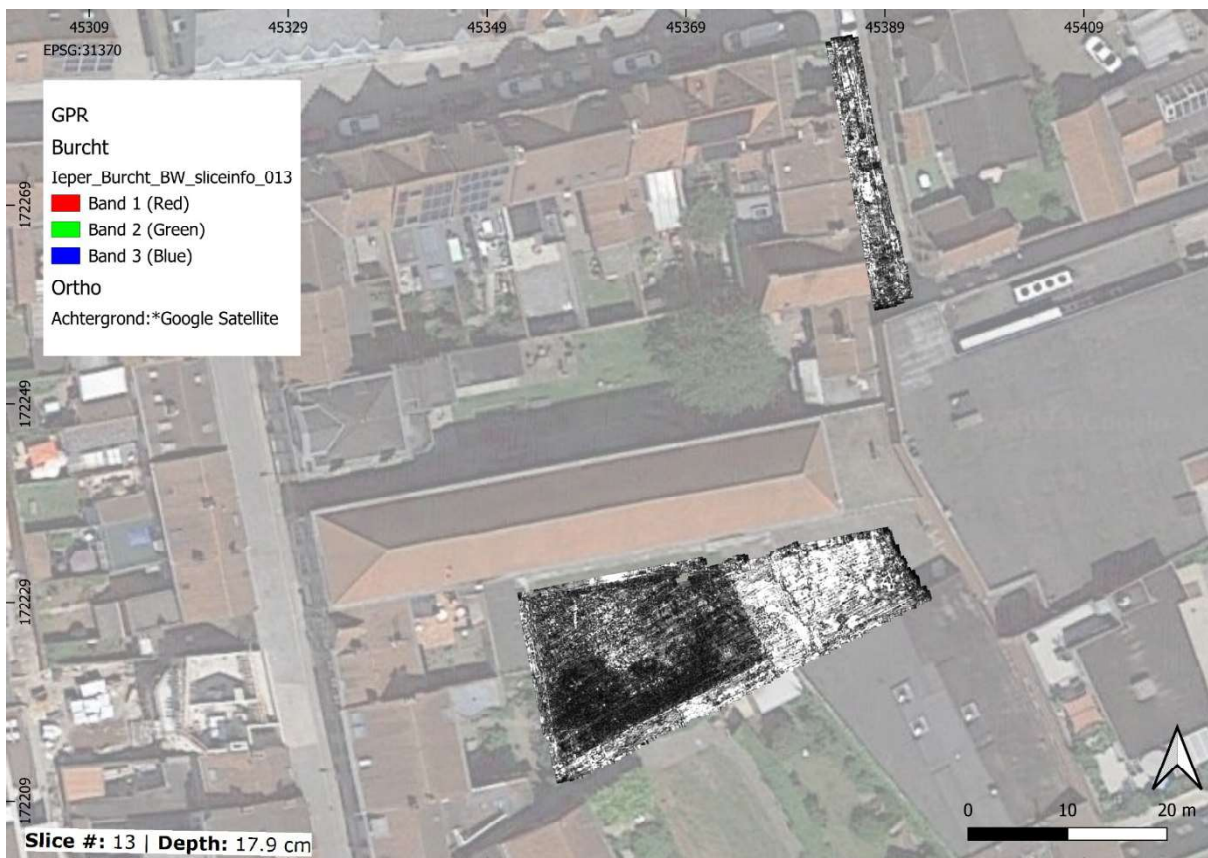






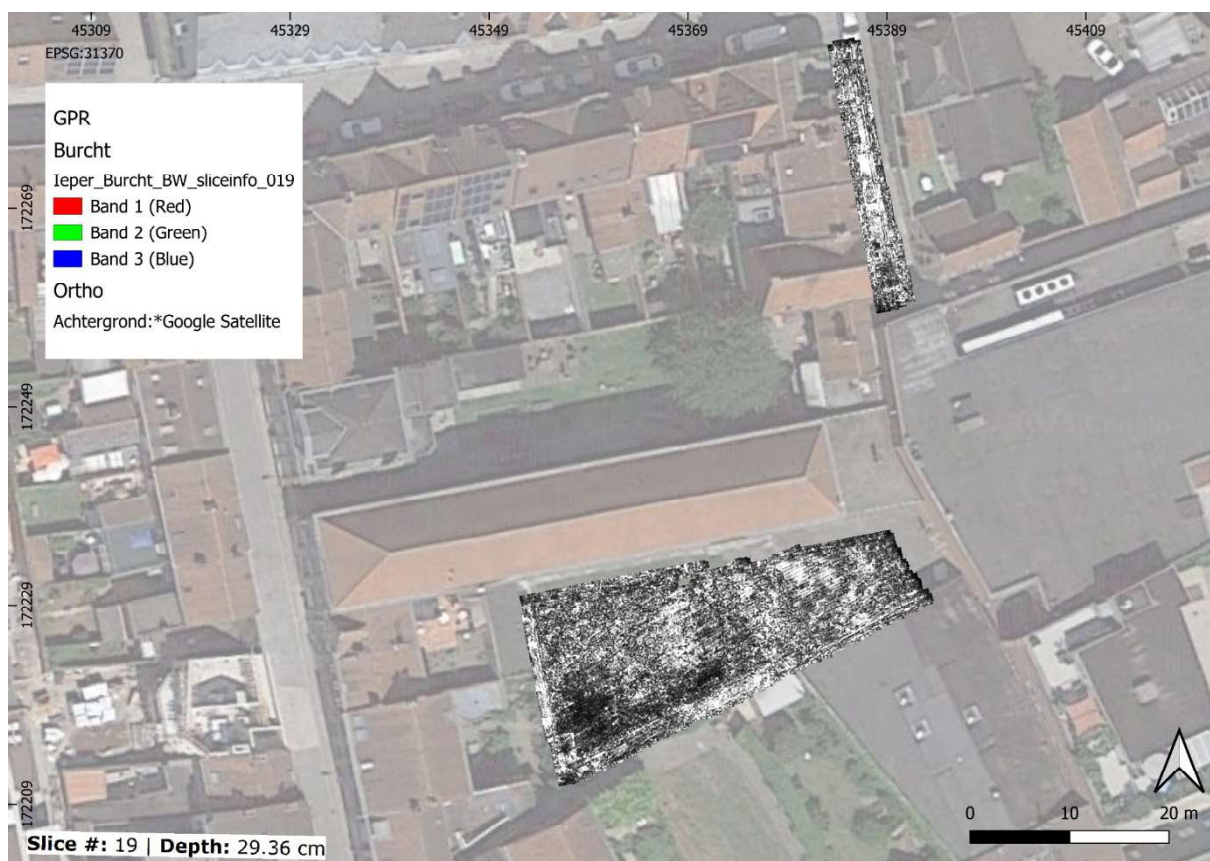








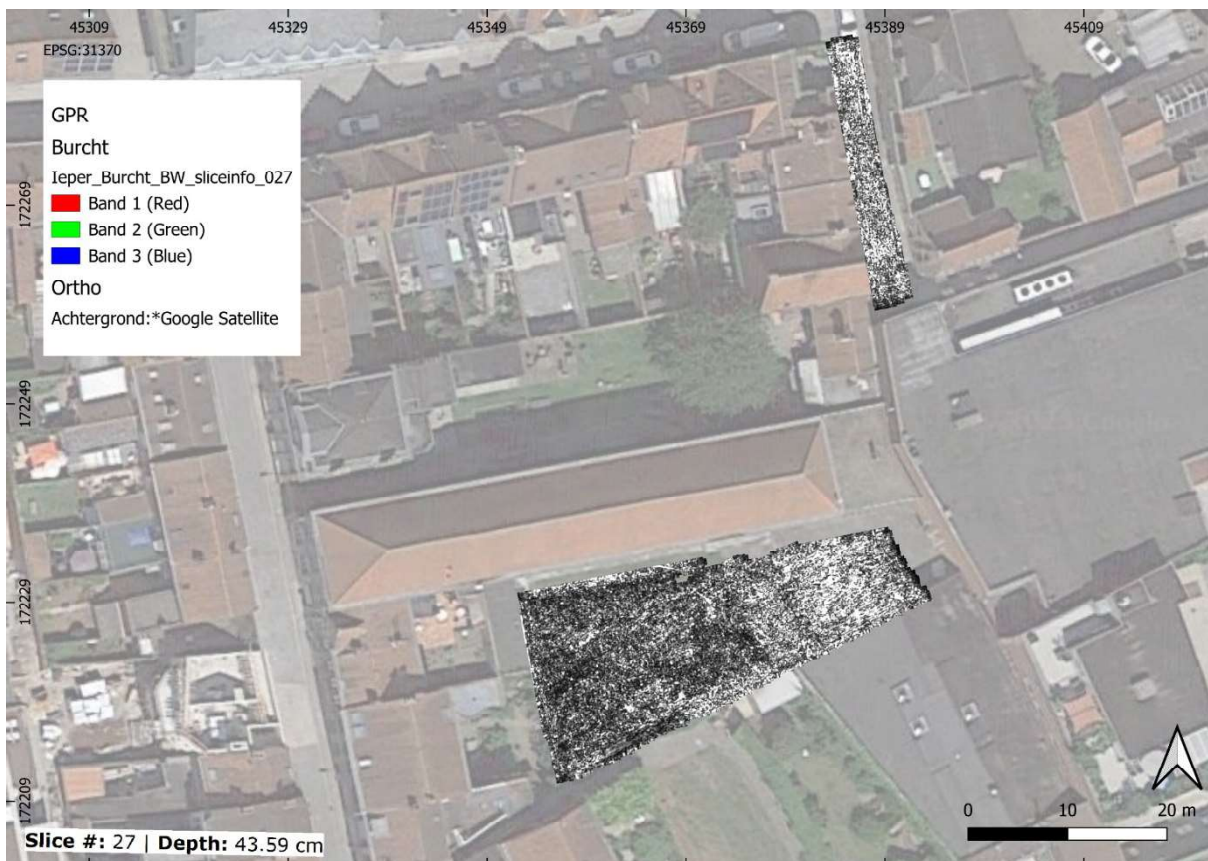


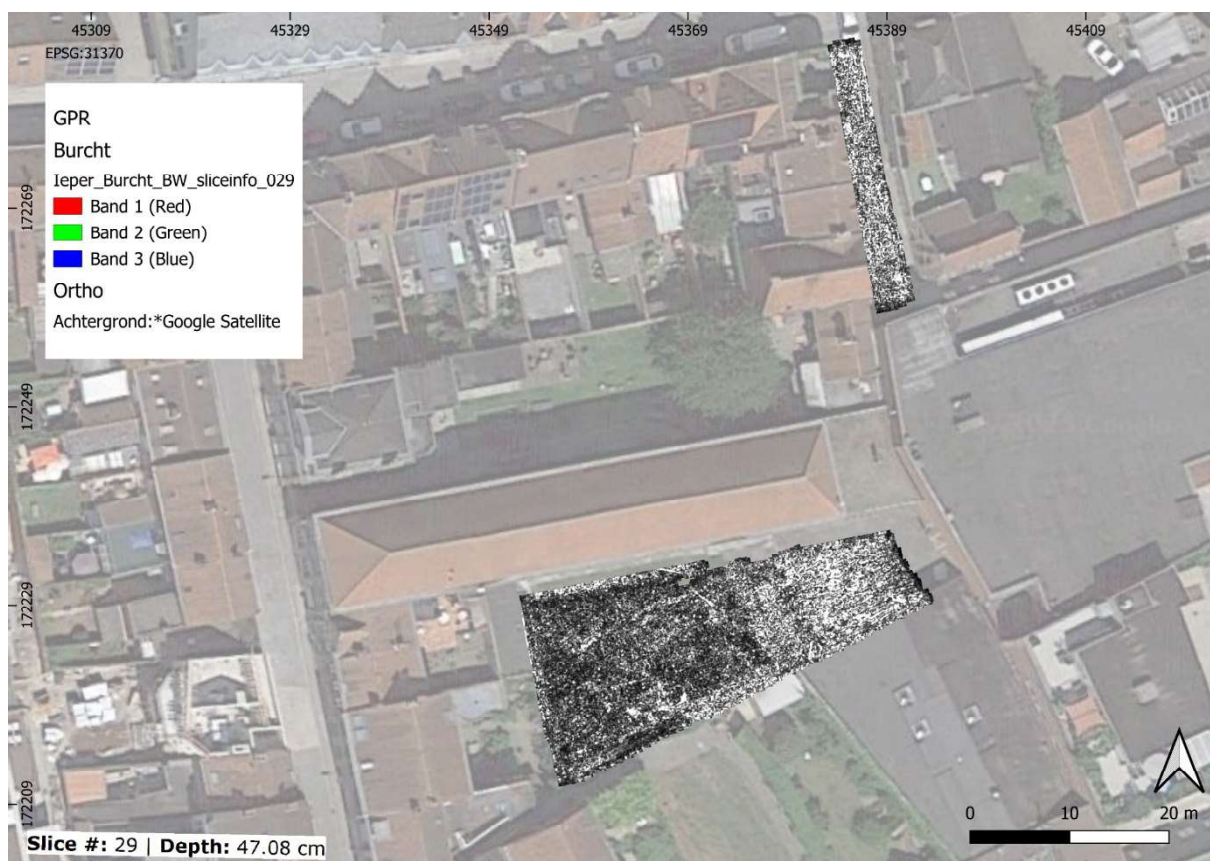


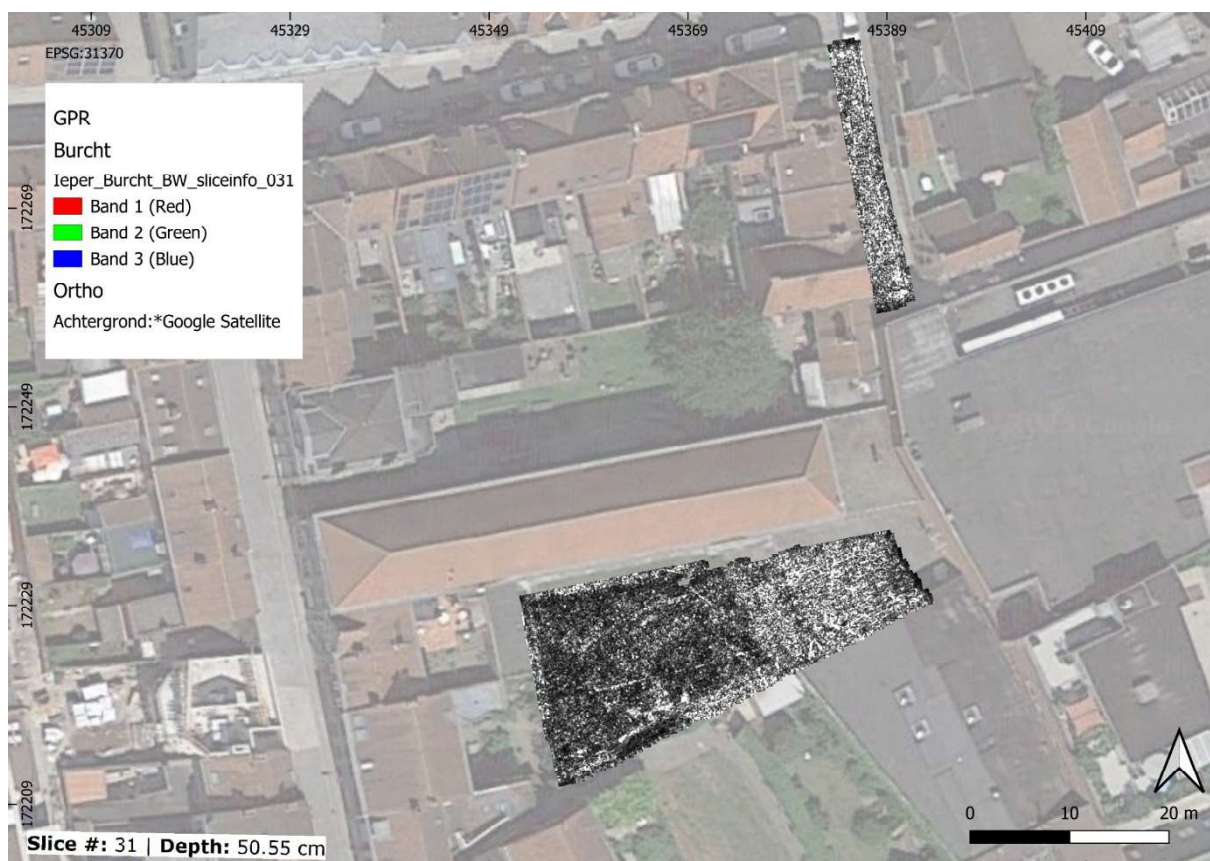


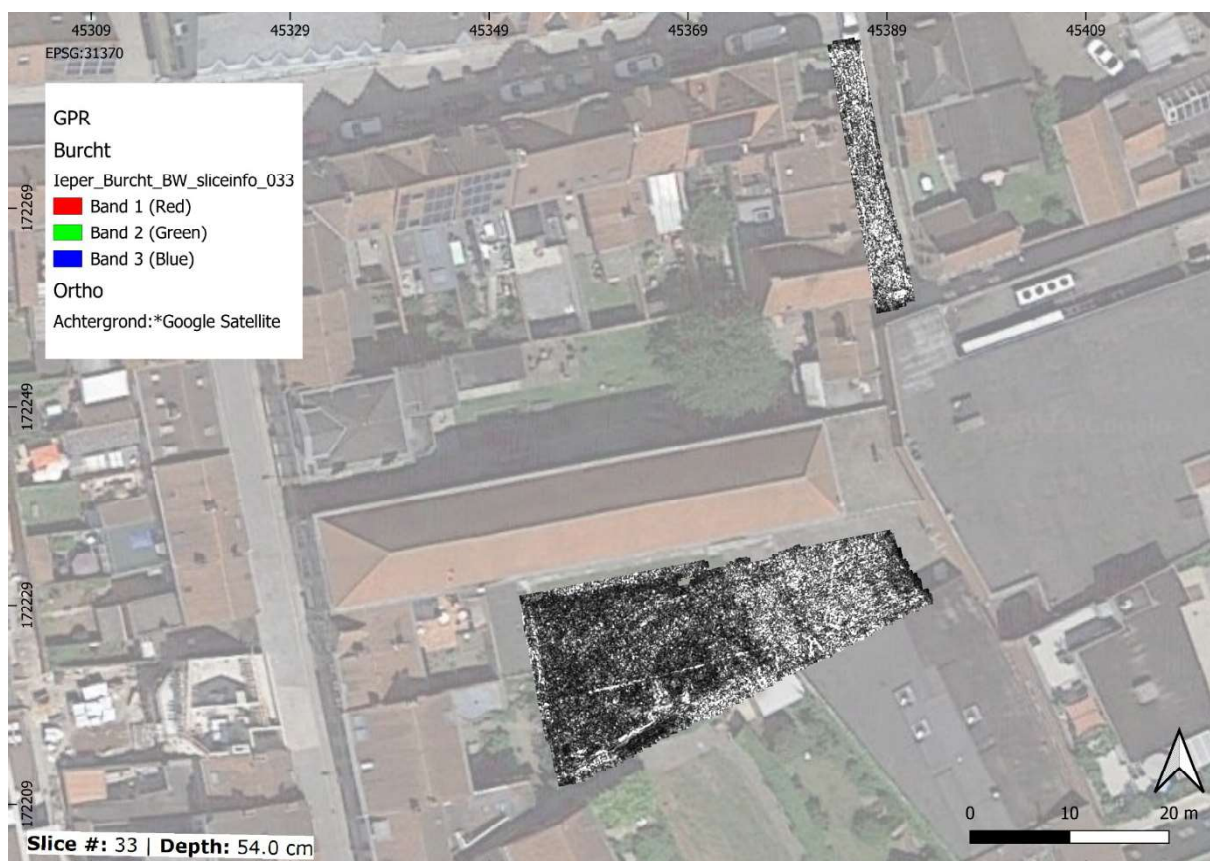


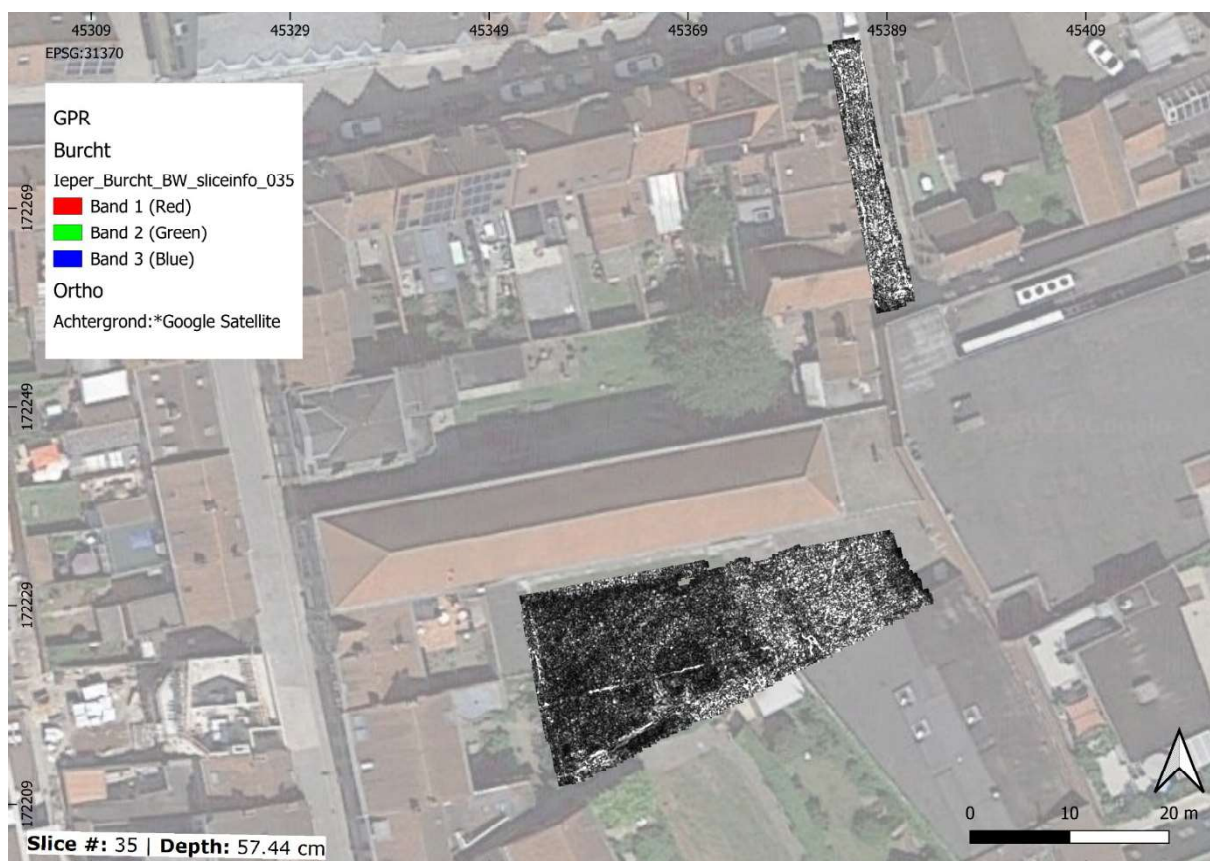




















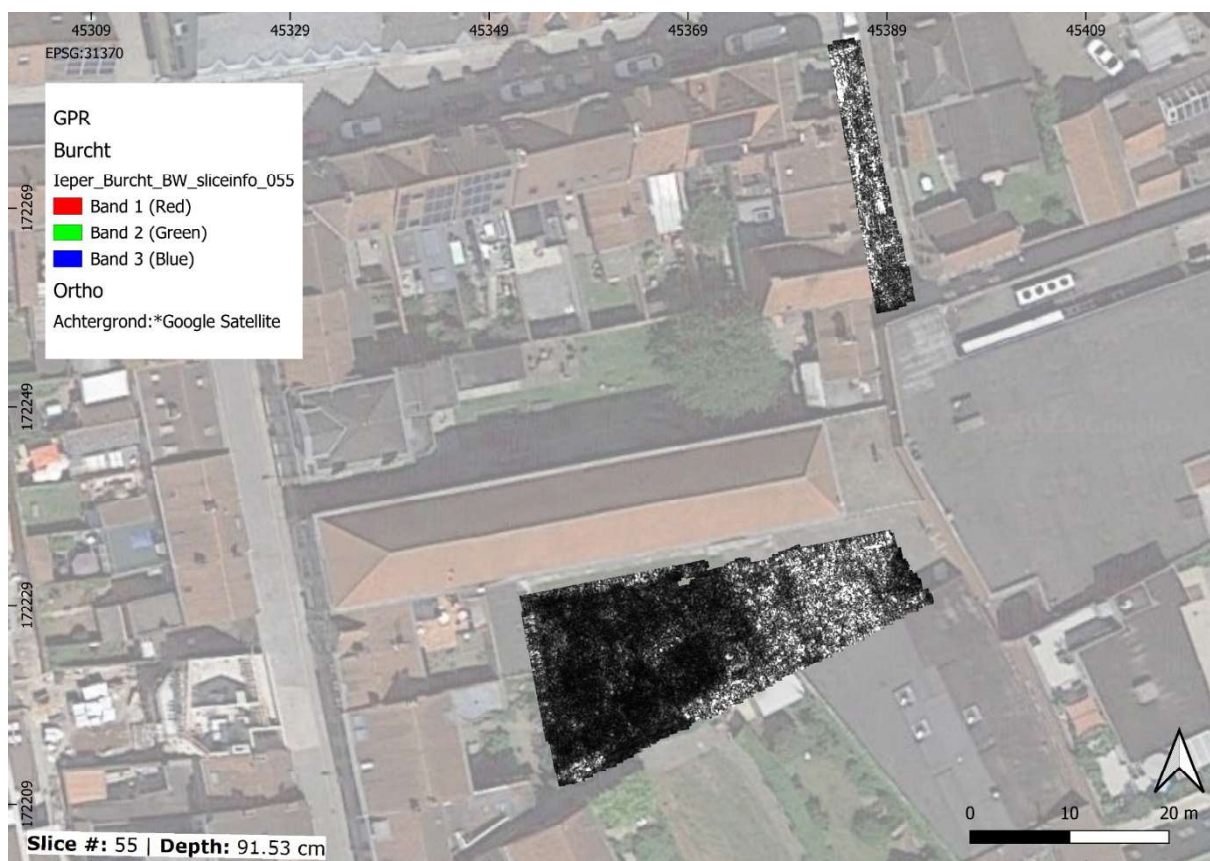




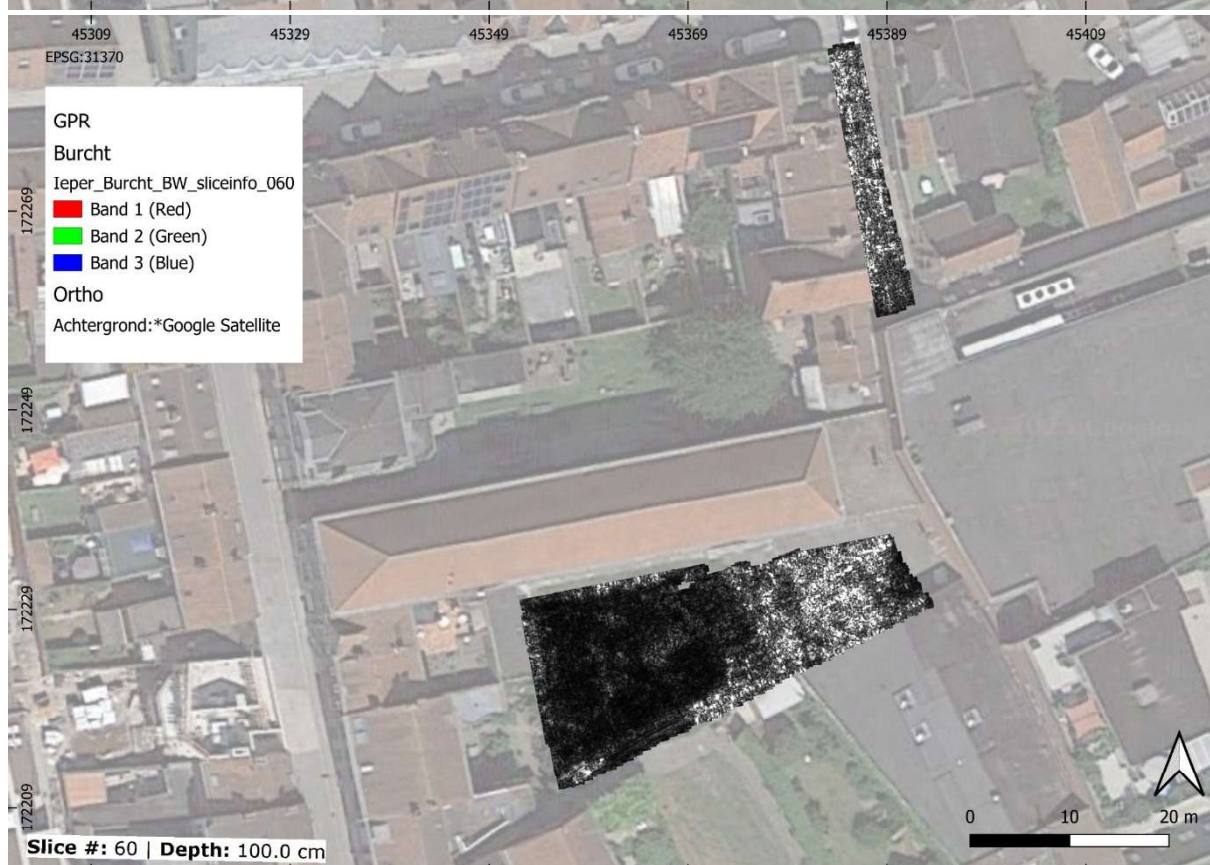
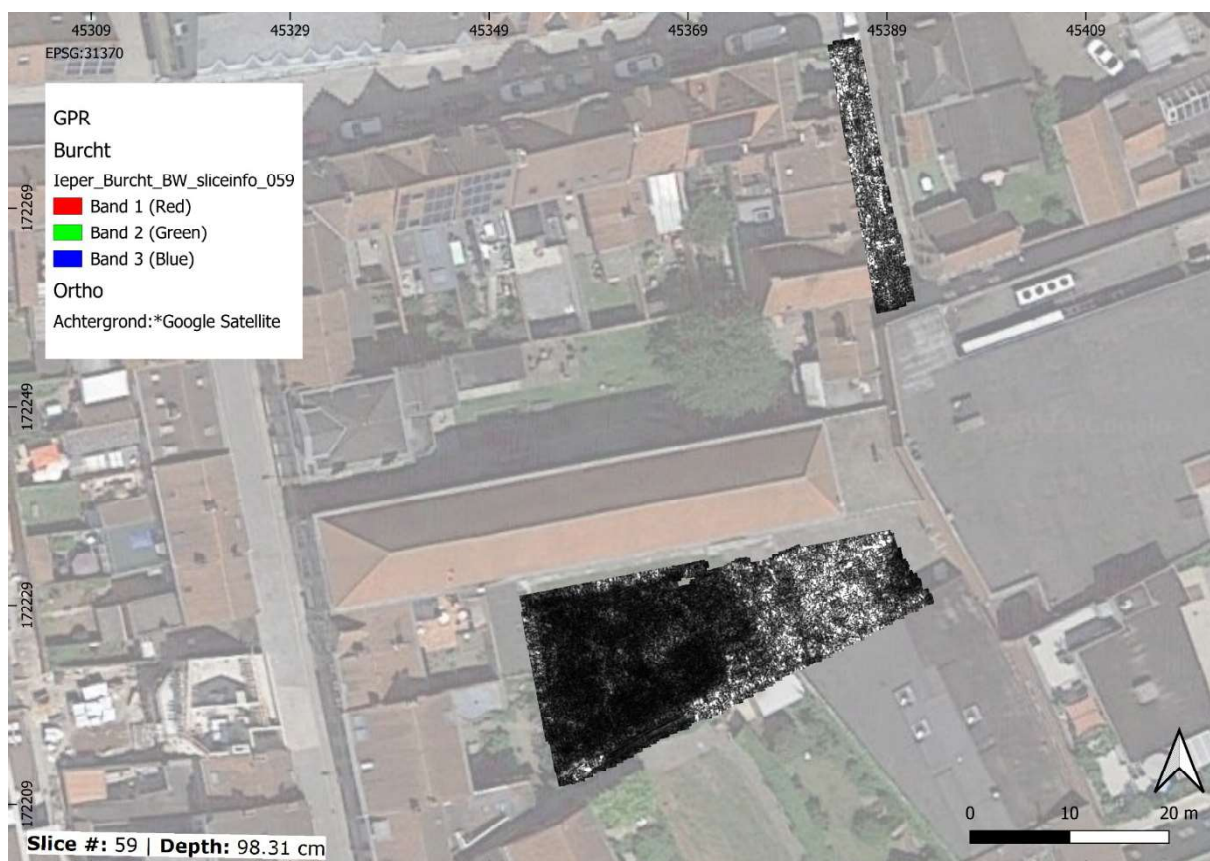


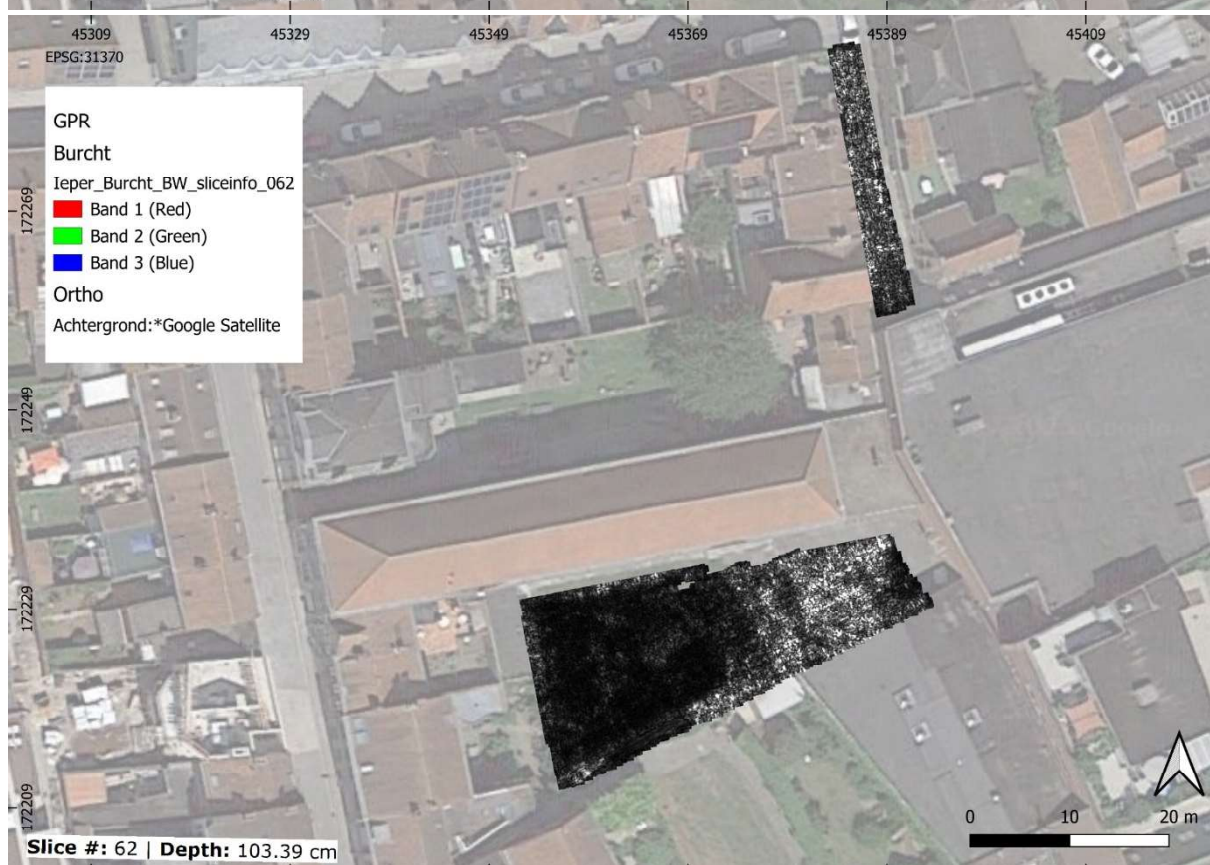
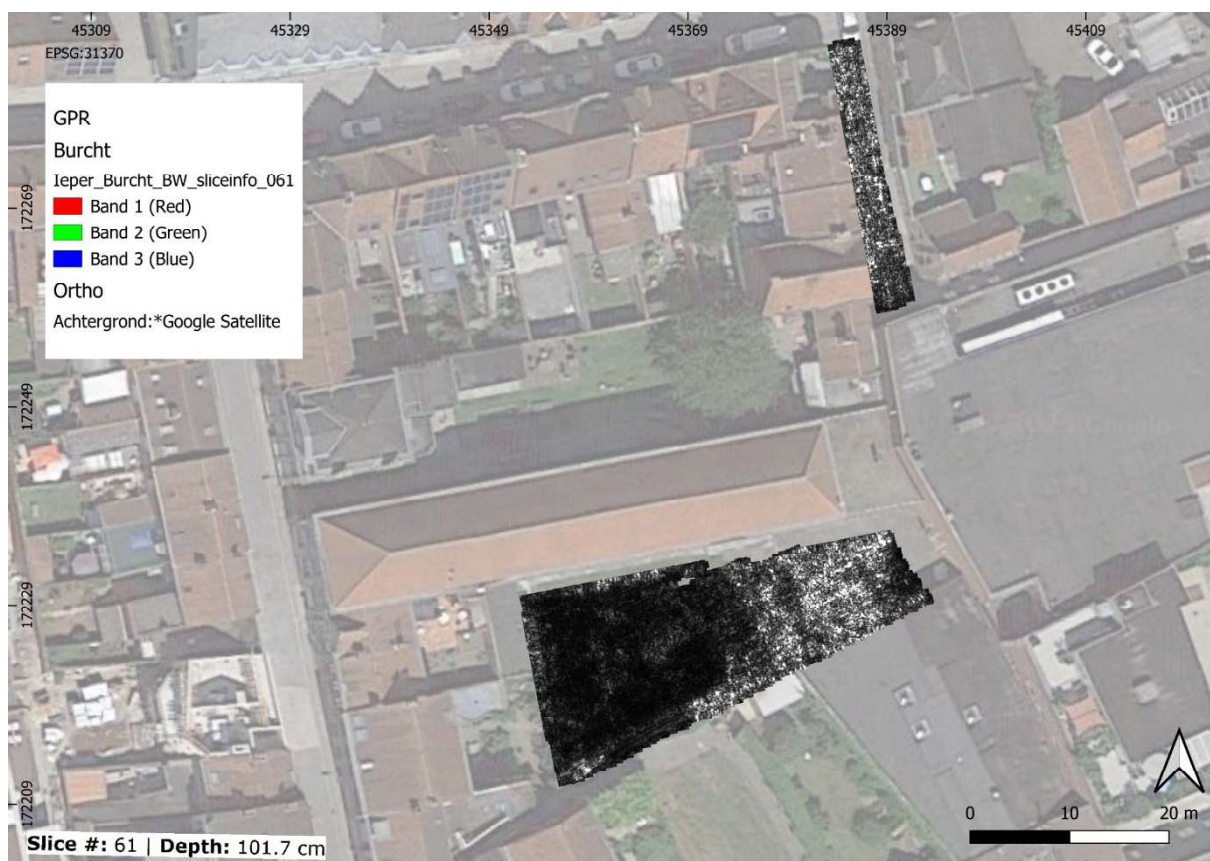






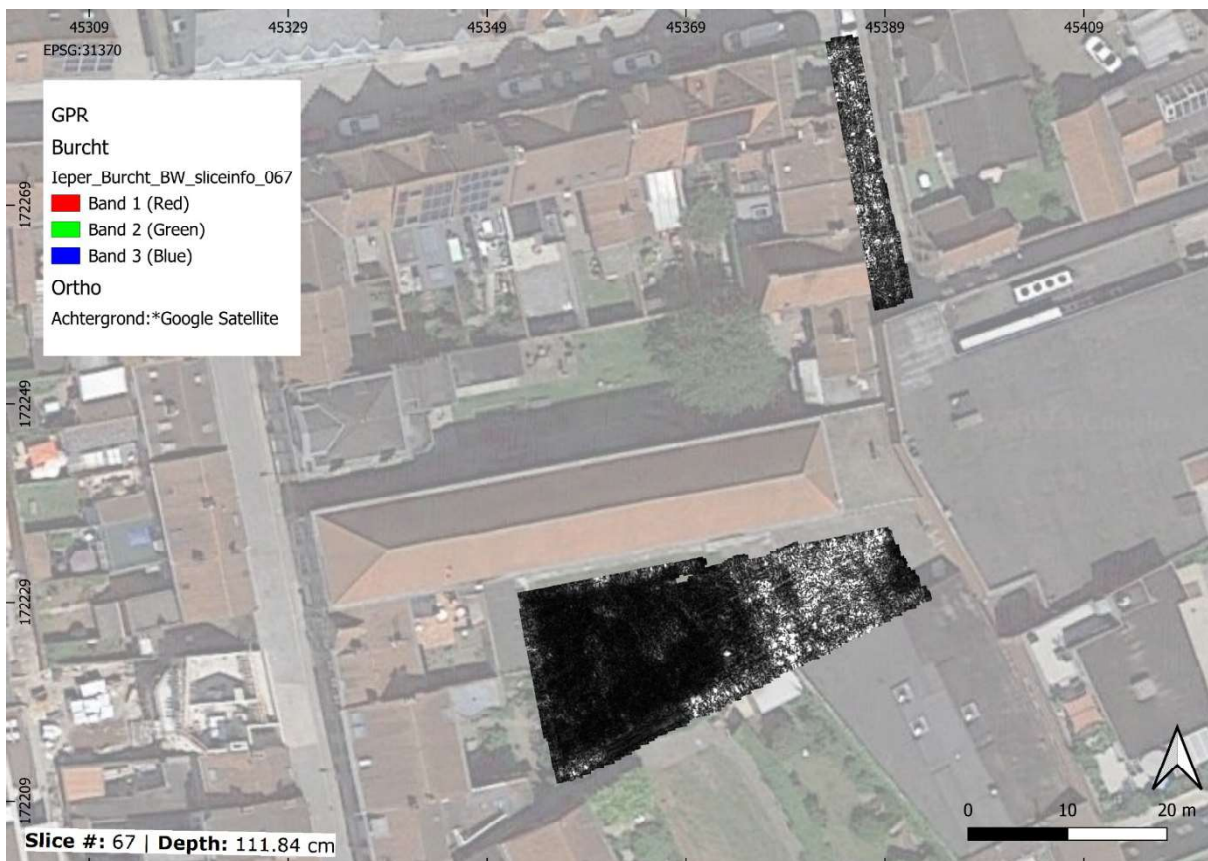


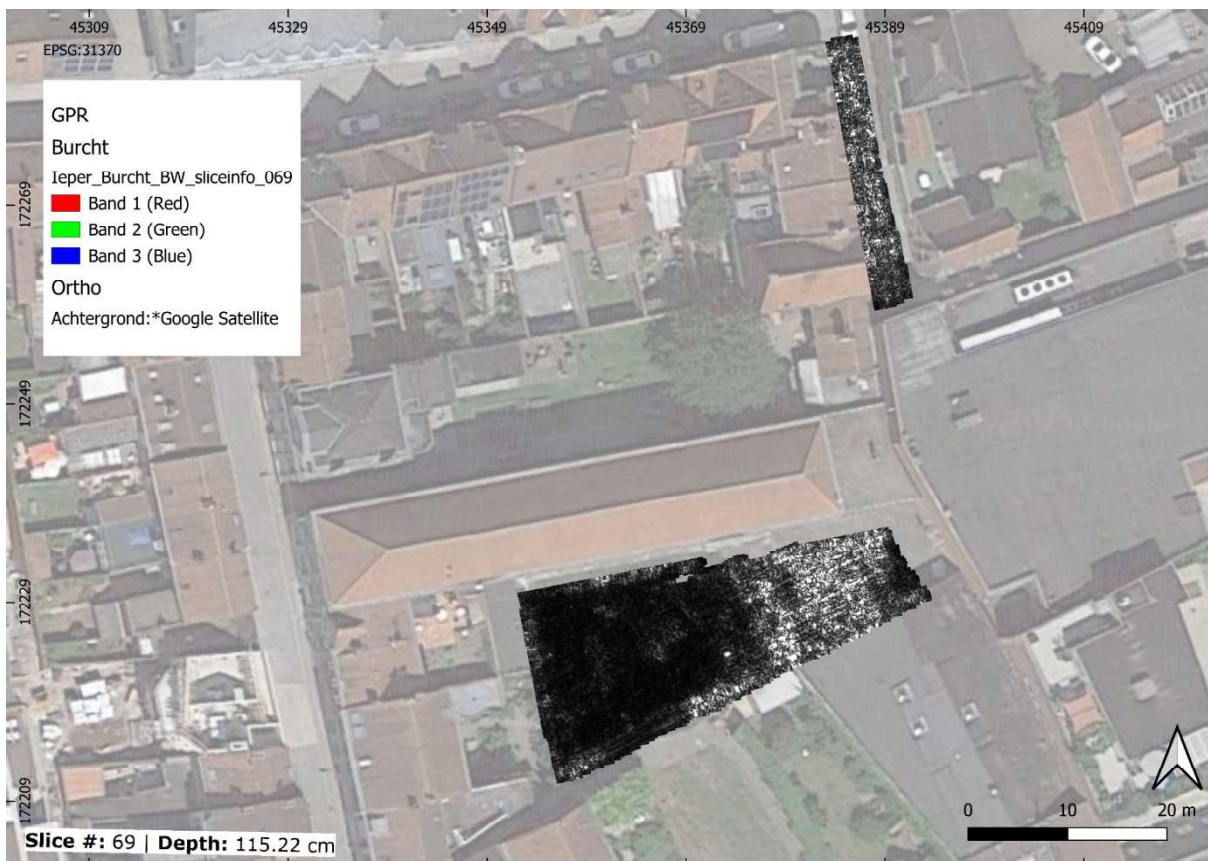


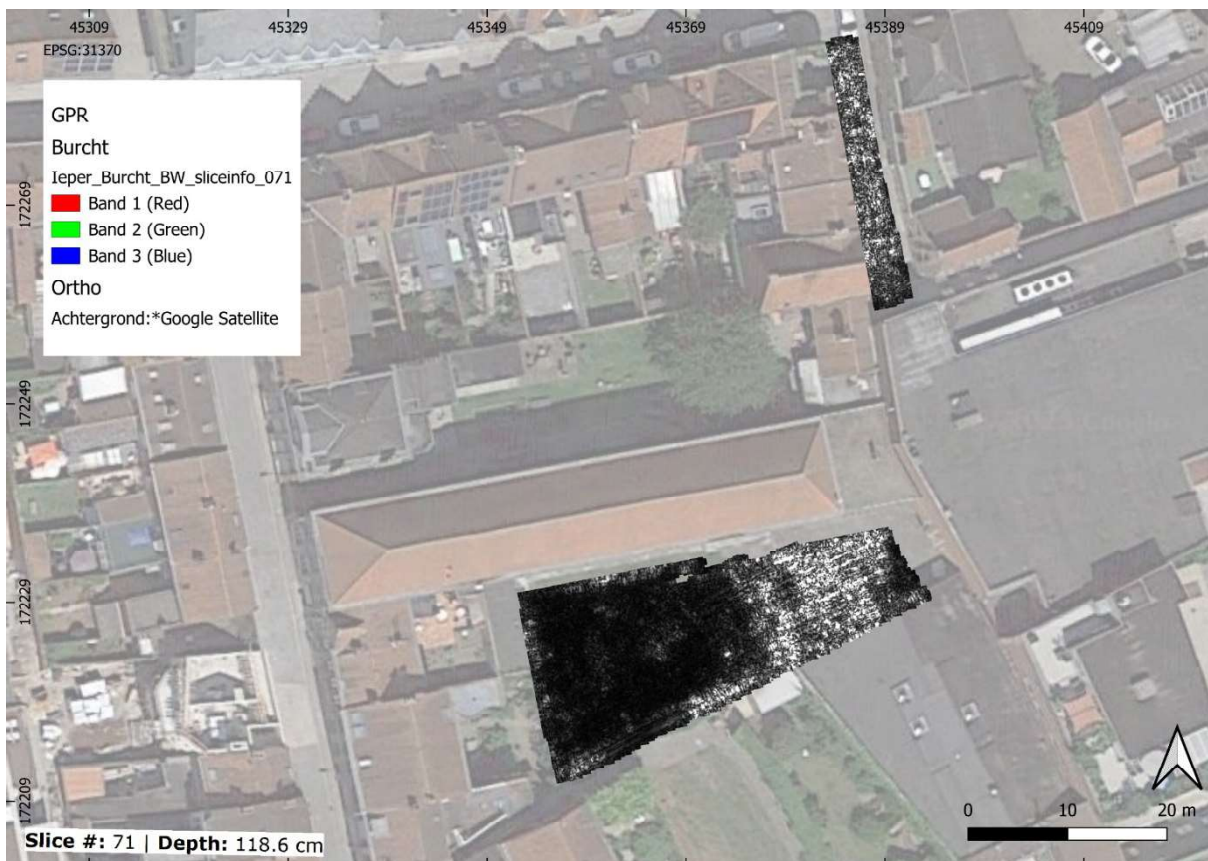




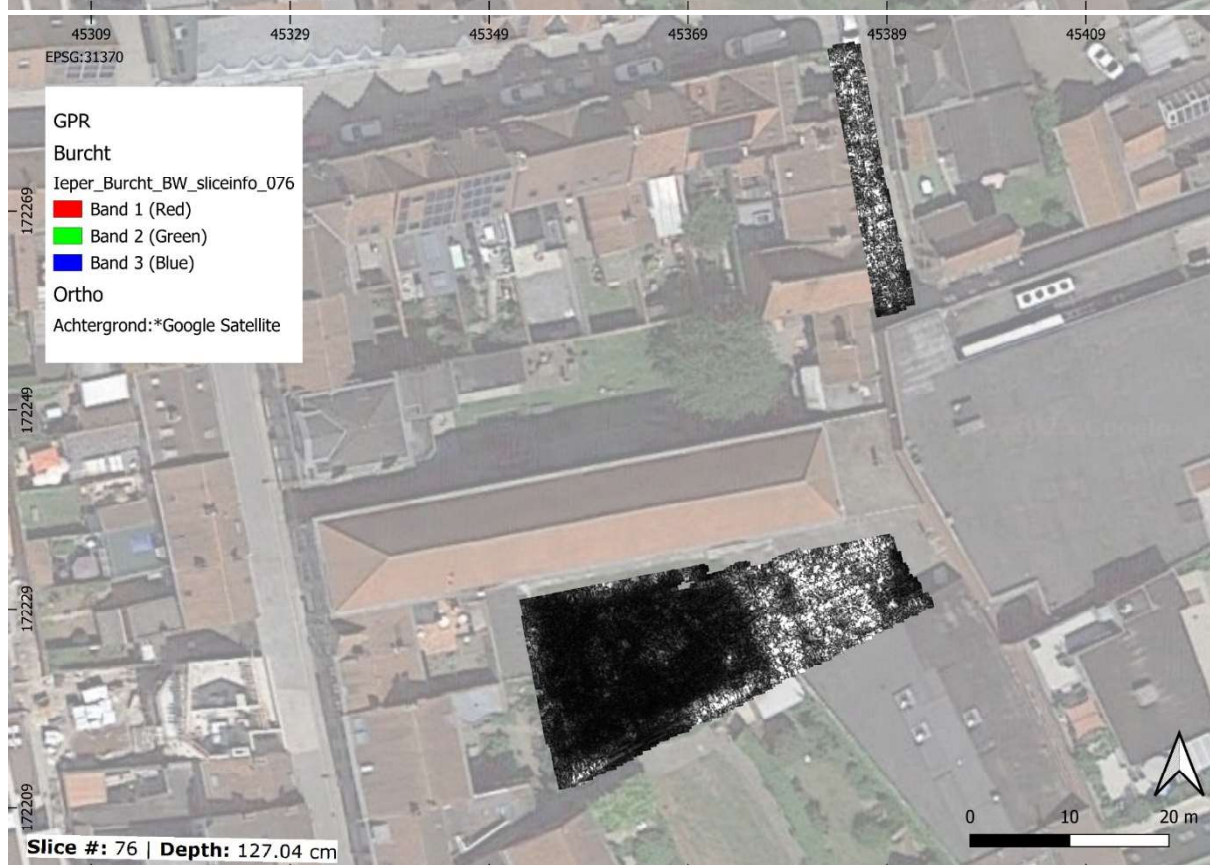


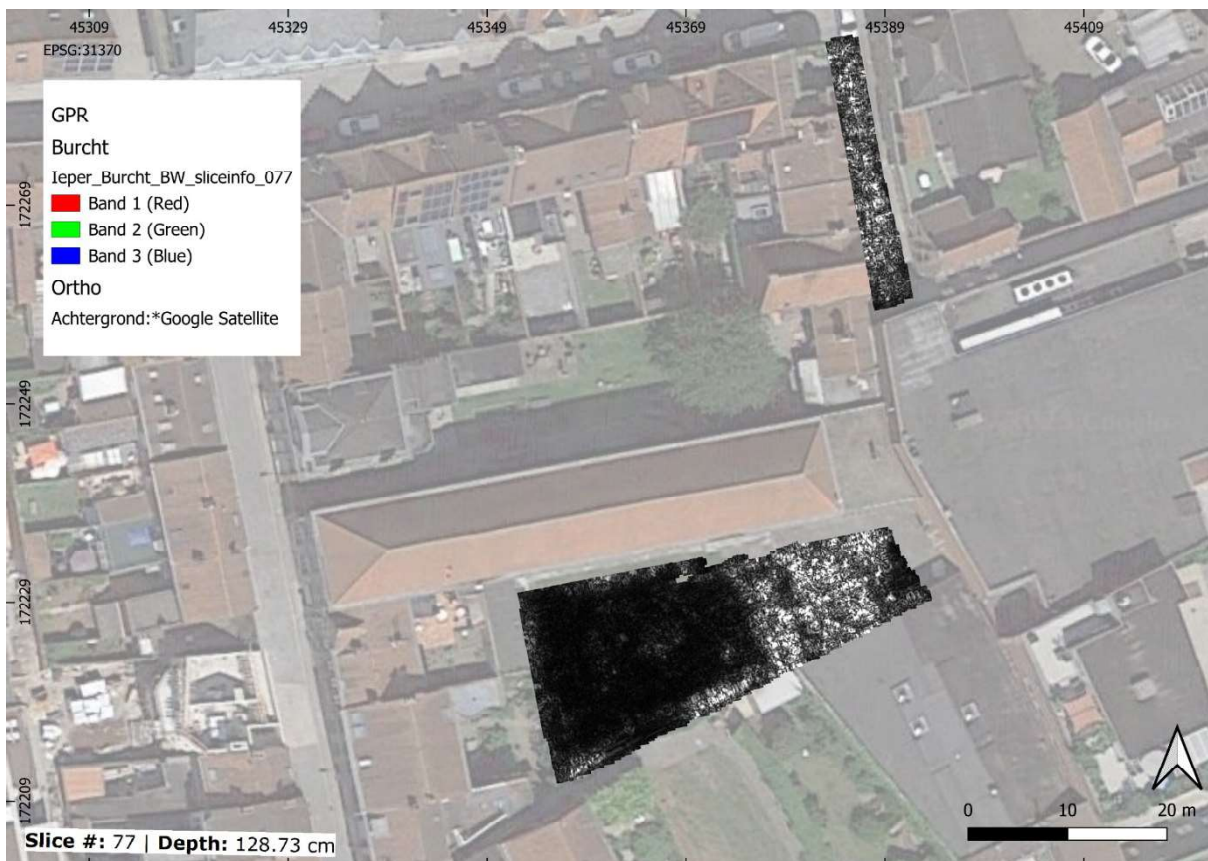




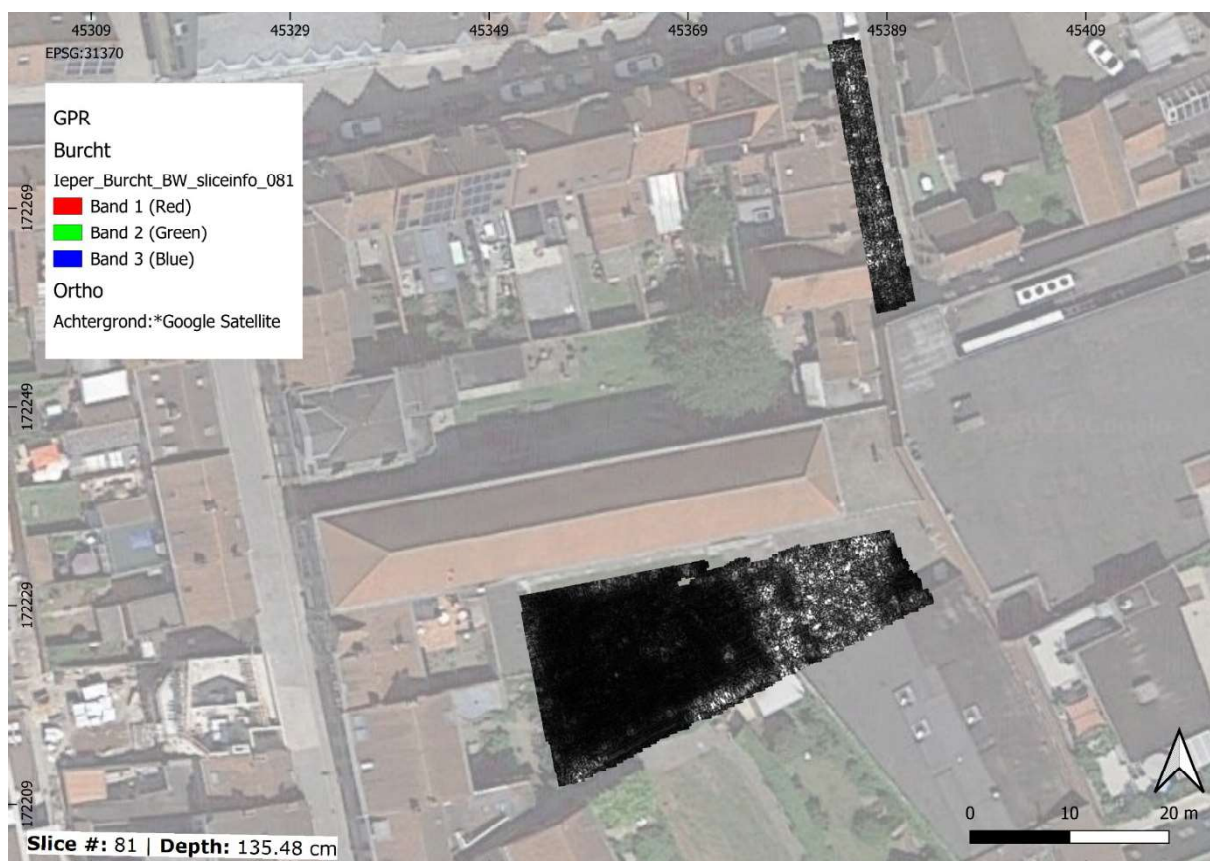


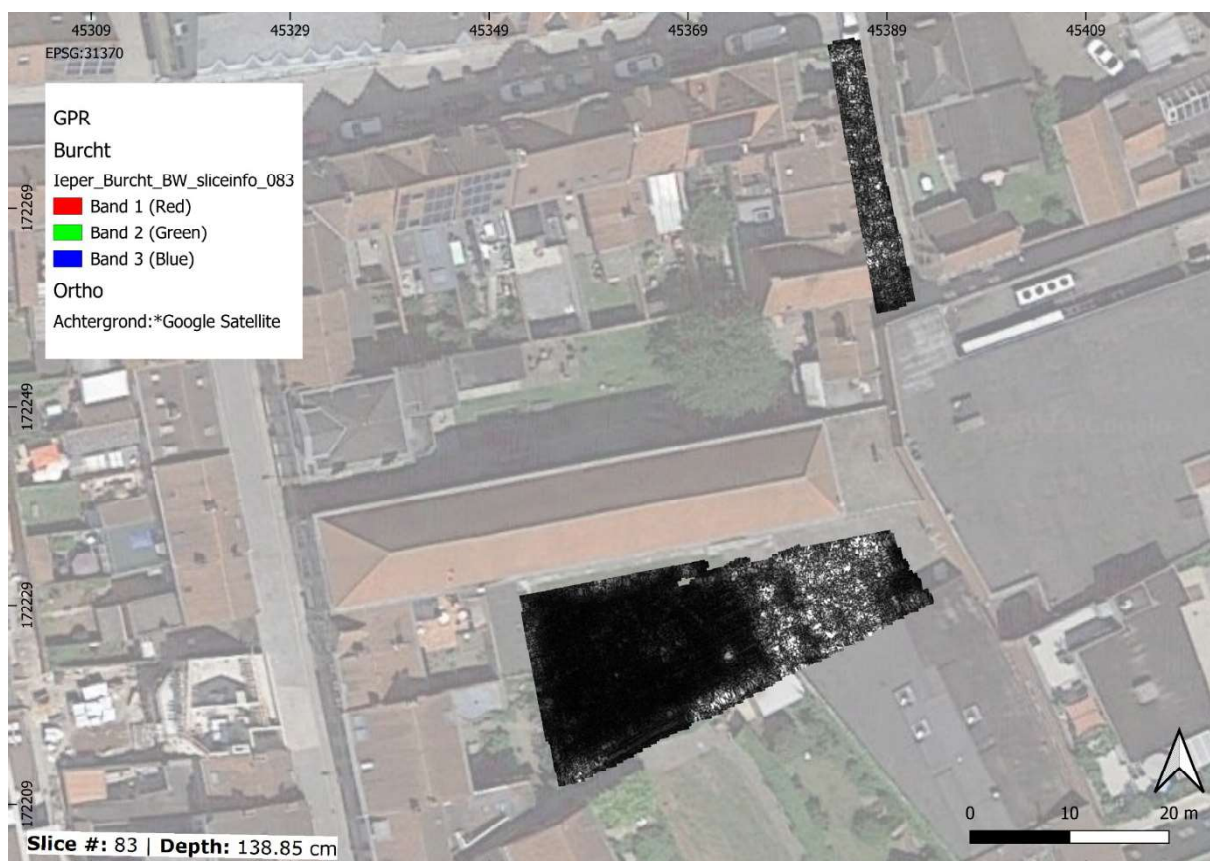


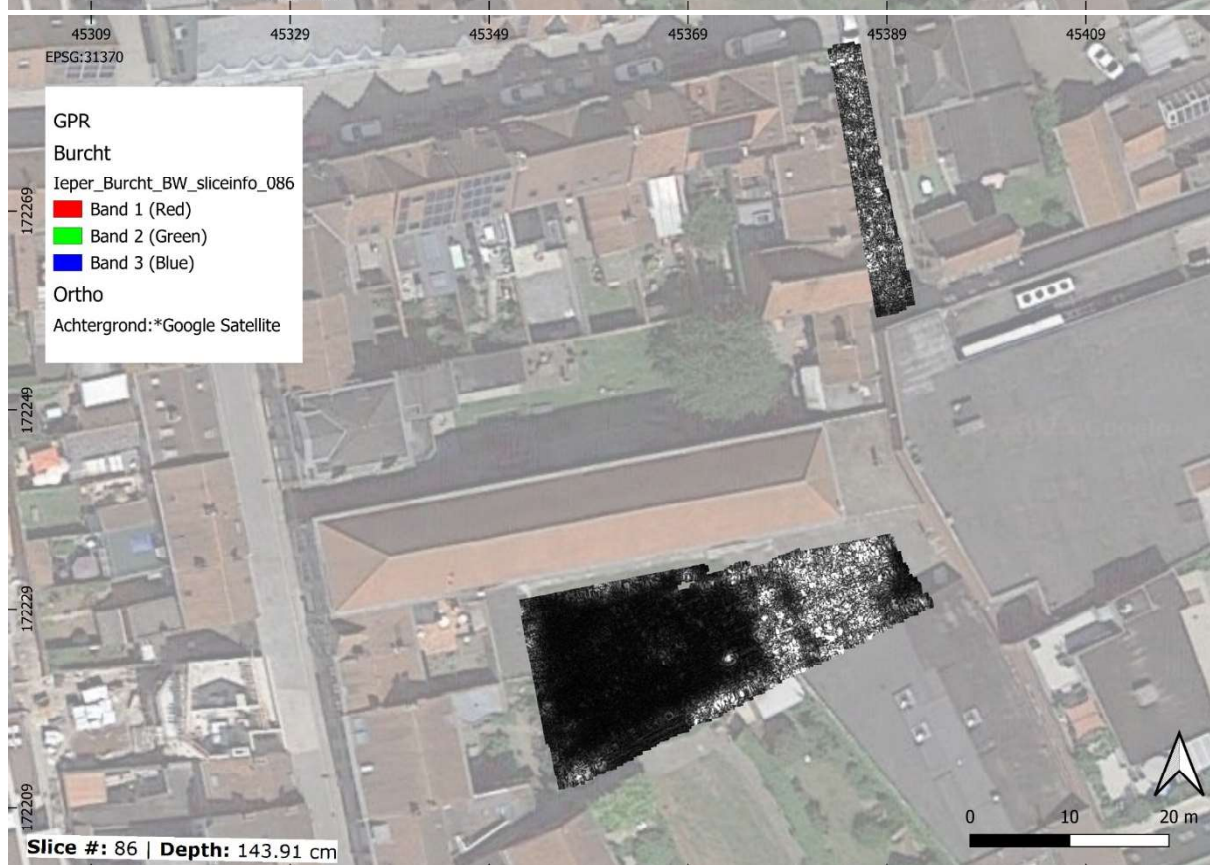
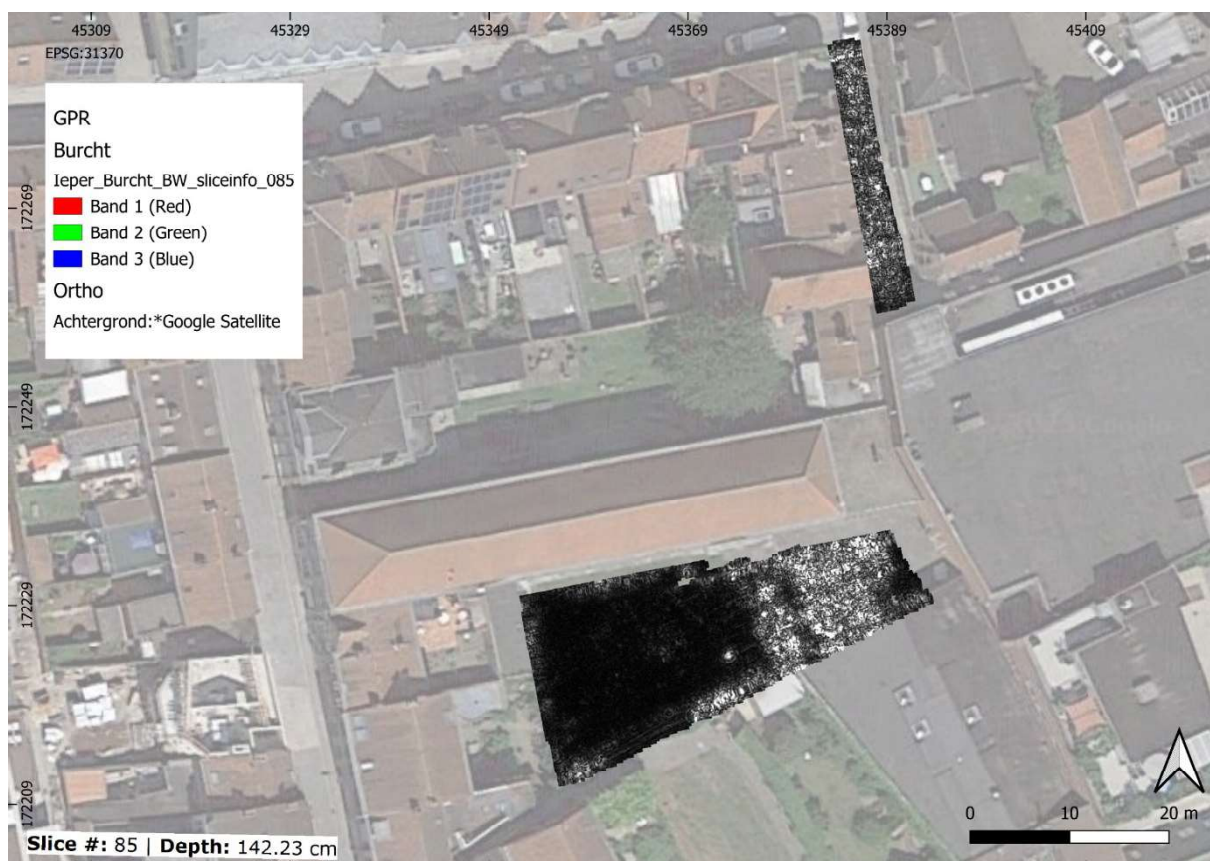


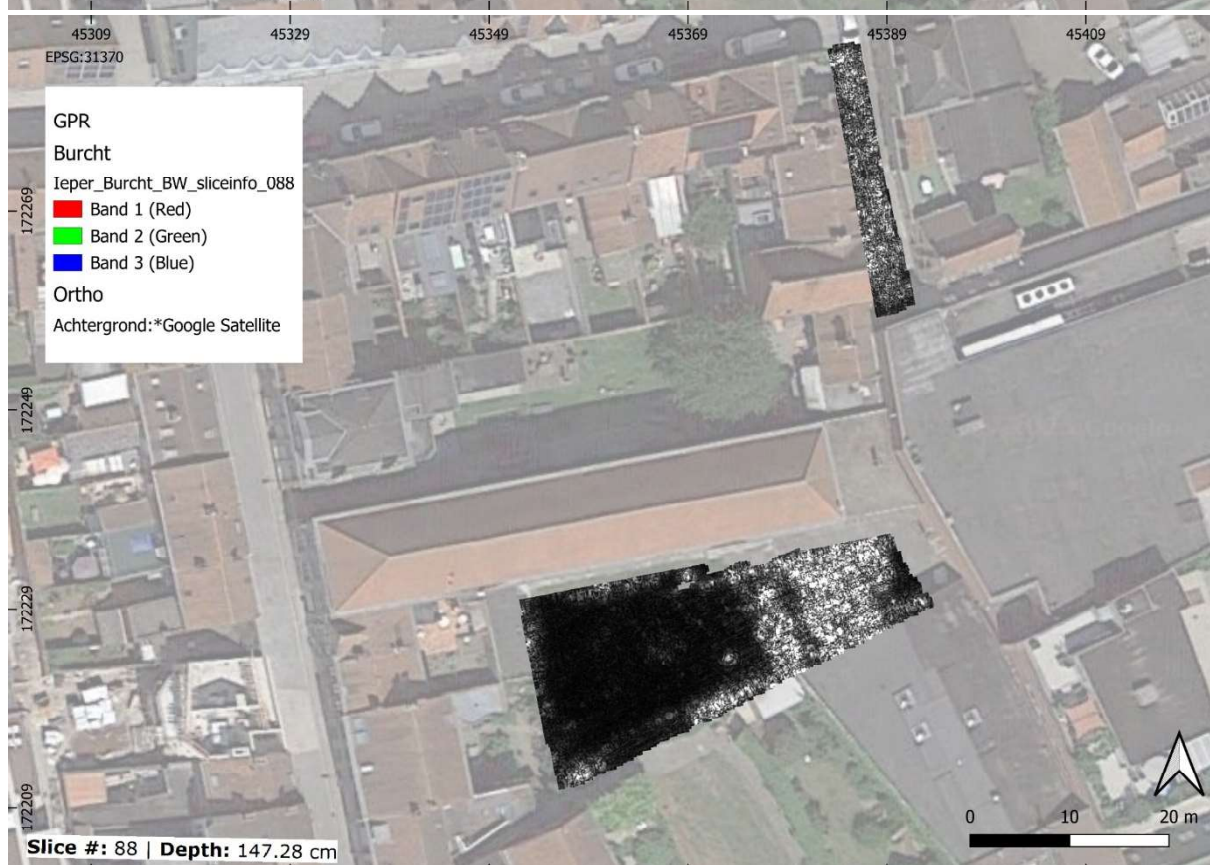
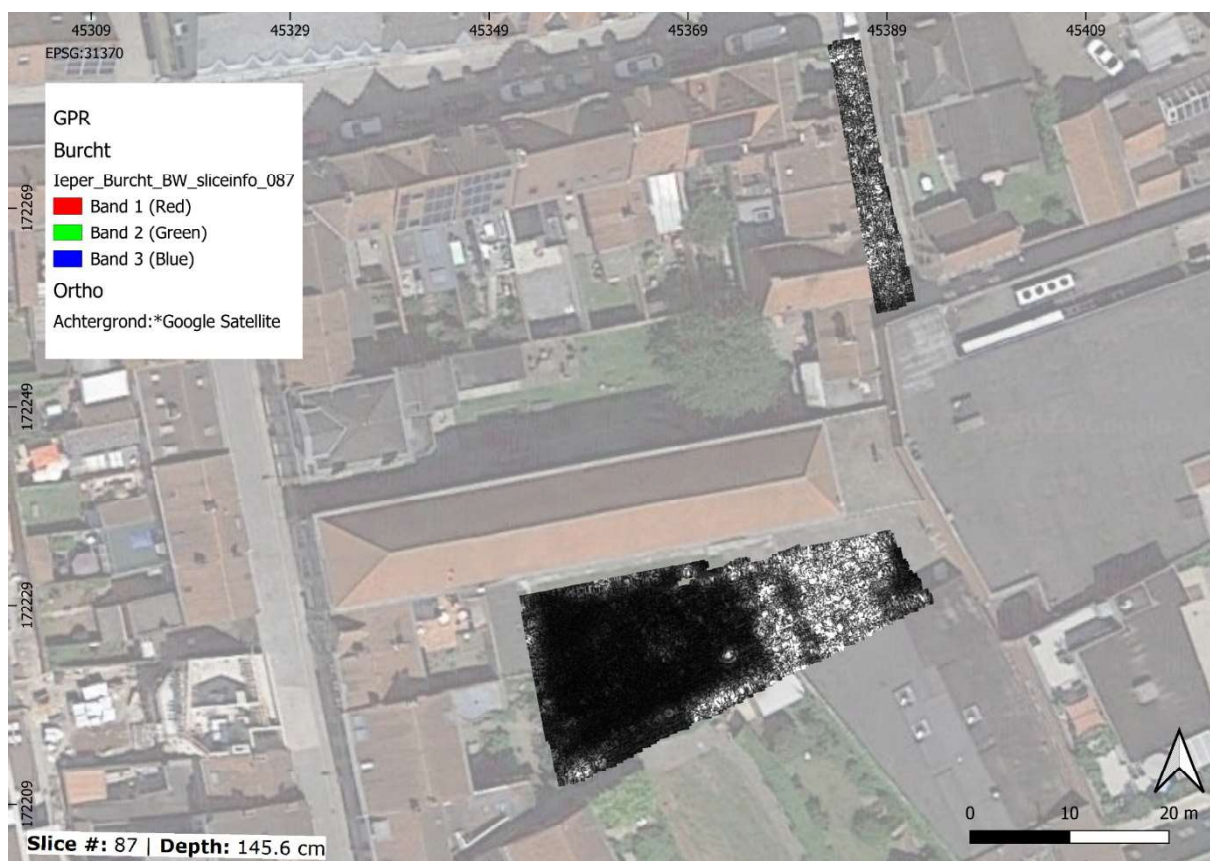


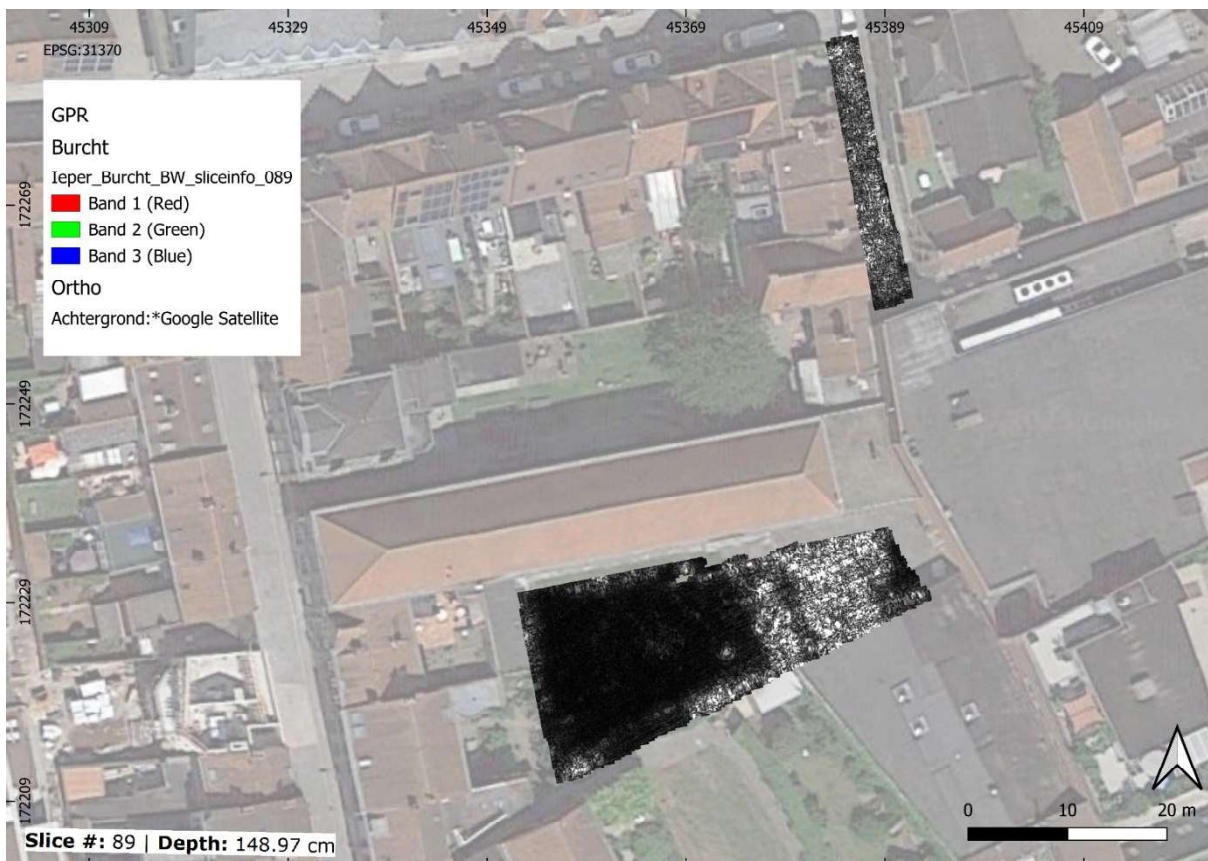


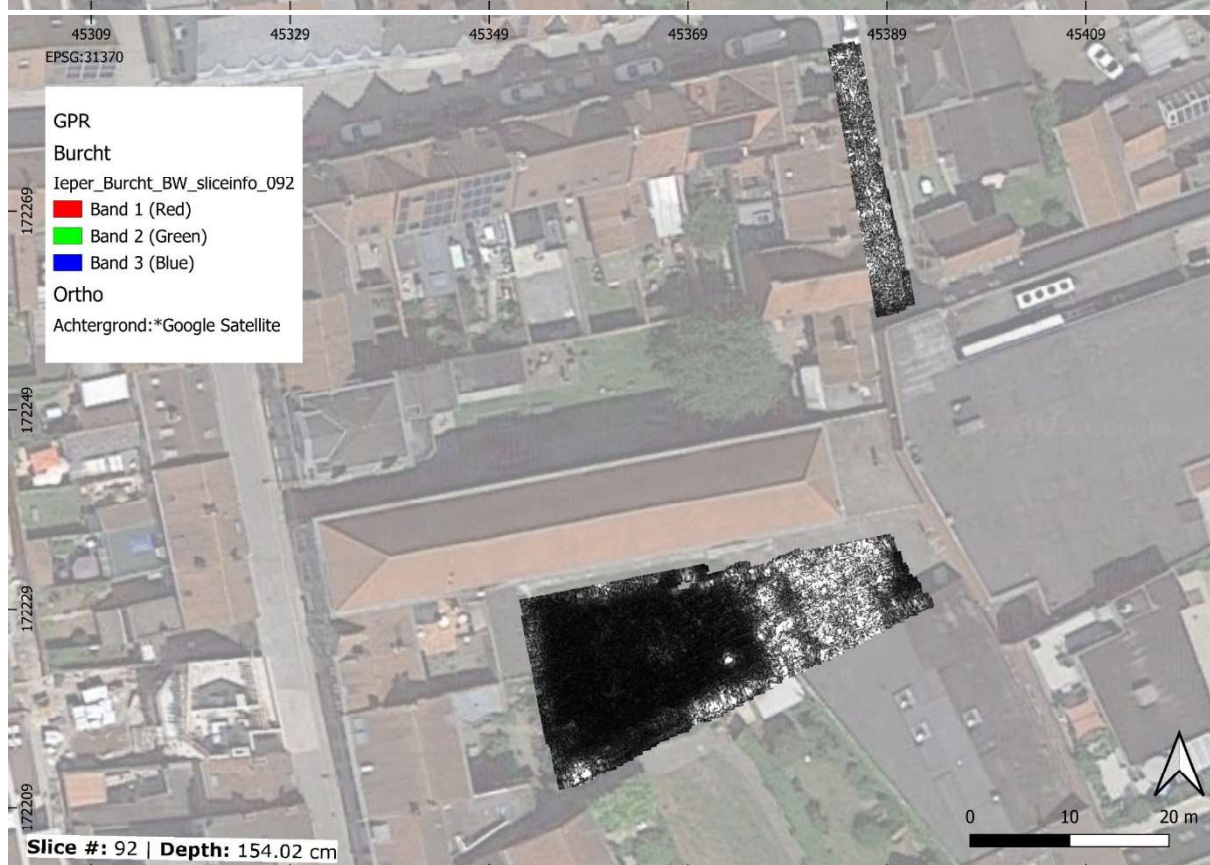
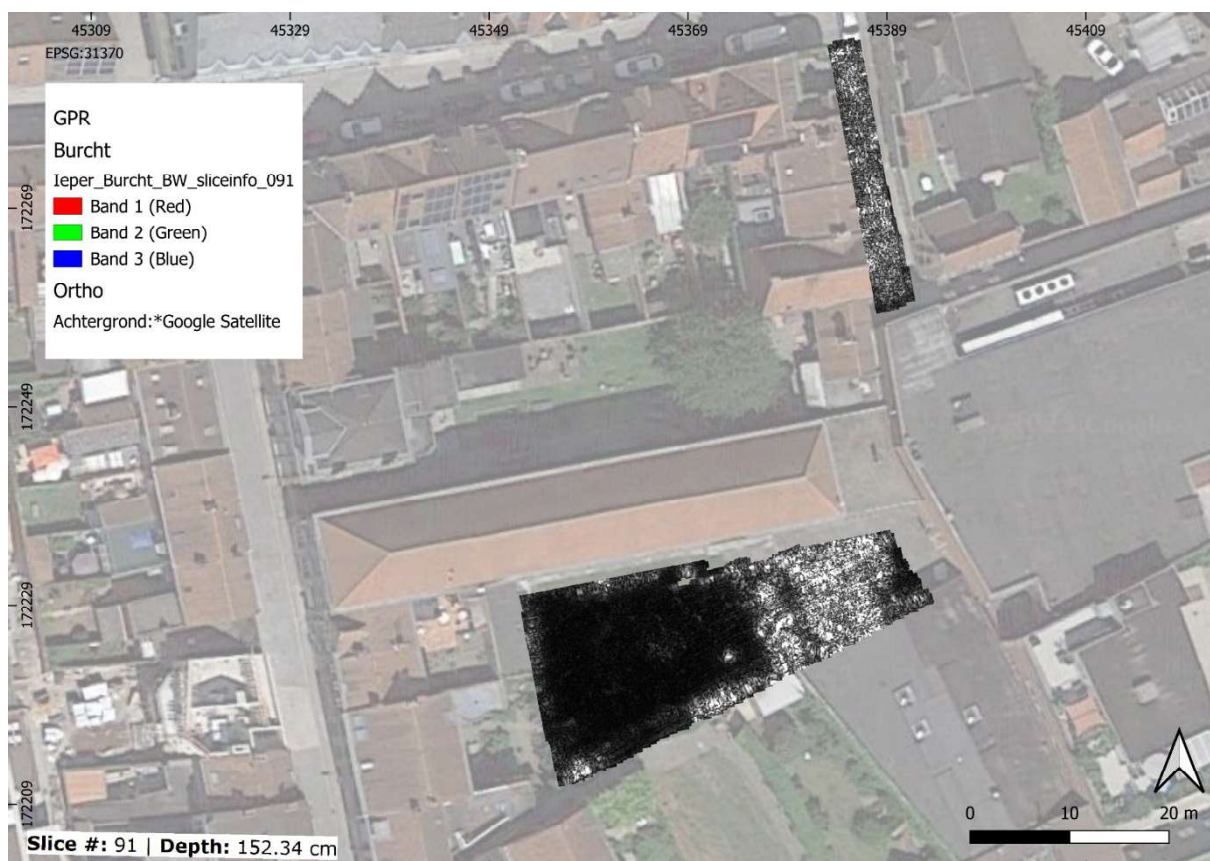


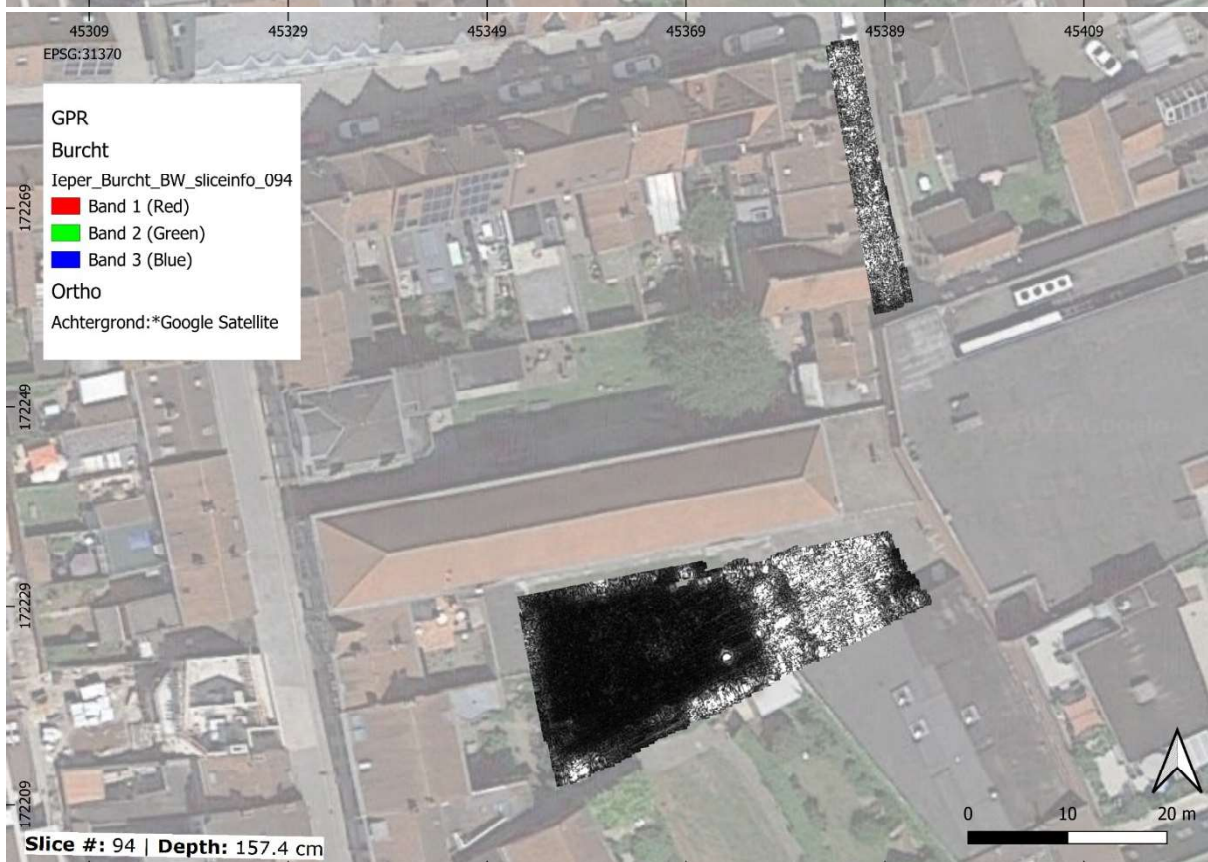
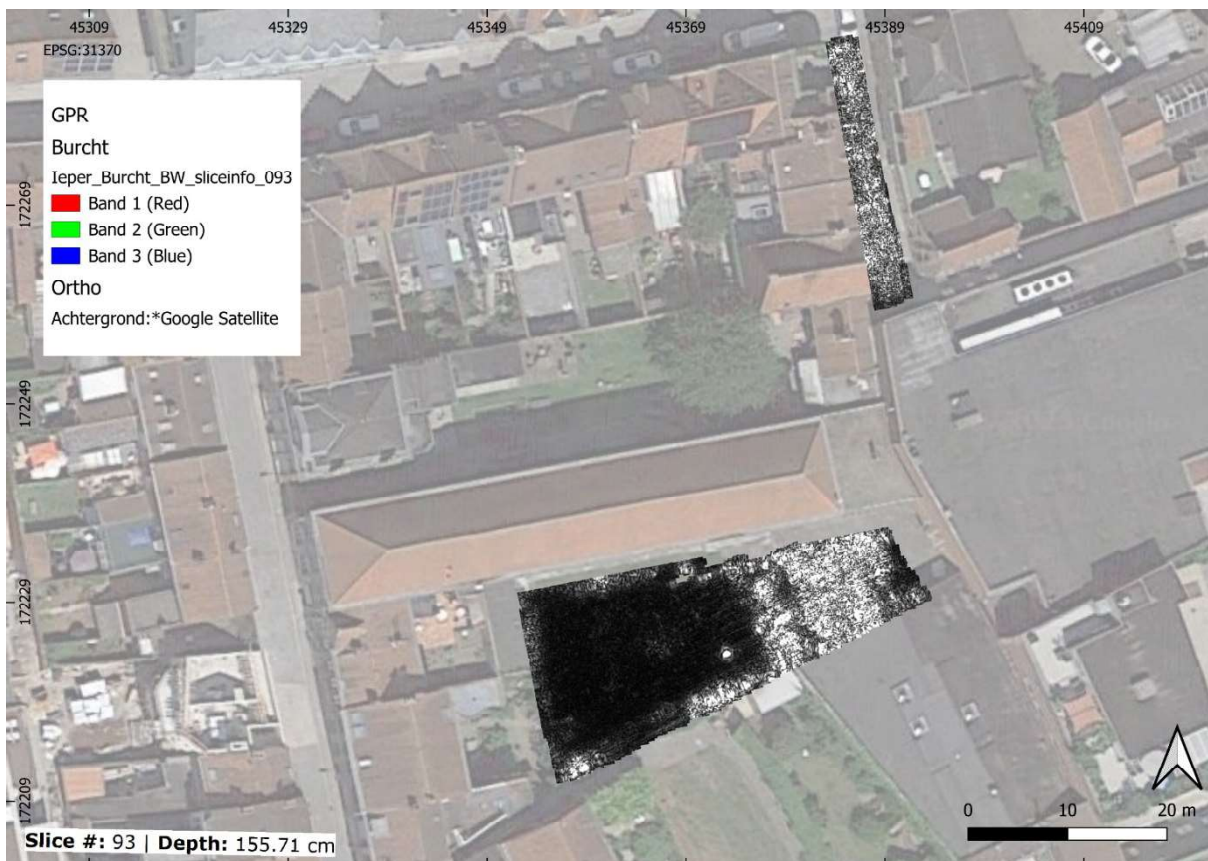


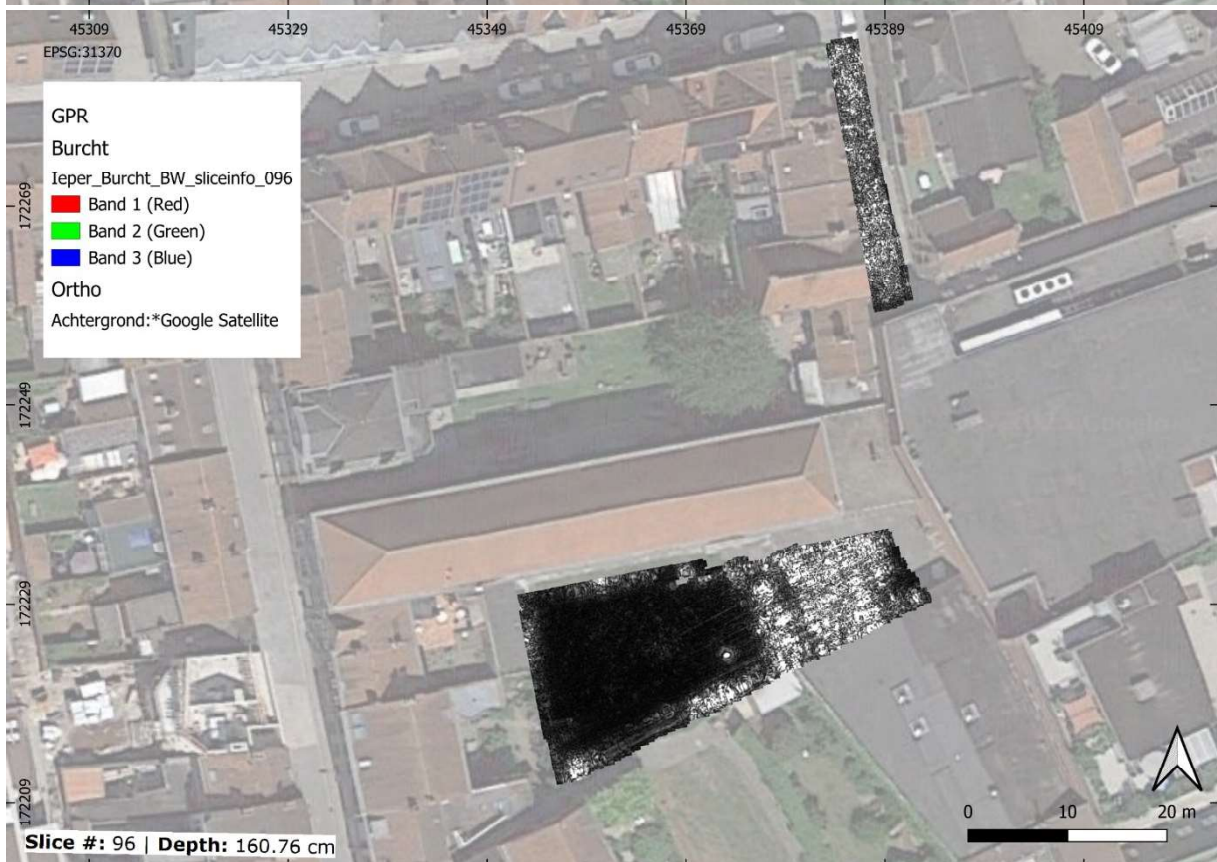
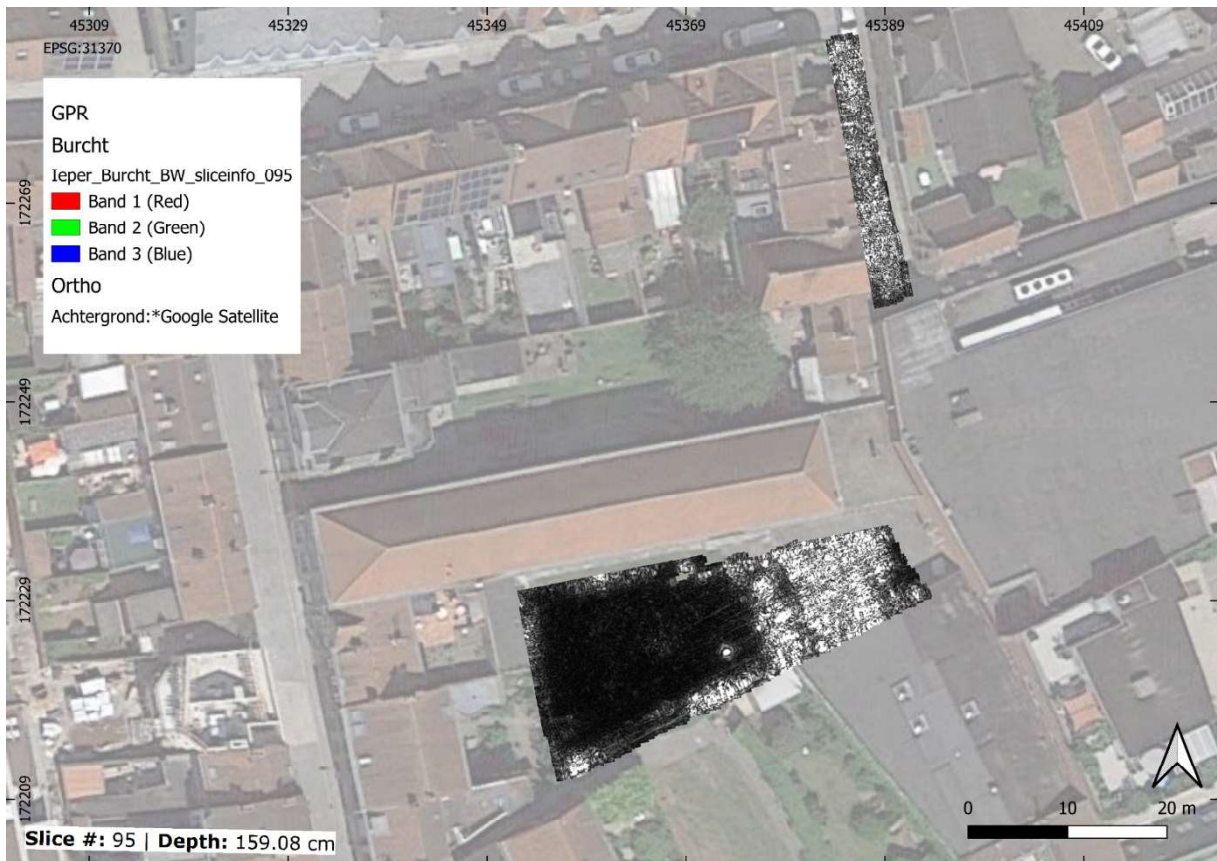


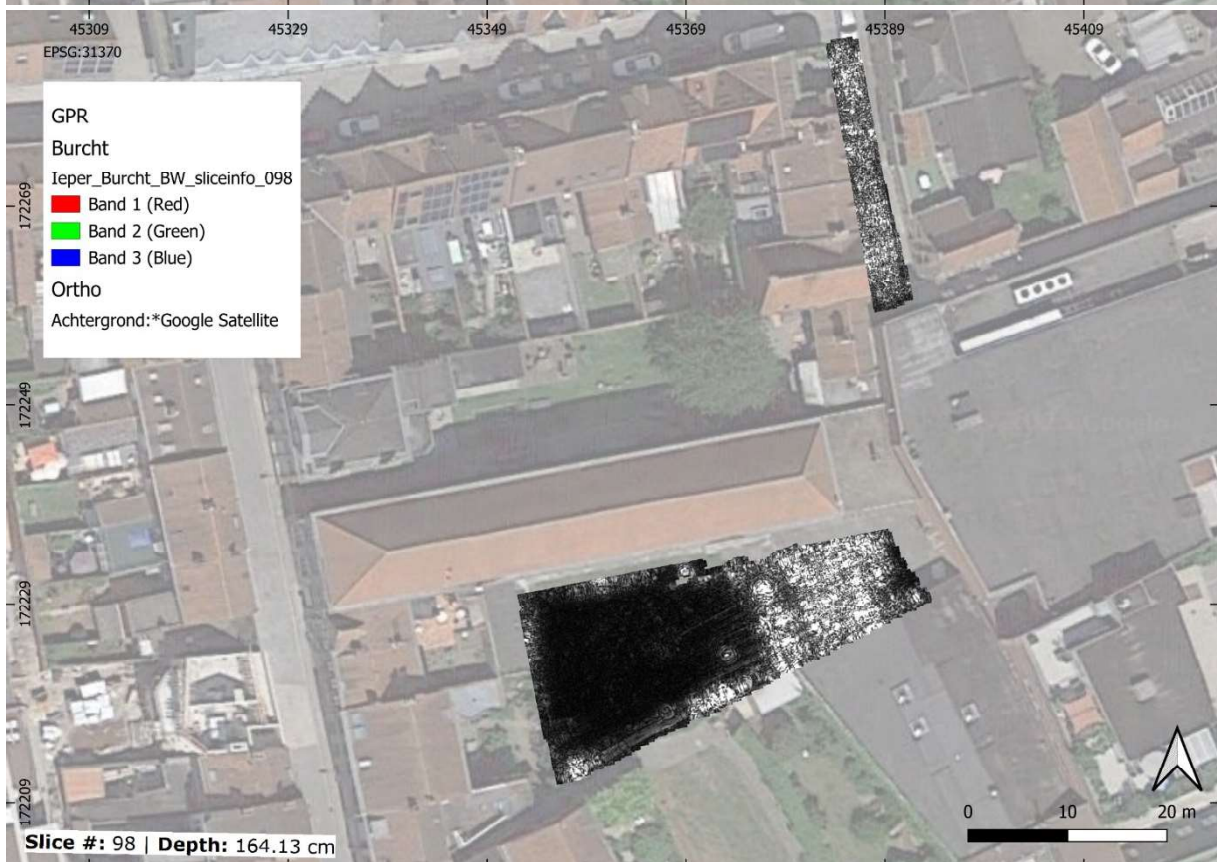
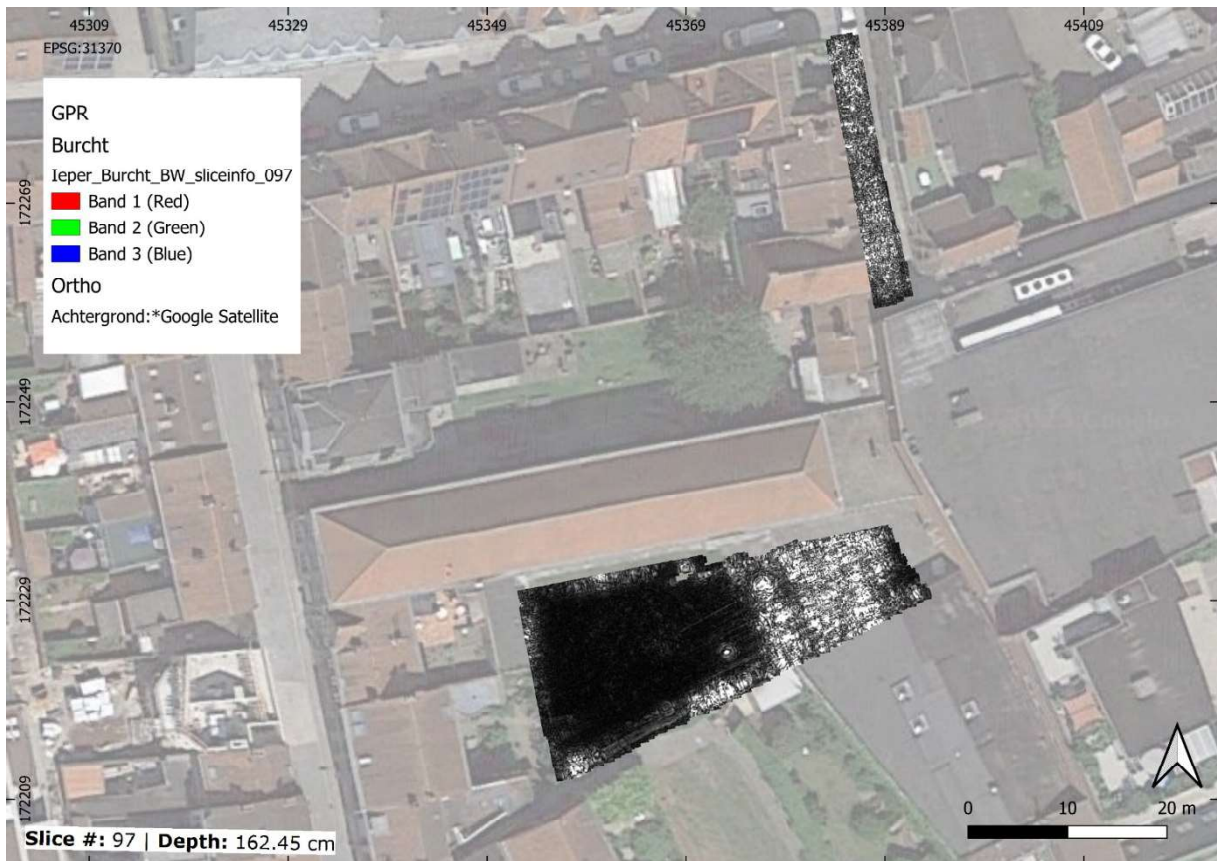


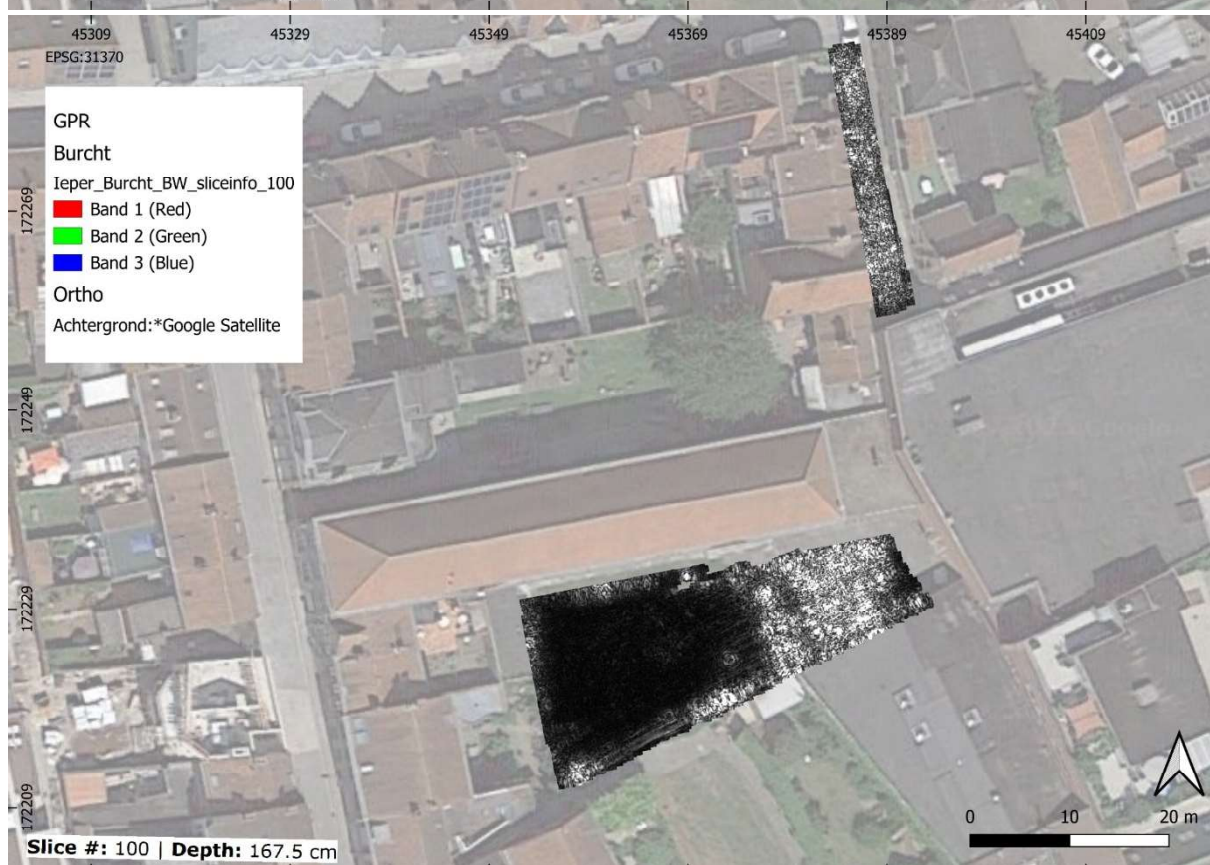
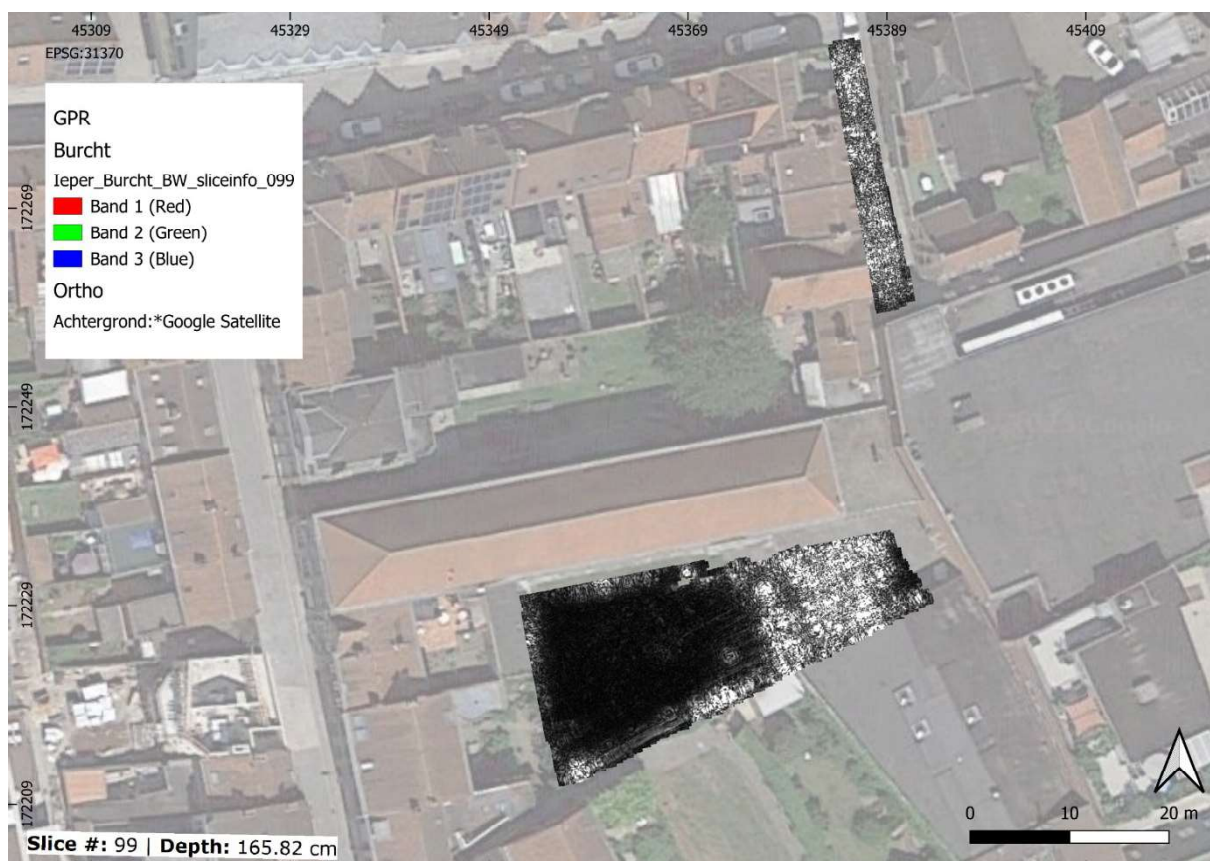


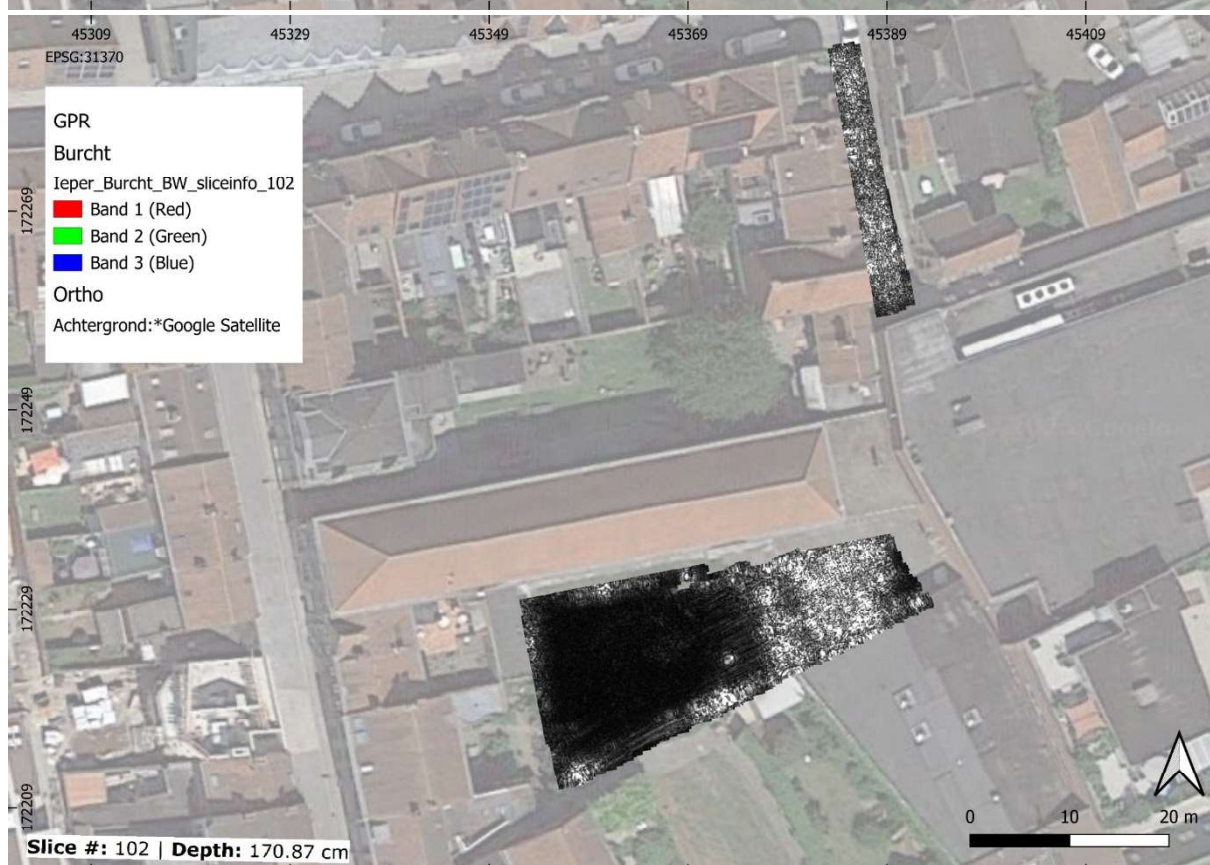
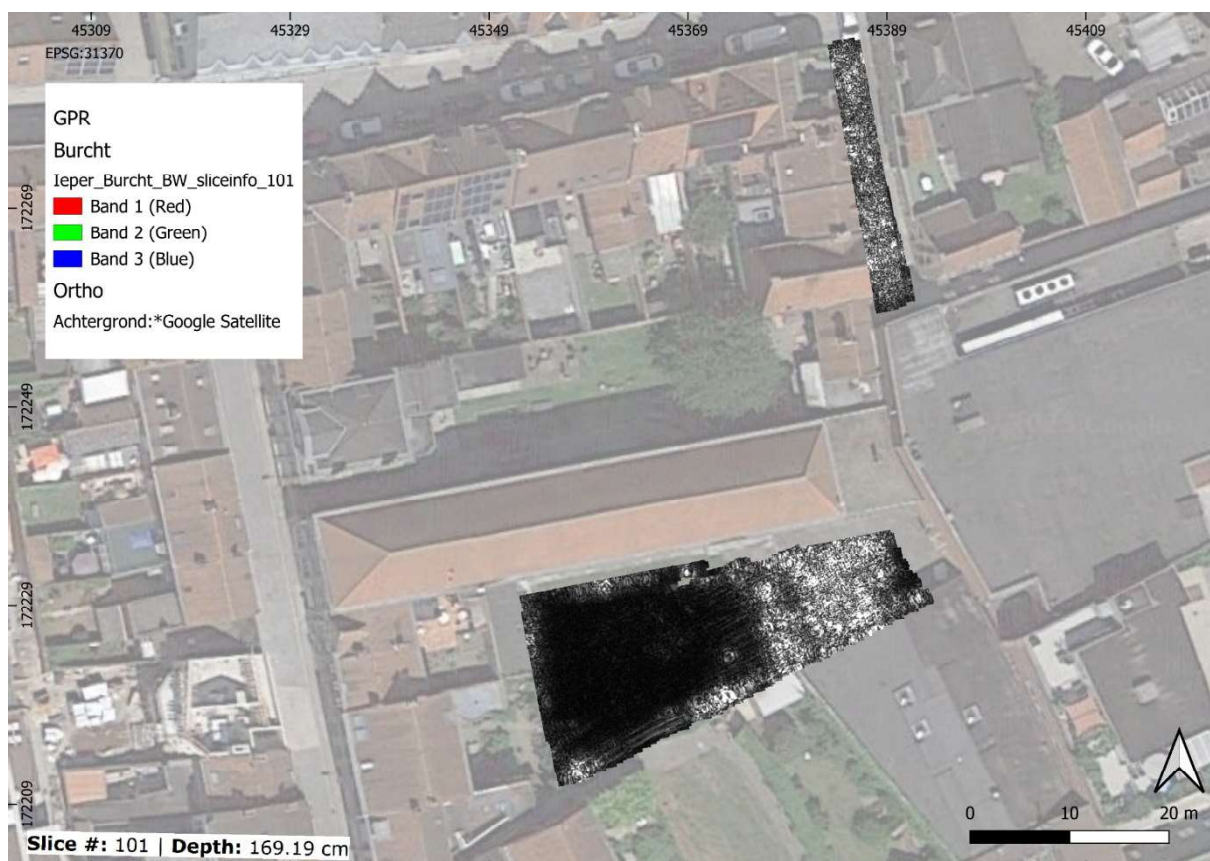


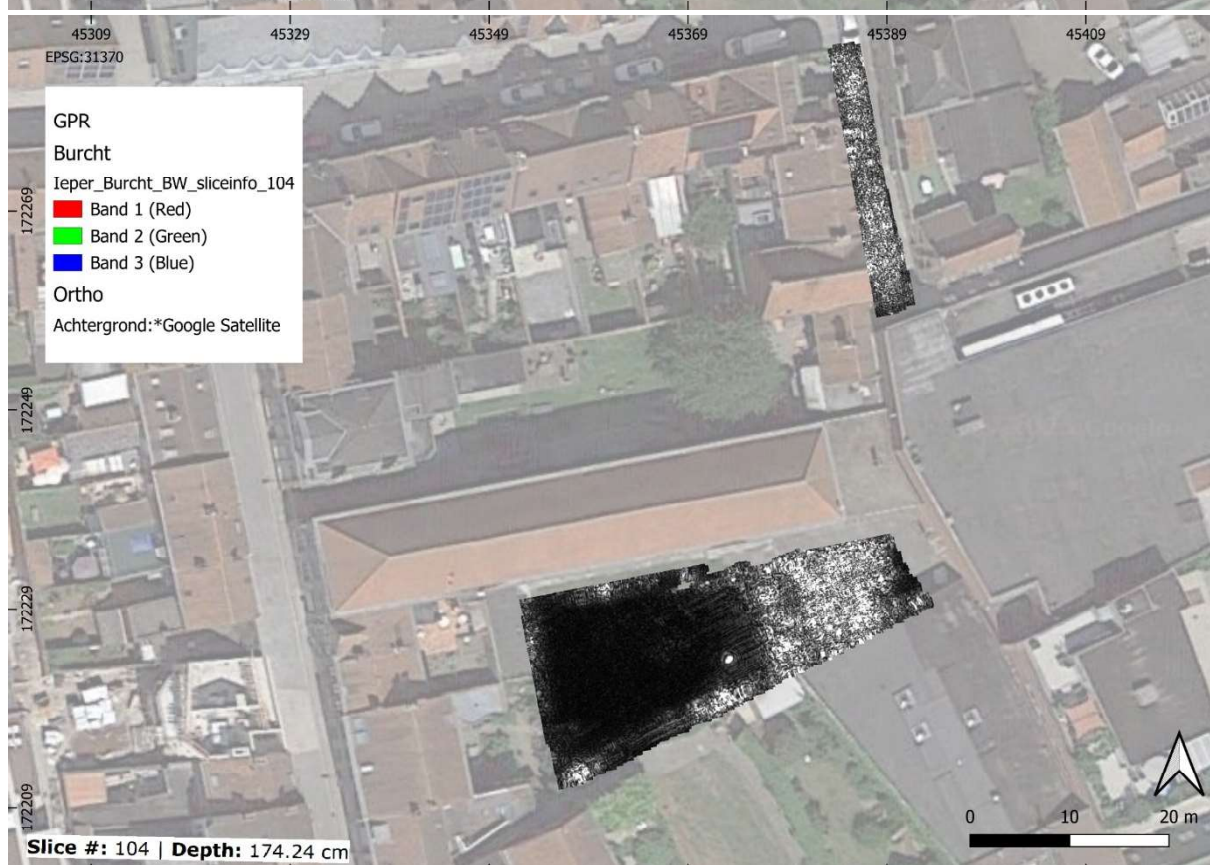
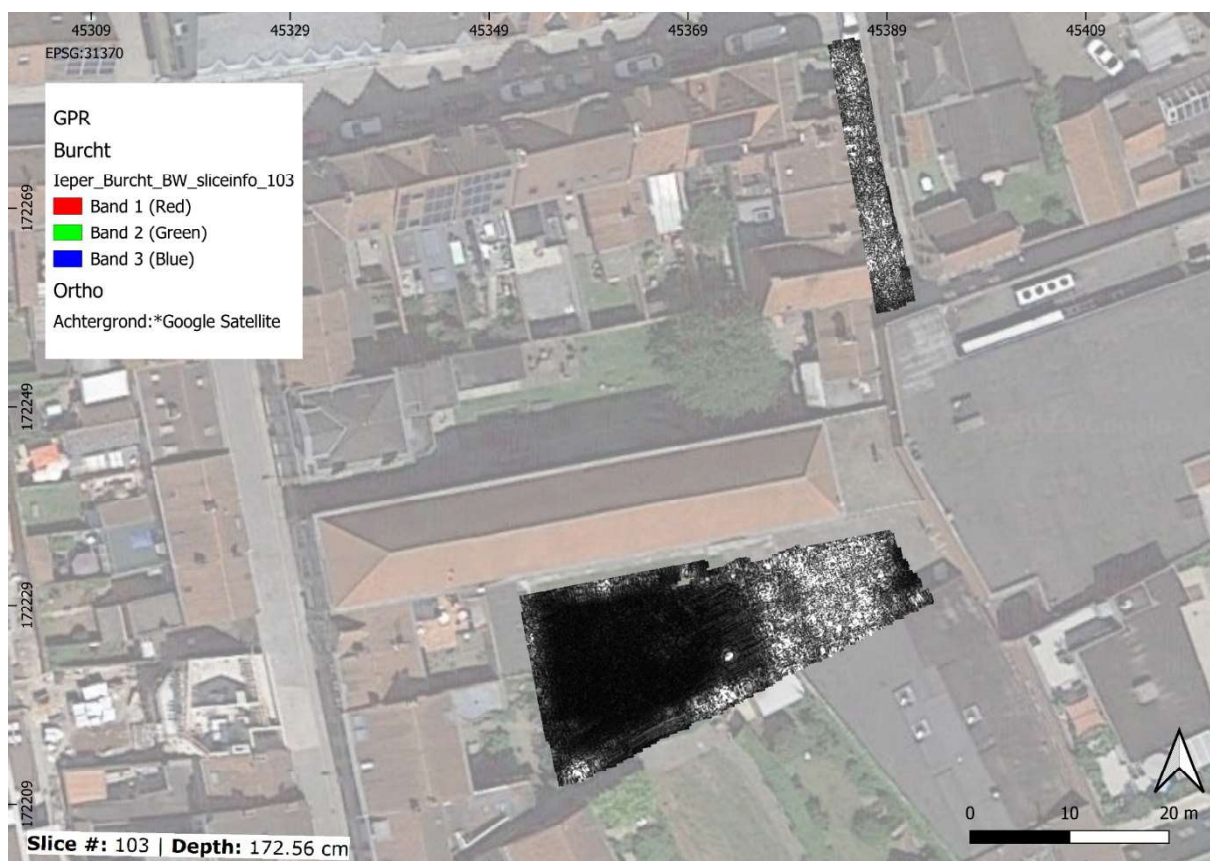


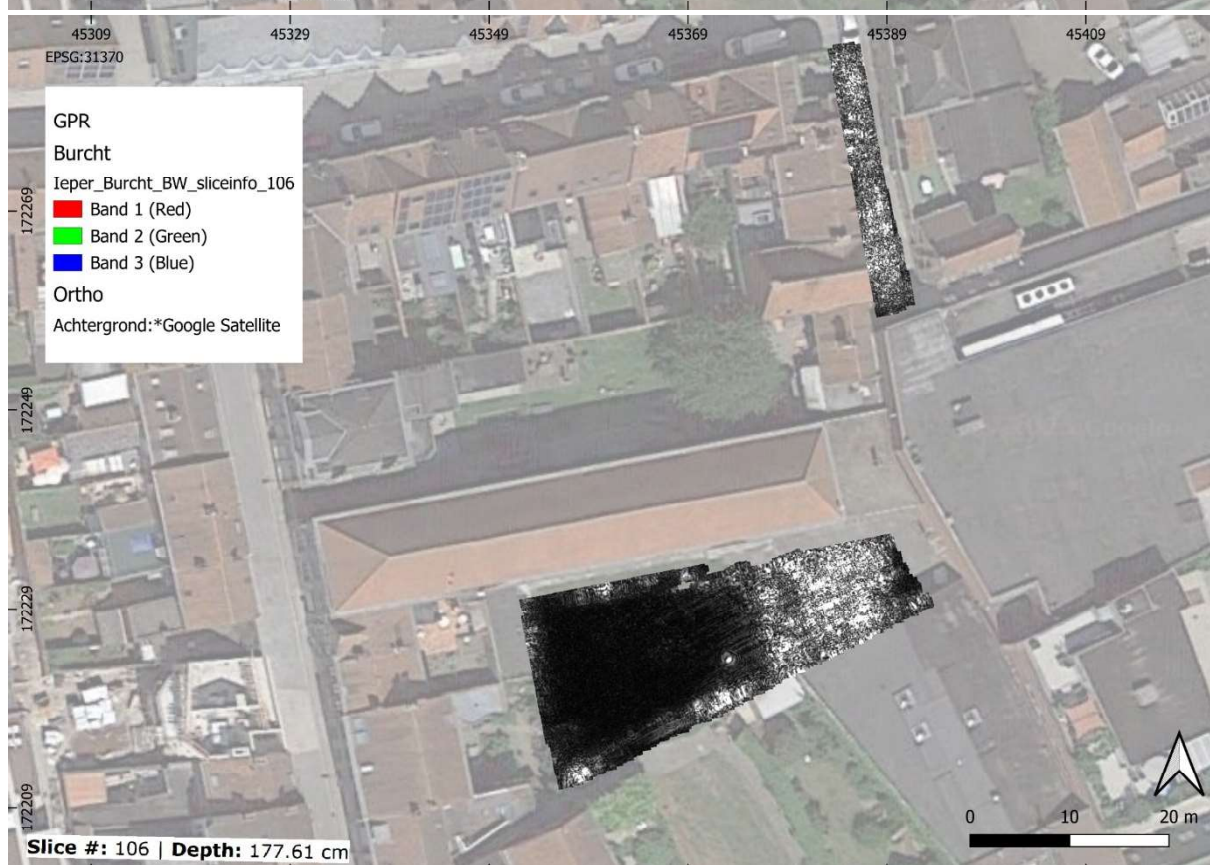
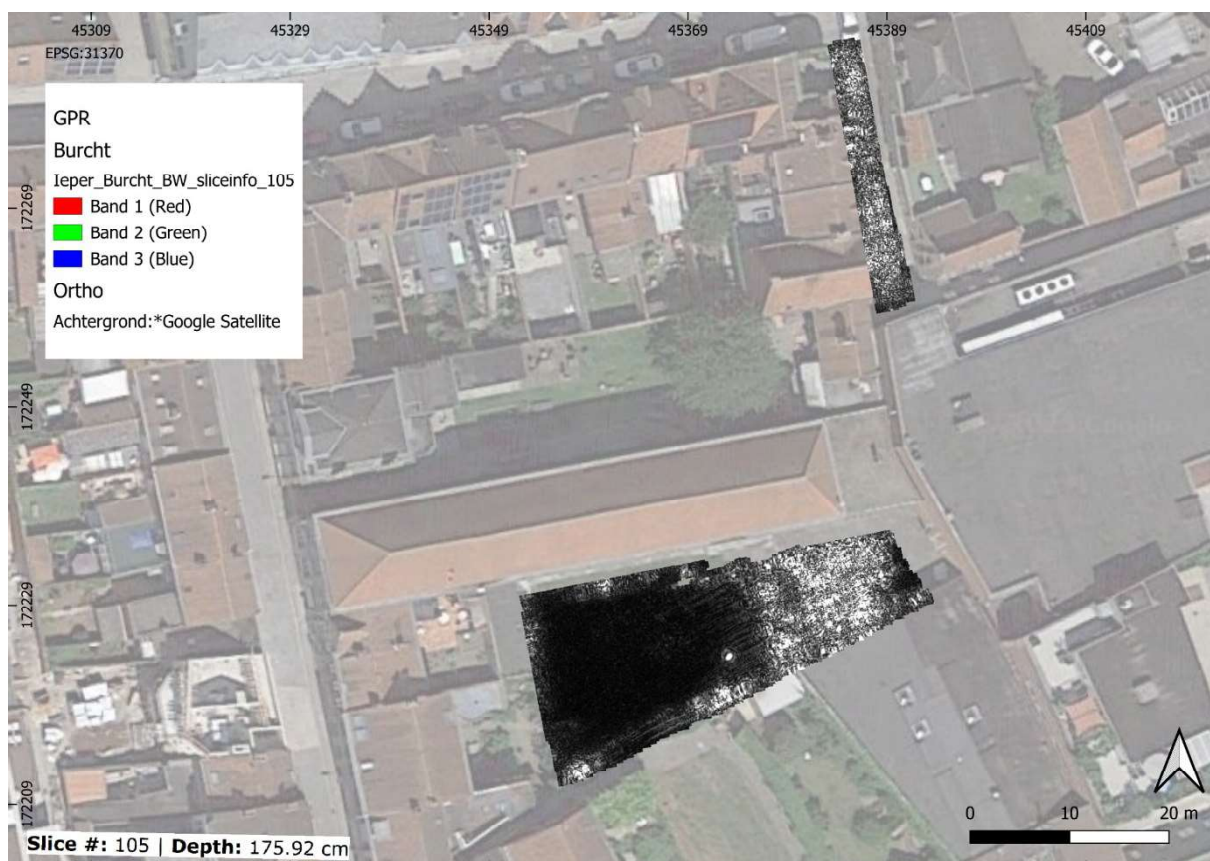


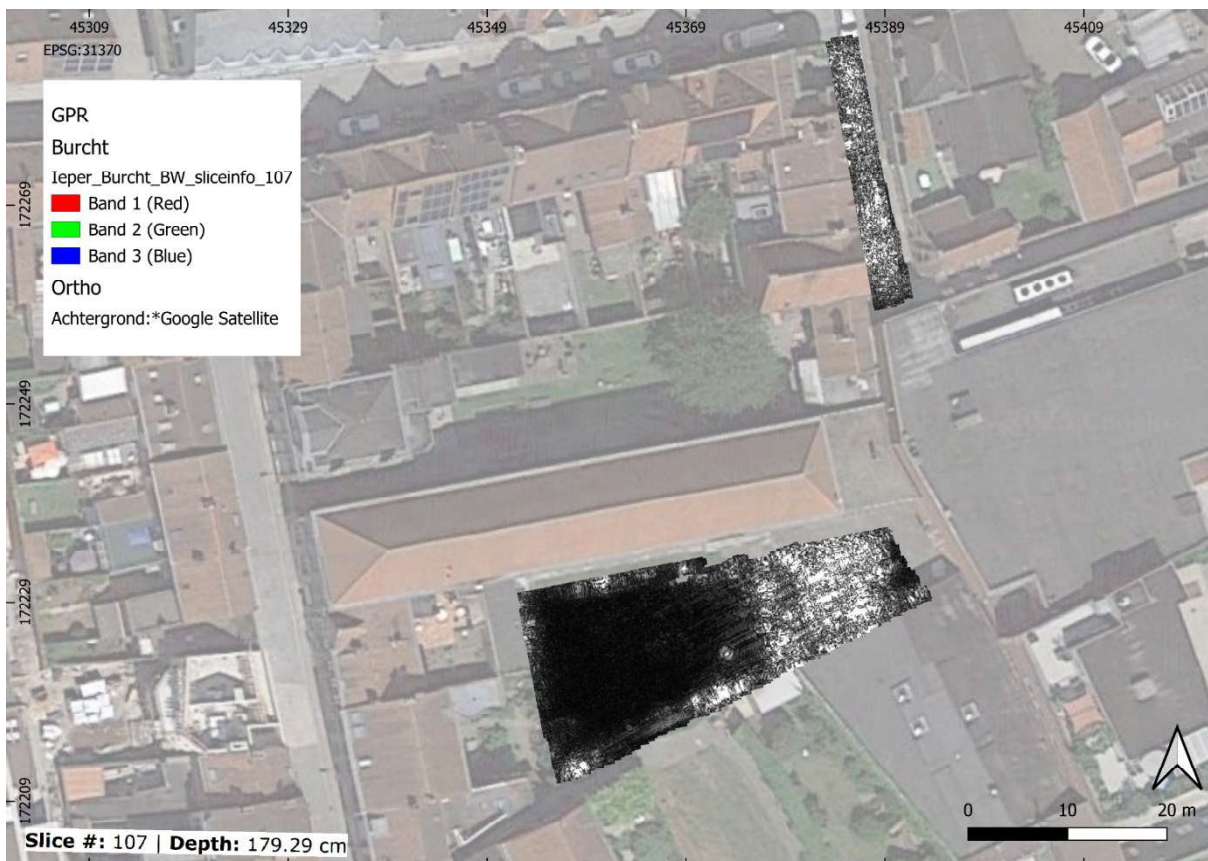


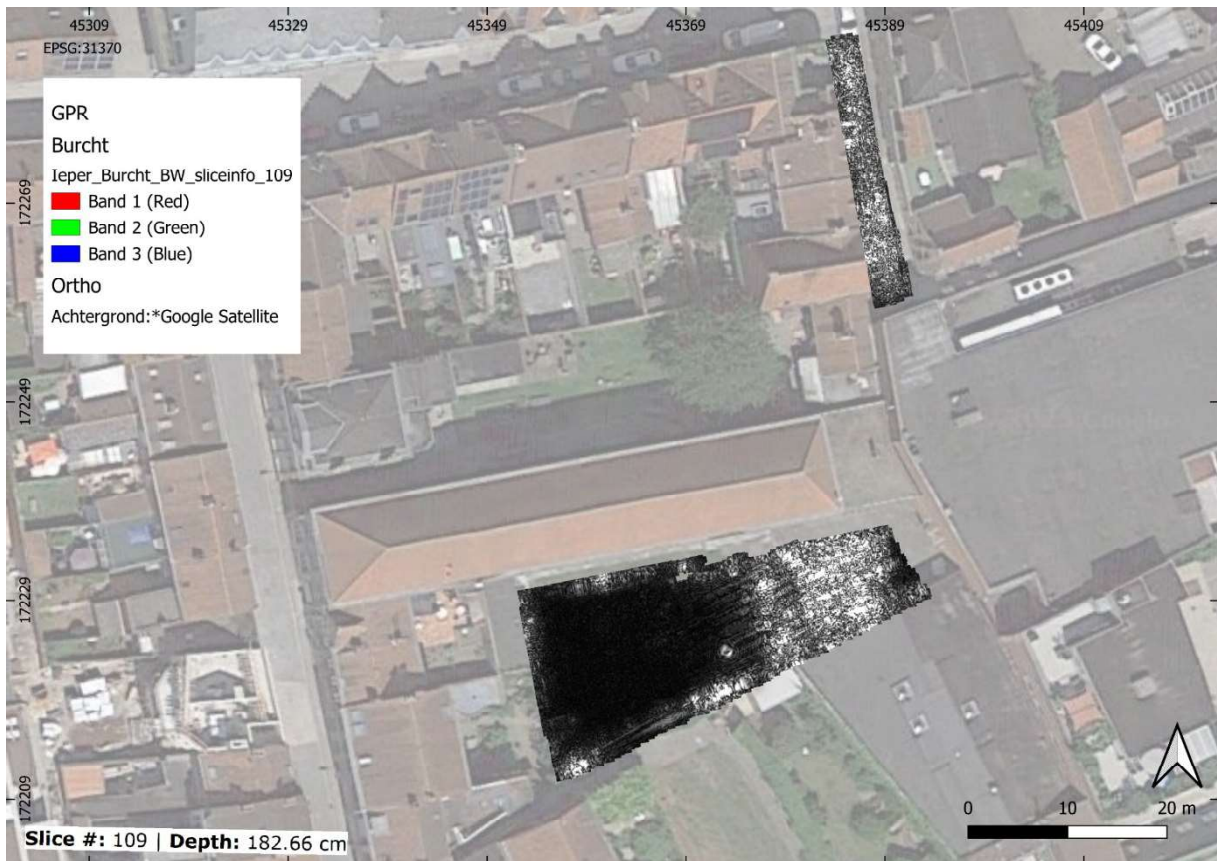


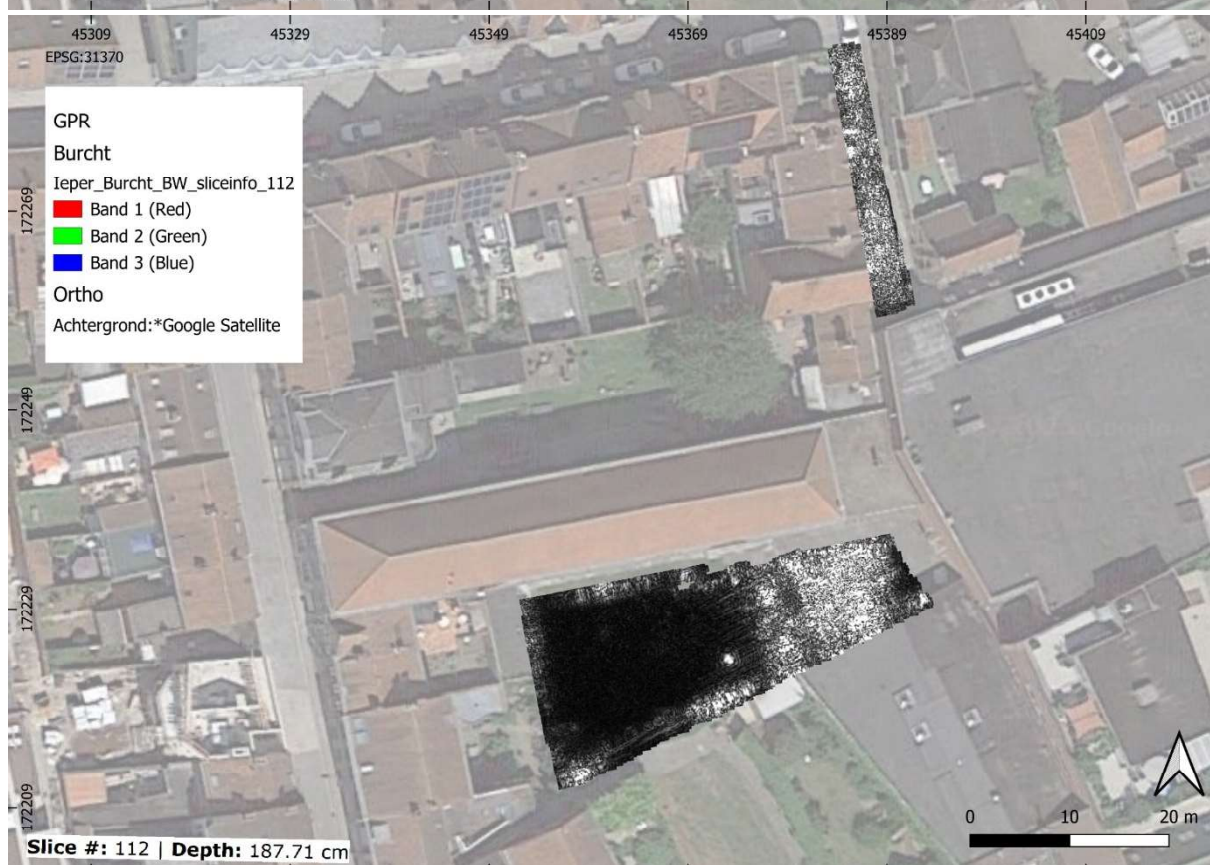
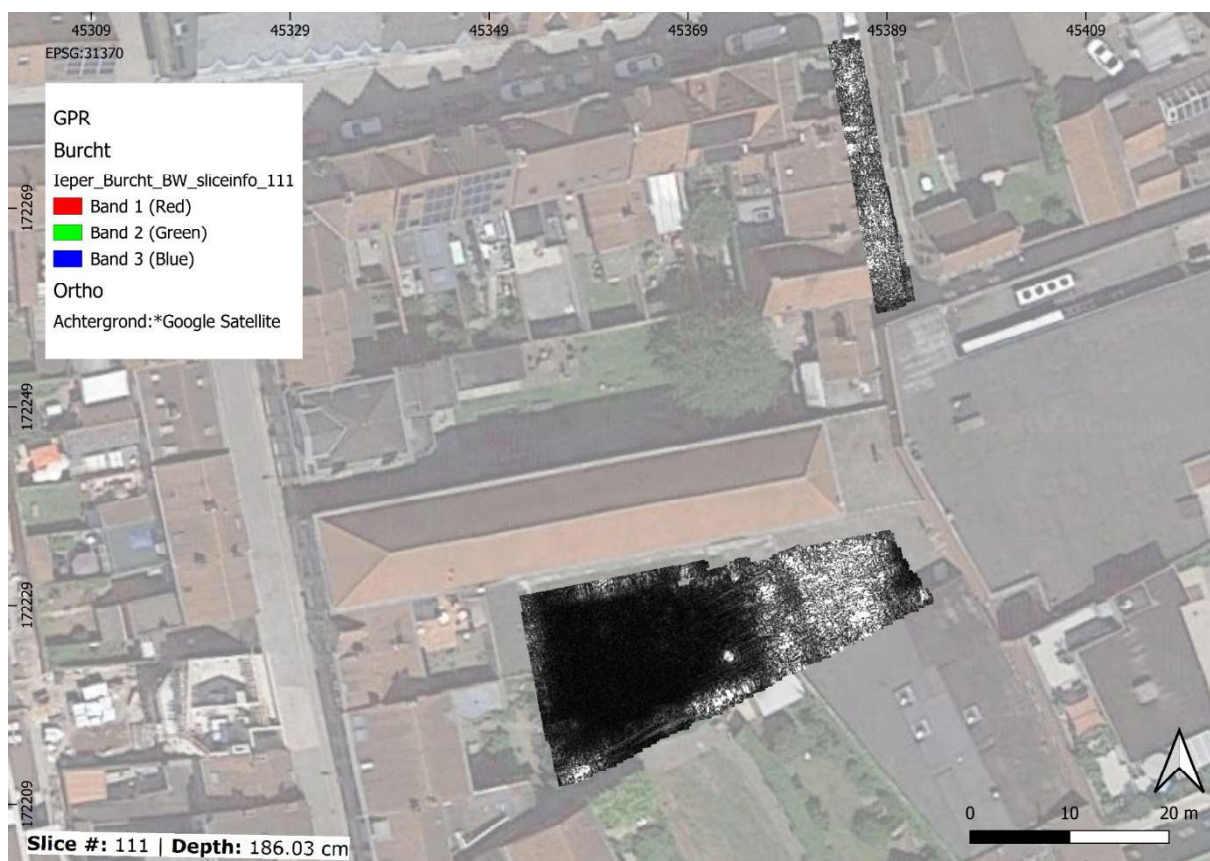


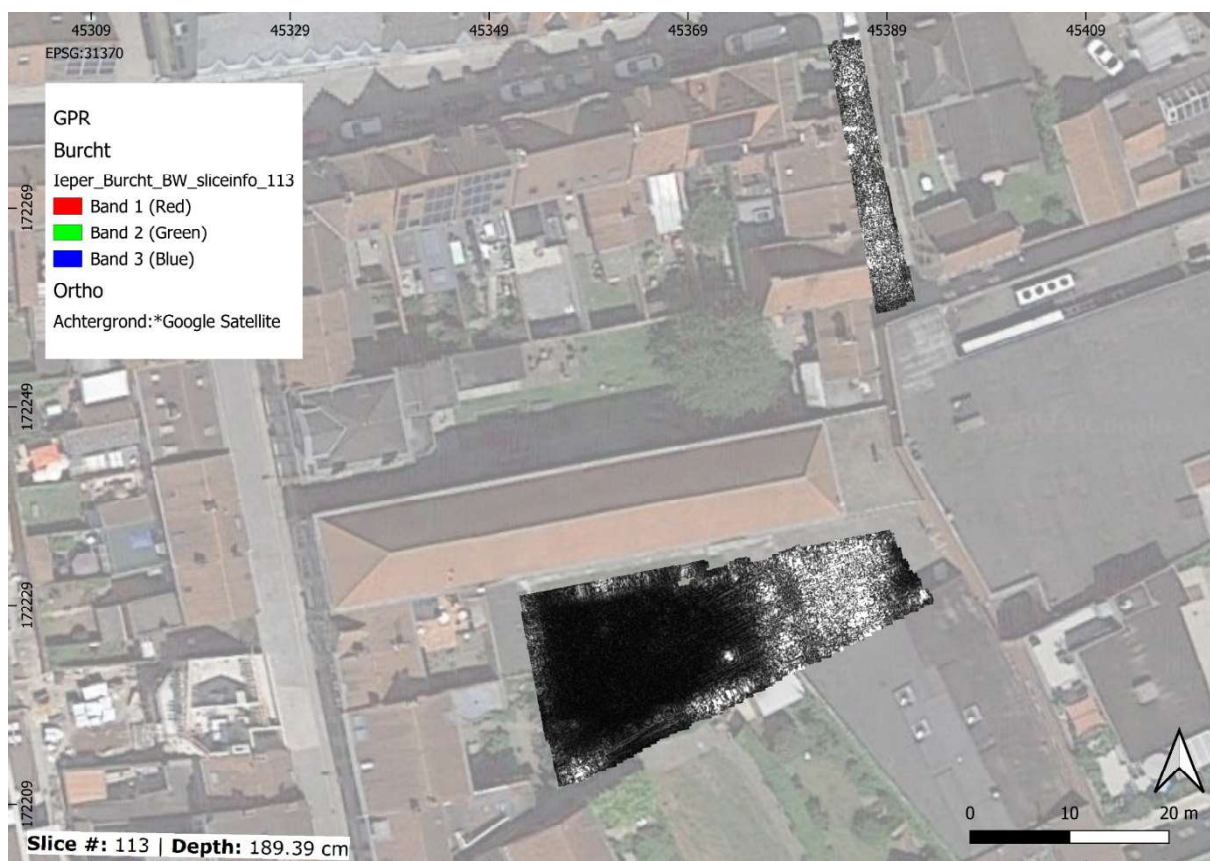




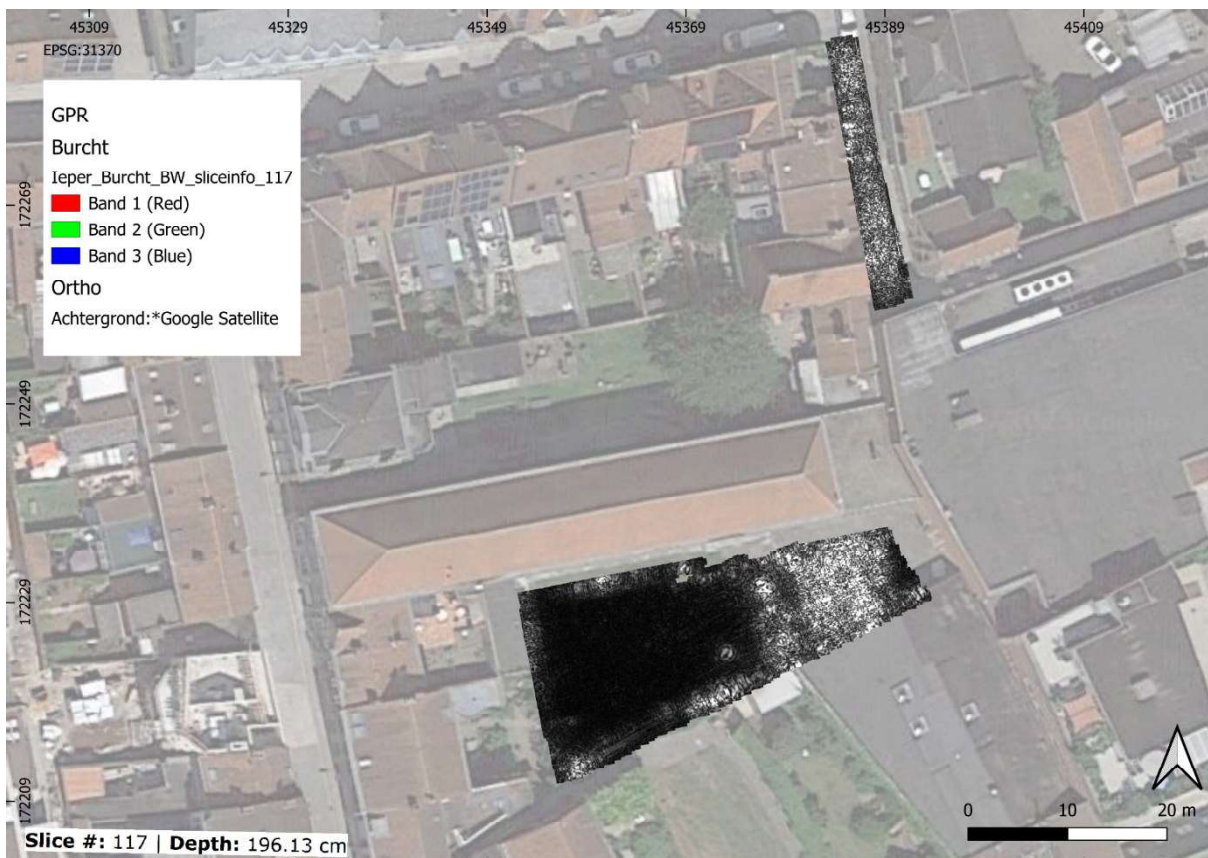


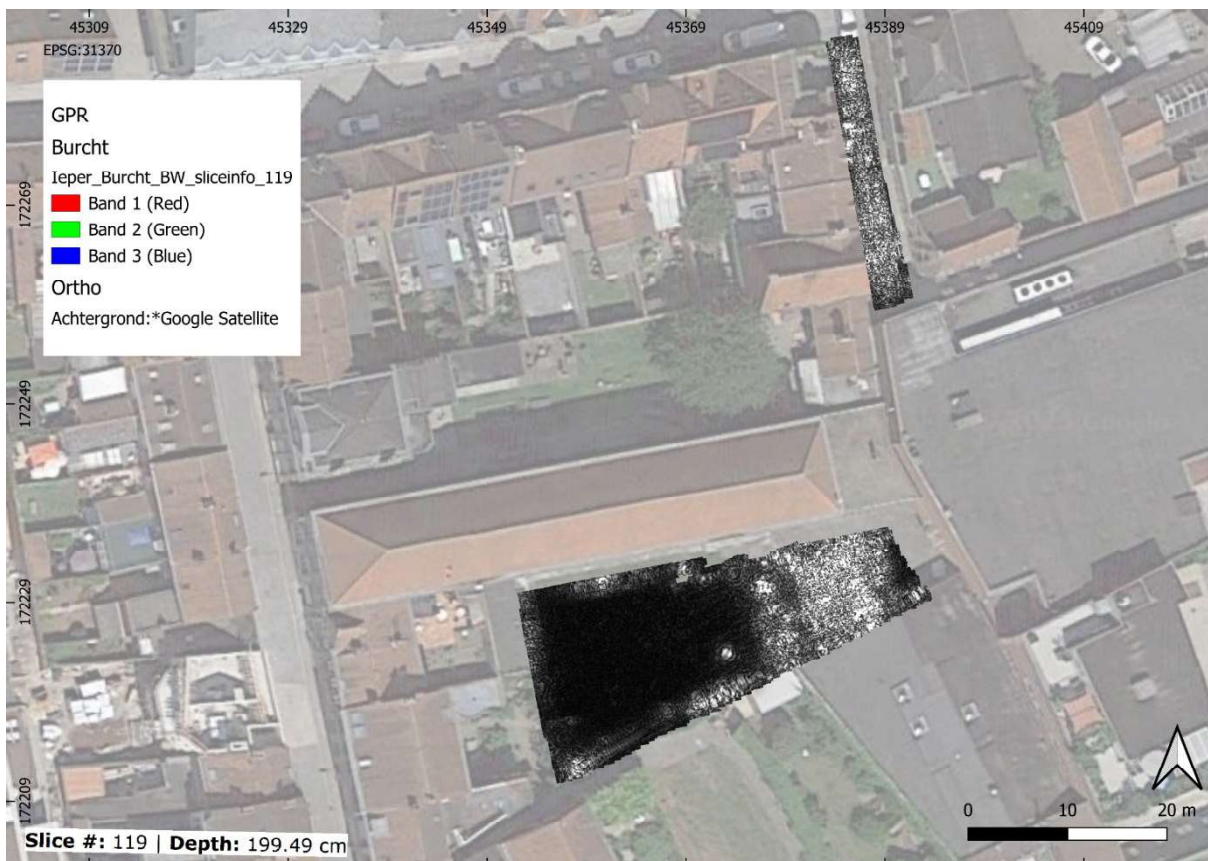


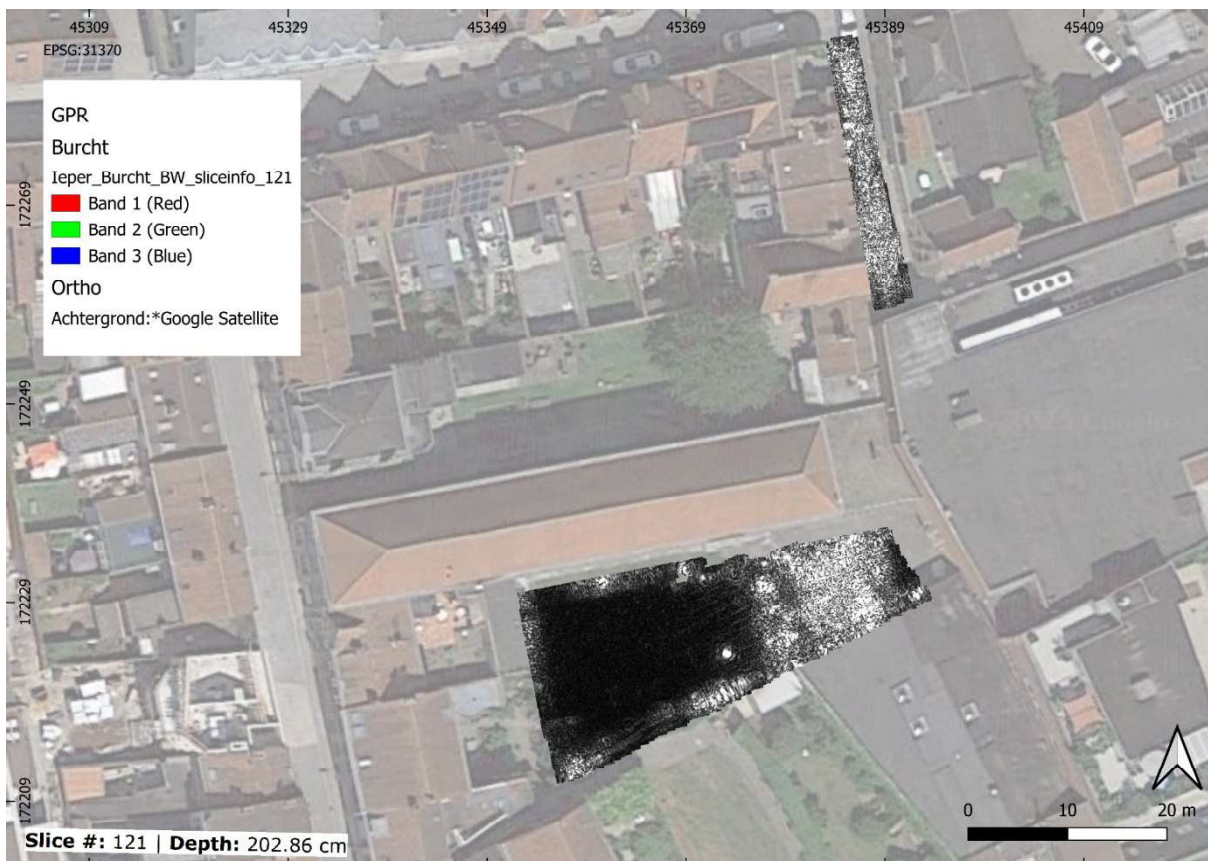


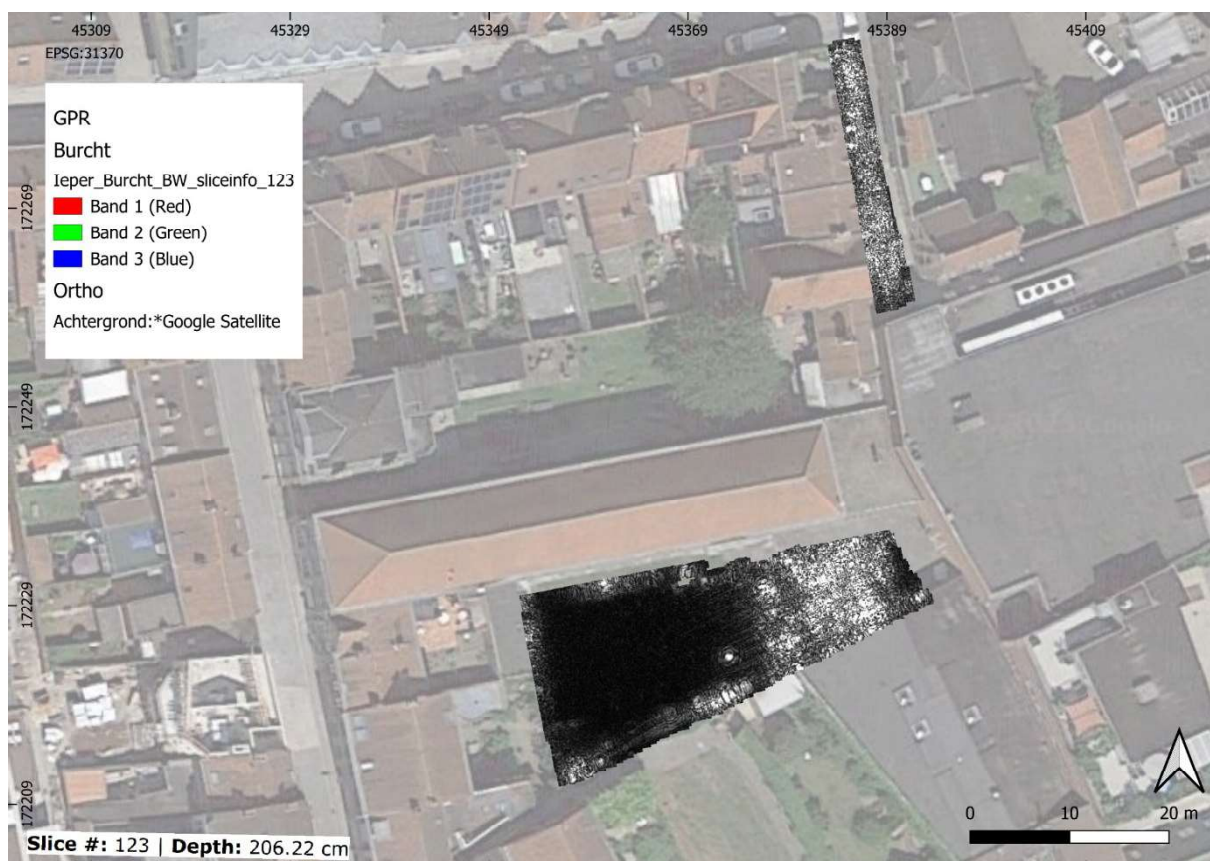


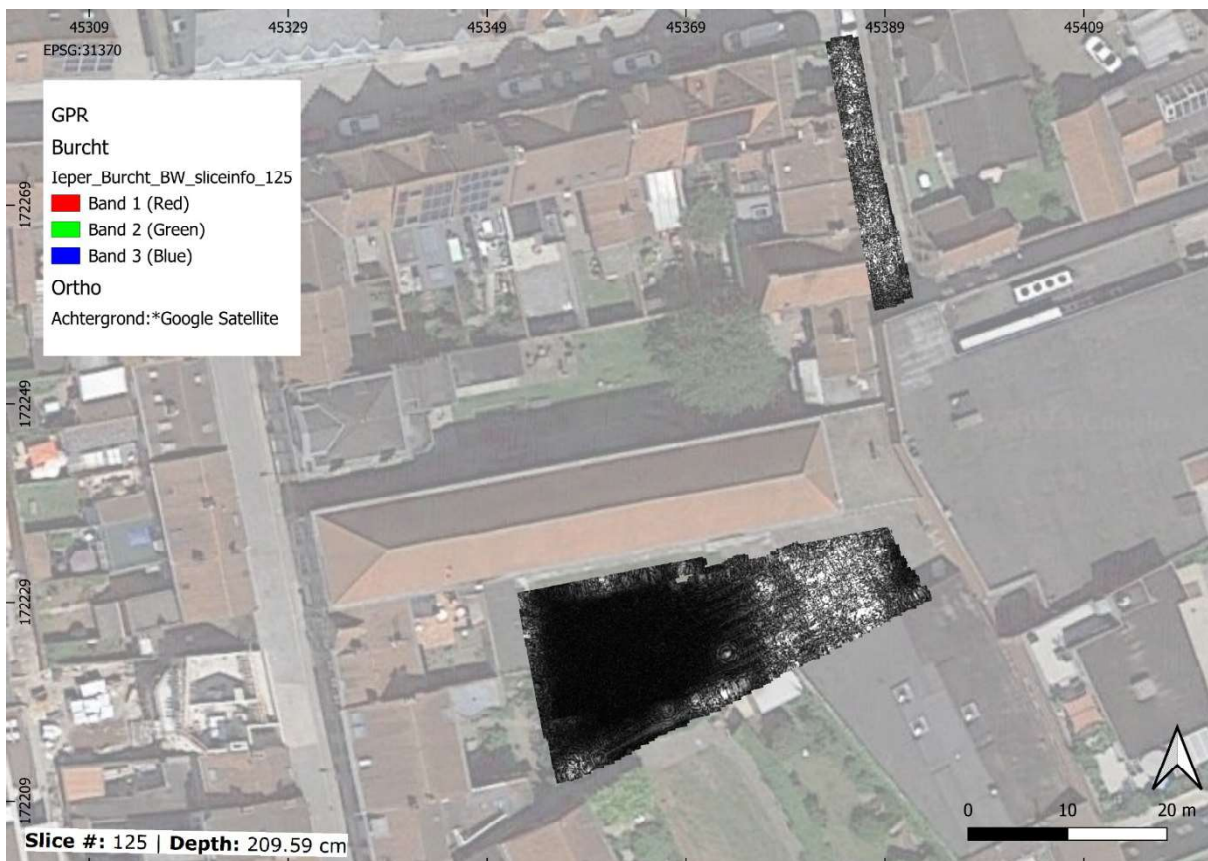


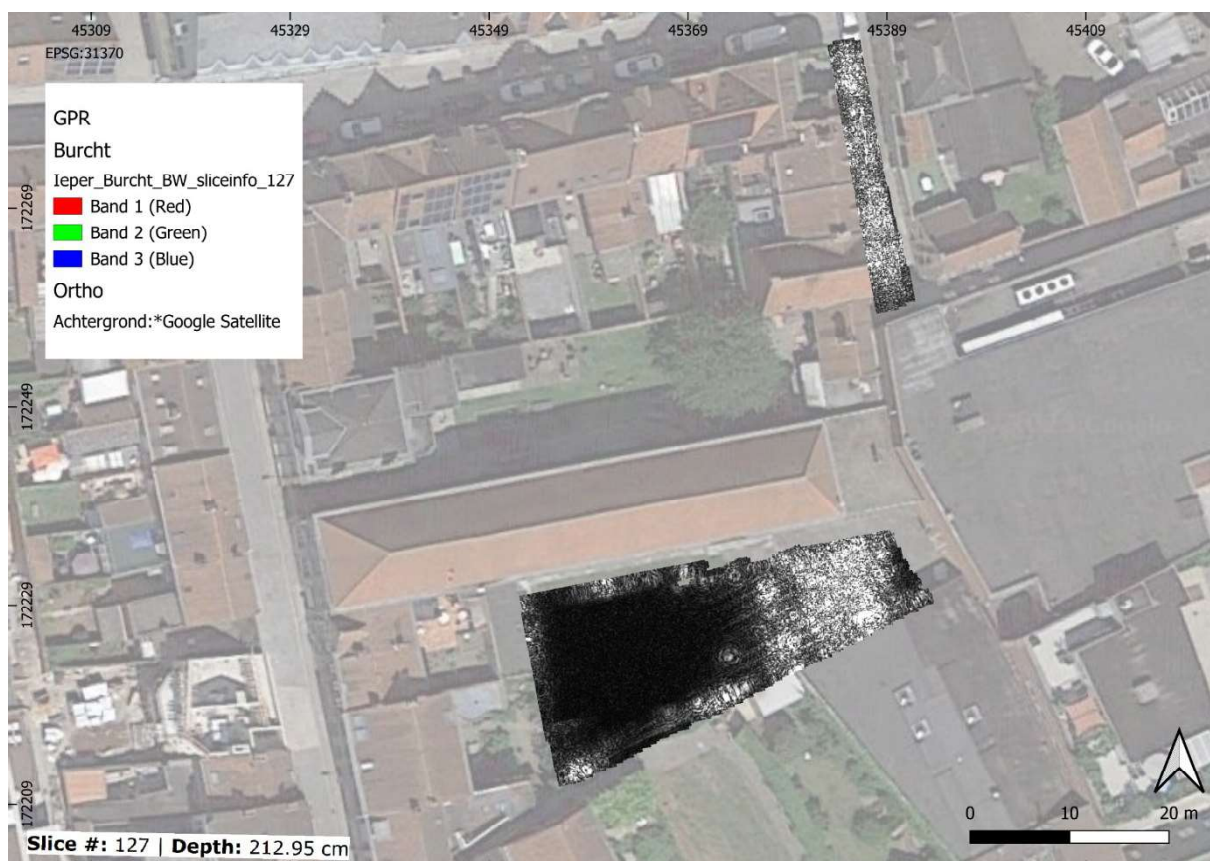














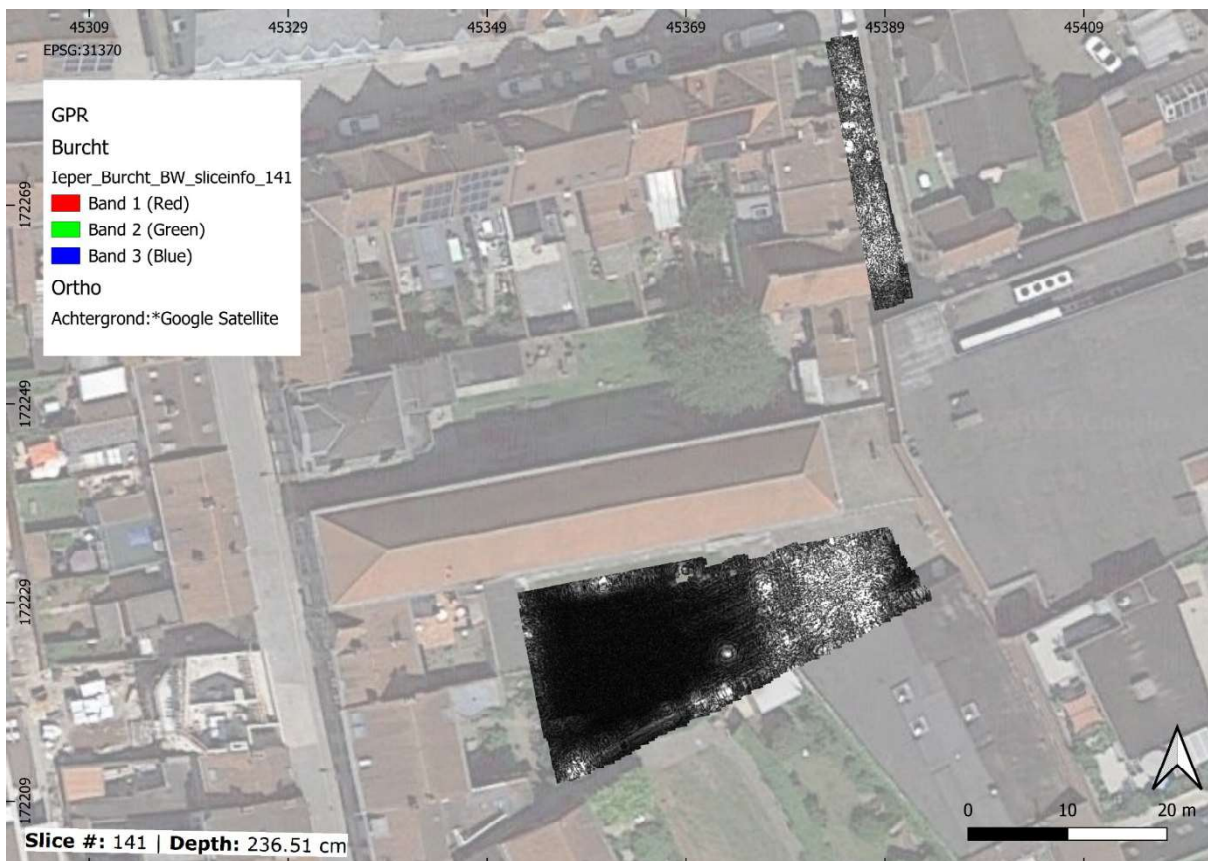






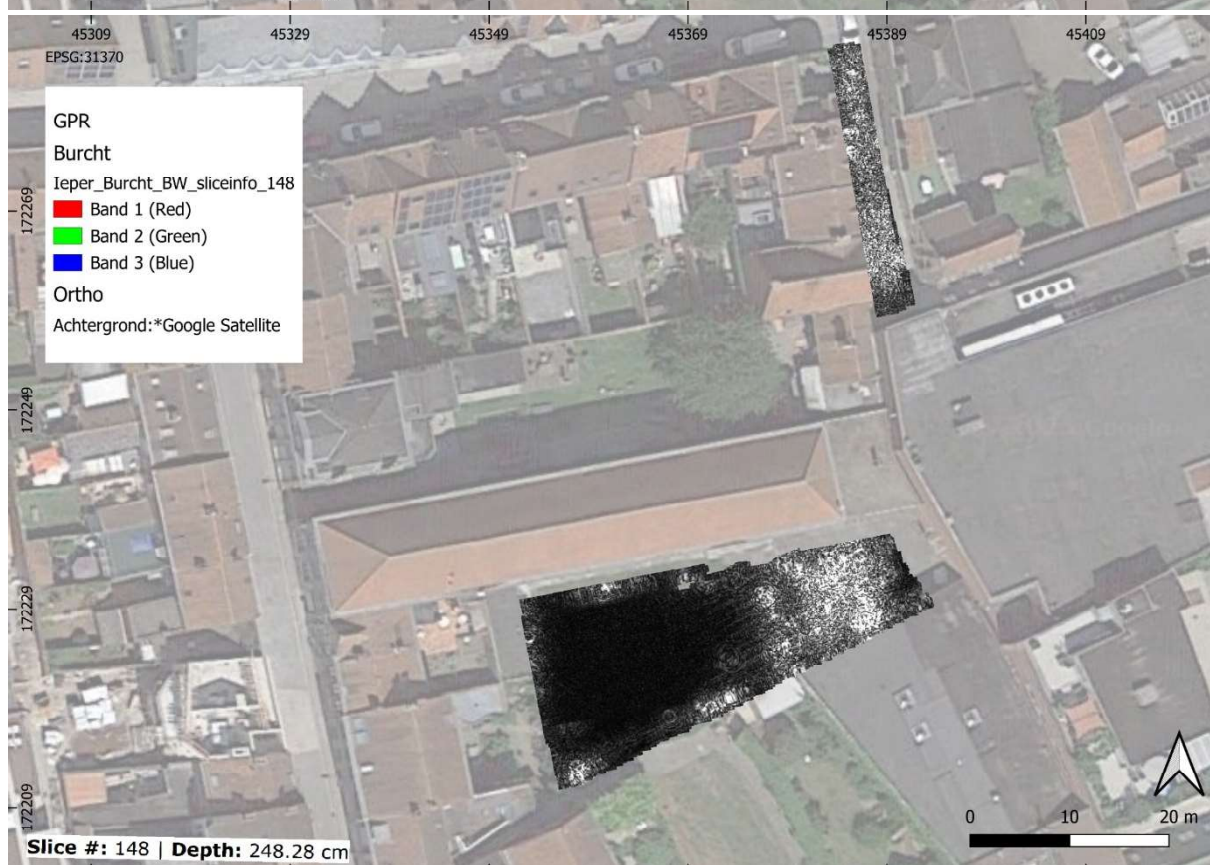
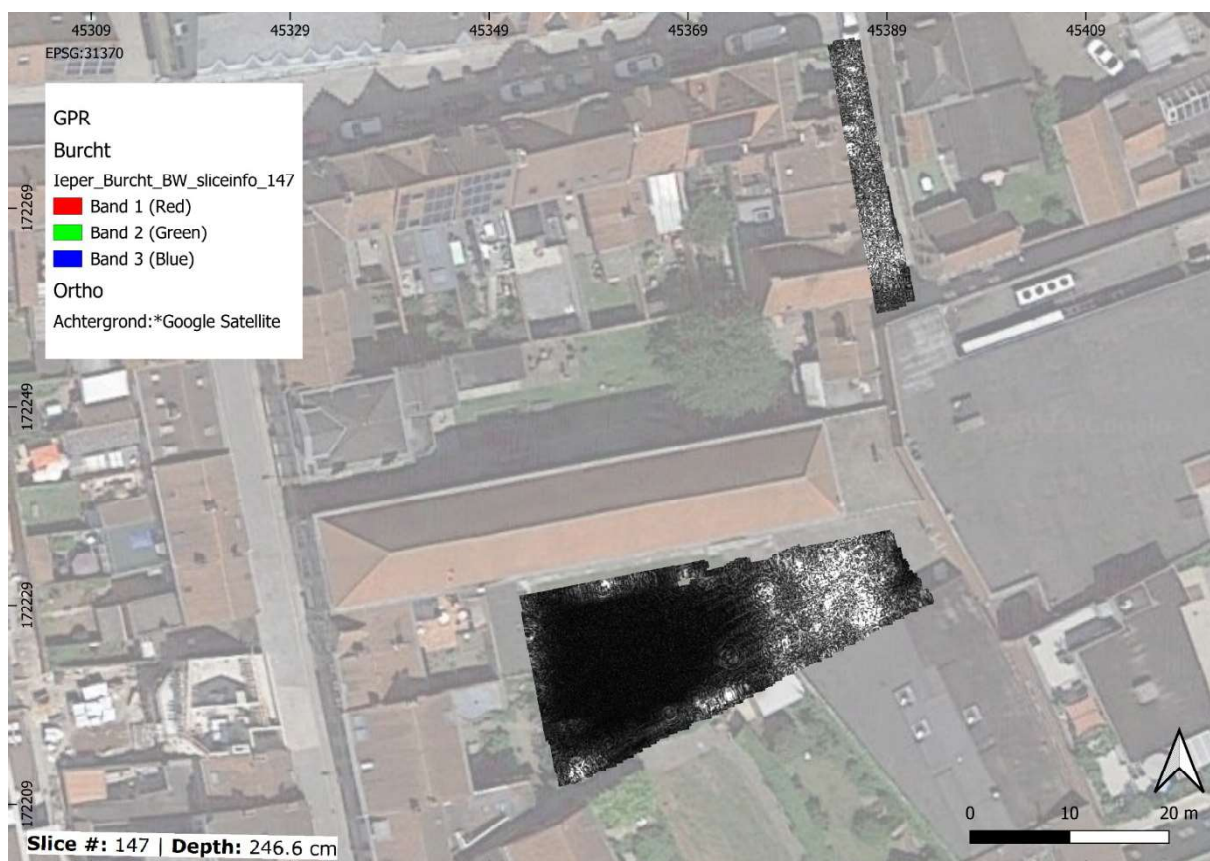


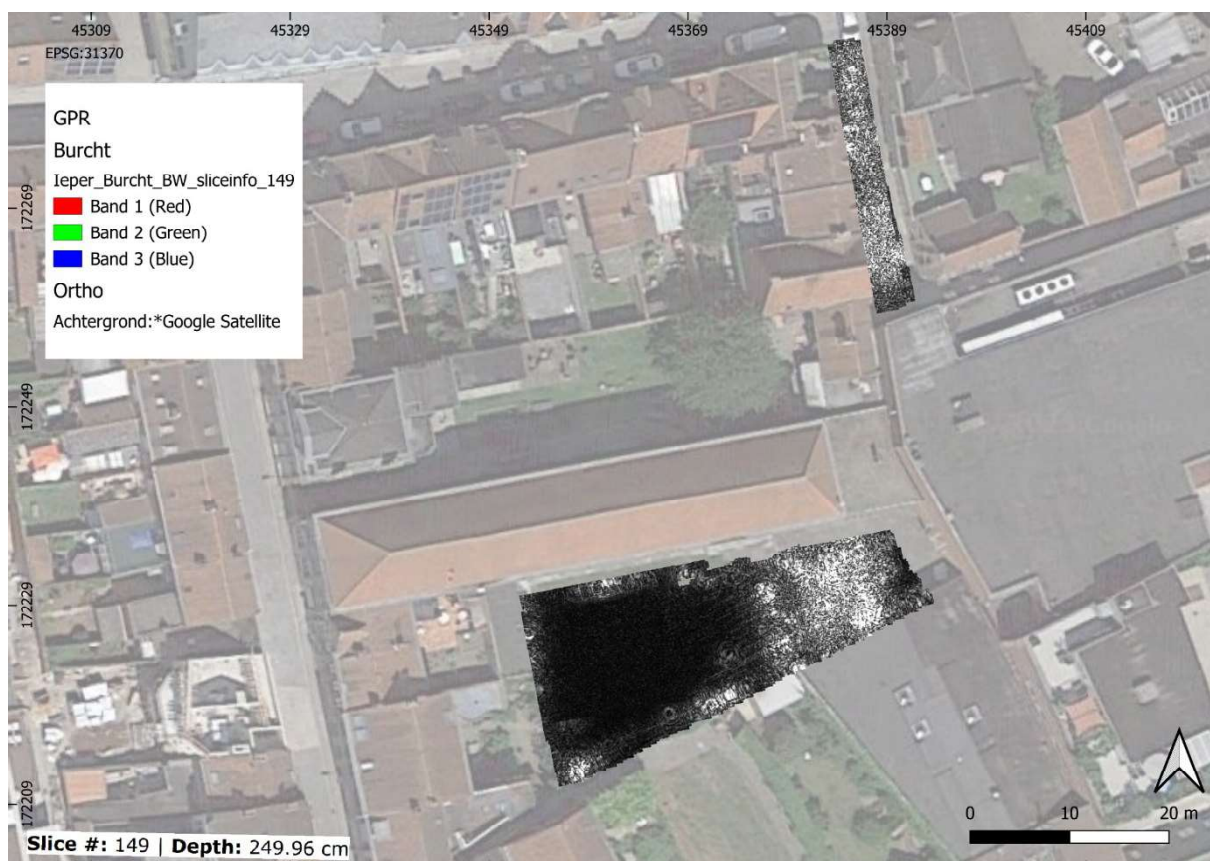


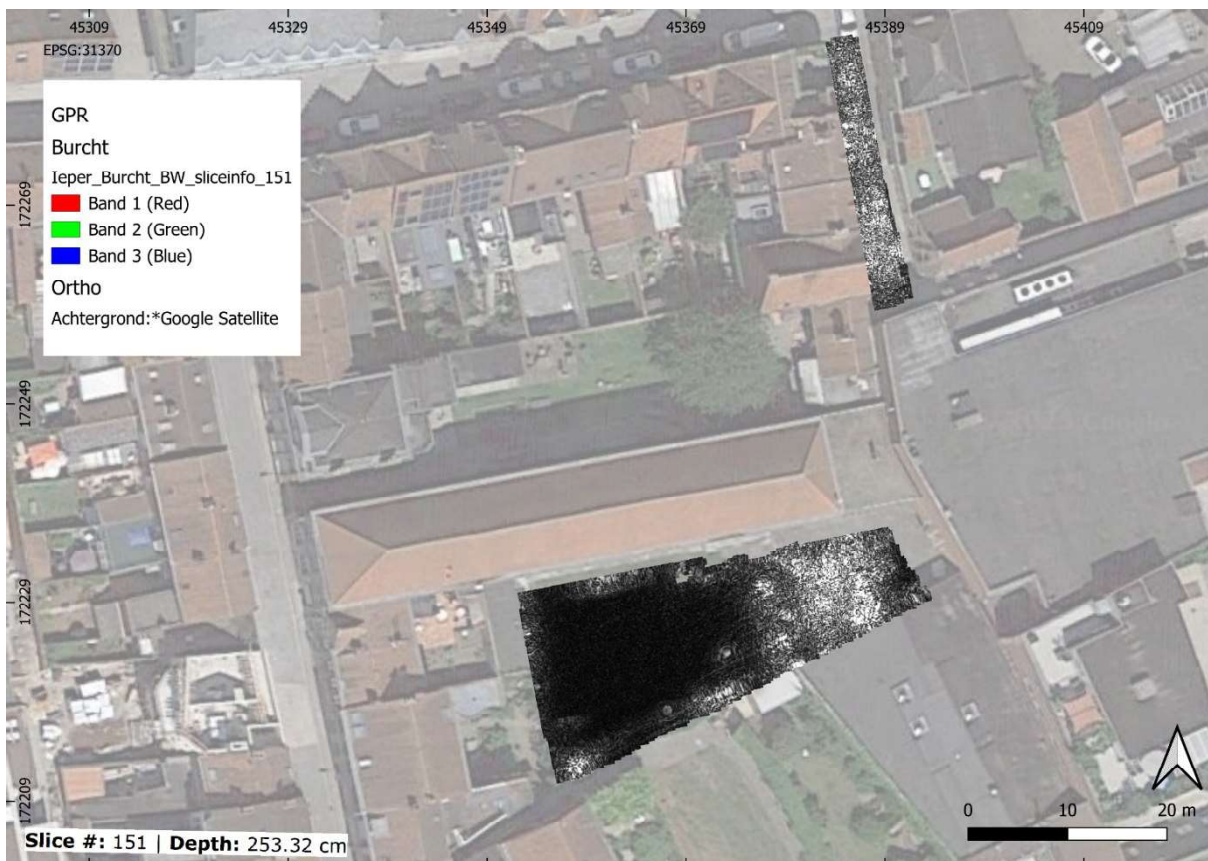


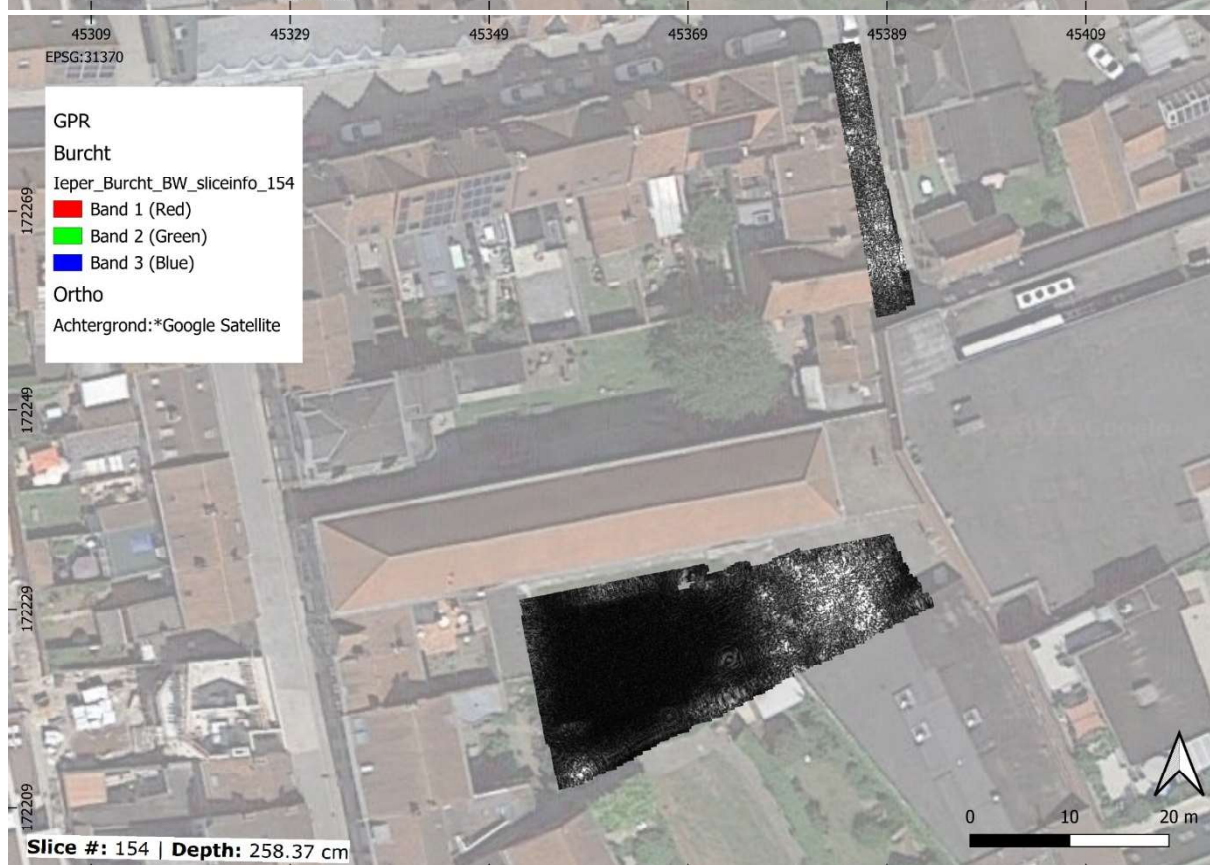
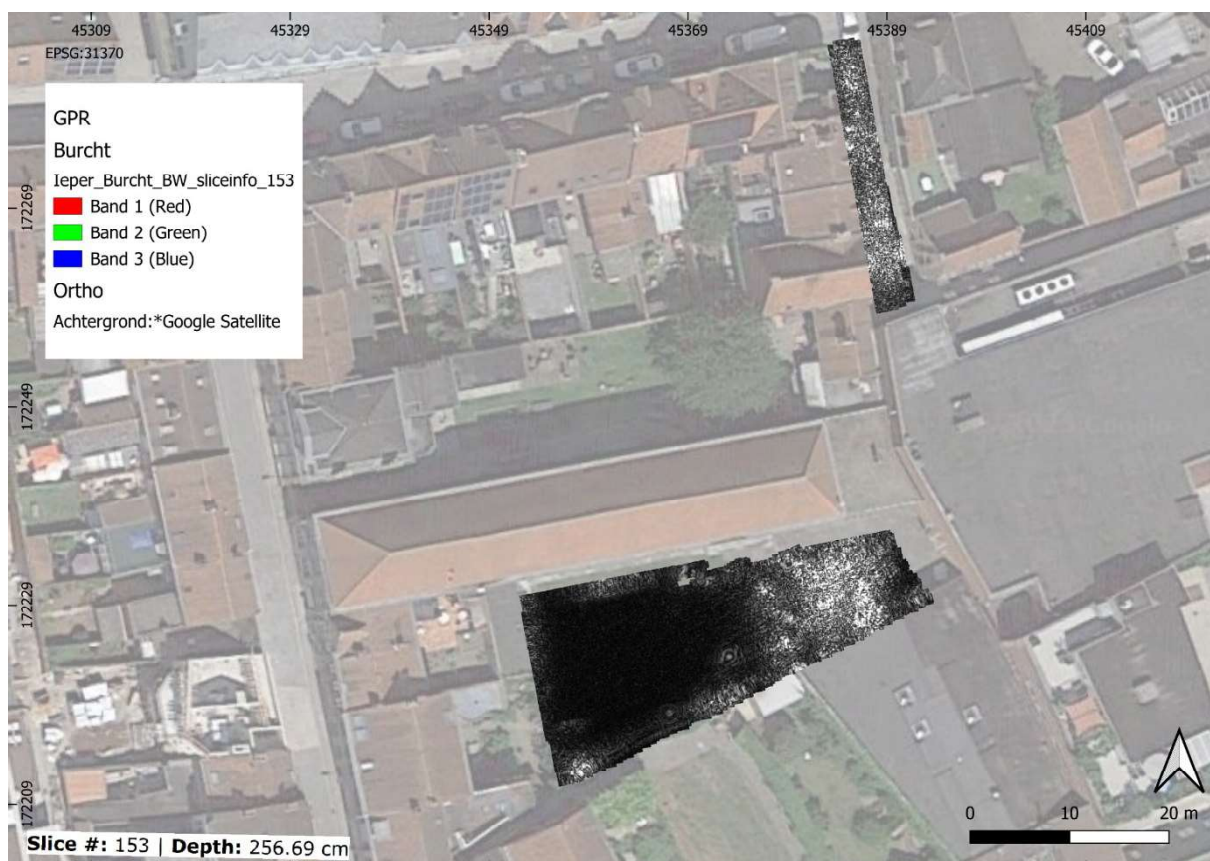




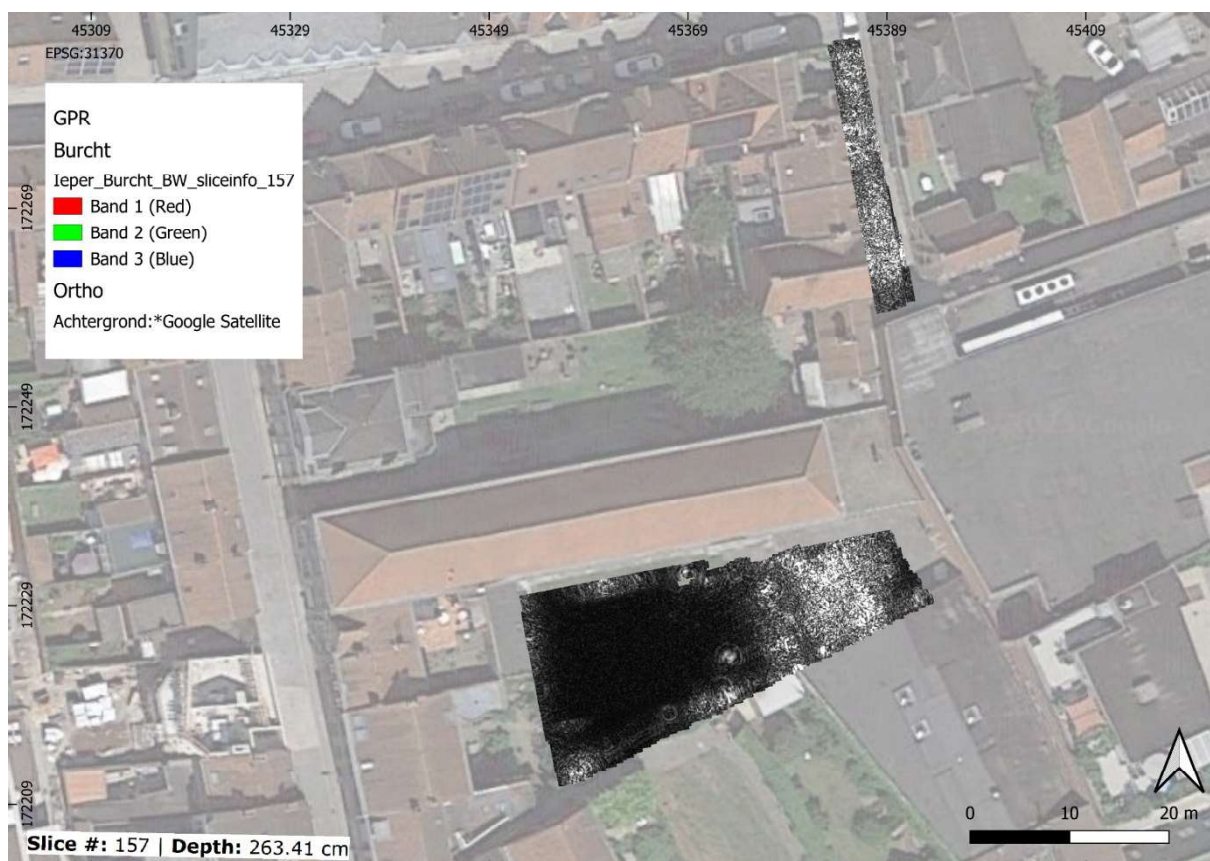


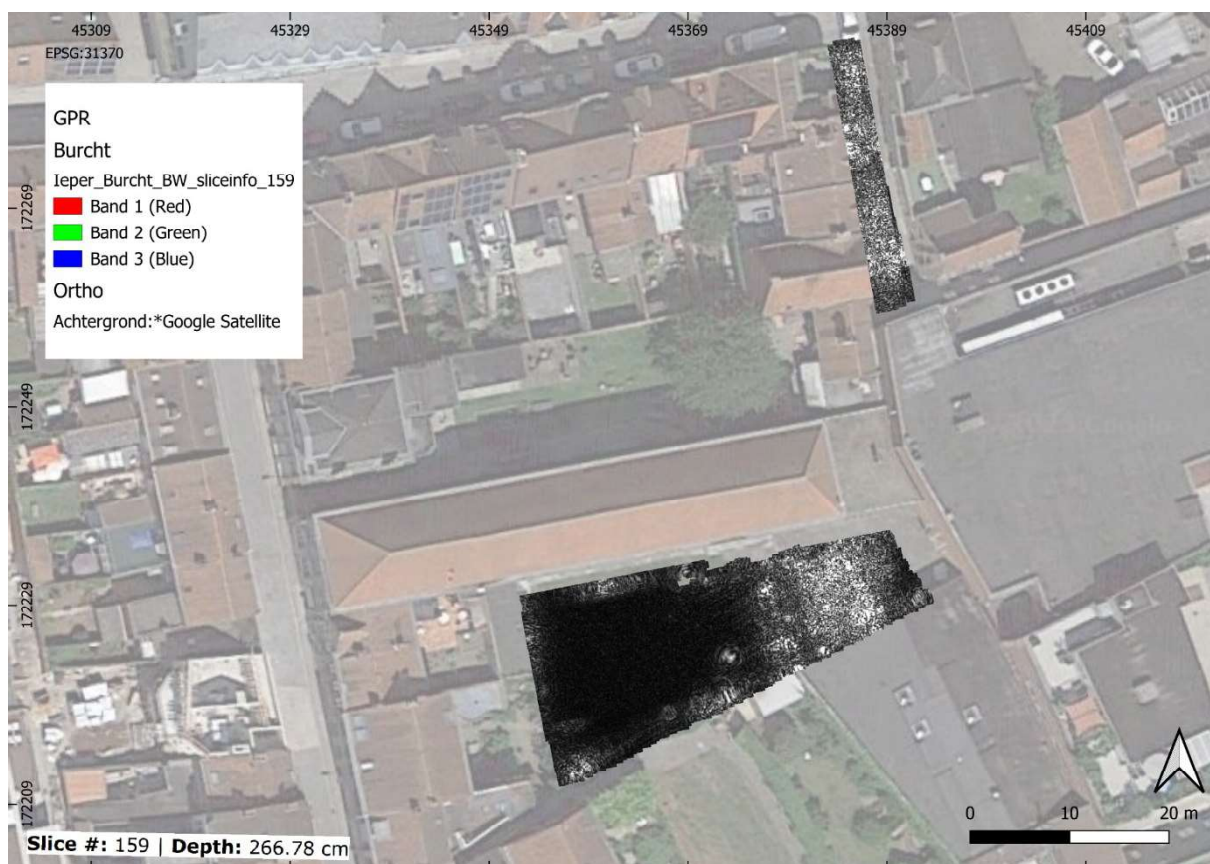












Appendix 2: dataplots alle GPR diepte-doorsneden Zone 3











































































