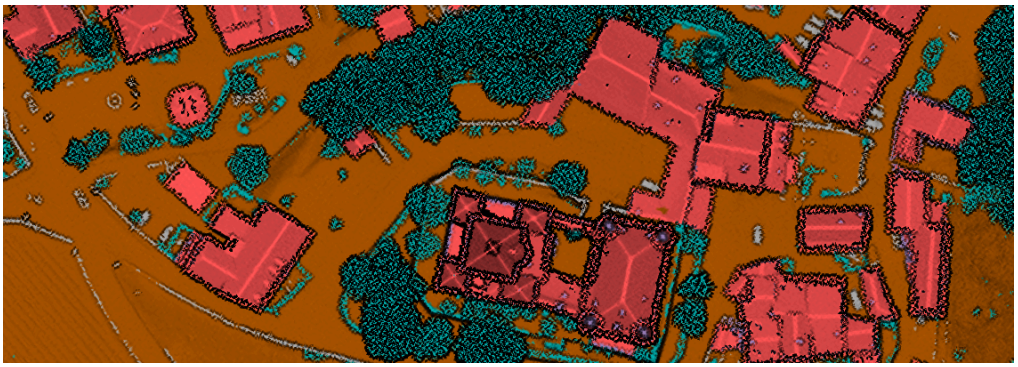


QGIS

Arbeiten mit Punktwolken

Workshop

Swiss LiDAR Day
10.11.2026, Morges

OPENGIS.ch
OPEN-SOURCE GEONINJAS

Ziele des Workshops **3**
Vorbereitung **3**
QGIS-Version 3
Workshop-Daten 3
Zu installierende Erweiterungen 3
Einleitung **3**
Was ist eine Punktwolke? 3
Unterstützte Datenformate 4
Ressourcen 4
Punktwolken in 2D laden und stilisieren **4**
Eigenschaften der Punktwolke 5
Darstellung in 2D 8
Standarddarstellung 8
Die verschiedenen Rendering-Engines 8
Darstellung als Oberfläche 9
Klassifizierungsdarstellung 9
Punktsymbol 10
Layerdarstellung 11
Eye-Dome Lighting 12
Geländehöhenprofil 13
Darstellung von Punktwolken als durchgehende Höhenlinie 15
Visualisierung von Punktwolken in 3D **16**
3D-Navigation 18
Erstellen von virtuellen Punktwolken (virtual point clouds, VPCs) **20**
Verarbeitungswerkzeuge für Punktwolken verwenden **22**
Clip 22
Export im Rasterformat 23
Export im Rasterformat (mit Triangulation) 24
Dichte berechnen (optional) 26
Punktwolken vergleichen 27
Punktwolken bearbeiten **28**
SwissSURFACE3D-Daten in RGB **28**
Neuheiten QGIS ≥4.0 **28**
Referenzen **29**

Ziele des Workshops

Am Ende des Workshops seid ihr in der Lage:

- Schweizer LiDAR-Daten zu finden
- Standardoperationen durchzuführen: Kacheln anzeigen und erkunden (in 2D und 3D), zwei oder mehr Kacheln zusammenführen, Klassen filtern
- Ein Höhenmodell (DGM, DOM) zu erstellen
- Die verschiedenen verfügbaren Werkzeuge zur Verarbeitung und Analyse von Punktwolken zu kennen

Vorbereitung

QGIS-Version

Um von den Neuerungen der letzten QGIS-Versionen zu profitieren, basiert dieser Workshop auf QGIS 4.2.

Workshop-Daten

Download-Link: https://download.opengis.ch/public/courses/qgis_pointclouds

Zu installierende Erweiterungen

- Swiss Locator: Suche nach Orten und WMS-Layern im gesamten Katalog des Schweizer Geoportals sowie auf opendata.swiss

Einleitung

Was ist eine Punktwolke?

Eine Punktwolke ist das Ergebnis von Daten, die von einem LiDAR-Scanner erfasst wurden. Es handelt sich im Wesentlichen um eine Ansammlung von 3D-Punkten (bis zu mehreren Milliarden/Billiarden), die die Oberfläche von Objekten, Gebäuden oder Landschaften darstellt. Diese Punkte sind so organisiert, dass sie ein digitales Modell bilden, das visualisiert und für weiterführende Analysen genutzt werden kann.

LiDAR ist eine Fernerkundungstechnologie, die Laser verwendet, um Entfernungen zu reflektierenden Oberflächen zu messen. Die Punktdichte kann variieren und liefert so detaillierte Informationen über das gescannte Gebiet. Zudem besitzen Punktwolken Attribute wie X-, Y- und Z-Koordinaten, eine **Klassifikation** und eine **Intensität**.

In QGIS können Punktwolken in der 2D- und 3D-Ansicht sowie in Höhenprofilen visualisiert und abgefragt werden.

Unterstützte Datenformate

.las, .laz: die Branchenstandardformate (.laz ist das komprimierte Format). Sie werden von PDAL unterstützt. PDAL (Point Data Abstraction Library) ist eine C++-Bibliothek zur Konvertierung und Bearbeitung von Punktwolkendaten. Sie ist vergleichbar mit der GDAL-Bibliothek, die Raster- und Vektordaten verwaltet.

.copc: Cloud Optimized Point Clouds werden ebenfalls von QGIS unterstützt, sowohl für lokale als auch für entfernte Datenquellen.

Hinweis: Wenn ihr eine .las/.laz-Datei zum ersten Mal in QGIS lädt, versucht QGIS, die Datei zu indexieren, und erstellt eine COPC-Datei, die anschliessend verwendet wird. Je nach Grösse der .las/.laz-Datei kann die anfängliche Indexierung einige Zeit in Anspruch nehmen.

Ressourcen

https://www.swisstopo.admin.ch/fr/modele-altimetrique-swisssurface3d
https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/working_with_point_clouds/point_clouds.html

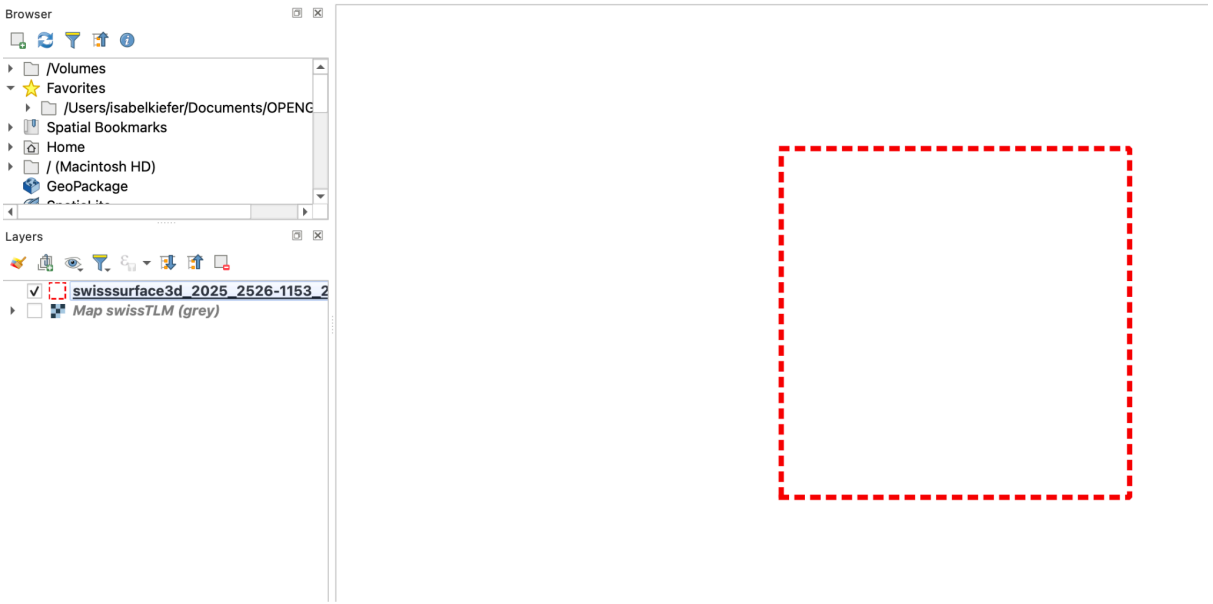
Punktwolken in 2D laden und stilisieren

In dieser ersten Übung ladet ihr swissSURFACE3D-Daten des Dorfes und Schlosses Vufflens-le-Château.

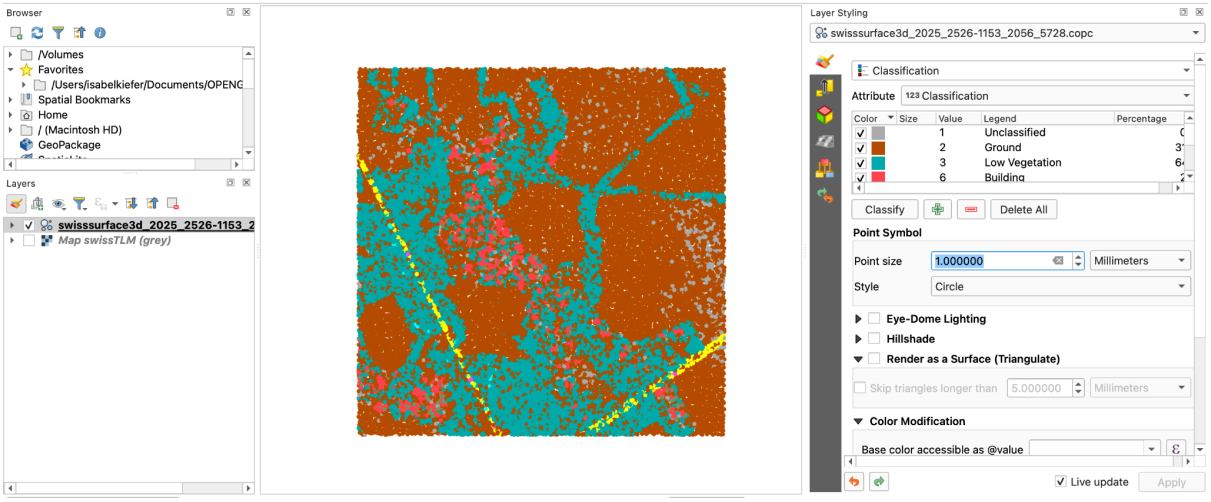
Erstelle einen Arbeitsordner, der die heruntergeladenen Daten enthält.

1. Starte QGIS 4.X
2. Lade den Kartenlayer swissTLM (grau)
3. Suche im Explorer-Bedienfeld deinen Arbeitsordner und füge ihn den Favoriten hinzu (Rechtsklick auf den Ordner).
4. Wähle im Explorer-Bedienfeld die .laz-Datei aus dem Ordner Vufflens aus und importiere sie in QGIS.

QGIS zeigt nun die Ausdehnung der Kacheln mit einem roten gestrichelten Rand an und konvertiert die LAZ-Dateien automatisch in das COPC-Format (Cloud Optimized Point Cloud). Dieser Vorgang kann einige Zeit dauern.



Nach der Konvertierung siehst Du die klassifizierten Punkte auf der Karte, mit der .copc-Datei in der Legende (Layer-Bedienfeld).

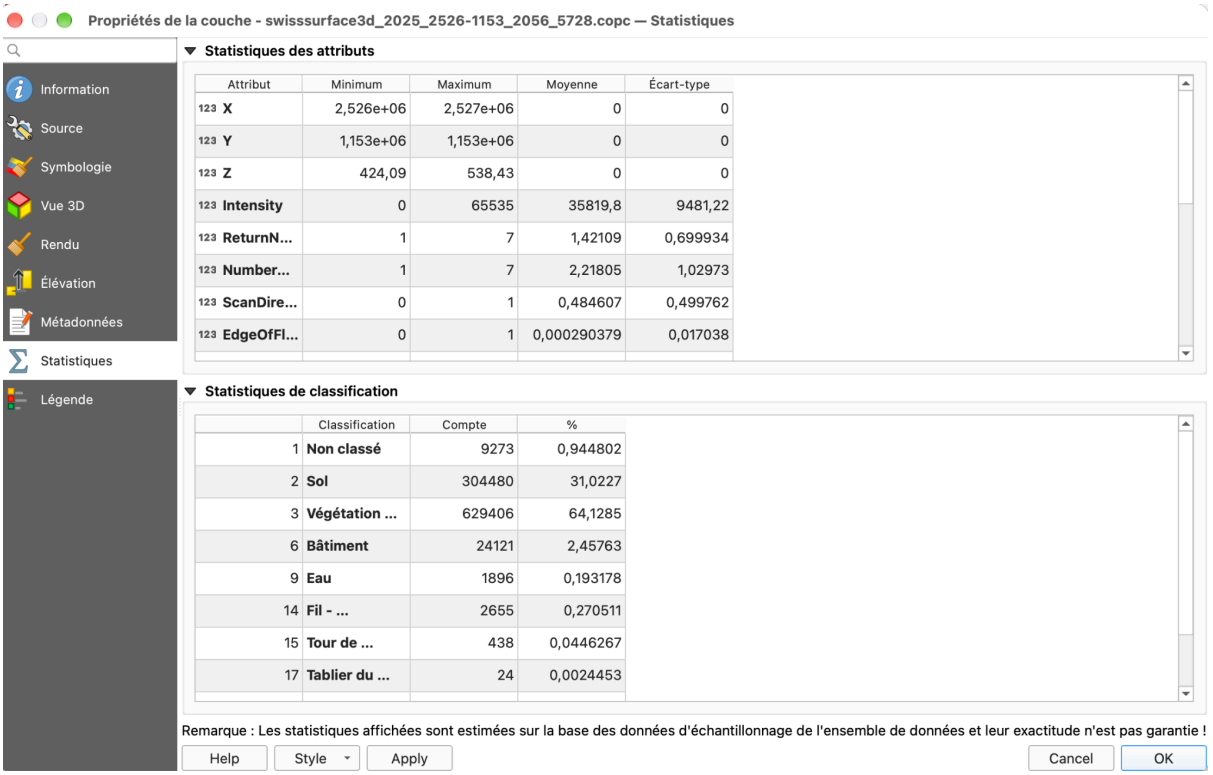


5. Überprüfen wir, ob der Layer korrekt georeferenziert ist, indem wir die Punktwolke mit der swissTLM-Hintergrundkarte vergleichen. Alles sollte korrekt funktioniert haben.
6. Speichere das QGIS-Projekt in deinem Arbeitsordner.

Eigenschaften der Punktwolke

Ihr könnt die Projektion und die Attribute der Punktwolkendaten betrachten.

1. Rechtsklick auf den Layer im Layer-Bedienfeld > Layereigenschaften.
    a. Wähle den Reiter **Information**
    Wie viele Punkte befinden sich in dieser Kachel?
    b. Wähle den Reiter **Quelle**
    Welche Projektion hat der Layer?
    c. Wähle den Reiter **Statistiken** (siehe Attributstatistiken und Klassifizierungsstatistiken)
    Welche Klassifizierungskategorie ist am häufigsten?

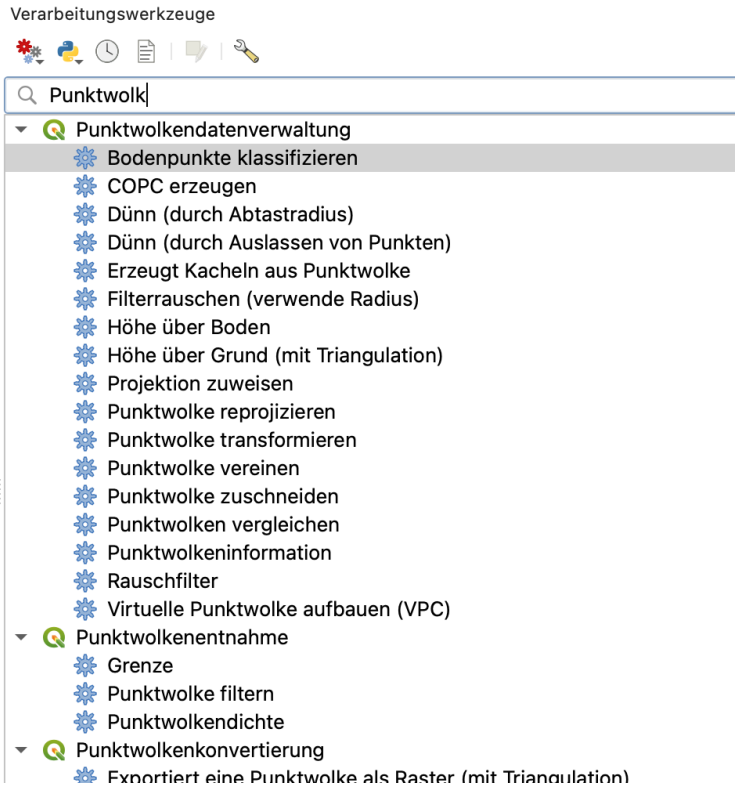


Die folgenden Attribute können zur Visualisierung von Punktwolkendaten verwendet werden (benutze das Objekt-Identifizierungswerkzeug und klicke auf einen Punkt):

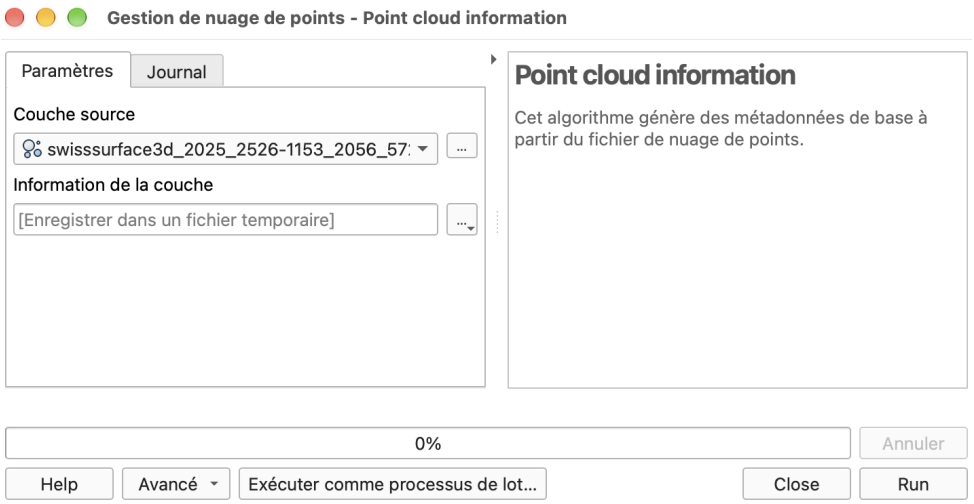
Attribut	**Beschreibung**
Classification	Ein Code, der die Art des Objekts definiert, das den Laserimpuls reflektiert hat
EdgeOfFlightLine	Ein Indikator, der angibt, ob sich der Punkt am Rand einer Fluglinie befindet
GpsTime	Die Zeit, zu der der Laserimpuls aufgezeichnet wurde
Intensity	Die Intensität des zurückgesendeten Laserimpulses
KeyPoint	Punkte, die stabil, markant und gemäss einem definierten Erkennungskriterium identifizierbar sind (auch Schlüsselpunkte genannt)
NumberOfReturns	Die Gesamtzahl der Rückgaben für einen gegebenen Laserimpuls
Overlap	Punkt in einem Überlappungsbereich paralleler Vermessungsflugbahnen
PointSourceId	Eine Kennung der Datenquelle des Punkts
ReturnNumber	Die Reihenfolge der Rückgabe des Laserimpulses
ScanAngleRank	Der Winkel, in dem der Laserimpuls vom Sensor ausgesendet wurde
ScanDirectionFlag	Die Bewegungsrichtung des Scannerspiegels zum Zeitpunkt der Impulsaussendung

ScannerChannel	Die Kanalnummer eines LiDAR-Scanners
Synthetic	Virtuell generierte Daten
UserData	Vom Benutzer definierte Daten
Withheld	`Withheld = 1`: Punkte, die in der Datei bleiben müssen, aber nicht verwendet werden dürfen, z. B. ein kurzes Segment einer Fluglinie mit einem bekannten Synchronisationsfehler
X, Y, Z	Position der Information
RGB et Infrared	Farbinformationen des Punkts
Amplitude	Die Intensität des zurückgesendeten Laserimpulses
Reflectance	Die Menge an Laserlicht, die vom Zielobjekt zum Sensor zurückreflektiert wird

1. Untersuche das Werkzeug **Information** in der Verarbeitungswerkzeugkiste
    a. Öffne das Bedienfeld der Verarbeitungswerkzeugkiste 
    b. Gib *Punktwolke* in die Suchleiste ein



    c. Mache im Abschnitt Punktwolkendatenverwaltung einen Doppelklick auf den Algorithmus **Punktwolkeninformation**.
    d. Führe die Verarbeitung mit deinem Punktwolkenlayer aus und speichere das Ergebnis in einer temporären Datei.



e. Klicke im Bedienfeld **Ergebnisanzeige** auf den Link, um die HTML-Seite zu öffnen. Das Ergebnis sowie der Link zur HTML-Datei sind ebenfalls im Reiter **Protokoll** des Algorithmusdialogs zu finden.

Darstellung in 2D

Öffne das Bedienfeld **Layergestaltung**.



Standarddarstellung

Wenn eine Punktwolke geladen wird, folgt QGIS einer Logik, um die beste Rendering-Engine auszuwählen:

- wenn der Datensatz Farbinformationen enthält (Attribute Rot, Grün, Blau), wird die **RGB**-Rendering-Engine verwendet,
- andernfalls, wenn der Datensatz ein Attribut `classification` enthält, wird die **Klassifizierungs**-Rendering-Engine verwendet,
- andernfalls greift QGIS auf eine Darstellung basierend auf dem `Z`-Attribut mittels **Attribute nach Verlauf** zurück.

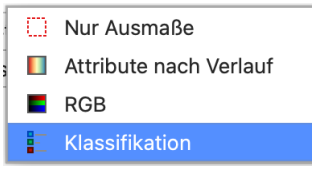
Unsere Punktwolke enthält keine RGB-Werte; daher wird standardmässig die Klassifizierungsdarstellung ausgewählt.

Die verschiedenen Rendering-Engines

QGIS ermöglicht es, eine Punktwolke mit vier verschiedenen Rendering-Engines zu symbolisieren.

- **Nur Ausmasse:** nur ein Rahmen, der die Ausdehnung der Daten begrenzt, wird angezeigt

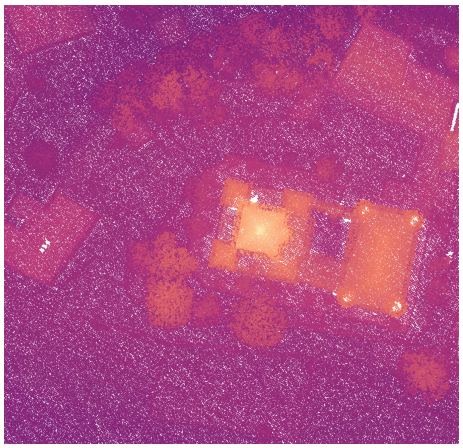
- **Attribut nach Verlauf:** die Daten werden gemäss einem Farbverlauf in Abhängigkeit eines numerischen Attributs wie des Z-Werts dargestellt.
- **RGB:** Anzeige der Daten mithilfe der Farbwerte Rot, Grün und Blau.
- **Klassifizierung:** die Daten werden mit unterschiedlichen Farben für jede Klasse angezeigt



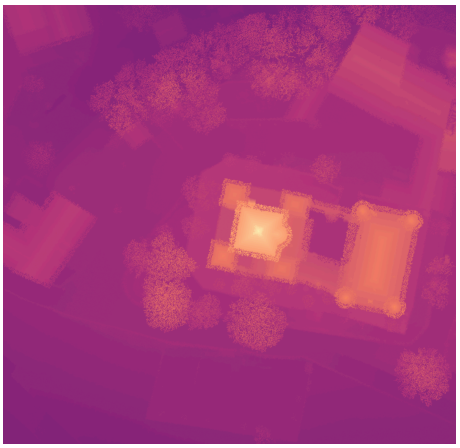
Probieren wir die Darstellung Attribut nach Farbverlauf aus:

1. Ändere die Darstellung auf **Attribut nach Verlauf**
2. Wähle das Attribut **Z**, um die Höhe der Punkte anzuzeigen
3. Definiere die Farbpalette **Magma**
4. Falls nötig, kannst Du die Min- und Max-Werte anpassen. Standardmässig werden diese Werte aus den Daten übernommen.
5. Ändere den Stil der Punkte zwischen Kreis und Quadratisch sowie die Punktgrösse.

Darstellung als Oberfläche

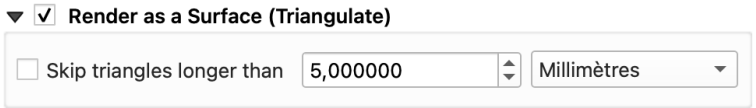


Option *Als Oberfläche darstellen* deaktiviert



Option aktiviert

Die Einstellung **Als Oberfläche darstellen** ermöglicht es, die Punktwolke als homogenere Oberfläche darzustellen, indem die Lücken zwischen den Punkten gefüllt werden. Diese Option erzeugt Dreiecke anstelle von Punkten. Jeder Punkt behält seine Farbe für die Interpolation innerhalb des Dreiecks bei.



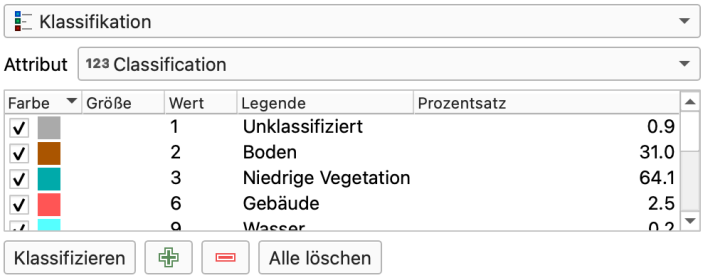
Mit der Option **Dreiecke länger als überspringen** kann die maximale Länge einer Dreiecksseite festgelegt werden, die in der horizontalen Ebene berücksichtigt werden soll. Dies kann besonders nützlich sein, wenn Du echte Lücken in den Daten identifizieren möchtest.

Klassifizierungsdarstellung

Wähle die Darstellung **Klassifizierung**.

Die Punktwolke wird mit Farb- oder Grössenunterschieden je nach einem Attribut dargestellt. Wenn der Datensatz ein `Classification`-Attribut enthält, verwendet QGIS dieses standardmässig, wie hier der Fall. Das `Classification`-Attribut enthält normalerweise Daten, die automatisch durch Nachbearbeitung ermittelt wurden, z. B. zu Vegetation und anderen Bodenbedeckungsklassen. Es kann jedoch jede Art von Attribut (numerisch, Zeichenkette, …) mit der Darstellung **Klassifizierung** verwendet werden. Die Option **Attribut** ermöglicht es Dir, in der Attributtabelle das Feld auszuwählen, das für die Klassifizierung verwendet wird.

Das Bedienfeld **Layergestaltung** enthält sehr nützliche Informationen, insbesondere die Felder **Wert**, **Legende** und **Prozentsatz**, die den Prozentsatz der Punkte des Datensatzes angeben, die zu jeder Klasse gehören.



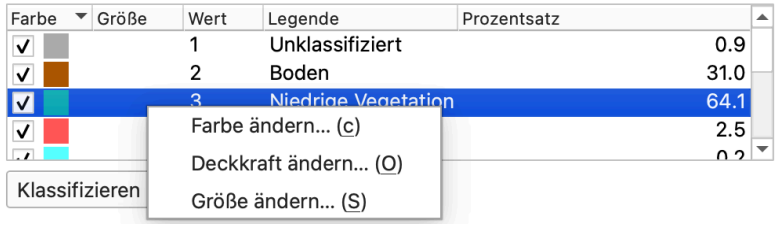
Punktsymbol

Im Abschnitt **Punktsymbol** kannst Du die **Grösse** und den **Stil** des Punkts ändern. Diese Einstellungen werden auf alle Punktklassen angewendet.



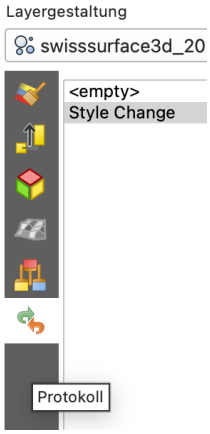
Wenn Du die Grösse oder Farbe für nur eine einzelne Klasse ändern möchtest, kannst Du einen Rechtsklick auf die betreffende Klasse machen. Dadurch öffnet sich ein Menü, in dem Du die **Farbe**, die **Grösse** und die **Deckkraft** für diese Klasse ändern kannst. Ein Doppelklick auf das Farb-, Grössen- oder Legendenfeld ermöglicht ebenfalls die Änderung der Einstellungen. Eine benutzerdefinierte Punktgrösse wird anschliessend in der Spalte **Grösse** angezeigt.

Versuche, die Grösse und Deckkraft für einige Klassen zu ändern. Um zur Standardgrösse zurückzukehren, setze den Wert wieder auf 0 und die Deckkraft auf 100.



Achtung: Dies hat möglicherweise keine visuelle Auswirkung, wenn die Triangulation (Darstellung als Oberfläche) aktiviert ist.

Hinweis: Das Bedienfeld Layergestaltung enthält Schaltflächen, zum Rückgängigmachen  *, sowie einen Reiter **Protokoll**. Bei einer Fehlbedienung kannst Du also einen vorherigen Zustand wiederherstellen.*



Layerdarstellung

Die letzte Option zum Stylen von Punktwolken befindet sich im Abschnitt **Layerdarstellung**. Die Option **Zeichnungsreihenfolge** ermöglicht es Dir zu bestimmen, ob die im 2D-Kartenbereich angezeigten Punktwolken nach aufsteigendem **Z-Wert** sortiert werden.

Drei Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

a. **Voreinstellung**: verwendet die Reihenfolge, in der die Punkte im Layer gespeichert sind,
b. **Unterst zu oberst**: Punkte mit den höchsten Z-Werten überdecken die tiefer liegenden Punkte, was den Eindruck eines echten Orthofotos vermitteln kann,
c. **Oberst zu unterst**: die Szene erscheint so, wie man sie von unten sehen würde

Experimentiere mit der Zeichnungsreihenfolge.

Einstellung des **maximalen Fehlers**: Punktwolken enthalten in der Regel mehr Punkte, als für die Darstellung nötig sind. Mit dieser Option kannst Du die Darstellungsdichte der Punktwolke regeln (dieser Parameter kann auch als maximal zulässiger Abstand zwischen den Punkten interpretiert werden). Wenn Du einen hohen Wert festlegst (z. B. 5 mm), entstehen sichtbare Lücken zwischen den Punkten. Ein niedriger Wert (z. B. 0,1 mm) könnte dazu führen, dass eine unnötig grosse Anzahl von Punkten dargestellt wird, was die Darstellung verlangsamt (verschiedene Einheiten können ausgewählt werden).

Deckkraft: mit diesem Werkzeug kannst Du der darunterliegende Layer im Kartenarbeitsbereich sichtbar machen. Verwende den Schieberegler, um die Sichtbarkeit deines Layers nach Bedarf anzupassen. Du kannst auch den Prozentsatz der Sichtbarkeit im Menü neben dem Schieberegler genau festlegen.

Mischmodus: mit diesem Werkzeug kannst Du spezielle Darstellungseffekte erzielen. Die Pixel deiner überlagerten und darunterliegenden Layer werden gemäss einem der Mischmodi vermischt.

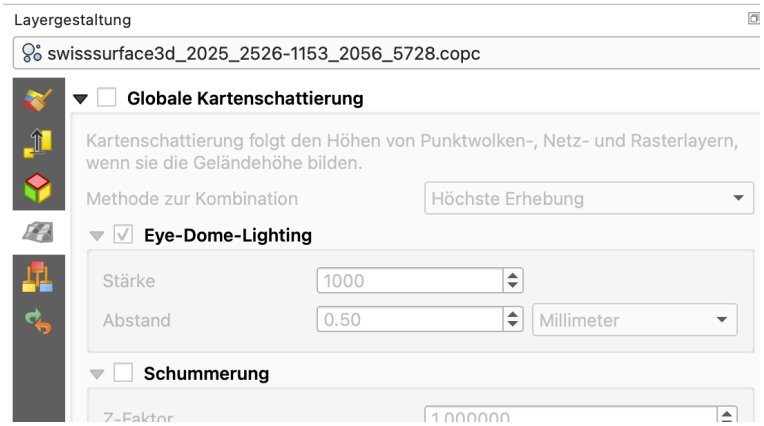
Teste den **Mischmodus** *Multiplizieren*.

Eye-Dome Lighting

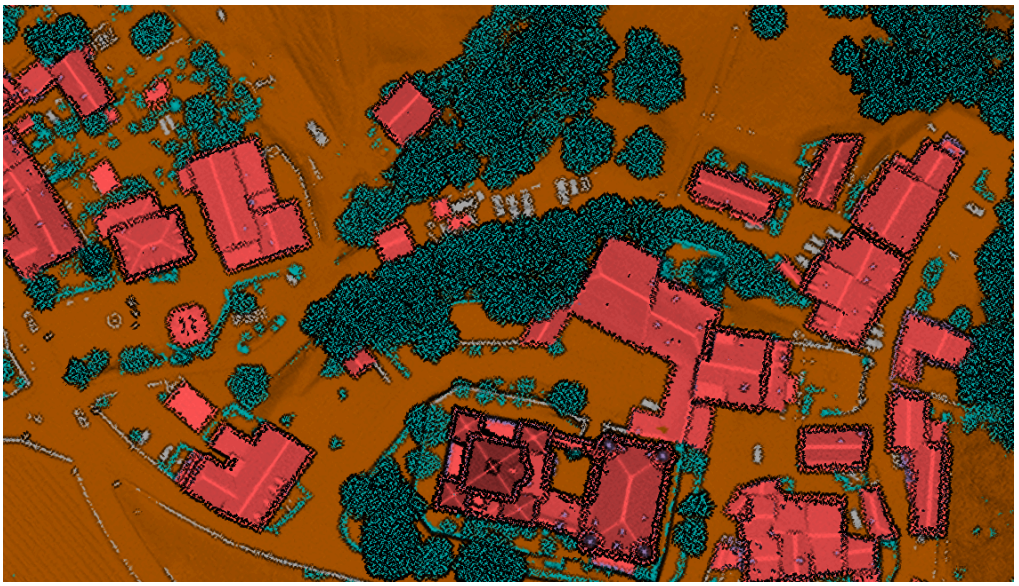
Die Beleuchtung **Eye Dome** wendet Schattierungseffekte auf den Kartenbereich an, um die Tiefendarstellung zu verbessern. Dies kann die visuelle Unterscheidung verschiedener Elemente auf der Karte erleichtern. Die Tiefe jedes Pixels (sein Abstand zur Kamera) wird mit der seiner Nachbarpixel verglichen. Jeder Pixel wird dann je nach dieser Tiefendifferenz hervorgehoben, wodurch Konturen hervortreten.

Die Qualität der Darstellung hängt von der Eigenschaft **Zeichnungsreihenfolge** ab. Die Zeichnungsreihenfolge *Voreinstellung* kann suboptimale Ergebnisse liefern.

1. Wähle die Zeichnungsreihenfolge von **Unterst zu oberst**
2. Gehe zum Reiter **Schattierungsdarstellung**. Aktiviere die **globale Kartenschattierung** und das **Eye-Dome Lighting**.



3. Die **Intensität** erhöht den Kontrast, um die Tiefenwahrnehmung zu verbessern. Der **Abstand** entspricht dem Abstand zwischen den verwendeten Pixeln und dem zentralen Pixel und bewirkt eine Verdickung der Konturen.



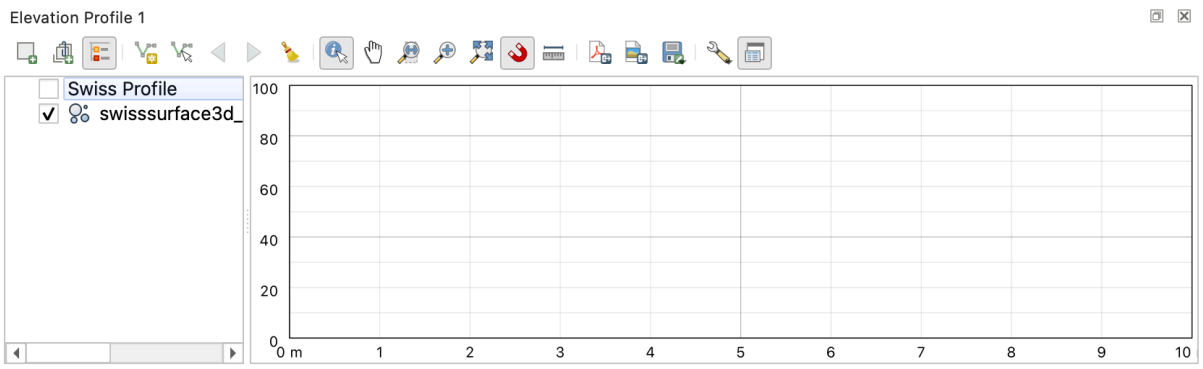
*Hinweis: Der Reiter **Schattierungsdarstellung** wendet die Konfiguration auf alle Punktwolkenlayer des Projekts an. Es ist möglich, diese Effekte nur auf einen bestimmten Layer anzuwenden, indem Du die Optionen **Eye-Dome Lighting** und **Hillshade** (Schattierung) im Reiter **Symbologie** verwendest.*

Geländehöhenprofil

Das Bedienfeld **Geländehöhenprofil** ist ein grafisches Werkzeug, mit dem Du einen Querschnitt deiner Daten entlang einer Linie visualisieren kannst. Es unterstützt Vektor-, Raster-, Mesh- und Punktwolkenlayer. Die Daten können vom Typ 2D oder 3D sein.

Ihr werdet nun ein Höhenprofil eures Punktwolkendatensatzes erstellen.

1. Wähle in der Menüleiste **Ansicht** > **Geländehöhenprofil** > **Neu**. Das Bedienfeld öffnet sich unten im Kartenbereich.



Hinweis: Seit QGIS 4.0 gibt es eine Geländehöhenprofil-Verwaltung. Sie funktioniert gleich wie die Verwaltung für Layouts und 3D-Ansichten. Du kannst somit mehrere Höhenprofile in einem QGIS-Projekt speichern, jedes mit einem Namen deiner Wahl.

Die Profilkurve kann direkt mit dem Werkzeug **Kurve aufnehmen** gezeichnet werden, oder aus einem Objekt einem bestehenden Linienlayer mit dem Werkzeug **Kurve aus Objekt erfassen** erstellt werden.

Da kein Linienlayer im Projekt geladen ist, verwenden wir die erste Methode.

2. Klicke auf die Schaltfläche **Kurve aufnehmen**
3. Zeichne die Kurve im Kartenbereich, wie beim Digitalisieren eines Linienobjekts: mache einen Linksklick, um jeden Stützpunkt hinzuzufügen, dann einen Rechtsklick, um die Zeichnung zu beenden.
4. Das Höhenprofil der Punktwolke wird dann im Bedienfeld **Geländehöhenprofil** angezeigt.
5. Mit den Schaltflächen **Nach links schubsen** und **Nach rechts schubsen** kannst Du die Profilkurve seitlich verschieben. Der Verschiebungsschritt hängt von der definierten Toleranz ab (siehe unten).
6. Klicke auf die Schaltfläche **Optionen** , um auf die Einstellungen der Profilkurve zuzugreifen.

Abstands-/Höhenmassstäbe arretieren: Hält die aktuellen Distanz- und Höhenskalen beim Zoomen oder Verschieben im Diagrammbereich fest (damit eine 45°-Steigung tatsächlich als 45°-Steigung in der Profilansicht angezeigt wird). Wenn das Skalenverhältnis entsperrt ist, wird es automatisch angepasst, um die gesamte Länge der Profilkurve und den gesamten Höhenbereich anzuzeigen (wie bei einem *Zoom auf die volle Ausdehnung*), und variiert beim Rein- und Rauszoomen.

Massstabsverhältnis: Definiert das Verhältnis zwischen den Distanz- und Höheneinheiten, die für die Profilskala verwendet werden.
Layer mit Projekt synchronisieren: Wenn diese Option aktiviert ist, übernehmen die Layer des Höhenprofils stets die Organisation des Hauptkartenbereichs, einschliesslich ihrer Reihenfolge und Gruppen. Jede Änderung im Layer-Bedienfeld des Projekts wird sofort im Höhenprofil berücksichtigt. Diese Option ist standardmässig deaktiviert.

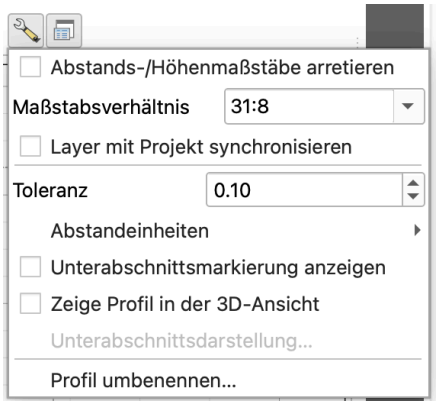
Toleranz: Definiert den maximalen Abstand zur Profilkurve, in dem sich ein Vektorobjekt (Punkt, Linie oder Polygon) oder ein Punktwolkenpunkt befinden darf, um in die Ergebnisse aufgenommen zu werden.

Abstandseinheiten: Ermöglicht die Anzeige der Distanzen im Profildiagramm in anderen Einheiten als denen des Kartenbereichs.

Unterabschnittsmarkierung anzeigen: Ermöglicht die Anzeige vertikaler Linien an den Distanzen, die den Stützpunkten der Profilkurve entsprechen, um deren Position im Höhenprofil zu erkennen. Die Option **Unterabschnittsdarstellung** wird aktiv, wenn **Unterabschnittsmarkierung anzeigen** aktiviert ist.

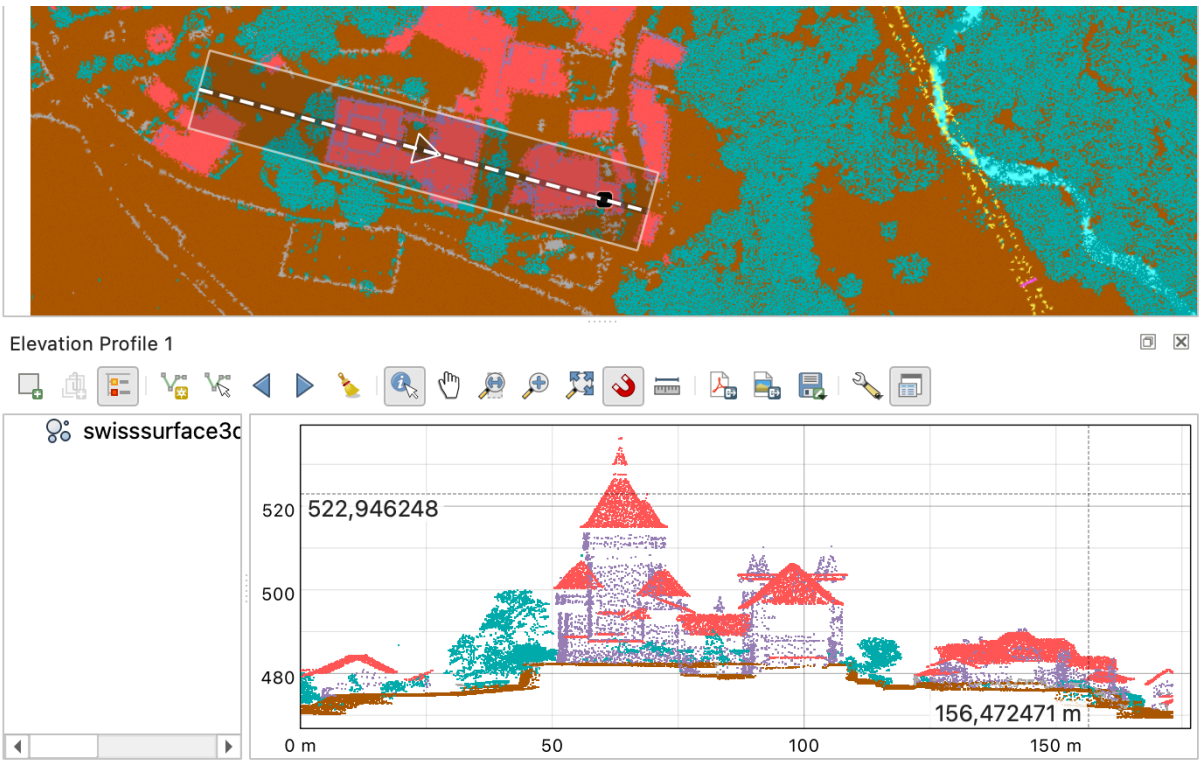
Zeige Profil in der 3D-Ansicht: Zeigt die Höhenprofilkurve in der 3D-Kartenansicht an, zusammen mit temporären Geometrien (Polygonen und Linien), die der Cursorposition folgen, wenn Du über das Höhenprofil-Bedienfeld fährst.

Profil umbenennen: Ermöglicht die Umbenennung der aktuellen Profilansicht.



Hinweis: Die Höhenprofiloptionen werden im QGIS-Benutzerprofil gespeichert.

7. Erhöhe die Toleranz auf 15. Du siehst die Toleranz im Kartenbereich und erhältst eine bessere visuelle Darstellung im Profil.

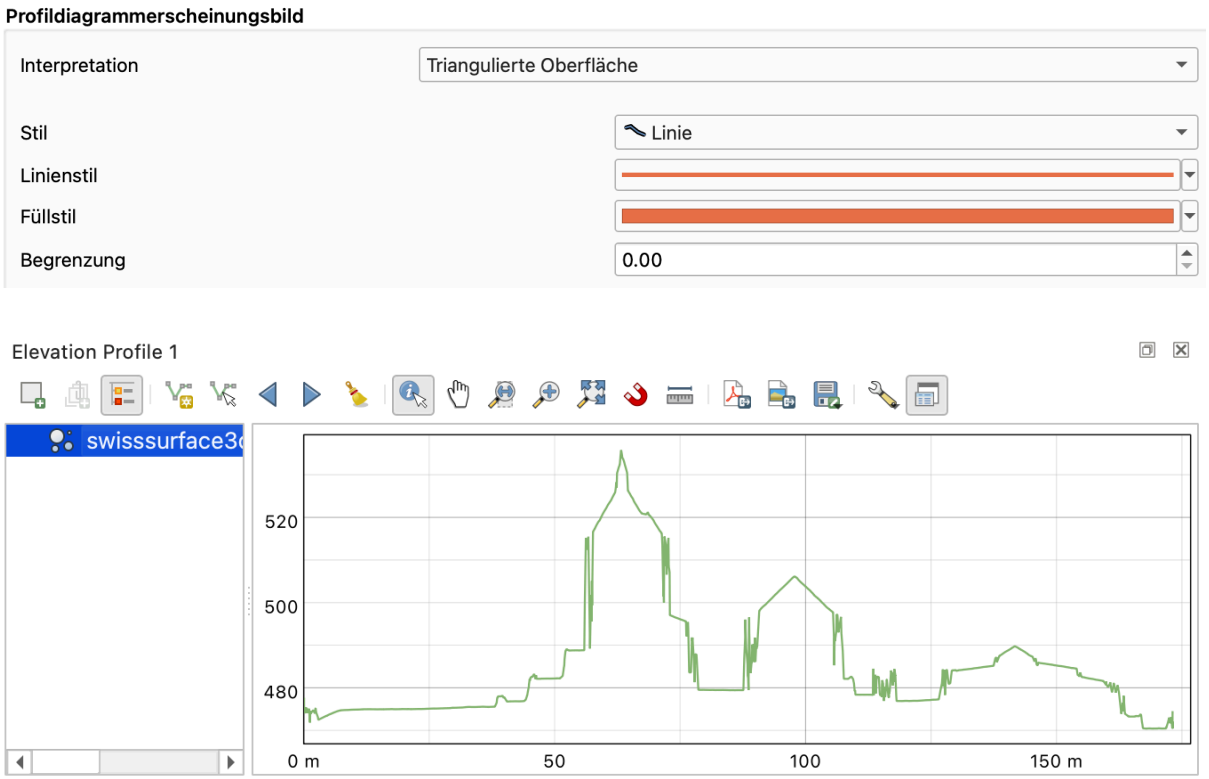


8. Klicke auf Distanzmessung . Du kannst damit in der Profilansicht messen. Versuche z. B., die Höhe des höchsten Turms des Schlosses zu messen. Das **Einrasten** ist standardmässig aktiviert, sodass sich das Messwerkzeug an echten Punkten einrastet.
9. Du kannst auch in der Profilansicht **zoomen** und **verschieben**.
10. Das Werkzeug **Objekte abfragen** ermöglicht es, Punkte im Profil abzufragen. Du siehst die Ergebnisse im Bedienfeld **Identifizierungsergebnis**. Die Punkte werden auch im 2D-Kartenbereich hervorgehoben.
11. Speichere dein Projekt!

Darstellung von Punktwolken als durchgehende Höhenlinie

Seit QGIS 4.0 besteht die Möglichkeit, ein Höhenprofil einer Punktwolke als durchgehende Linie anstelle von einzelnen Punkten darzustellen. Die Darstellung ähnelt damit derjenigen von Vektor- oder Rasterlayern.

1. Gehe im Bedienfeld **Layergestaltung** zum Reiter **Höhe**
   Hinweis: Du kannst auch einen Doppelklick auf den Punktwolkenlayer in der Legende des Höhenprofils machen. Dies ist eine Abkürzung, um die Layereigenschaften im Reiter Höhe zu öffnen.
2. Ändere im Abschnitt Profildiagrammerscheinungsbild die Interpretation auf **Triangulierte Oberfläche**.
3. Definiere dann einen Stil **Linie**, **Darunter füllen** oder **Darüber füllen** in Kombination mit einem **Füllstil**.



Optional: Dupliziere deinen Layer im Layer-Bedienfeld und wende einen Filter an, z. B. für die Bodenpunkte. Definiere einen **Darunter füllen**-Stil im Reiter Höhe. Erstelle dann ein neues Profil, das das Linienprofil mit dem Profil im Stil **Darunter füllen** kombiniert, das nur die Bodenpunkte enthält.

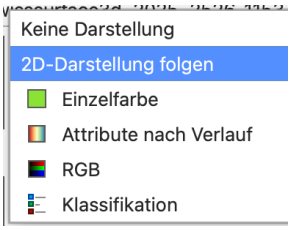
Visualisierung von Punktwolken in 3D

Das Erstellen von 3D-Ansichten aus Punktwolkendaten ist relativ einfach. QGIS erkennt die Höheneigenschaften der meisten Punktwolkendatensätze automatisch.

Das Bedienfeld Layergestaltung enthält einen Abschnitt 3D-Ansicht, in dem Du die Darstellung des Layers konfigurieren kannst.

1. Öffne im Bedienfeld **Layergestaltung** den Abschnitt 3D-Ansicht.
2. Wähle die Standard-3D-Darstellungsoption: **2D-Darstellung folgen**.

Hinweis: Du kannst auch einen anderen Darstellungsmodus für die 3D-Ansicht wählen. Die verfügbaren Optionen sind folgende:



Weiter unten im Reiter **3D-Ansicht** ermöglicht der Abschnitt **Punktsymbol** die Definition der allgemeinen Parameter, die für den gesamten Layer gelten, unabhängig vom gewählten

Darstellungsmodus. Diese Parameter umfassen die **Punktgrösse**, den **maximalen Bildschirmplatzfehler** und das **Punktbudget**.

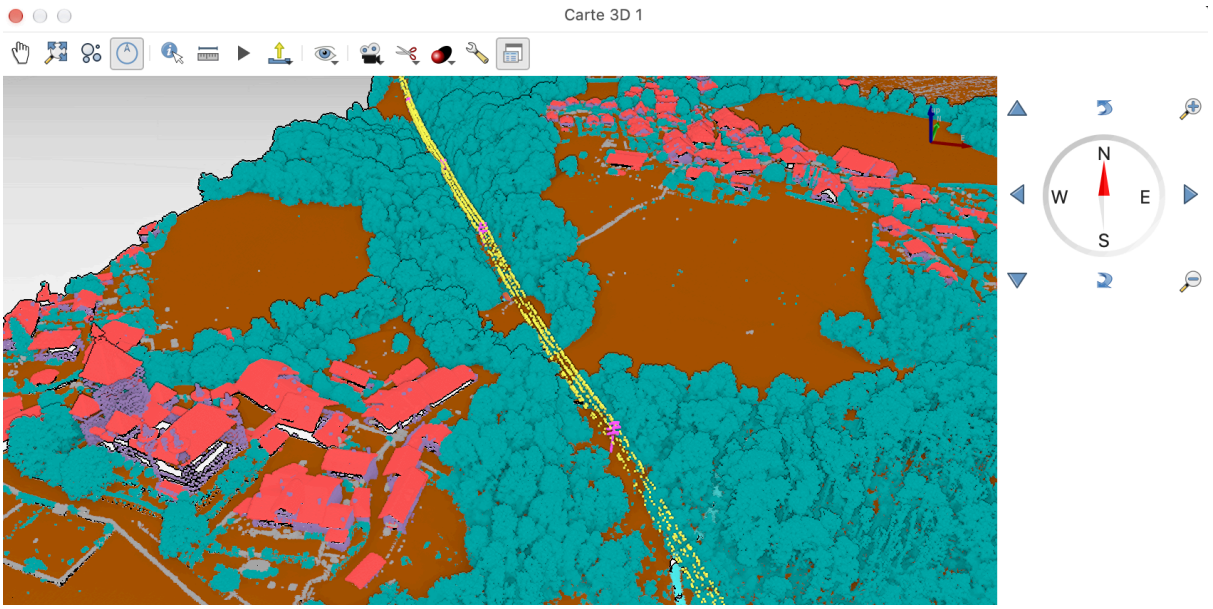
Punktgrösse: definiert die Grösse, in Pixeln, jedes angezeigten Punkts.
Maximaler Bildschirmplatzfehler: steuert die Darstellungsdichte der Punktwolke mithilfe eines in Pixeln ausgedrückten Schwellenwerts. Ein hoher Wert (z. B. 10) lässt Lücken zwischen den Punkten erscheinen. Ein niedriger Wert (z. B. 0) kann dazu führen, dass eine unnötig grosse Anzahl von Punkten angezeigt wird, was die Darstellung verlangsamt.
Punktbudget: definiert die maximale Anzahl angezeigter Punkte, um die Darstellungszeit zu begrenzen.

3. Behalte die Standardeinstellungen im Abschnitt **Punktsymbol** bei
4. Gehe im Menü zu **Ansicht** > **3D-Kartenansichten** > **Neue 3D-Kartenansicht**
5. Die 3D-Ansicht öffnet sich. Wie beim Höhenprofil kannst Du wählen, ob Du dieses Bedienfeld andocken möchtest oder nicht.



6. Klicke auf die Schaltfläche **Effekte**  und teste das **Eye Dome Lighting**. Wie wir bereits im 2D-Kartenbereich gesehen haben, fügt dies Schattierungseffekte für eine bessere Tiefendarstellung hinzu (mehr Definition und Textur). Teste auch die Kombination **Eye Dome Lighting** und **Umgebungsverdeckung anzeigen**.

   Umgebungsverdeckung anzeigen: Nachbearbeitungseffekt, der ebenfalls die Tiefenwahrnehmung verstärkt, indem er Schattierungen in weniger dem Umgebungslicht ausgesetzten Bereichen hinzufügt. Kann mit Eye Dome Lighting kombiniert werden.
   Schatten anzeigen: Schatten in der Szene anzeigen.
   Bloom Lighting Effekt: um die 3D-Szene aufzuhellen, insbesondere selbstleuchtende Objekte, indem ihnen der Anschein gegeben wird, Licht auszustrahlen. Gilt weniger für Punktwolken.



3D-Navigation

Du kannst nun in der 3D-Ansicht navigieren. Am einfachsten ist es normalerweise, das Navigationspanel mit seinem Kompass zu verwenden, das sich rechts im Fenster befindet, oder die Maus:

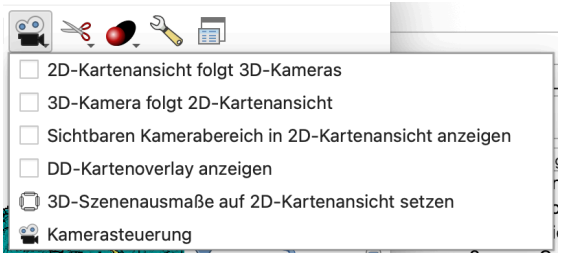
- Halte die mittlere Taste (das Rad) gedrückt und bewege die Maus, um die Szene zu kippen oder zu drehen.
- Halte die linke Taste gedrückt und bewege die Maus, um die Ansicht in alle Richtungen zu verschieben.
- Halte die rechte Taste gedrückt und bewege die Maus, um rein- oder rauszuzoomen.

Wenn Du das Navigationspanel nicht benutzt, kannst Du es ausblenden, indem Du auf die entsprechende Schaltfläche klickst  .

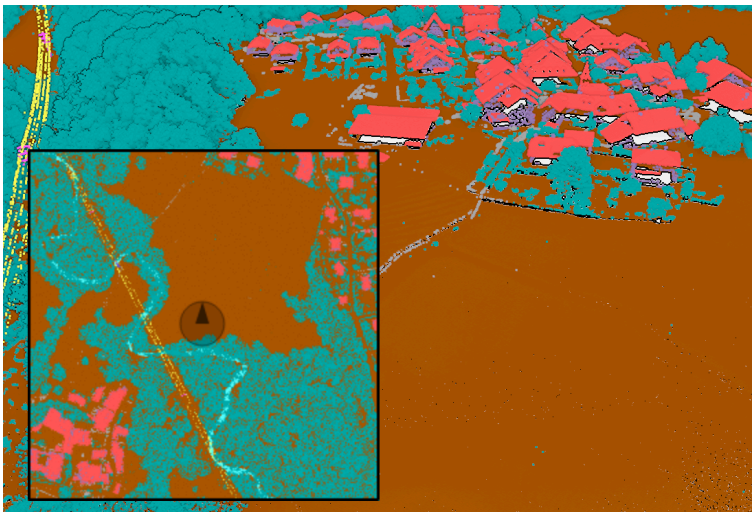
*Hinweis: Um Punktwolken oder andere 3D-Daten anzuzeigen, die kein Terrain benötigen, ist es besser, den Geländetyp auf **Keines** zu setzen, um die Anzeige eines unerwünschten Layers in der 3D-Ansicht zu vermeiden.*

- Terrain kippen (Rotation um eine horizontale Achse durch die Mitte des Fensters):
    - Verwende die Werkzeuge **Nach oben kippen** und **Nach unten kippen**. 
    - Halte die Umschalttaste gedrückt und verwende die Tasten **Pfeil nach oben** / **Pfeil nach unten**.
    - Halte die mittlere Maustaste gedrückt und bewege die Maus nach vorne oder hinten.
    - Halte die Umschalttaste und die linke Maustaste gedrückt und bewege die Maus nach vorne oder hinten.
- Terrain drehen (Rotation um eine vertikale Achse durch die Mitte des Fensters):
    - Drehe den Kompass im Navigationspanel, um die Ansicht in die gewünschte Richtung zu orientieren.
    - Halte die Umschalttaste gedrückt und verwende die Tasten **Pfeil links** / **Pfeil rechts**.
    - Halte die mittlere Maustaste gedrückt und bewege die Maus nach rechts oder links.
    - Halte die Umschalttaste und die linke Maustaste gedrückt und bewege die Maus nach rechts oder links.
- Kamera und Ansichtszentrum in einer horizontalen Ebene verschieben:
    - Halte die linke Maustaste gedrückt und bewege die Maus, wenn die Schaltfläche **Kamerasteuerung** aktiviert ist. 
    - Klicke auf die Richtungspfeile des Navigationspanels.
    - Verwende die Tasten Pfeil nach oben / Pfeil nach unten / Pfeil links / Pfeil rechts, um die Kamera jeweils nach vorne, hinten, links und rechts zu bewegen.
- Höhe der Kamera ändern: verwende die Tasten Page up / Page down.
- Orientierung der Kamera ändern (die Kamera bleibt an der gleichen Position, aber das Ansichtszentrum verschiebt sich):
    - Halte die `Ctrl`-Taste gedrückt und verwende die Pfeiltasten, um die Kamera nach oben, unten, links oder rechts auszurichten.
    - Halte die `Ctrl`-Taste und die linke Maustaste gedrückt und bewege die Maus.
- Rein- oder rauszoomen:
    - Klicke auf die Werkzeuge **Vergrössern**  und **Verkleinern**  im Navigationspanel.
    - Drehe das Mausrad. Halte die `Ctrl`-Taste für einen feineren Zoom gedrückt.
    - Halte die rechte Maustaste gedrückt und bewege die Maus nach unten für Hineinzoomen, oder nach oben für Herauszoomen.
- Um die Kameraansicht zurückzusetzen, klicke auf die Schaltfläche **Volle Ausdehnung** , die sich oben im Bedienfeld der 3D-Ansicht befindet.

7. Es ist möglich, die 3D-Ansicht auf mehrere Arten mit dem 2D-Kartenbereich zu verknüpfen, mithilfe der Schaltfläche Kamera der 3D-Ansicht. 



8. Es ist auch möglich, in der 3D-Ansicht eine 2D-Karte als Overlay anzuzeigen, zentriert auf die Position der 3D-Kamera. Um diese Option zu aktivieren, öffne Konfigurieren, gehe zum Reiter **Kamera** und aktiviere **2D-Kartenoverlay anzeigen**.

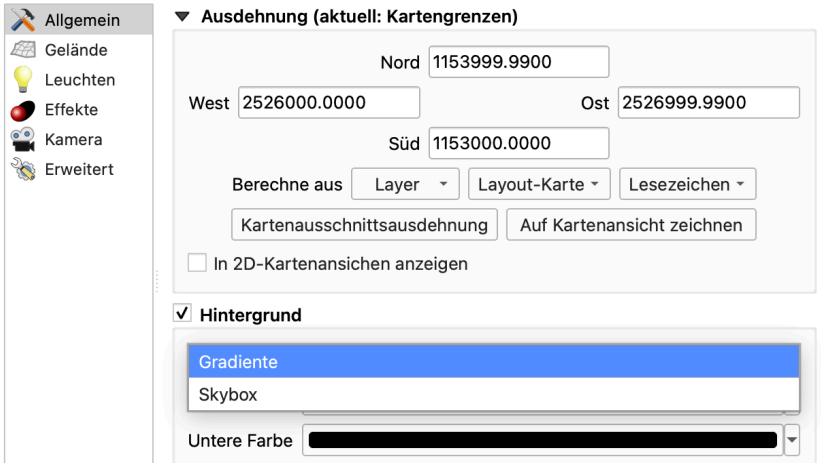


9. Ändere in **Konfigurieren** > **Kamera** den Projektionstyp auf **perspektivisch** und **orthogonal**. Was ist der Unterschied?

   Perspektivische Projektion (Standard): parallele Linien scheinen in der Ferne zusammenzulaufen. Objekte erscheinen kleiner, je weiter sie sich von der Kamera entfernen. **Orthogonale Projektion**: parallele Linien bleiben parallel. Die scheinbare Grösse der Objekte bleibt gleich, unabhängig von ihrer Entfernung zur Kamera.

10. Projekt speichern.

Optional: In der **3D-Konfiguration** > **Allgemein** kann ein Hintergrund vom Typ **Gradient** oder **Skybox** gewählt werden, um die Szene realistischer zu gestalten.

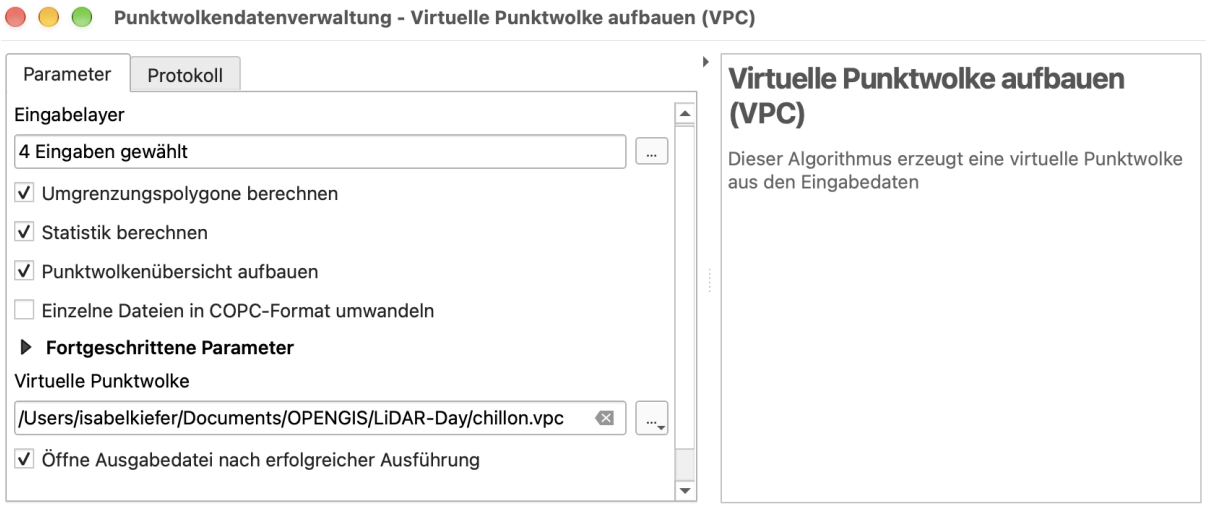


Erstellen von virtuellen Punktwolken (virtual point clouds, VPCs)

Punktwolkendaten werden oft in Form von Kacheln bereitgestellt. Nach dem Herunterladen eines Satzes von Kacheln kann es notwendig sein, diese zusammenzuführen, um die Analyse fortzusetzen. QGIS bietet ein **Merge**-Werkzeug für Punktwolken.

Virtuelle Punktwolken ermöglichen es jedoch, eine Mosaik zu erstellen, ohne die Kacheln physisch zusammenzuführen. Es genügt, eine VPC-Datei im JSON-Format mit der Erweiterung .vpc zu erstellen. Das Prinzip ähnelt dem von virtuellen Rastern: die VPC-Datei referenziert einen Satz von Punktwolkendateien (*.LAZ, *.LAS, *.COPC). Du kannst so mit der virtuellen Punktwolke arbeiten, als ob alle Quellkacheln zusammengeführt worden wären.

1. Starte ein neues QGIS-Projekt
2. Lade die 4 Kacheln aus dem Ordner *Chateau_Chillon*
3. Wähle in der Werkzeugkiste **Punktwolkendatenverwaltung** > **Virtuelle Punktwolke aufbauen**
4. Klicke im Dialog auf Eingabelayer [...], um die 4 Eingabekacheln auszuwählen > OK
5. Aktiviere im Hauptdialog die Optionen **Umgrenzungspolygone berechnen**, **Statistiken berechnen**, **Punktwolkenübersicht aufbauen**.
   Die Umgrenzungspolygone decken nur Bereiche ab, die Punkte enthalten. Sie sind daher nicht zwangsläufig rechteckig, im Gegensatz zur Ausdehnung.
   Die Berechnung der Statistiken ist nützlich für die Visualisierung und Verarbeitung der Daten.
   Die Punktwolkenübersicht ist vergleichbar mit Raster-Pyramiden: sie ermöglicht es, die Daten der Punktwolke bei verschiedenen Zoomstufen effizient zu visualisieren
6. Speichere das Ergebnis im Projektordner, wähle die Dateierweiterung .vpc
7. Drücke die Schaltfläche **Ausführen** und schliesse den Dialog nach der Verarbeitung.

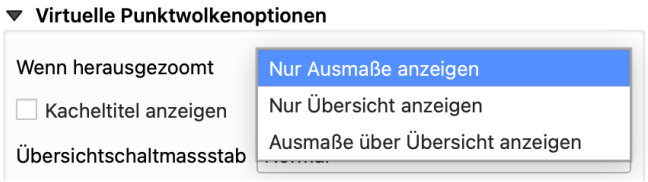


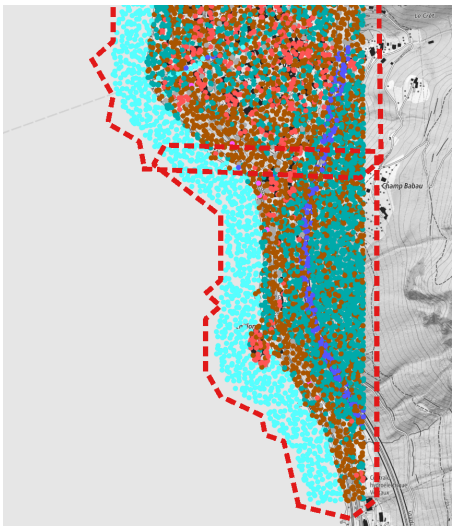
Hinweis: Wenn Du keine der optionalen Parameter aktivierst, wird die VPC-Datei sehr schnell erstellt, da der Algorithmus nur die Metadaten der Eingabedateien liest. Wenn mindestens einer dieser Parameter aktiviert ist, liest der Algorithmus alle Punkte, was einige Zeit in Anspruch nehmen kann.

8. Entferne die einzelnen Punktwolkenlayer aus dem Layerbedienfeld.

Da wir die Option **Punktwolkenübersicht erstellen** aktiviert haben, sehen wir eine Übersicht mit reduzierter Auflösung, während die VPC die Darstellung **Nur Ausmasse** verwendet. Diese Übersicht ist eine Punktwolke mit reduzierter Dichte, die schneller dargestellt wird und detailliert genug ist, um Dich zurechtzufinden.

9. Suche im Bedienfeld Layergestaltung den Abschnitt **Virtuelle Punktwolkenoptionen**. Du kannst den Anzeigemodus **Wenn herausgezoomt** wählen: **Nur Ausmasse anzeigen**, **Nur Übersicht anzeigen** oder **Ausmasse über Übersicht** anzeigen. Teste jede dieser Einstellungen.





10. Wenn Du hineinzoomst, siehst Du den vollständigen Datensatz (nicht die Übersicht).
11. Aktiviere **Als Oberfläche darstellen (Triangulieren)**
12. Speichere dein Projekt.

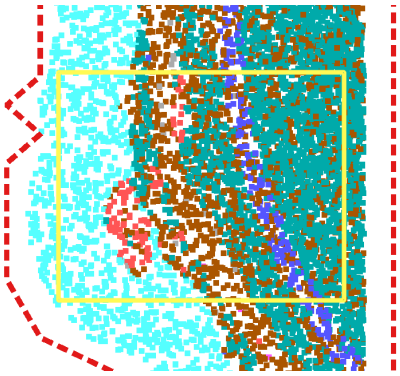
Verarbeitungswerkzeuge für Punktwolken verwenden

Ziel: Ein digitales Oberflächenmodell (DOM) und ein digitales Geländemodell (DGM) eines Gebiets rund um das Schloss Chillon erstellen.

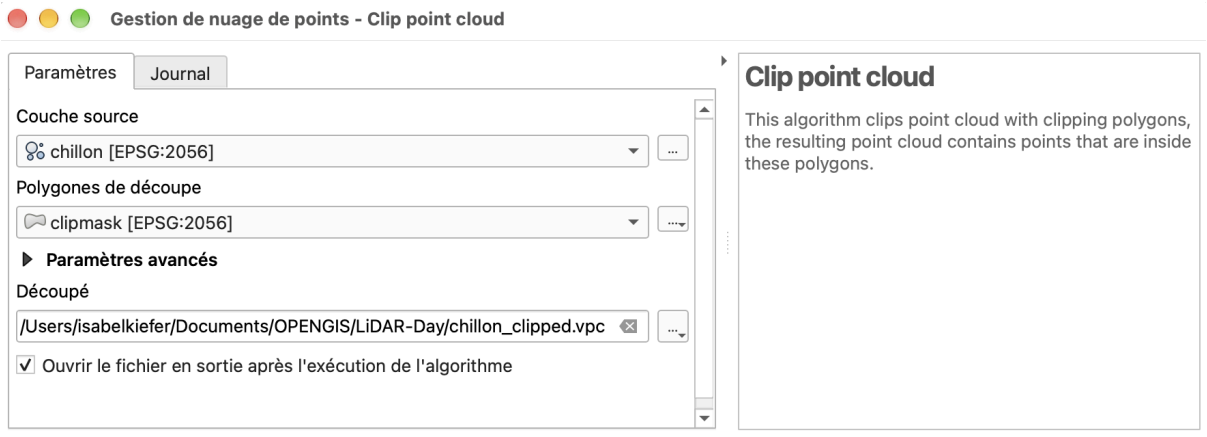
Clip

Der erste Schritt besteht darin, einen Bereich um das Schloss auszuschneiden.

1. Füge die Datei clipmask.gpkg zum Projekt hinzu.
2. Ändere den Stil, um nur den Rand anzuzeigen (**Symbollayertyp**: Rand: gefüllte Linie).



3. Öffne die Verarbeitungswerkzeugkiste, finde **Punktwolkendatenverwaltung** > **Punktwolke zuschneiden**. Doppelklick.
4. Wähle die im vorherigen Kapitel erstellte virtuelle Punktwolke als **Eingabelayer** aus. Wähle den Layer *clipmask* als **Begrenzungspolygone**.
5. Definiere eine Ausgabedatei (Format vpc) und klicke auf **Ausführen** und dann **Close**.



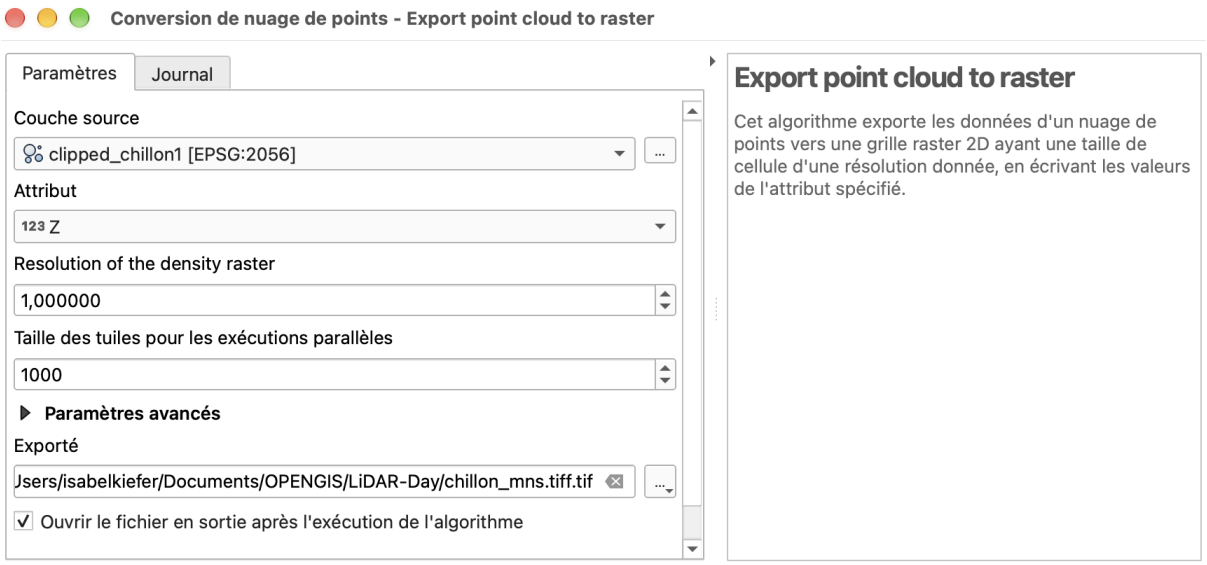
Hinweis: Es ist möglich, in den erweiterten Parametern einen Filter anzuwenden, um das Ergebnis auf eine Teilmenge des Datensatzes zu beschränken.

6. Die Darstellung wird als **Nur Ausmasse** angezeigt (wegen des .vpc-Formats). Du musst stark hineinzoomen, um die Punkte zu sehen.
   Im Abschnitt **Virtuelle Punktwolkenoptionen** der Layer-Symbologie kannst Du **Übersichtsschaltmassstab** > **Much earlier** wählen, um die Punkte bei einer niedrigeren Zoomstufe zu sehen (seit QGIS 4.0).

Export im Rasterformat

Wir werden einen ersten Export im Rasterformat unter Verwendung aller Klassen der Punktwolke durchführen. Wir erhalten ein digitales Oberflächenmodell (DOM). Theoretisch sollten wir bereits einige Klassen ausschliessen (wie Stromleitungen usw.), aber der Einfachheit halber behalten wir sie für diesen Schritt alle bei.

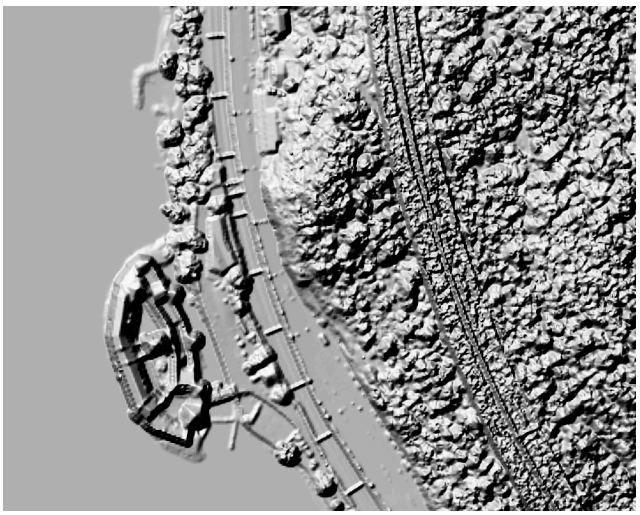
1. Öffne in der Verarbeitungswerkzeugkiste den Dialog **Punktwolkenkonvertierung** > **Punktwolke in Raster exportieren**
2. Wähle deine im vorherigen Schritt zugeschnittene .vpc-Datei als **Eingabelayer** aus.
3. Attribut: `Z` und Auflösung: 1.
4. Definiere die Ausgabedatei (in .tif).



5. **Ausführen** dann **Close**.
6. Aktiviere im Bedienfeld Layergestaltung die **Schummerung** (anstelle von Einkanalgraustufen).
7. Ändere die **Abtastung**, setze **Hinein gezoomt** > **Bilinear** (um Artefakte zu ignorieren) und aktiviere das Kästchen **Frühe Abtastung**.



8. Schau dir das Resultat an!



Optional: Wiederhole den Prozess mit einer besseren Auflösung (0.5), um die Auswirkung auf das Ergebnis zu sehen.

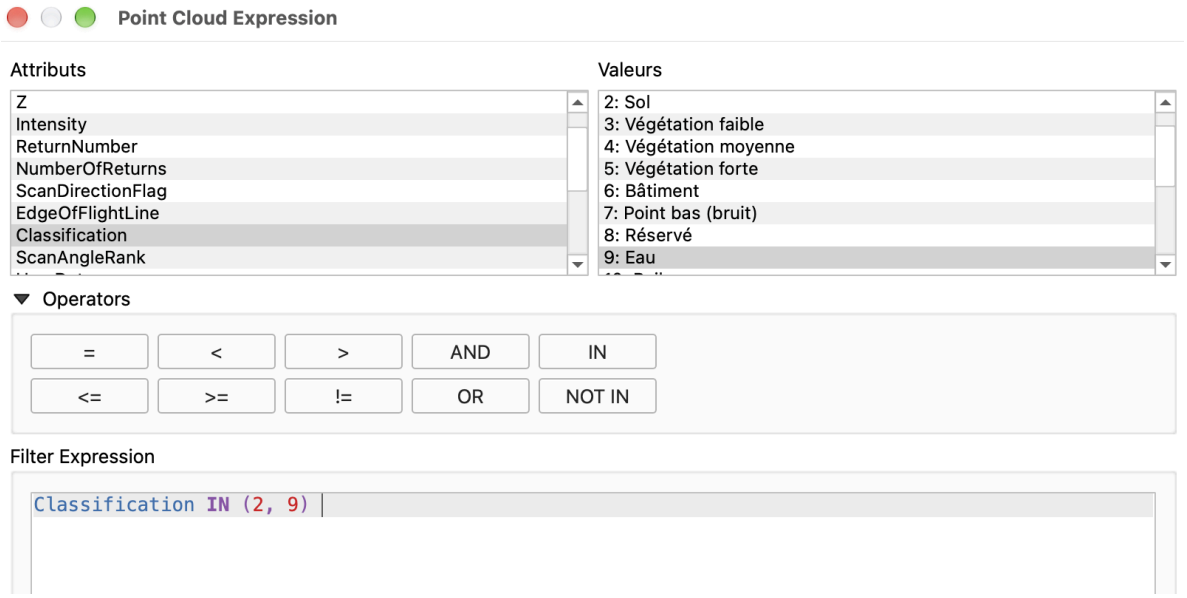
Hinweis: Die Verarbeitungswerkzeugkiste enthält einen Abschnitt ***Verlauf*** *. Mit einem Doppelklick auf das zuletzt verwendete Werkzeug musst Du nur noch die Dichteauflösung und den Namen der Ausgabedatei ändern. Du kannst auch den Stil des Ergebnisses mit 1 m kopieren und auf die Ergebnisse mit höherer Auflösung einfügen. Rechtsklicke auf den Layer und wähle* ***Stile*** *>* ***Stil kopieren*** *im Kontextmenü. Dann Rechtsklick auf den Layer mit 0.5 m,* ***Stile*** *>* ***Stil einfügen****.*

Export im Rasterformat (mit Triangulation)

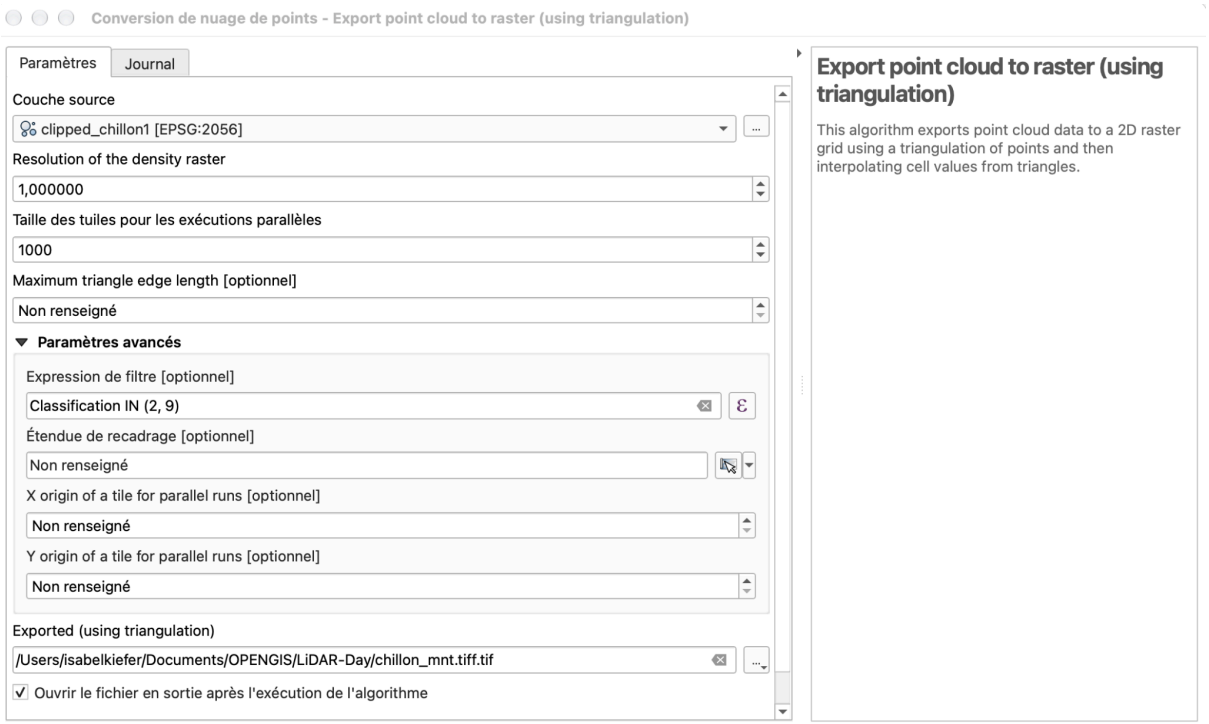
Das Werkzeug **Exportiert eine Punktwolke als Raster (mit Triangulation)** verwendet eine andere Interpolationsmethode: das triangulierte unregelmässige Netz (TIN). Diese Methode ermöglicht es, eine durchgehende Oberfläche, wie das Gelände, mithilfe eines Netzes nicht überlappender Dreiecke darzustellen. Die Eckpunkte dieser Dreiecke entsprechen den Punkten der Punktwolke. Die triangulierte Oberfläche wird dann interpoliert, um ein Raster zu erzeugen.
Beachte, dass dieser Verarbeitungsalgorithmus deutlich langsamer ist als das Werkzeug **Punktwolke in Raster exportieren**.

Wir werden nun ein digitales Geländemodell (DGM) erstellen.

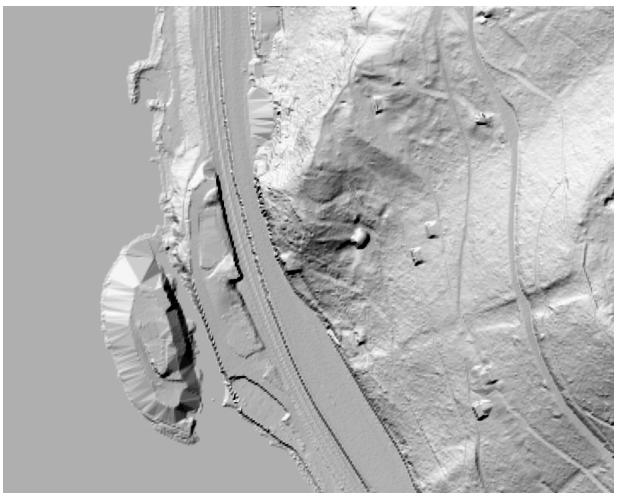
1. Öffne das Werkzeug **Punktwolkenkonvertierung** > **Exportiert eine Punktwolke als Raster (mit Triangulation)**
2. Verwende den gleichen Eingabelayer wie im vorherigen Kapitel
3. Klappe **Fortgeschrittene Parameter** auf und klicke auf die Schaltfläche, um zum Ausdruckseditor zu gelangen.
4. Erstelle den Ausdruck `Classification IN (2, 9)` (beginne mit einem Doppelklick auf das Attribut `Classification`). So berücksichtigen wir nur die Punkte der Klassen *Boden* und *Wasser*. Klicke dann auf **OK**.



5. Definiere die Ausgabedatei (in .tif)



6. **Ausführen** dann **Close**.
7. Wende den **Schummerungs**-Stil an und konfiguriere das Abtasten wie beim DOM.
8. Schau Dir das Ergebnis an!

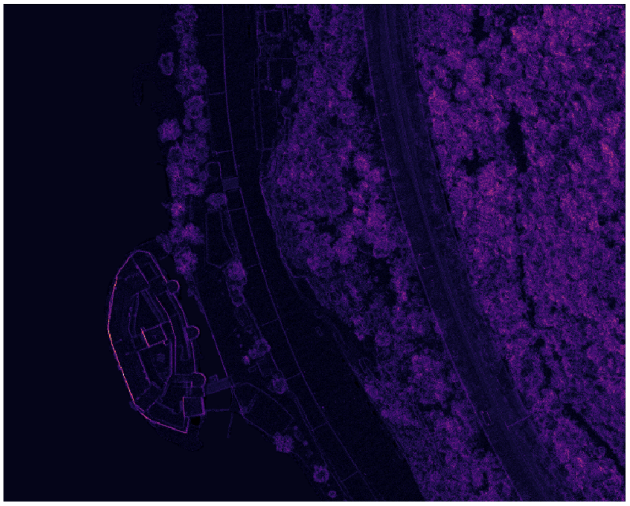


Dichte berechnen (optional)

Der Verarbeitungsalgorithmus **Punktwolkendichte** exportiert eine Rasterdatei, in der jede Zelle die Anzahl der Punkte enthält, die sich im Bereich dieser Zelle befinden.

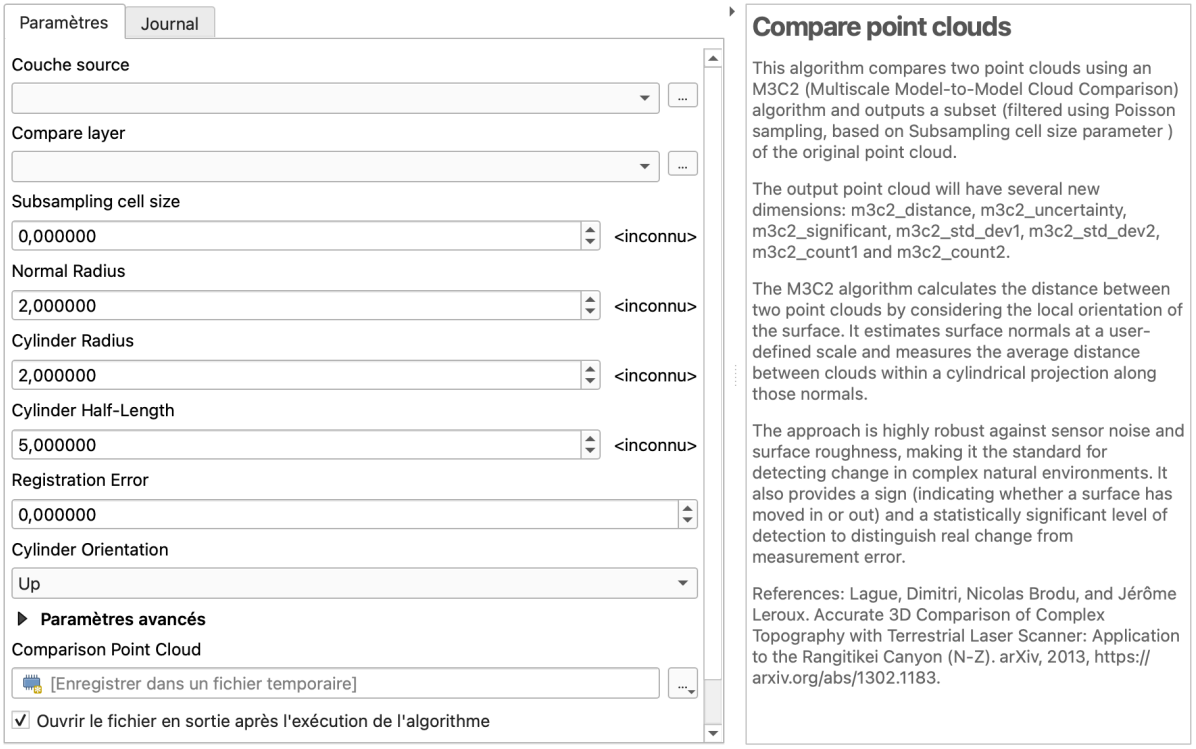
1. Öffne in der Verarbeitungswerkzeugkiste den Algorithmus **Punktwolkenentnahme** > **Punktwolkendichte**.
2. **Eingabelayer**: chillon_clipped, **Auflösung** des Dichterasters: 0,5
3. Behalte den Standardwert für die Kachelgrösse für parallele Durchläufe bei
4. Definiere die Ausgabedatei (in .tif)
5. **Ausführen** und dann **Close**.
6. Ändere den Stil auf **Einkanalpseudofarbe** und wähle die Farbpalette **Magma**. Passe die Min/Max-Werte bei Bedarf an.





Punktwolken vergleichen

Ein neuer Algorithmus (seit QGIS 4.0) erlaubt es, zwei Punktwolkenlayer zu vergleichen. Er verwendet die Methode M3C2 (Multiscale Model to Model Cloud Comparison), die Abstände zwischen zwei 3D-Punktwolken anhand lokal geschätzter Oberflächennormalen berechnet, anstatt einer festen Projektionsrichtung zu folgen. Diese Methode arbeitet auf mehreren Skalen, um die Orientierung der Oberflächen und die vorzeichenbehafteten Abstände robust zu schätzen. Sie eignet sich daher besonders zur Erkennung von Veränderungen an komplexen 3D-Oberflächen, wie Felswänden oder Flussufern.



Punktwolken bearbeiten

Die neueste Funktionalität ist die Möglichkeit, Punktwolkendatensätze zu bearbeiten. Die wichtigsten Bearbeitungsfunktionen wurden in QGIS 3.42 eingeführt und dann in QGIS 3.44 erweitert. Die Bearbeitung erfolgt in der 3D-Ansicht.

Hinweis: mit QGIS ≥4.0 ist es möglich, Punktwolkendaten innerhalb virtueller Punktwolken (VPC) zu bearbeiten, vorausgesetzt, die VPC-Datei und die referenzierten COPC-Datendateien sind lokal verfügbar und nicht auf einem Remote-Server gehostet. Nur die Attribute der Punkte können geändert werden, nicht ihre Position.

Dieses Thema wird in diesem Workshop nicht behandelt; weitere Informationen findest Du in der offiziellen QGIS-Dokumentation.
https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/working_with_point_clouds/point_clouds.html#editing-point-clouds-layers (Link zur Testing-Version, die die allerneuesten Funktionen enthält)
Oder in Online-Tutorials, z. B.
https://courses.gisopencourseware.org/mod/book/tool/print/index.php?id=1389#ch3423

SwissSURFACE3D-Daten in RGB

Die von swisstopo bereitgestellten Daten sind klassifiziert, enthalten jedoch keine RGB-Farbinformationen. Ein Open-Source-Werkzeug ermöglicht es, diese Punktwolken anhand von Orthofotos einzufärben.
https://github.com/CharlesGaydon/Colorize-SwissSURFACE3D-Lidar/

Neuheiten QGIS ≥4.0

Zusätzlich zu den bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnten Neuheiten hat QGIS 4.0 und höher unter anderem folgende Integrationen erhalten:

Verarbeitungsalgorithmen

- Height above ground
- Classify ground points
- Filter noise
- Transform point cloud

Features

- Bessere Unterstützung des .vpc-Formats
- Schummerung und Eye-Dome Lighting pro Layer, speziell für Punktwolken
- Bearbeitung von Farbobjekten, die mit Punktwolkendaten verknüpft sind, direkt in Ausdrücken mithilfe einfacher arithmetischer Operationen
- Laden von virtuellen Punktwolken, die auf einem Remote-Server gehostet werden. Dies erleichtert die Verbreitung grosser Datensätze: Benutzer müssen die .vpc-Datei nicht mehr vorher herunterladen, da QGIS dies automatisch übernimmt.
- Verbesserungen für 3D im Allgemeinen

Referenzen

- Workshop QGIS User Conference 2026 von Kurt Menke, Working with Point Cloud Data in QGIS
- https://courses.gisopencourseware.org/
- QGIS User Guide (https://docs.qgis.org/testing/en/docs/user_manual/)
- Changelog QGIS (https://qgis.org/project/visual-changelogs)