Swiss LiDAR Day

SWISS LIDAR DAY 2026 LÖSUNGEN

Workshop 4: LiDAR und digitale Modelle

Fortgeschrittene Darstellungen und Visualisierungen mit Open-Source-Werkzeugen

LEITUNG
Corentin Junod & Raphael Würgler

DATUM
10.11.2026

INHALT

1 Punktwolken **2**
1.1 Was Sie benötigen 2
1.2 CloudCompare 2
1.3 Potree 7

2 Rastermodelle **10**
2.1 Was Sie benötigen 10
2.2 Raster in QGIS 10
2.3 Erweiterte Visualisierungen mit der RVT-Erweiterung 12
2.4 Ihre eigene dynamische archäologische Mischung 13
2.5 Mit mobilem LiDAR 15
2.6 Und mit einem ganzen Kanton? 16

Weiterführende Informationen **18**

TEIL 1

Punktwolken

In diesem ersten Teil erkunden Sie verschiedene Techniken zur **Visualisierung und Aufwertung von Punktwolken** mit zwei Programmen: **CloudCompare** und **Potree**.

Beide sind Open Source: Sie können frei heruntergeladen und verwendet werden.

1.1 Was Sie benötigen

Element	Version / Quelle
CloudCompare	2.13 oder neuer, https://www.cloudcompare.org
Ein aktueller Webbrowser	Chrome, Firefox oder Edge
Die LiDAR-Beispielkachel	http://sitn.ne.ch/web/sld2026/part1_lidar2025.laz

Falls CloudCompare noch nicht installiert ist, finden Sie das Installationsprogramm auf der offiziellen Website im Bereich *Latest stable release* unter *CloudCompare Unified*. Direkter Link für Windows: https://www.cloudcompare.org/release/CloudCompare_v2.13.2_setup_x64.exe

1.2 CloudCompare

CloudCompare ist eine Open-Source-Software, deren Entwicklung 2003 im Rahmen einer Dissertation in Zusammenarbeit zwischen Télécom Paris und EDF begann. Der Quellcode ist unter https://github.com/CloudCompare/CloudCompare verfügbar, und die Software wird weiterhin aktiv gepflegt.

Sie ist ein Referenzwerkzeug, um **Punktwolken und Netze (Meshes) zu visualisieren und zu analysieren**, und bietet zahlreiche Verarbeitungsfunktionen.

Eine Punktwolke laden

1. Starten Sie CloudCompare.
2. Öffnen Sie die heruntergeladene LiDAR-Kachel mit *File › Open* oder ziehen Sie sie per Drag-and-drop in das CloudCompare-Fenster.
3. Ein erstes Fenster fragt, welche Attribute geladen werden sollen. Lassen Sie **alle Attribute angekreuzt** und klicken Sie auf *Apply*.
4. Ein zweites Fenster schlägt eine **Koordinatenverschiebung** vor (*global shift*). Sie reduziert die grossen Schweizer Koordinaten auf Werte, die die Software leichter verarbeiten kann; beim Speichern wird die umgekehrte Verschiebung angewendet. Behalten Sie die vorgeschlagene Verschiebung bei und klicken Sie auf *Yes*: Die Kachel wird geladen.

> **Warum eine globale Verschiebung?**
> Computer speichern Koordinaten mit begrenzter Genauigkeit, meist mit 32 Bit, also etwa 7 signifikanten Stellen. Bei einem Wert wie 2'550'500 m gingen die Zentimeter verloren, und es entstünden Rechenfehler. CloudCompare zieht deshalb während der Verarbeitung einen konstanten Versatz ab und stellt die ursprünglichen Koordinaten beim Export wieder her.

Navigation

Aktion	Maus
Drehen	Linke Maustaste
Verschieben	Rechte Maustaste
Zoomen	Mausrad
Rotationszentrum festlegen	Doppelklick auf einen Punkt
Punkte vergrössern / verkleinern	Mauszeiger über die linke obere Ecke der 3D-Ansicht bewegen, dann + / −

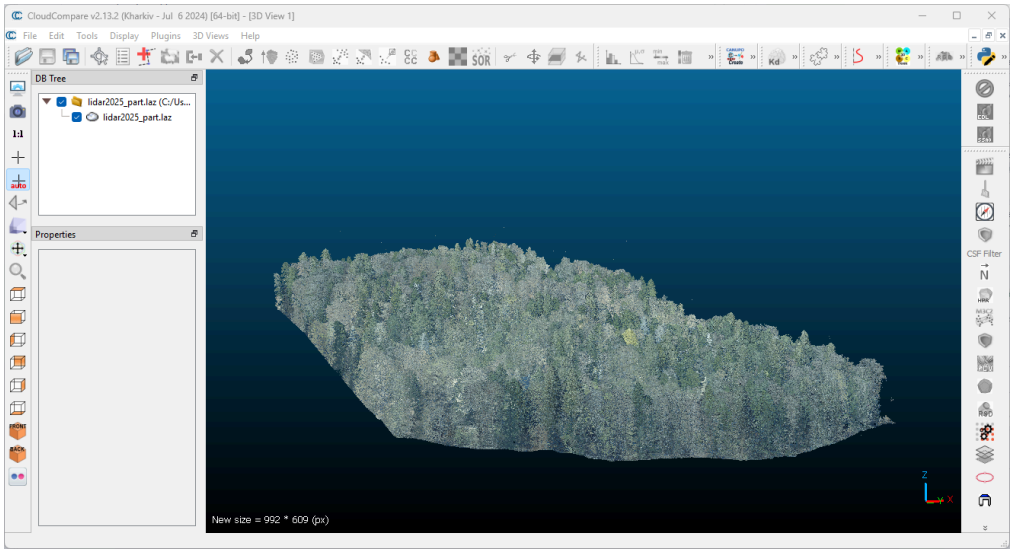


Abbildung 1 Soeben geöffnete Kachel, standardmässige RGB-Einfärbung

Die Standardansicht ist **orthografisch**. Um in die **Perspektive** zu wechseln, klicken Sie in der linken Werkzeugleiste auf die Schaltfläche und wählen Sie *Object-centered perspective*.

Die Darstellung mit Schattierungen verbessern

Wenn man sich in der Kachel bewegt, ist kaum zu erkennen, was sie enthält: Alles wirkt **flach**, und man sieht nicht, welche Elemente vor anderen liegen.

CloudCompare bietet zwei *Shader* (Darstellungseffekte, die von der Grafikkarte in Echtzeit berechnet werden), um das Relief besser lesbar zu machen. Sie befinden sich im Menü *Display › Shaders & Filters*:

- *EDL shader*: das **Eye-Dome Lighting**, das die Ränder von Objekten je nach Tiefenunterschied abdunkelt;

- *SSAO shader*: die **Umgebungsverdeckung im Bildraum** (*Screen Space Ambient Occlusion*), die Bereiche abdunkelt, die weniger Licht erhalten;
- *Remove filter*: deaktiviert den aktiven Shader.

Probieren Sie die beiden Shader nacheinander aus und variieren Sie dabei jeweils die Punktgrösse (Schaltflächen + / − beim Überfahren der linken oberen Ecke der 3D-Ansicht).

FRAGE 1

Was stellen Sie beim Vergleich der beiden Shader fest? Welcher liefert die beste Darstellung, und in welcher Situation?

ANTWORT

- EDL erzeugt bei allen Elementen einen «Umriss»-Effekt: Die Objekte heben sich deutlich voneinander ab. Die Schattierung ist hingegen nicht sehr realistisch.
- SSAO verdunkelt Vertiefungen und erzeugt einen natürlicheren Volumeneindruck, aber nur, wenn die Punkte eine geschlossene Oberfläche bilden: Die Punkte müssen also ziemlich gross sein.

Attribute anzeigen und mit dem Histogramm spielen

Die Wolke ist derzeit nach ihren **RGB-Farben** eingefärbt, doch jeder Punkt enthält weitere Attribute. So zeigen Sie sie an:

1. Wählen Sie die Wolke im *DB Tree* (linkes Bedienfeld) aus.
2. Wählen Sie im Bedienfeld *Properties* unter *Colors* die Option *Scalar field*.
3. Im Abschnitt *Scalar Fields* legt die Liste *Active* fest, welches Attribut für die Einfärbung verwendet wird. Wählen Sie die **Intensität** des Laserechos (*Intensity*), die normalerweise standardmässig ausgewählt ist.
4. Die Darstellung in Graustufen ist schwer lesbar: Wählen Sie im Abschnitt *Color Scale* einen kontrastreicheren Farbverlauf, zum Beispiel *Blue* > *White* > *Red*.

Weiter unten zeigt der Abschnitt *SF display params* die **Verteilung der Intensitätswerte**.

FRAGE 2

Diese Verteilung ist **bimodal**: Sie weist zwei Spitzen auf. Was entspricht diesen beiden Spitzen Ihrer Meinung nach, wenn Sie die Punktwolke betrachten?

ANTWORT

Die beiden Spitzen entsprechen zwei grossen Gruppen von Oberflächen, die den Laser unterschiedlich reflektieren: dem Boden und der Vegetation. Bodenpunkte sind klare Echos auf einer Oberfläche, während sich in der Vegetation die Energie des Strahls auf mehrere Teilechos verteilt (Blätter, Nadeln, Äste); daher die unterschiedliche Intensität. Man stellt auch fest, dass die Trennung nicht ganz scharf ist: Manche Punkte im Laub haben eine hohe Rückstrahlintensität, und manche Bodenpunkte eine niedrige.

Als Hilfe können Sie die Verteilung der Farben ändern, indem Sie die Regler des Histogramms verschieben:

- die **runden Regler** begrenzen den angezeigten Wertebereich: Punkte ausserhalb dieses Bereichs erscheinen grau;
- die **dreieckigen Regler** verschieben den Farbverlauf auf dem Histogramm;
- kombinieren Sie sie mit den Shadern, um das Relief besser wahrzunehmen.

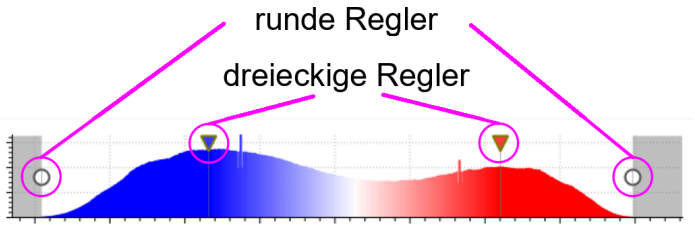


Abbildung 2 Histogramm von CloudCompare: Die Regler verändern die Verteilung der Farben

FRAGE 3

In der Vegetation scheinen sich zwei Baumtypen zu unterscheiden. Was verrät das? Nehmen Sie die Regler und die Shader zu Hilfe.

ANTWORT

Nicht alle Bäume haben dieselbe Intensität: Man unterscheidet **Nadelbäume** und **Laubbäume**. Das lässt sich an der Form der Bäume erkennen: Nadelbäume sind spitzer. Der Unterschied ist hauptsächlich auf die Nadeln der Nadelbäume zurückzuführen, während die Laubbäume zum Zeitpunkt des LiDAR-Flugs keine Blätter trugen.

Berechnete Umgebungsverdeckung

Eye-Dome Lighting und *SSAO* sind darauf ausgelegt, **sehr schnell** zu sein, nahezu in Echtzeit. Sie sind jedoch nur **Annäherungen** an das tatsächliche Verhalten des Lichts.

CloudCompare kann auch eine echte **Umgebungsverdeckung** berechnen (manchmal *RTAO* genannt, für *Ray-Traced Ambient Occlusion*): Für jeden Punkt werden Strahlen in alle Richtungen des Himmels ausgesandt, und es wird gemessen, welcher Anteil nicht blockiert wird. Anders als bei EDL und SSAO handelt es sich um eine **Berechnung**, deren Ergebnis als neues Attribut (Skalarfeld) der Wolke gespeichert wird.

1. Wählen Sie die Punktwolke im *DB Tree* aus.
2. Öffnen Sie *Plugins › PCV* (für französisch *Portion de Ciel Visible*, «sichtbarer Himmelsanteil»).
3. Stellen Sie die Anzahl Strahlen auf `128` ein. Dauert die Berechnung zu lange, brechen Sie sie ab und verringern Sie diesen Wert.
4. Klicken Sie auf *OK* und warten Sie: Die Berechnung dauert eine Weile.
5. Deaktivieren Sie die Shader (*Remove filter*). CloudCompare zeigt das neue Attribut *Illuminance (PCV)* normalerweise direkt nach der Berechnung an; andernfalls wählen Sie es als aktives Skalarfeld und wählen einen Graustufenverlauf.
6. Verkleinern Sie die Punktgrösse auf dem Bildschirm.

FRAGE 4

Was stellen Sie im Vergleich zu den vorherigen Schattierungen (EDL, SSAO) fest? Welche Vor- und Nachteile hat jede Methode?

ANTWORT

PCV liefert eine viel realistischere und gleichmässigere Darstellung: Die Mikroreliefs treten hervor, und die Schattierung hängt weder vom Blickwinkel noch vom Zoom ab.

Methode	Vorteile	Nachteile
EDL / SSAO	Sofort verfügbar, interaktiv, keine Vorberechnung.	Annäherungen, abhängig von Ansicht und Punktgrösse, Artefakte (Halos, Rauschen).
PCV	Sehr realistisch, unabhängig von der Ansicht.	Lange Berechnung, fixes Ergebnis (bei Datenänderung neu zu berechnen).

Die Klassifizierung

Im Moment sieht man vor allem Bäume: Die Bodenpunkte sind kaum sichtbar. Da die Punkte **klassifiziert** sind, kann man sie nach ihrer Klasse filtern, um den Boden zu isolieren.

1. Wählen Sie die Wolke im *DB Tree* aus. Stellen Sie im Bedienfeld *Properties* das aktive Skalarfeld (*Scalar Fields › Active*) auf *Classification*.
2. Öffnen Sie *Edit › Scalar fields › Filter By Value*.
3. Der Boden hat die **Klasse 2**: Legen Sie im neuen Fenster einen Bereich (*Range*) von `2` bis `2` fest.
4. Klicken Sie auf *Export*. Eine neue Wolke mit dem Suffix `.extract` erscheint im *DB Tree*.
5. Blenden Sie die ursprüngliche Wolke aus (Häkchen entfernen) und zeigen Sie die neue Wolke an.

Zeigen Sie auf dieser Bodenwolke wieder die Intensität an und schalten Sie die Shader ein und aus.

FRAGE 5

Was fällt Ihnen im Histogramm auf, wenn die Intensität das aktive Skalarfeld ist? Bestätigt das Ihre Vermutung aus Frage 2?

ANTWORT

Das Histogramm der Bodenwolke zeigt nur noch eine einzige Spitze: Die andere ist mit der Vegetation verschwunden. Das bestätigt die Vermutung aus Frage 2: Eine Spitze entspricht dem Boden, die andere der Vegetation.

Zeigen Sie nun das Attribut *Illuminance (PCV)* der Bodenwolke an: Alles scheint schwarz. Das ist normal: Dieses Attribut wurde mit **allen Punkten** berechnet, einschliesslich der Vegetation, die den Himmel verdeckte.

Die Verdeckung nur für den Boden neu berechnen

Um die beste Darstellung des Geländes zu erhalten, berechnen Sie die Umgebungsverdeckung **nur mit den Bodenpunkten** neu:

1. Wählen Sie die Bodenwolke im *DB Tree* aus.
2. Starten Sie *Plugins › PCV* erneut mit denselben Parametern.

3. Zeigen Sie das Attribut *Illuminance (PCV)* in Graustufen an.

FRAGE 6

Was sehen Sie jetzt? Welche Elemente sind auf der Punktwolke sichtbar geworden?

ANTWORT

Das Mikrorelief des Geländes, bisher unter dem Wald unsichtbar, kommt zum Vorschein: Waldwege, Fahrspuren von Rückefahrzeugen, Gräben, Böschungen, Trockenmauern. Genau das ist das Prinzip der DTM, die in Archäologie und Forstwirtschaft verwendet werden: die Vegetation entfernen, um den Boden zu lesen.

1.3 Potree

Potree ist ein **Web-Viewer**, der sehr grosse Punktwolken in einem Browser anzeigen kann. Dank einer **Multiresolutionsstruktur** lädt er nur die Punkte, die für die aktuelle Ansicht nötig sind.

Erste Schritte

Aktion	Wirkung
Linksklick + ziehen	Drehung um das Zentrum der Ansicht
Rechtsklick + ziehen	Seitliches Verschieben
Mausrad	Hinein- / Herauszoomen
Doppelklick	Auf den angeklickten Punkt zentrieren und zoomen

Navigation in Potree

Das Mausrad zoomt um das Zentrum der Ansicht. Um gezielt an eine Stelle zu gelangen, **doppelklicken** Sie darauf.

1. Öffnen Sie folgende Adresse: https://sitn.ne.ch/lidar/?pointclouds=aerial-2025
2. Klappen Sie in der linken Seitenleiste das Menü *Apparence* (Darstellung) auf:
   - verändern Sie den Regler *Nb points max* (maximale Anzahl Punkte) und beobachten Sie, wie die Kacheln je nach maximal angezeigter Punktzahl geladen werden. Stellen Sie ihn danach auf das Maximum dessen, was Ihr Computer verkraftet;
   - bewegen Sie sich in der Wolke und ändern Sie die Parameter des *Eye-Dome Lighting*: Beobachten Sie deren Einfluss in Echtzeit.
3. Klicken Sie im Abschnitt *Scene* in der Liste der Datensätze auf die Wolke *SITN LiDAR 2025*. Darunter erscheinen zwei Optionen:
   - *Taille des points* (Punktgrösse): Ein hoher Wert ergibt eine geschlossenere Darstellung, verdeckt aber kleine Details;
   - *Type de taille* (Grössentyp): eine einheitliche Grösse für alle Punkte (*FIXED*) oder eine an die Dichte der Nachbarpunkte angepasste Grösse (*ADAPTIVE*).

FRAGE 7

Welche Vorteile hat Potree gegenüber CloudCompare bei der Visualisierung? Und welche Vorteile hat CloudCompare?

ANTWORT

- **Potree**: keine Installation nötig, über eine einfache Webadresse zugänglich (leicht zu teilen), zeigt dank Multiresolutions-Laden Milliarden von Punkten an, läuft auf einem bescheidenen Computer, die Daten bleiben auf dem Server.
- **CloudCompare**: Verarbeitungs- und Analysewerkzeug (Filter, Berechnungen wie PCV, Segmentierung, Vergleiche, Export), funktioniert offline mit eigenen Dateien.

Direkt unter den Grösseneinstellungen können Sie im Abschnitt *Attribute* das angezeigte Attribut ändern. Der Farbumfang wird mit dem Regler *Range* eingestellt.

Der Wald

Zoomen Sie auf den **Bois de Charcotet**, an der unten markierten Stelle.



Abbildung 3 Der Bois de Charcotet, Kanton Neuenburg

FRAGE 8

Was können Sie über diesen Wald sagen, wenn Sie mit der Darstellung der Intensität spielen und Ihre Beobachtungen in CloudCompare berücksichtigen? Was unterscheidet ihn von den Wäldern weiter nördlich im Kanton?

ANTWORT

Die Intensität zeigt dort einen hohen Anteil an Laubbäumen, erkennbar an ihrer niedrigeren Intensität als jener der Nadelbäume. Die Wälder im Norden des Kantons werden hingegen von Nadelbäumen dominiert. Die LiDAR-Intensität erlaubt so, die Zusammensetzung der Wälder grob zu kartieren.

Die Strassen

1. Entfernen Sie im linken Menü unter *Filters › Classification* die Häkchen bei allen Klassen ausser *ground*, um nur den Boden anzuzeigen.
2. Zeigen Sie wie zuvor die **Intensität** an und passen Sie ihren Umfang mit dem Regler *Range* an.
3. Zoomen Sie auf ein Gebiet mit Strassen, zum Beispiel rund um Neuenburg.

FRAGE 9

Was sehen Sie auf den Strassen? Stellen Sie die Ansicht so ein, dass diese Elemente bestmöglich hervortreten. Warum haben wir nur die Bodenpunkte behalten? Welchen Vorteil bringt das?

ANTWORT

Man sieht die Strassenmarkierungen: Die Farbe wirft den Laserstrahl viel stärker zurück als der Asphalt. Nur den Boden zu behalten entfernt, was die Strasse von oben verdeckt (Bäume, Fahrzeuge, Gebäude, Leitungen).

Kleine Pause …

Der nächste Teil beginnt gegen **15.15 Uhr**, nach dem zweiten Theorieteil. Wenn Sie früher fertig sind, können Sie Potree weiter erkunden oder eine Kachel des nationalen LiDAR von swisstopo herunterladen (*swissSURFACE3D*, https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoehenmodell-swisssurface3d) und in CloudCompare analysieren.

TEIL 2

Rastermodelle

In diesem Teil analysieren wir in QGIS **Rastermodelle**, die aus Punktwolken abgeleitet wurden.

2.1 Was Sie benötigen

Element	Version / Quelle
QGIS	3.34 LTR oder neuer, https://qgis.org
RVT-Erweiterung	wird während des Workshops installiert (Abschnitt 2.3)
Beispiel-DTM	https://sitn.ne.ch/web/sld2026/raster_MNT.tif

2.2 Raster in QGIS

1. Starten Sie QGIS und erstellen Sie ein neues Projekt.
2. Prüfen Sie, ob das Koordinatenbezugssystem (KBS) des Projekts **EPSG:2056 (CH1903+ / LV95)** ist. Es wird unten rechts im Fenster angezeigt und kann dort geändert werden.
3. Öffnen Sie *Layer › Layer hinzufügen › Rasterlayer hinzufügen…* (*Layer › Add Layer › Add Raster Layer…*) und wählen Sie die heruntergeladene Datei `raster_MNT.tif`. Sie können sie auch per Drag-and-drop auf die Karte ziehen.

FRAGE 10

Die Standarddarstellung ist grau und ziemlich flach. Warum sieht man so wenig Relief?

> **ANTWORT**
>
> Die Standarddarstellung ordnet jeder Höhe einen Grauwert zu. Eine lokale Variation von wenigen Dezimetern entspricht nur einem Bruchteil einer Graustufe: Sie ist unsichtbar. Zudem nimmt das Auge Relief über Licht und Schatten wahr, was diese Darstellung nicht simuliert.

Farbverläufe und Histogramm

Öffnen Sie die Layereigenschaften (Doppelklick auf den Layer), Reiter *Symbolisierung* (*Symbology*).

Ersetzen Sie die *Darstellungsart Einkanalgraustufen* durch *Einkanalpseudofarbe* (*Singleband pseudocolor*) und wählen Sie einen *Farbverlauf*, zum Beispiel *Turbo*.

Den Stil immer geöffnet lassen
Aktivieren Sie das Bedienfeld *Ansicht › Bedienfelder › Layergestaltung* (*View › Panels › Layer Styling*): Die Symbolisierung des ausgewählten Layers bleibt seitlich sichtbar und wird live angewendet, ohne jedes Mal doppelklicken zu müssen.

Einige Details werden sichtbar, aber der Farbverlauf erstreckt sich über den gesamten Höhenunterschied des Rasters, also mehrere Dutzend Meter. Die **lokalen Details** von wenigen Dezimetern, die uns hier interessieren, bleiben daher fast unsichtbar.

Schummerung

1. Duplizieren Sie das DTM in der Layerliste (Rechtsklick › *Layer duplizieren*).
2. Ersetzen Sie in der Symbolisierung der Kopie die Darstellungsart durch *Schummerung* (*Hillshade*).
3. Variieren Sie folgende Parameter:
   - *Azimut* (Richtung des Lichts): 315°, dann 45°, dann 135° (das kleine Rad in der Oberfläche lässt sich mit der Maus drehen);
   - *Höhenlage* (Sonnenhöhe, *Altitude*): von 75° bis 15°;
   - *Z-Faktor* (vertikale Überhöhung): 1, dann 2, dann 3;
   - *Mehrere Richtungen* (*Multidirectional*): aktiviert, dann deaktiviert.

FRAGE 11
Bleiben alle Elemente sichtbar, wenn Sie den Azimut ändern? Was ist das Problem einer einzigen Lichtquelle? Vergleichen Sie mit aktivierter Option *Mehrere Richtungen*.

ANTWORT
Nein: Lineare Elemente parallel zur Lichtrichtung werden weder beleuchtet noch beschattet und verschwinden fast, während senkrecht dazu verlaufende stark hervortreten. Eine Schummerung aus mehreren Richtungen kombiniert mehrere Beleuchtungsrichtungen: Alle Elemente sind unabhängig von ihrer Ausrichtung sichtbar, auf Kosten einer etwas kontrastärmeren und weniger realistischen Darstellung.

Und warum wirken Raster aus der Ferne verpixelt?
Wenn ein Raster auf dem Bildschirm mit weniger Pixeln angezeigt werden muss, als es enthält, braucht es ein Verfahren, um es zu verkleinern. Standardmässig zeigt QGIS jedes Bildschirmpixel mit dem Wert **eines einzigen** Rasterpixels an, das als nächstgelegenes gewählt wird (*Nächster Nachbar*, *Nearest Neighbour*). Aus der Ferne werden die übrigen Pixel ignoriert, und das Bild wirkt verrauscht; aus der Nähe sieht man Quadrate.

Stellen Sie in der Symbolisierung im Abschnitt *Abtastung* (*Resampling*) ***Hinein gezoomt* und *Heraus gezoomt* auf *Bilinear (2x2 Kern)*** (*Bilinear (2x2 Kernel)*): Jedes angezeigte Pixel ist dann ein **gewichteter Mittelwert der Nachbarpixel**, und die Darstellung wird glatt. Denken Sie für alle Layer im weiteren Verlauf des Workshops daran.

2.3 Erweiterte Visualisierungen mit der RVT-Erweiterung

Die *Relief Visualization Toolbox* (**RVT**) wurde vom Forschungszentrum der Slowenischen Akademie der Wissenschaften und Künste (ZRC SAZU) entwickelt. Sie ergänzt QGIS um zahlreiche **fortgeschrittene Reliefdarstellungen**, die ursprünglich für die Archäologie entworfen wurden.

Die Erweiterung installieren (falls noch nicht geschehen)

1. Öffnen Sie *Erweiterungen › Erweiterungen verwalten und installieren…* (*Plugins › Manage and Install Plugins…*).
2. Suchen Sie nach *Relief Visualization Toolbox*.
3. Klicken Sie auf *Erweiterung installieren*.
4. In der zweiten Reihe der Werkzeugleiste erscheint eine Schaltfläche . Die Erweiterung ist auch über das Menü *Raster › Relief Visualization Toolbox* erreichbar.

Die drei Grundlayer berechnen

Die Oberfläche von RVT ist nur auf Englisch verfügbar.

1. Öffnen Sie RVT. Wählen Sie oben im Fenster das **ursprüngliche DTM** aus.
2. Kreuzen Sie im Reiter *Visualizations* Folgendes an:
   - *Slope gradient* (Neigung),
   - *Sky-View Factor*,
   - *Openness - Positive*.
3. Klicken Sie unten im Fenster auf *Start*.

Die Berechnung startet, auch wenn kein Fortschrittsbalken im Fenster der Erweiterung sie anzeigt. Die Ergebnisse erscheinen nach etwa **3 bis 4 Minuten** in QGIS.

Was zeigt jeder Layer?

- **Neigung**: die Steilheit des Geländes. Terrassenkanten, Böschungen und Gräben treten deutlich hervor.
- **Sky-View Factor (SVF)**: der Anteil des Himmels, der von jedem Pixel aus sichtbar ist, von 0 bis 1. Senken sind dunkel, Grate hell. Es ist das Raster-Gegenstück zur Umgebungsverdeckung, die in Teil 1 berechnet wurde.
- **Positive Openness**: ähnlich wie der SVF, aber über Winkel gemessen und ohne Bevorzugung der Oberseite. Ebene Flächen sind mittelgrau, konvexe Formen hell und konkave Formen dunkel.

Betrachten Sie die drei Layer einzeln, mit demselben Zoom auf dasselbe Gebiet.

FRAGE 12

Welche Visualisierung lässt jedes Element (Weg, Graben, Mauer, Hügel …) am besten hervortreten? Gibt es eine «beste»?

ANTWORT

Layer	Lässt am besten hervortreten
Neigung	Wegränder, Böschungen, Terrassen, Flanken von Hügeln und Mauern. Unabhängig von der Beleuchtung, unterscheidet aber nicht zwischen Senke und Erhebung.
SVF	Gräben, Hohlwege, Dolinen. Weniger lesbar an steilen Hängen, die insgesamt abgedunkelt werden.
Positive Openness	Die kleinen konvexen und konkaven Formen überall, auch am Hang: Mauern und Hügel hell, Gräben dunkel. Oft am besten lesbar für das Mikrorelief.

Es gibt keine «beste» Visualisierung: Sie sind **komplementär**, jede zeigt einen Formtyp. Genau deshalb bietet RVT an, sie zu kombinieren (VAT).

Spezielle Darstellungen für die Archäologie

RVT bietet auch **gebrauchsfertige Kombinationen**, die mehrere Grundlayer mischen (Neigung, SVF, Openness, Schummerung …).

1. Öffnen Sie RVT erneut, wählen Sie das ursprüngliche DTM aus und gehen Sie zum Reiter *Blender*.
2. Wählen Sie die Kombination (*Blend combination*) **VAT**, für *Visualization for Archaeological Topography*.
3. Starten Sie die Berechnung: Das Ergebnis erscheint nach einigen Minuten mit dem Suffix `_VAT_general`.

Der Reiter *Blender* zeigt das «Rezept» der Kombination: jeden Layer, seine Min-/Max-Werte, seinen Mischmodus und seine Deckkraft. Diese Einstellungen bilden wir im nächsten Abschnitt nach.

2.4 Ihre eigene dynamische archäologische Mischung

Ziel: die VAT selbst in QGIS aus den einzelnen Layern nachbauen, um sie je nach betrachtetem Gelände **live anpassen** zu können.

Das Prinzip der Layermischung

In QGIS werden die Layer **von unten nach oben** gezeichnet: Standardmässig überdeckt jeder Layer die darunterliegenden. Zwei Einstellungen erlauben es, sie zu **kombinieren**, statt sie nur zu überlagern:

- die **Deckkraft**: Ein Layer mit 50 % lässt zur Hälfte durchscheinen, was darunter liegt;
- der **Mischmodus**: Er legt fest, wie der Wert jedes Pixels des Layers mathematisch mit dem bereits darunter gezeichneten Bild kombiniert wird.

Die drei für den Workshop nützlichen Modi:

Mischmodus	Wirkung
Normal	Der Layer überdeckt, was darunter liegt; nur die Deckkraft lässt die unteren Layer durchscheinen.

Mischmodus	Wirkung
Multiplizieren (*Multiply*)	Die Werte werden multipliziert: Weiss ist neutral, Dunkles verdunkelt. Ideal, um die **dunklen Senken** des SVF hinzuzufügen, ohne den Rest aufzuhellen.
Überlagern (*Overlay*)	Verdunkelt dunkle Bereiche und hellt helle Bereiche auf: **Mittelgrau ist neutral**. Ideal für die Openness, deren ebene Flächen grau sind: Nur die Formen treten hervor, und der Kontrast nimmt zu.

Wo finden Sie diese Optionen?

- **Mischmodus und Deckkraft**: Layereigenschaften › *Symbolisierung*, ganz unten, Abschnitt *Layerdarstellung* (*Layer Rendering*). Sie sind auch im Bedienfeld *Layergestaltung* zugänglich.
- **Min / Max**: Layereigenschaften › *Symbolisierung*, Darstellungsart *Einkanalgraustufen*, Felder *Min* und *Max*. Wählen Sie *Kontrastverbesserung*: *Strecken auf MinMax* (*Stretch to MinMax*).
- **Umkehren**: Stellen Sie im selben Abschnitt den *Farbverlauf* von *Schwarz nach Weiß* auf *Weiß nach Schwarz* um.
- **Reihenfolge**: Ziehen Sie die Layer im Bedienfeld *Layer*; der oberste Layer der Liste wird zuletzt gezeichnet.

Den Modus «Luminosity» gibt es in QGIS nicht

RVT verwendet für die Neigung einen Modus *Luminosity*, der in QGIS keine Entsprechung hat. Verwenden Sie *Multiplizieren*: Die umgekehrte Neigung verdunkelt dann die Böschungen, was ein sehr ähnliches Ergebnis liefert.

Jetzt sind Sie dran

1. Laden Sie die drei von RVT berechneten Layer (`…_SLOPE` , `…_SVF_R10_D16` , `…_OPEN-POS_R10_D16`).
2. Fügen Sie eine **Schummerung** des DTM hinzu: Duplizieren Sie das DTM mit der Darstellungsart *Schummerung* von QGIS (*Azimut* 315°, *Höhenlage* 35°).
3. Ordnen und konfigurieren Sie die Layer nach dem VAT-Rezept unten und vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem von RVT berechneten Layer `…_VAT_general` .

Reihenfolge	Layer	Min – Max	Umkehren	Mischmodus	Deckkraft
1 (oben)	Sky-View Factor	0,7 – 1,0	nein	*Multiplizieren*	25 %
2	Positive Openness	68° – 93°	nein	*Überlagern*	50 %
3	Neigung	0° – 50°	**ja**	*Multiplizieren*	50 %
4 (unten)	Schummerung	automatisch	nein	*Normal*	100 %

Machen Sie Ihre Mischung anschliessend **dynamisch**:

- ändern Sie Min / Max von SVF und Openness;
- ändern Sie die Deckkraft;
- Sie können die Openness sogar mit einem anderen Suchradius neu berechnen (RVT-Parameter *Search radius*, zum Beispiel 5 px, dann 30 px) und den Massstabseffekt beobachten.

Ihre Einstellungen speichern

Legen Sie die vier Layer in der Layerliste in eine neue Gruppe (Auswahl › Rechtsklick › *Gewählte gruppieren*). Speichern Sie dann Ihre beste Einstellung als **Layerdefinition**: Rechtsklick auf die Gruppe › *Export* › *Als Layerdefinitionsdatei speichern…* (Datei `.qlr`). Um sie später wieder zu laden, verwenden Sie *Layer* › *Aus Layerdefinitionsdatei hinzufügen…*

FRAGE 13

Was gewinnt man, wenn man die Layer in QGIS mischt, statt die vorberechnete VAT zu verwenden?

ANTWORT

- Man kann die Parameter jedes Layers fein einstellen und die Darstellung an die eigenen Bedürfnisse anpassen.
- Man versteht den Beitrag jedes Layers und kann weitere hinzufügen (anderer Openness-Radius, Orthofoto, Schummerung aus einer anderen Richtung).

Dafür ist die Darstellung bei jeder Aktualisierung aufwendiger.

2.5 Mit mobilem LiDAR

Zeit, Ihre neuen Kenntnisse **selbstständig** anzuwenden!

Die folgende Datei ist ein **Höhenmodell aus mobilem LiDAR**, also von einem Scanner auf einem Fahrzeug, das die Strassen abfährt, statt sie zu überfliegen. Es deckt einen Teil der **Altstadt von Neuenburg** ab, mit einer Auflösung von **4 cm** pro Pixel, also rund neunmal feiner als das bisher verwendete DTM (35 cm).

Element	Quelle
Raster mobiles LiDAR	https://sitn.ne.ch/web/sld2026/raster_lidarMobile.tif

Ihre Aufgabe: Analysieren Sie, was dieses Raster enthält, mit den in diesem Workshop gezeigten Werkzeugen (Farbverläufe, Schummerungen, RVT, Layermischungen). Bis zu welchem Detaillierungsgrad kommen Sie?

Einige Anregungen, falls Ihnen die Ideen fehlen:

- Beim Laden des Rasters werden Sie feststellen, dass ein grosser Teil leer ist, ohne Daten. Warum?
- Welche **städtischen Elemente** können Sie erkennen: Häuser? Treppen? Trottoirs? Sieht man etwas auf der Strasse?
- Strassen sind flach, oder? Stimmt das wirklich? Warum?
- Die RVT-Parameter werden in **Pixeln** angegeben. Können Sie dieselben Werte wie für das DTM verwenden? Wie müssen Sie sie anpassen?

FRAGE 14

Welche Informationen konnten Sie gewinnen? Welche Kombination von Darstellungen hat sich als am wirksamsten erwiesen, und warum? Was bringt mobiles LiDAR im Vergleich zu luftgestütztem LiDAR, und wo liegen seine Grenzen?

ANTWORT

- Es handelt sich um ein auf einem Fahrzeug montiertes mobiles LiDAR: Alles, was von der Strasse aus nicht sichtbar ist, existiert nicht.
- Man sieht viel mehr Details als mit luftgestütztem LiDAR: Schachtdeckel, Gitter, Strassenmarkierungen, Reparaturen am Strassenbelag usw.
- Wenn man die Schattierung überhöht, insbesondere die Schummerung (Hillshade), stellt man fest, dass die Strassen nicht flach sind: Sie sind gewölbt (Quergefälle), um das Wasser zu den Rändern abzuleiten, und weisen Verformungen auf (Spurrinnen, Absenkungen, Flickstellen).
- Zu den RVT-Parametern: Ein Pixel misst jetzt 4 cm statt 35 cm, ein Radius von 10 px deckt also nur noch 40 cm statt 3,5 m ab. Um Formen derselben Grösse zu analysieren, müssen die Radien etwa mit 9 multipliziert werden (auf Kosten einer längeren Berechnung). Einen kleinen Radius kann man hingegen beibehalten, wenn man sich nur für feinere Details interessiert.
- Kombiniert man SVF und Openness mit einer Schummerung aus mehreren Richtungen, lassen sich die Markierungen und die Reparaturen der Strasse deutlich herausarbeiten.
- Mobiles LiDAR liefert eine viel höhere Punktdichte und damit Auflösung, die Abdeckung bleibt aber beschränkt: Es ist nicht auf den ganzen Kanton anwendbar, und man erhält nur, was von der Strasse aus sichtbar ist.

2.6 Und mit einem ganzen Kanton?

Bisher haben wir mit lokalen Dateien von einigen hundert Metern Seitenlänge gearbeitet. Das SITN veröffentlicht die Modelle aller seiner LiDAR-Befliegungen als **COG**-Dateien (*Cloud Optimized GeoTIFF*): Raster, die in kleine Blöcke gegliedert und von **Übersichten** (*Overviews*) in mehreren Auflösungen begleitet sind. QGIS kann so **direkt aus dem Internet** nur den angezeigten Bereich in Bildschirmauflösung lesen, ohne vorher etwas herunterzuladen.

Das DOM des Kantons laden

1. Öffnen Sie *Layer › Layer hinzufügen › Rasterlayer hinzufügen…*.
2. Wählen Sie als Quelltyp *Protokoll: HTTP(S), Cloud, etc.* und geben Sie die Adresse des **DOM 2025 mit 10 cm** ein:
   ```
   https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/05_Grid/mns/sitn_lidar2025_mns_10cm.cog.tif
   ```
3. Klicken Sie auf *Hinzufügen*, zoomen Sie dann und bewegen Sie sich frei im Kanton.

Diese Datei ist etwa **240 GB** gross: mehr als 500 000 × 350 000 Pixel, also 50 Milliarden Höhenwerte. Trotzdem wird sie in wenigen Sekunden angezeigt, weil QGIS nur die wenigen Blöcke herunterlädt, die für die aktuelle Ansicht nötig sind.

Alternative: der STAC-Katalog in QGIS (QGIS 3.40 oder neuer)
Im Bedienfeld *Browser* Rechtsklick auf *STAC › Neue STAC-Verbindung…* (*New STAC Connection…*) mit der Adresse `https://sitn.ne.ch/services/stac/` . Klappen Sie dann *Neuchâtel › LiDAR 2025 › Modèle de surface* auf und ziehen Sie ein Element auf die Karte.

Schummern und mischen auf Kantonsebene

Die RVT-Erweiterung berechnet ihre Darstellungen auf der gesamten Datei: Für ein Raster dieser Grösse ist sie nicht geeignet. Die **Darstellungen von QGIS** hingegen werden fortlaufend nur für den angezeigten Bereich berechnet.

1. Duplizieren Sie den DOM-Layer und wenden Sie die Darstellungsart *Schummerung* an, wie beim DTM.
2. Zoomen Sie hinein und heraus: Die Schummerung wird live und in allen Massstäben neu berechnet.

Das SITN veröffentlicht auch **vorberechnete Schummerungen**, die sofort einsatzbereit sind. Es handelt sich um eine **Umgebungsverdeckung**, gleichwertig zum PCV von CloudCompare oder zum SVF von RVT, berechnet für den ganzen Kanton mit dem Open-Source-Werkzeug *DSM-Occlusion* des SITN.

1. Laden Sie dieses **schattierte Modell** auf dieselbe Weise wie das DOM:
   `https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/05_Grid/mns/sitn_lidar2025_mns_10cm_shaded.cog.tif`
2. Platzieren Sie es **über** der oben berechneten Schummerung des DOM.
3. Wenden Sie den Mischmodus *Multiplizieren* mit einer Deckkraft von etwa 60 % an: Die gerichtete Schummerung liefert das Relief, die Umgebungsverdeckung lässt die Details hervortreten.
4. Passen Sie Deckkraft und Parameter der Schummerung nach Ihrem Geschmack an.

Laden Sie für die nächste Frage auch das **Orthofoto** 2025 von Neuenburg mit 10 cm, auf dieselbe Weise:

`https://sitn.ne.ch/geodata/pointclouds/Aeriallidar/Lidar2025/03_Ortho/sitn_lidar2025_ortholidar_10cm.cog.tif`

Es ist etwa **257 GB** gross und wird genauso schnell angezeigt.

Vergleichen Sie es in der Stadt mit Ihren Schummerungen, zum Beispiel rund um das Schloss Neuenburg, und achten Sie besonders auf die **Fassaden**, die **Schlagschatten** und die **Bäume**.

FRAGE 15

Eine Schummerung des DOM ähnelt einem Orthofoto. Welche Vorteile hat sie gegenüber einem Orthofoto, insbesondere in Bezug auf die Perspektive? Und welche Nachteile?

ANTWORT

Es handelt sich um eine perfekte senkrechte Projektion: keinerlei Perspektiv- oder Passprobleme. Die Darstellung entspricht einer Orthorektifizierung, die «perfekt» wäre. Es gibt keinerlei fotografische Effekte: keine Schatten, keine Probleme mit der Farbwiedergabe, keine Sichtbarkeitsprobleme. Hingegen gibt es keinerlei Farbe, und an Stellen, wo der Rasterisierungsalgorithmus interpolieren musste, sind gewisse Artefakte sichtbar.

Weiterführende Informationen

Daten

- *swissSURFACE3D*: die LiDAR-Punktwolke von swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoehenmodell-swisssurface3d
- *swissSURFACE3D Raster*: das digitale Oberflächenmodell von swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoehenmodell-swisssurface3d-raster
- *swissALTI3D*: das digitale Terrainmodell von swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoehenmodell-swissalti3d
- *swissBATHY3D*: das bathymetrische Modell von swisstopo
  https://www.swisstopo.admin.ch/de/hoehenmodell-swissbathy3d
- STAC-Katalog des SITN: alle LiDAR-, DOM-, DTM- und Bathymetriedaten des SITN
  https://sitn.ne.ch/web/stac
- *geocat.ch*: der nationale Katalog, um viele weitere Datenquellen zu finden
  https://www.geocat.ch

Erwähnte Software und Werkzeuge

Werkzeug	Link
CloudCompare	https://www.cloudcompare.org · Wiki: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki
Potree	https://github.com/potree/potree
QGIS	https://qgis.org
Relief Visualization Toolbox	https://rvt-py.readthedocs.io
DSM-Occlusion	https://github.com/sitn/DSM-Occlusion Umgebungsverdeckung durch Raytracing auf Höhenmodellen, auf der Grafikkarte beschleunigt (CUDA), kann sehr grosse Raster kachelweise verarbeiten.

Literatur

- Kokalj Ž., Hesse R. (2017). *Airborne laser scanning raster data visualization: A Guide to Good Practice.* Ljubljana, ZRC SAZU.
  https://omp.zrc-sazu.si/zalozba/catalog/book/824