

Benutzerhandbuch: Bare Earth Reconstructor Plugin

Dr. Franz Becker
franz.becker90@web.de

1. Benötigte Eingabedaten

1.1 DSM (Digital Surface Model)

Was ist ein DSM? Ein DSM (Digital Surface Model) ist ein Höhenmodell, das alle sichtbaren Oberflächen erfasst - sowohl natürliche Geländeformen als auch anthropogene Strukturen wie Gebäude, Straßen und Vegetation. **Anforderungen an das DSM:**

- **Format:** GeoTIFF (.tif/.tiff), ASC (.asc), IMG (.img), VRT (.vrt), SDAT (.sdat), NC (.nc), GRD (.grd), BIL (.bil), HDR (.hdr), ADF (.adf), DEM (.dem), DT0/DT1/DT2 (.dt0/.dt1/.dt2), FLT (.flt), HGT (.hgt), RAW (.raw), XYZ (.xyz), TXT (.txt) **Auflösung:** Hochauflösend (1-5m) für beste Ergebnisse
- **Koordinatensystem:** Beliebiges projiziertes Koordinatensystem
- **Datenqualität:** Möglichst lückenfreie Abdeckung
- **Bereich:** Vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebiets

Empfohlene DSM-Eigenschaften:

- **Auflösung:** 1-5m für detaillierte Analysen
- **Höhengenauigkeit:** $\pm 0.5\text{m}$ oder besser
- **Datenquelle:** LiDAR, Photogrammetrie, oder hochauflösende Satellitendaten

1.2 Vorbereitung der Daten

Vor dem Start:

1. **DSM in QGIS laden** und auf Vollständigkeit prüfen
2. **Koordinatensystem** überprüfen (projiziertes System erforderlich)
3. **No Data-Bereiche** identifizieren und dokumentieren
4. **Auflösung** notieren für Parameter-Optimierung

2. Benutzeroberfläche (UI)

2.1 Tab 1: Eingabe & Verarbeitung

DSM-Eingabe

- **Dateipfad:** Direkte Auswahl einer DSM-Datei
- **Layer-Auswahl:** Auswahl eines bereits in QGIS geladenen DSM-Layer
- **Priorität:** Dateipfad hat Vorrang vor Layer-Auswahl

Ausgabeverzeichnis

- **Pfad:** Ordner für alle Ergebnisse und Zwischendateien
- **Struktur:** Automatische Organisation in Haupt- und Zwischenordner
- **Platzbedarf:** Mindestens 3x der DSM-Größe

Schwellenwert-Methode

Perzentile-basiert (Empfohlen):

- **Vorteile:** Automatische Anpassung an Geländetyp
- **Funktion:** Adaptive Schwellenwerte basierend auf Datenverteilung
- **Anwendung:** Berggebiete = höhere natürliche Steigungen, Flachland = niedrigere Steigungen

Feste Schwellenwerte (Legacy):

- **Vorteile:** Reproduzierbare Ergebnisse
- **Nachteile:** Manuelle Anpassung für verschiedene Geländetypen
- **Anwendung:** Vergleichsstudien oder spezifische Anforderungen

Perzentile-Einstellungen

- **Steigung:** % der Werte unter anthropogenem Schwellenwert (90% = obere 10% steilste Bereiche)
- **Krümmung:** % der Werte unter Merkmals-Schwellenwert (95% = obere 5% am stärksten gekrümmt)
- **Residuum:** % der Werte unter Anomalie-Schwellenwert (95% = obere 5% Höhenunterschiede)
- **Textur-Varianz:** % der Werte unter Vegetations-Schwellenwert (90% = obere 10% variabelste)
- **Textur-Entropie:** % der Werte unter Vegetations-Schwellenwert (90% = obere 10% heterogenste)

Feste Schwellenwert-Werte

- **Steigung:** Maximale natürliche Steigung (Grad)
- **Krümmung:** Maximale natürliche Krümmung
- **Residuum:** Höhenunterschied-Schwellenwert (Meter)

2.2 Tab 2: Erweiterte Optionen

Gauß-Filter

Zweck: Glättet das DSM zur Trennung von Gelände und Merkmalen

- **Sigma:** Glättungsstärke (automatisch skaliert nach Pixelgröße)
- **Kernel-Radius:** Filtergröße in Pixeln
- **Iterationen:** Anzahl Filter-Durchläufe (2-3 empfohlen)

Textur-Analyse (3-Klassen)

Zweck: Unterscheidet Vegetation von anthropogenen Merkmalen

- **Aktivieren:** Aktiviert 3-Klassen-Klassifikation (Natürlich/Vegetation/Anthropogen)
- **Fenstergröße:** Analysefenster (3x3 bis 9x9 Pixel)
- **Varianz-Schwellenwert:** Vegetationserkennungs-Empfindlichkeit
- **Entropie-Schwellenwert:** Textur-Komplexitäts-Schwellenwert

Filter-Optionen

Auswahl der zu maskierenden/entfernenden Merkmale:

- **Anthropogen:** Gebäude, Straßen, Infrastruktur
- **Vegetation:** Bäume, Büsche, Waldbedeckung

Häufige Kombinationen:

- **Nur Anthropogen:** Traditionelle Bare Earth
- **Nur Vegetation:** Gebäude behalten, Wald entfernen
- **Beide:** Aggressive Filterung für Geologie
- **Keine:** Validierung/Debugging-Modus

Buffer & Fill

- **Buffer-Distanz:** Erweitert maskierte Bereiche (Meter)
- **Fill-Distanz:** Maximale Interpolationsreichweite (Pixel)
- **Fill-Iterationen:** Interpolations-Durchläufe (1-100)

2.3 Tab 3: Interpolation & Ausgabe

Interpolations-Methoden

Enhanced GDAL (Multi-stage) - Ausgewogen:

- **Vorteile:** Multi-Stage-Verarbeitung mit Glättung
- **Anwendung:** Robuste Fallback-Methode
- **Eignung:** Komplexe Datensätze
- **Ergebnis:** Reduziert Interpolationsartefakte

Simple GDAL - Schnell:

- **Vorteile:** Schnelle ursprüngliche Methode
- **Nachteile:** Kann eckige Artefakte erzeugen
- **Anwendung:** Schnelle Verarbeitung
- **Eignung:** Parameter-Tests

Fill-Parameter

- **Fill-Distanz:** Wie weit zu interpolieren (Pixel)
- **Fill-Iterationen:** Mehrere Durchläufe für bessere Ergebnisse

Ausgabe-Optionen

- **Verarbeitungsbericht generieren:** Erstellt detaillierten Bericht
- **Ausgabedateien organisieren:** Strukturiert Ergebnisse

3. Parameterwerte und deren Auswirkungen

3.1 Gauß-Filter-Parameter

Sigma (Glättungsstärke)

- **Niedrig (0.5-1.0):** Minimale Glättung, behält Details
- **Mittel (1.0-2.0):** Ausgewogene Glättung (empfohlen)

- **Hoch (2.0-3.0):** Starke Glättung, verliert Details
- **Auto-Skalierung:** Passt sich automatisch an Pixelgröße an

Kernel-Radius

- **Klein (3-5):** Lokale Glättung
- **Mittel (5-7):** Ausgewogene Glättung (empfohlen)
- **Groß (7-10):** Weiträumige Glättung

Iterationen

- **1-2:** Schnelle Verarbeitung
- **2-3:** Ausgewogen (empfohlen)
- **3-5:** Hochwertige Ergebnisse
- **>5:** Nur für problematische Datensätze

3.2 Schwellenwert-Parameter

Perzentile-basierte Schwellenwerte

Steigung (90% empfohlen):

- **80%:** Weniger anthropogene Merkmale erkannt
- **90%:** Ausgewogen (empfohlen)
- **95%:** Mehr anthropogene Merkmale erkannt

Krümmung (95% empfohlen):

- **90%:** Weniger Merkmale erkannt
- **95%:** Ausgewogen (empfohlen)
- **98%:** Mehr Merkmale erkannt

Residuum (95% empfohlen):

- **90%:** Weniger Anomalien erkannt
- **95%:** Ausgewogen (empfohlen)
- **98%:** Mehr Anomalien erkannt

Feste Schwellenwerte

Steigung (Grad):

- **Flachland:** 5-10°
- **Hügelland:** 10-20°
- **Bergland:** 20-35°

Krümmung:

- **Flachland:** 0.01-0.05
- **Hügelland:** 0.05-0.1
- **Bergland:** 0.1-0.2

3.3 Textur-Analyse-Parameter**Fenstergröße**

- **3x3:** Schnell, weniger genau
- **5x5:** Ausgewogen (empfohlen)
- **7x7:** Genauer, langsamer
- **9x9:** Sehr genau, sehr langsam

Varianz-Schwellenwert

- **Niedrig (0.1-0.3):** Weniger Vegetation erkannt
- **Mittel (0.3-0.5):** Ausgewogen (empfohlen)
- **Hoch (0.5-0.7):** Mehr Vegetation erkannt

Entropie-Schwellenwert

- **Niedrig (1.0-2.0):** Weniger Vegetation erkannt
- **Mittel (2.0-3.0):** Ausgewogen (empfohlen)
- **Hoch (3.0-4.0):** Mehr Vegetation erkannt

3.4 Buffer & Fill-Parameter**Buffer-Distanz (Meter)**

- **Klein (5-10m):** Minimale Erweiterung
- **Mittel (10-20m):** Ausgewogen (empfohlen)

- **Groß (20-50m):** Weitreichende Erweiterung

Fill-Distanz (Pixel)

- **Klein (20-50):** Lokale Interpolation
- **Mittel (50-100):** Ausgewogen (empfohlen)
- **Groß (100-200):** Weitreichende Interpolation

Fill-Iterationen

- **1-2:** Schnell, möglicherweise unvollständig
- **3-5:** Ausgewogen (empfohlen)
- **10-20:** Hochwertige Ergebnisse
- **20-50:** Sehr hochwertige Ergebnisse
- **50-100:** Nur für problematische Datensätze

4. In QGIS geladene Raster

4.1 Haupt-Ergebnisse

Rekonstruiertes DSM

- **Datei:** reconstructed_dsm.tif
- **Beschreibung:** Das finale rekonstruierte Bare Earth Modell
- **Inhalt:** Geländeoberfläche ohne anthropogene Merkmale
- **Verwendung:** Weitere geomorphologische Analysen, Hydrologie, Geologie

Anthropogene Geländemerkmal

- **Datei:** anthropogenic_features.tif
- **Beschreibung:** 3-Klassen-Klassifikation der Oberflächenmerkmale
- **Klassen:**
 - **0:** Natürliches Gelände
 - **1:** Vegetation
 - **2:** Anthropogene Merkmale

- **Verwendung:** Analyse der anthropogenen Nutzung, Validierung
- **Hinweis:** Erfahrungsgemäß kann es vorkommen, dass der Wert 1 eher anthropogen ist und der Wert 2 eher natürliche Vegetation darstellt. Manchmal ist das schwer auf der mathematisch-statistischen Grundlage des Algorithmus das sicher zu entscheiden. Manche Gelände haben beispielsweise Alleen, die sowohl Vegetation haben, als auch anthropogen entstanden sind.

4.2 Optionale Zwischenergebnisse

Krümmung

- **Datei:** curvature.tif
- **Beschreibung:** Geländekrümmung für Merkmalserkennung
- **Verwendung:** Geomorphologische Analysen, Merkmalserkennung

Residuen

- **Datei:** residuals.tif
- **Beschreibung:** Höhenunterschiede zwischen Original und gefiltertem DSM
- **Verwendung:** Anomalie-Erkennung, Qualitätskontrolle

Texture Variance

- **Datei:** texture_variance.tif
- **Beschreibung:** Textur-Varianz für Vegetationserkennung
- **Verwendung:** Vegetationsanalyse, Oberflächenklassifikation

Texture Entropy

- **Datei:** texture_entropy.tif
- **Beschreibung:** Textur-Entropie für Vegetationserkennung
- **Verwendung:** Vegetationsanalyse, Oberflächenklassifikation

4.3 Dateiorganisation

Hauptverzeichnis (Finale Ergebnisse)

- reconstructed_dsm.tif - Hauptergebnis
- anthropogenic_features.tif - Hauptklassifikation
- reconstruction_report_*.txt - Verarbeitungsbericht

Intermediate/ Verzeichnis (Zwischenergebnisse)

- Alle Zwischenverarbeitungsdateien
- Temporäre Dateien und Berechnungen
- Einzelne Verarbeitungsschritte

5. Tipps und Tricks für optimales Handling und Workflow

5.1 Vorbereitung und Planung

Datenqualität prüfen

1. **DSM in QGIS laden** und auf Vollständigkeit prüfen
2. **NoData-Bereiche** identifizieren und dokumentieren
3. **Auflösung** notieren für Parameter-Optimierung
4. **Koordinatensystem** überprüfen (projiziertes System erforderlich)

Parameter-Strategie

1. **Erste Testläufe** mit Standardparametern
2. **Kleine Testgebiete** für Parameter-Optimierung
3. **Systematische Anpassung** eines Parameters nach dem anderen
4. **Dokumentation** aller Parameter-Kombinationen

5.2 Parameter-Optimierung

Schritt-für-Schritt-Optimierung

1. **Gauß-Filter** zuerst optimieren (Sigma, Iterationen)
2. **Schwellenwerte** anpassen (Percentile oder feste Werte)
3. **Textur-Analyse** bei Bedarf aktivieren
4. **Buffer & Fill** für finale Optimierung

Geländetyp-spezifische Einstellungen

Flachland:

- Niedrige Steigungsschwellenwerte (5-10°)
- Niedrige Krümmungsschwellenwerte (0.01-0.05)

- Kleine Buffer-Distanzen (5-10m)

Hügelland:

- Mittlere Steigungsschwellenwerte (10-20°)
- Mittlere Krümmungsschwellenwerte (0.05-0.1)
- Mittlere Buffer-Distanzen (10-20m)

Bergland:

- Hohe Steigungsschwellenwerte (20-35°)
- Hohe Krümmungsschwellenwerte (0.1-0.2)
- Große Buffer-Distanzen (20-50m)

5.3 Qualitätskontrolle

Visuelle Kontrolle

1. **Original vs. Rekonstruiert** vergleichen
2. **Anthropogenic Features** auf Vollständigkeit prüfen
3. **Interpolationsartefakte** identifizieren
4. **Geländekontinuität** überprüfen

Statistische Kontrolle

1. **Verarbeitungsbericht** analysieren
2. **Pixel-Statistiken** vergleichen
3. **Maskierungsprozentsätze** bewerten
4. **Klassifikationsqualität** prüfen

5.4 Workflow-Optimierung

Effiziente Verarbeitung

1. **Kleine Testgebiete** für Parameter-Optimierung
2. **Batch-Verarbeitung** für große Gebiete
3. **Zwischenergebnisse** speichern für Vergleich
4. **Automatisierte Berichte** nutzen

Fehlerbehandlung

1. **Speicherplatz** vor Verarbeitung prüfen
2. **QGIS-Speicher** regelmäßig freigeben
3. **Temporäre Dateien** nach Verarbeitung löschen
4. **Backup** wichtiger Zwischenergebnisse

5.5 Erweiterte Anwendungen

Multi-Scale-Analyse

1. **Verschiedene Auflösungen** testen
2. **Parameter-Skalierung** an Auflösung anpassen
3. **Ergebnisse** über verschiedene Skalen vergleichen

Zeitreihen-Analyse

1. **Mehrere Zeitpunkte** verarbeiten
2. **Konsistente Parameter** verwenden
3. **Änderungsanalyse** durchführen

Validierung

1. **Referenzdaten** verwenden (falls verfügbar)
2. **Manuelle Kontrolle** durchführen
3. **Statistische Validierung** durchführen
4. **Ergebnisse** dokumentieren

5.6 Troubleshooting

Häufige Probleme

Zu wenig maskierte Pixel:

- Buffer-Distanz erhöhen
- Schwellenwerte anpassen
- Textur-Analyse aktivieren

Zu viele maskierte Pixel:

- Schwellenwerte reduzieren
- Buffer-Distanz verringern
- Filter-Optionen anpassen

Interpolationsartefakte:

- Enhanced GDAL verwenden
- Fill-Iterationen erhöhen
- Gauß-Filter anpassen

Langsame Verarbeitung:

- Testgebiet verkleinern
- Parameter reduzieren
- Zwischenergebnisse löschen

5.7 Best Practices

Dokumentation

1. **Alle Parameter** dokumentieren
2. **Verarbeitungsschritte** protokollieren
3. **Ergebnisse** systematisch benennen
4. **Qualitätskontrolle** durchführen

Wiederholbarkeit

1. **Konsistente Parameter** verwenden
2. **Versionierung** der Ergebnisse
3. **Automatisierte Berichte** nutzen
4. **Standard-Workflows** entwickeln

Qualitätssicherung

1. **Visuelle Kontrolle** durchführen
2. **Statistische Validierung** nutzen
3. **Referenzdaten** verwenden

4. **Peer-Review** durchführen

6. Workflow

Phase 1: Vorbereitung und Konfiguration

Schritt 0: Datenvorbereitung

1. **DSM in QGIS laden**

- GeoTIFF oder kompatibles Format
- Projiziertes Koordinatensystem prüfen
- Auflösung und Ausdehnung notieren

2. **Ausgabeverzeichnis erstellen**

- Mindestens 3x DSM-Größe freien Speicherplatz
- Schreibrechte prüfen
- Backup-Strategie planen

Schritt 1: Tab 1 - Eingabe & Verarbeitung

1. **DSM-Eingabe konfigurieren**

- Dateipfad oder Layer auswählen
- Validierung der Eingabedaten

2. **Ausgabeverzeichnis festlegen**

- Pfad eingeben oder über Browser wählen
- Verfügbaren Speicherplatz prüfen

3. **Schwellenwert-Methode wählen**

- **Percentile-basiert** (empfohlen für neue Datensätze)
- **Feste Schwellenwerte** (für Vergleichsstudien)

4. **Parameter konfigurieren**

- Percentile-Werte oder feste Schwellenwerte
- Geländetyp-spezifische Anpassungen

Phase 2: Erweiterte Verarbeitung

Schritt 2: Tab 2 - Erweiterte Optionen

1. **Gauß-Filter konfigurieren**
 - Sigma-Wert (auto-skalierend)
 - Kernel-Radius (3-10 Pixel)
 - Iterationen (2-3 empfohlen)
2. **Textur-Analyse aktivieren** (optional)
 - 3-Klassen-Klassifikation
 - Fenstergröße (5x5 empfohlen)
 - Varianz- und Entropie-Schwellenwerte
3. **Filter-Optionen wählen**
 - Anthropogene Merkmale
 - Vegetation
 - Kombinationen je nach Anwendung
4. **Buffer & Fill konfigurieren**
 - Buffer-Distanz (Meter)
 - Fill-Distanz (Pixel)
 - Fill-Iterationen (1-100)

Schritt 3: Tab 3 - Interpolation & Ausgabe

1. **Interpolations-Methode wählen**
 - **Enhanced GDAL** (empfohlen)
 - **Simple GDAL** (schnell)
2. **Ausgabe-Optionen aktivieren**
 - Verarbeitungsbericht generieren
 - Ausgabedateien organisieren

Phase 3: Automatische Verarbeitung

Schritt 4: Gauß-Filter (Iterativ)

Zweck: Trennung von Gelände und anthropogenen Merkmalen**Prozess:**

1. Adaptive Sigma-Berechnung

- Startwert basierend auf Pixelgröße
- Graduelle Erhöhung über Iterationen

2. Iterative Anwendung

- SAGA NextGen Gaussian Filter
- Fallback auf einfache Kopie bei Fehlern

3. Qualitätskontrolle

- Ausgabedatei-Validierung
- Fortschrittsanzeige

Ergebnis: Gefiltertes DSM ohne anthropogene Merkmale

Schritt 5: Geländeableitung

Zweck: Berechnung von Steigung und Krümmung für Merkmalerkennung**Prozess:**

1. Steigung berechnen

- SAGA Slope, Aspect, Curvature
- Grad-basierte Berechnung

2. Krümmung berechnen

- Profil- und Plan-Krümmung
- Kombinierte Krümmung

3. Residuen berechnen (optional)

- Höhenunterschiede Original - Gefiltert
- Anomalie-Erkennung

Ergebnis: Steigung, Krümmung, Residuen-Raster

Schritt 6: Textur-Analyse (Optional)

Zweck: 3-Klassen-Klassifikation (Natürlich/Vegetation/Anthropogen)**Prozess:**

1. Textur-Varianz berechnen

- SAGA Texture Analysis
 - Gleitendes Fenster (5x5 empfohlen)
2. **Textur-Entropie berechnen**
 - Heterogenitäts-Maß
 - Vegetationserkennung
 3. **Resampling für Konsistenz**
 - Alle Raster auf gleiche Auflösung
 - Pixel-Perfekt-Alignment

Ergebnis: Textur-Varianz und Entropie-Raster

Schritt 7: Statistische Analyse & Adaptive Schwellenwerte

Zweck: Wissenschaftlich fundierte Schwellenwert-Bestimmung **Prozess:**

1. **Datenverteilung analysieren**
 - Percentile-Berechnung
 - Statistische Kennwerte
2. **Adaptive Schwellenwerte**
 - Geländetyp-spezifische Anpassung
 - Cao et al. 2020 Methodik
3. **Klassifikationsformel erstellen**
 - Multi-Kriterien-Ansatz
 - Gewichtete Kombination

Ergebnis: Optimierte Schwellenwerte und Klassifikationsformel

Schritt 8: Merkmalsklassifikation (3-Klassen)

Zweck: Automatische Erkennung von Oberflächenmerkmalen **Prozess:**

1. **Raster Calculator anwenden**
 - Multi-Kriterien-Klassifikation
 - Schwellenwert-basierte Zuordnung

2. **3-Klassen-Zuordnung**

- **0:** Natürliches Gelände
- **1:** Vegetation
- **2:** Anthropogene Merkmale

3. **Qualitätskontrolle**

- Klassendistribution prüfen
- Validierung der Ergebnisse

Ergebnis: 3-Klassen-Klassifikationsraster

Schritt 9: Filterung & Maskierung

Zweck: Auswahl der zu entfernenden Merkmale **Prozess:**

1. **Filter-Optionen anwenden**

- Anthropogene Merkmale
- Vegetation
- Kombinationen

2. **Raster Calculator**

- Binäre Masken erstellen
- Ausgewählte Klassen extrahieren

3. **Validierung**

- Maskeninhalt prüfen
- Prozentsätze bewerten

Ergebnis: Binäre Masken für ausgewählte Merkmale

Schritt 10: Buffer-Erweiterung

Zweck: Sicherheitsrand um anthropogene Merkmale **Prozess:**

1. **Proximity-Analyse**

- SAGA Proximity Grid
- Distanz-basierte Erweiterung

2. Buffer-Anwendung

- Konfigurierte Buffer-Distanz
- Erweiterte Masken

3. Qualitätskontrolle

- Buffer-Größe validieren
- Überlappungen prüfen

Ergebnis: Erweiterte Masken mit Sicherheitsrand

Schritt 11: Raster Calculator (Finale Maskierung)

Zweck: Anwendung der Masken auf Original-DSM**Prozess:**

1. Maskierungsformel

- $\text{Original-DSM} \times (1 - \text{Maske})$
- NoData für maskierte Bereiche

2. Qualitätskontrolle

- Maskierte DSM validieren
- Pixel-Statistiken vergleichen

3. Fehlerbehandlung

- Fallback bei Problemen
- Validierung der Ergebnisse

Ergebnis: Maskiertes DSM mit NoData-Bereichen

Phase 4: Interpolation & Rekonstruktion

Schritt 12: Interpolation

Zweck: Füllung der NoData-Bereiche**Prozess:**

1. Methode auswählen

- **Enhanced GDAL:** Multi-Stage mit Glättung
- **Simple GDAL:** Einfache Methode

2. Enhanced GDAL (3-Stufen):

- **Stufe 1:** Großer Suchradius
- **Stufe 2:** Gauß-Glättung
- **Stufe 3:** Detail-Interpolation

3. **Parameter anwenden**

- Fill-Distanz
- Fill-Iterationen
- Fallback-Mechanismen

Ergebnis: Rekonstruiertes Bare Earth DSM

Phase 5: Validierung & Ausgabe

Schritt 13: Ergebnis-Validierung

Zweck: Qualitätskontrolle der Ergebnisse **Prozess:**

1. **Statistische Validierung**

- Pixel-Statistiken vergleichen
- Geländekontinuität prüfen

2. **Visuelle Kontrolle**

- Original vs. Rekonstruiert
- Artefakt-Erkennung

3. **Qualitätsmetriken**

- Maskierungsprozentsätze
- Interpolationsqualität

Schritt 14: Layer in QGIS laden

Zweck: Ergebnisvisualisierung **Prozess:**

1. **Haupt-Ergebnisse laden**

- Reconstructed DSM
- Anthropogenic Features

2. **Optionale Layer laden**

- Curvature
- Residuals
- Texture-Layer

3. **Styling anwenden**

- Farbpaletten
- Transparenz-Einstellungen

Schritt 15: Bericht generieren

Zweck: Dokumentation der Verarbeitung**Prozess:**

1. **Verarbeitungsparameter**

- Alle verwendeten Einstellungen
- Zeitstempel und Metadaten

2. **Ergebnis-Statistiken**

- Pixel-Zahlen
- Maskierungsprozentsätze
- Qualitätsmetriken

3. **Datei-Organisation**

- Strukturierte Ablage
- Übersichtliche Dokumentation

Schritt 16: Dateien organisieren

Zweck: Strukturierte Ergebnisablage**Prozess:**

1. **Hauptverzeichnis**

- Finale Ergebnisse
- Wichtige Berichte

2. **Intermediate/ Verzeichnis**

- Zwischenergebnisse
- Temporäre Dateien

3. **Organisationsbericht**

- Datei-Übersicht
- Struktur-Dokumentation

Workflow-Optimierung

Effiziente Verarbeitung

1. **Kleine Testgebiete** für Parameter-Optimierung
2. **Systematische Parameter-Anpassung**
3. **Zwischenergebnisse** für Vergleich speichern
4. **Batch-Verarbeitung** für große Gebiete

Qualitätskontrolle

1. **Visuelle Kontrolle** nach jedem Schritt
2. **Statistische Validierung** der Ergebnisse
3. **Referenzdaten** verwenden (falls verfügbar)
4. **Peer-Review** durchführen

Fehlerbehandlung

1. **Speicherplatz** vor Verarbeitung prüfen
2. **QGIS-Speicher** regelmäßig freigeben
3. **Fallback-Mechanismen** nutzen
4. **Backup** wichtiger Zwischenergebnisse