

# Von der Punktwolke zum Terrainmodell

**ROLF BART<sup>1</sup>**

*Zusammenfassung: Es wird eine Methodik vorgestellt, aus 3D-Punktwolken automatisiert ein digitales Terrainmodell abzuleiten. Dazu werden die Daten in eine Datenbank übertragen und von Berechnungstools zur Weiterverarbeitung eingelesen. Die Daten werden in Pseudozellen, kleinräumigen Aggregationen von Punktmessungen, mit Clusteranalysen auf je einen besten Repräsentanten der untersten und obersten Ebene reduziert. Die Baum- und Strauchvegetation wird erkannt und als solche klassiert. Alle Objekte, die sich durch scharfe Umbiegungen der Oberfläche erkennen lassen, werden getrennt klassiert und einzeln als Punktansammlungen verwaltet. Die Umrandungen der Objekte sind Bruchkanten. Zu den Objekten und weiteren Geländebruchkanten erlauben Metadaten Zugriff auf Objekte und Bruchkanten. Die Daten werden nach Qualitätskriterien bewertet und können für die DTM-Bildung gezielt selektiert und in verschiedenen Formaten ausgegeben werden.*

## 1 Einleitung

Die nachfolgend vorgestellte Methode dient der Nachbearbeitung von Punktwolken, die aus Drohnenaufnahmen erstellt werden. Verarbeitet werden 3D-Punktwolken, die möglichst keine Vorbereinigungen aufweisen. Für die Erarbeitung der Methode und die bisherigen Tests und praktischen Anwendungen wurden Punktwolken verarbeitet, die mit Pix4D erstellt wurden. Die Erarbeitung der Methode basiert auf Farbbildern mit einer Pixelgrösse zwischen ca. einem und fünf Zentimetern.

Ebenfalls von Bedeutung ist die Messung der Punktwolke mit automatisierten Verfahren über die Autokorrelation. Wie sich das Verfahren im gegenwärtigen Stand etwa bei Rastermessungen bewährt, ist nicht abgeklärt.

Beschrieben wird die Datenbereinigung im Hinblick auf die Erstellung eines digitalen Terrainmodelles (DTM) also der Abbildung der Erdoberfläche. Es ist klar, dass andere Zielsetzungen der Datenauswertung genauso ihre Berechtigung haben, hier jedoch nicht das Thema sind.

Die Beschreibung der Methode ist als Ergänzung zum Referat zu verstehen, welches die Methode mit Fallbeispielen illustriert.

## 2 Problemstellung

### 2.1 Grundlegendes

Wir verwenden digitale Terrainmodelle (DTM) seit den 1990er Jahren namentlich für zweidimensionale Überflutungsmodellierungen. Dies verlangt gute Daten im Gerinneschlauch und in den potentiellen Überflutungsgebieten. Die Abklärungen werden besonders in besiedelten Gebieten durchgeführt, wo die Gefährdung durch Hochwasser grosse Relevanz aufweist und eine

---

<sup>1</sup> Ingenieure Bart AG, Waisenhausstrasse 15, CH-9000 St. Gallen, Schweiz, E-Mail: rolf@Bart.ch

hohe Abklärungstiefe rechtfertigt. Nur die Kombination von hydraulisch guten Modellen zusammen mit einem guten DTM ergibt insgesamt befriedigende und in sich konsistente Ergebnisse.

Die heute verfügbaren technischen Mittel erlauben kostengünstige Bildflüge und effiziente Aerotriangulationen, inkl. automatisierter Punktmessungen in hoher Dichte und guter Qualität. Die unstrukturierten Punktwolken lassen sich mit den bisher verfügbaren Werkzeugen nur mit grossem Aufwand inhaltlich auf jene Daten reduzieren, welche ein DTM ausmachen. Nachstehende Punkte erweisen sich als wichtigste Probleme:

- Bruchkanten können nicht automatisiert erstellt werden
- Die Vegetation wird nicht zuverlässig genug entfernt
- Objekte aller Art (Gebäude, Fahrzeuge, Zäune, Kandelaber, Leitungen etc.) bleiben erhalten oder können nur unzulänglich entfernt werden
- Zur Qualität der einzelnen Punkte stehen keine Informationen zur Verfügung
- Den Punktdaten fehlen zusätzliche Attribute, um auf bestimmte Gruppen gezielt zuzugreifen
- Aufgrund fehlender Attribute kann eine Bereinigung der Daten zu einem DTM nicht differenziert erfolgen
- Es fehlen Grundlagen, die Daten nach Qualitätskriterien zu analysieren und eine übersichtliche Bewertung zu erstellen
- Die verbleibende Datenmenge ist generell zu gross
- Der Bearbeitungsaufwand, um von einer Punktwolke zu einem DTM zu gelangen ist zu hoch
- Eine verlässliche Beurteilung der resultierenden DTM Qualität ist ohne systematische, praktisch flächendeckende Kontrolle nicht möglich

Die aufgezählten Probleme erschweren es, dem nicht spezialisierten Praktiker Daten abzugeben, welche einfach und mit den gängigen Werkzeugen zu handhaben sind. Diese erschwert es, viele der möglichen Datennutzer als Kunden zu gewinnen. Der nötige händische Nachbearbeitungsaufwand erhöht die Kosten deutlich.

## 2.2 Beispiele von Datenproblemen und Lösungsansätzen

Nachfolgend wird anhand einiger typischer Datenausschnitte einer Punktwolke erläutert, welche Probleme sich ergeben und welche Lösungsansätze bestehen.

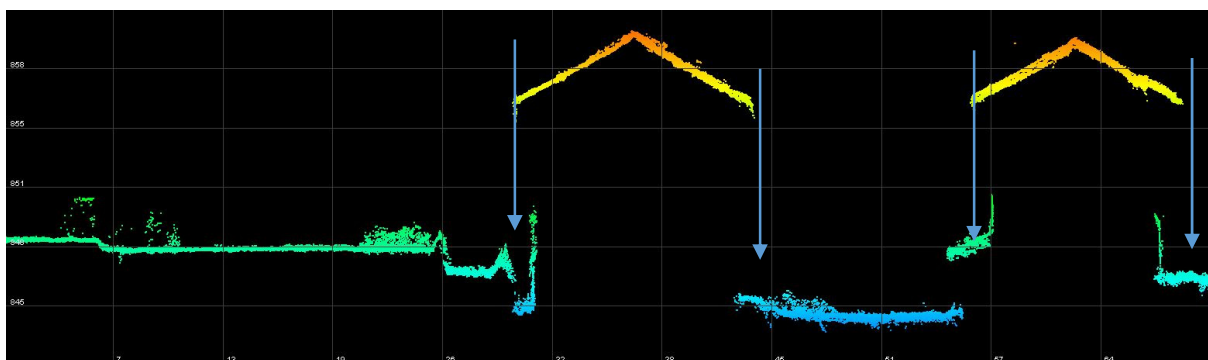


Abb. 1: Schnitt durch einen Parkplatz, zwei Wege und dann zwei Gebäude (von links nach rechts).

Die vier Pfeile an den Dachrändern zeigen auf, welche der gebäudenahen Bodeninformation bei einer Draufsicht verloren gehen. Im vorgestellten Verfahren werden die Bodenpunkte und Dachpunkte ohne Einschränkung erhalten, indem erstere in der Ebene 1 und letztere in Ebene 2 gespeichert werden.

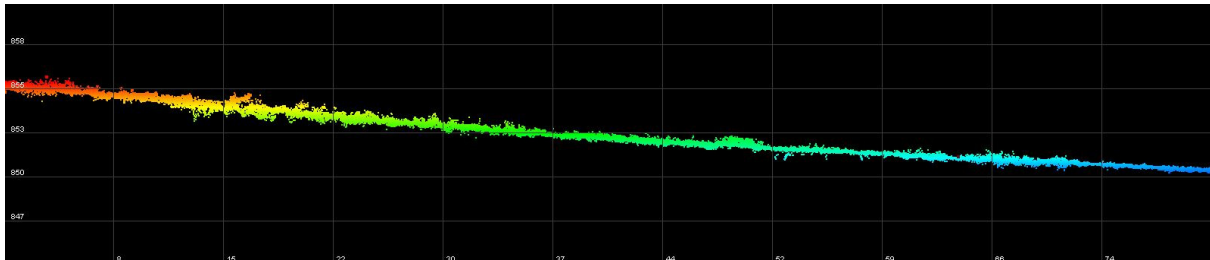


Abb. 2: Schnitt durch eine Strasse, die in Natura keine Unterschiede in der gleichmässig glatten, ebenen Oberfläche aufweist.

### 3 Lösungskonzept

Kontrollmessungen haben ergeben, dass der höher gelegene Abschnitt einen deutlich grösseren Fehler aufweist als der Teil rechts im Bild. Mit den vorgeschlagenen Qualifikationen der Messungen können Bereiche mit mutmasslich problematischen Messungen leicht erkannt und flächenhaft zugewiesen und dargestellt werden.

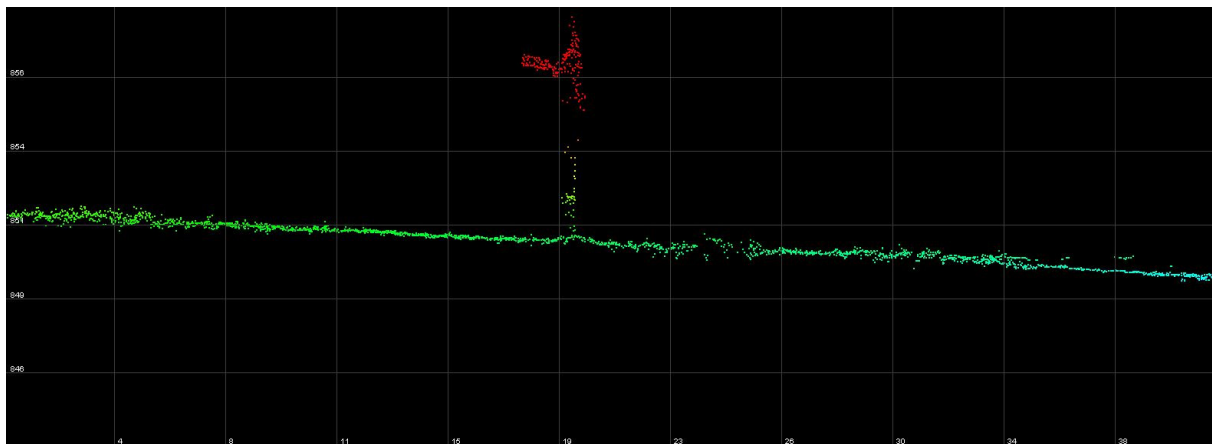


Abb. 3: Wegweiser in einer Strassenkreuzung.

Der Pfosten des Wegweisers verschwindet nach der Datenanalyse als Folge der Clusteranalyse. Die Punkte an den Schildern (rot) fallen in die Ebene 2 oder bilden ein Objekt, welches ausgeblendet oder dargestellt werden kann.

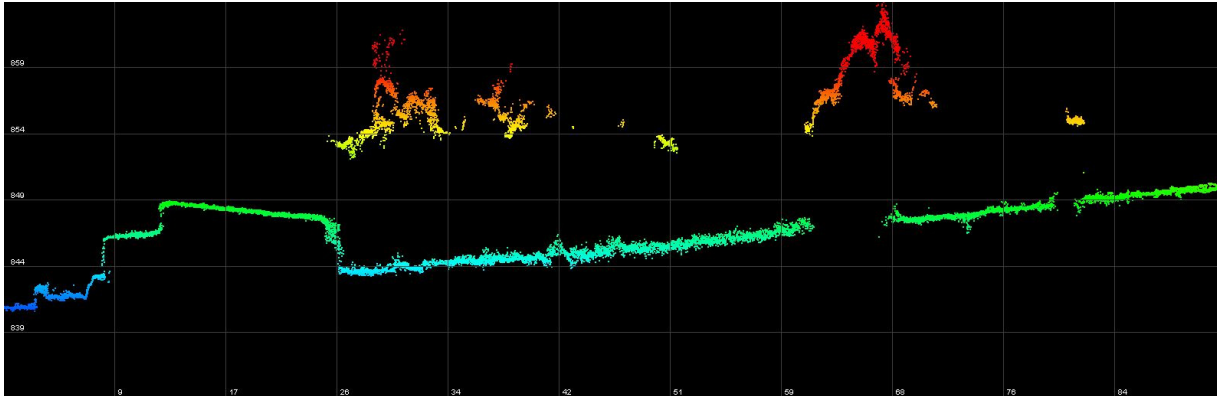


Abb. 4: Schnitt durch ein Gebäude und anschliessend eine Strasse mit Bäumen am Rand (von links nach rechts).

Die Messungen an den Bäumen (rot und gelb) können auf drei Arten von den noch vorhandenen Bodenpunkten separiert werden. Sie werden teils als Vegetation erkannt, teils fallen die Punkte in die Ebene 2 und an Orten, wo die Bodenpunkte fehlen, kann allenfalls ein Objekt entstehen, das wiederum verwendet oder verworfen werden kann.

### 3.1 Erste Auswahl der Datenpunkte

#### 3.1.1 Art der Oberfläche und Datenstruktur

Als Information zu den Daten stehen in der Punktwolke nur die Koordinaten  $x$  und  $y$  sowie die Höhe zur Verfügung. Bei glatten, ebenen Flächen können die streuenden Höhen als Messfehler verstanden werden. Ist die Oberfläche uneben, wie beispielsweise bei einer Kiesbank eines Flusses, entspricht die sichtbare Streuung nicht alleine Messfehlern an Höhen. Die Messungenauigkeiten betreffen die Lage und die Höhe. Liegen zwei Punkte dicht beieinander, so kann sich der eine auf die Spitze eines Steines beziehen und der andere auf einen tiefer liegenden Punkt unmittelbar daneben. Umgekehrt können zwei Punkte in wenigen Zentimetern Abstand die Messung desselben Punktes darstellen. Die Unsicherheit nimmt bei Messungen in einer Wiese weiter zu. Auf engstem Raum finden sich potentielle Messpunkte verteilt auf mehreren Dezimetern Höhenunterschied. Es ist unmöglich, sicher zu unterscheiden, welche Abweichungen Messfehler zeigen und welche die Messung unterschiedlicher Objekte.

#### 3.1.2 Grundgerüst der verwendeten Messungen

Die Daten werden zuerst in eine Mischform aus Vektor- und Rasterdaten überführt. Dazu wird jedem Punkt eine Rasteradresse zugewiesen. Man kann von einer hybriden Datenstruktur sprechen, die Pseudozellen bildet. Dadurch bleibt ein Datenpunkt im Vektorformat erhalten, gleichzeitig gehört er aber auch einer räumlich klar definierten Pseudozelle an. Die Pseudozelle bildet die Grundeinheit, die darin enthaltenen Messungen zu analysieren, zu klassieren und statistisch auszuwerten.

Die Wahl der Grösse der quadratischen Pseudozellen richtet sich nach den Ausgangsdaten (Punktwolke) und den Zielsetzungen des Anwenders. Für das Gros der interessierenden Flächen sollten in einer Pseudozelle drei bis sieben Punkte liegen. Die bisherigen Erfahrungen mit den eigenen Datenauswertungen zeigen, dass die günstige Kantenlänge einer Pseudozelle zwei bis drei

Pixel beträgt. Es ist kein Problem, wenn eine definierte Pseudozelle keinen Punkt enthält. In speziellen Fällen können es ohne weiteres dutzende von Punkten oder gar hunderte bis tausende sein.

### 3.1.3 Clusteranalyse

Wie bereits ausgeführt, darf nicht erwartet werden, dass innerhalb einer Pseudozelle die Streuung der Messungen als Fehler an einem konkreten Geländepunkt verstanden werden darf. Damit fallen übliche Verfahren, Messungen auszugleichen, weg. Als Verfahren wird eine Clusteranalyse pro Pseudozelle durchgeführt. Dabei werden die einzelnen Messungen so aufgefasst, dass sie ein Objekt in der a priori zu erwartenden Genauigkeit räumlich bestimmen. Weiter wird die Pseudozelle so definiert, dass sie lediglich eine Höhe pro Datenebene enthalten kann. Jeder Punkt erhält auf seiner exakten Höhe den Clusterwert 1. Dieser Wert nimmt gegen oben und unten bis zur vom Benutzer geschätzten Höhenmessgenauigkeit linear bis auf 0 ab. Werden die Messungen innerhalb einer Pseudozelle einander in der vertikalen Verteilung überlagert, so überschneiden sich die Messgenauigkeitsbereiche teilweise und werden addiert. Der Punkt mit dem grössten Clusterwert wird als Repräsentant dieser Ebene für die Pseudozelle bestimmt.

In mit Vegetation bedeckten Flächen zeigen die Datenanalysen, dass die oben liegenden Objekte oder Objektteile mit der Messung durch Autokorrelation begünstigt werden. Das heisst, dass in einer Pseudozelle die hoch an der Vegetation erfassten Punkte übervertreten sind. Um der gesuchten Erdoberfläche möglichst nahe zu kommen, werden die tief liegenden Punkte leicht begünstigt. Weisen innerhalb eines Clusters zwei Punkte denselben Wert auf, so wird immer der tiefer liegende gewählt. Ausreisser gegen unten werden unter bestimmten Kriterien einem höher liegenden Cluster vorgezogen. Ob es sich tatsächlich um einen Ausreisser handelt, wird in einer der nachgeschalteten Nachbarschaftsanalysen ermittelt.

### 3.1.4 Datenebenen

Beispielsweise in Randbereichen von Bäumen oder Gebäuden treten Überdeckungen auf, welche in den Daten erfasst sind. In derselben Pseudozelle können Punkte am Boden, von darüber hängenden Ästen und einem vorspringenden Dach überlagert werden. Die Clusteranalyse ist so umgesetzt, dass sie die Datenebenen nach Kriterien des Anwenders unterscheiden kann. Die Arbeiten an der Methode zeigten, dass der Umgang mit einer beliebigen Anzahl von Höhenebenen zu erheblichen Schwierigkeiten führt. Angesichts des nicht augenfälligen Nutzens von Zwischenebenen sind die Datenebenen zurzeit auf zwei begrenzt. Die zweite Ebene ist die oberste aller vorhandenen. Es werden maximal zwei Datenebenen verwaltet und in den Analysen vollumfänglich, wenn auch unterschiedlich, genutzt. Damit eröffnet sich eine erweiterte Palette an möglichen Endprodukten.

### 3.1.5 Auswirkungen von Datenebenen, Pseudozellen und deren Grösse

Die zentralperspektivische Datenerfassung erfasst an jenen Orten, an welchen die Überdeckungen einen gewissen Abstand zum Boden aufweisen, ebenfalls Bodenpunkte. Bei einer Datenanalyse aus der Draufsicht, gehen diese Daten verloren. Mit der Möglichkeit, zwei Datenebenen zu erfassen, lässt sich die Messung der Erdoberfläche in oft relevanter Weise vergrössern. Die

Kontrolle über die Daten wird ausgeweitet, da der Anwender Zugriff auf diese Information zu den Daten hat.

Werden die Pseudozellen deutlich grösser gewählt als die mittlere Pixelgröße misst, kann die Lage eines Punktes in der Pseudozelle tatsächlich genauer festgelegt sein als durch die Annäherung mit einem Zellmittelpunkt einer üblichen Rasterzelle. In der Clusteranalyse werden die Koordinaten des gewählten Punktes in seiner Vektorform übernommen. Die Verwendung von Pseudozellen in einer gewissen Grösse lassen Messungen "verschwinden", welche in der Regel unerwünscht sind. Ein Lattenzaun oder ein Drahtgeflechtzaun kann eine grosse Zahl an Messungen in der Vertikalen liefern. Mit der Clusteranalyse ist es nahezu sicher, dass ein Bodenpunkt innerhalb der Pseudozelle als Repräsentant der Ebene 1 gewählt wird. Ist der Zaun hoch genug, so wird dessen obere Begrenzung in der Ebene 2 erhalten. Für die Abbildung der Ebene 1, der Erdoberfläche sind die störenden Messungen ohne weiteres Zutun weg klassiert.

### **3.2 Umgang mit Vegetation**

Die spezielle Erkennung und Bezeichnung der Vegetation in den Daten bezieht sich auf hohe Vegetation. In der Regel handelt es sich um Bäume und Sträucher, einzeln stehend, in Gruppen oder Beständen. Derselben Kategorie gehören hohe krautige Vegetationsformen wie Mais, Schilf und ähnliches an. Diese hohen Vegetationsformen werden aus Merkmalen in den Pseudozellen und grossräumigen Nachbarschaftsanalysen erkannt und attribuiert.

Zwischen der Vegetation sichtbare Bodenoberfläche muss eine bestimmte räumliche Ausdehnung erreichen, damit sie ausgeschieden wird. Grundsätzlich wird Vegetation eher grosszügig als solche bezeichnet. Die digitale Photogrammetrie liefert zwischen hoher Vegetation kaum brauchbare Messungen. Daher werden mit diesem Verfahren zur Datenbereinigung an Stellen mit hoher Vegetation keine Messungen mehr verbleiben und dort andere Daten verwendet werden müssen. In der Vegetationsanalyse werden zwei Arten von Bruchkanten resp. Umrandungen gebildet. Die Bruchkante im eigentlichen Sinne ist die Verbindung aller Punkte, welche dem Trauf der Vegetation folgt. Die zweite Linie ist die Verbindung der letzten Bodenpunkte (von Vegetation bereits überschirmt), die photogrammetrisch noch erfasst werden konnten.

Sehr dichte, kompakte Vegetationsoberfläche kann nicht als solche erkannt werden. Typische Beispiele sind Einzäunungen mit stark geschnittenen Pflanzen wie Thuja, Buchs, Buchen etc. Diese Vegetation wird meist als Objekt erkannt und lässt sich so entfernen.

### **3.3 Objekte**

Objekte überragen die Umgebung mit einer scharfen Umbiegung der Oberfläche. (Vorderhand führen nur Umbiegungen nach oben zu einem Objekt. Ein Schwimmbecken ist daher (noch) kein Objekt.) Die Schärfe der Umbiegung wird auf einer maximal möglichen Distanz untersucht. Dadurch ist indirekt auch die minimale Höhendifferenz im Bereich der Umbiegung definiert, welche zur Abgrenzung eines Objektes führt.

Die gewählte Definition des Objektes hat zur Folge, dass ein Kamin auf einem Dach ein Objekt ist und das Haus mit dem Kamin ist ein Objekt auf der Erdoberfläche. Jedes Objekt erhält eine im Projekt eindeutige Nummer, welche, wie die Daten selbst, in einer Datenbank verwaltet werden. Die Objektnummern werden als Identifikatoren jedem Punkt des Objektes zugewiesen. Zu den

Objekten werden Attribute mitgeführt, welche die Selektion von Objektgruppen erlauben. Die wesentlichen davon sind der Umfang, die Grundfläche und die maximale Meereshöhe.

Ein Subobjekt (Kamin) liegt auf einem Objekt (Haus) und ist somit in der Projektion vollständig von diesem umschlossen. Ein Subobjekt (Kamin) kann ebenfalls zu einem Objekt werden, wenn darauf wiederum ein Subobjekt (z.B. Kaminaufsatz) erkannt wird. Objekte und Subobjekte werden logisch verknüpft.

Geometrisch wird das Objekt von einer Fusslinie (Bruchkante) umschlossen. Die Stützpunkte der Fusslinie sind jene Punkte, an welchen die massgebende Bedingung des Objektrandes erkannt wurde (minimale Umbiegung). Auf dem Objekt können weitere Bruchkanten vorhanden sein, welche alle die Objektnummer des jeweiligen Objektes tragen

Ein Objekt hat den Zustand gewählt oder nicht gewählt. Ist ein Objekt nicht gewählt, so bleibt die Fusslinie des logisch höchsten (topographisch tiefsten) Objektes als Teil der Erdoberfläche erhalten und umschliesst den Ort des nicht ausgewählten Objektes als inneren DTM-Rand.

### **3.4 Keine Daten vorhanden**

Versteht man die Daten als reine Vektordaten ist die Bezeichnung „NoData“ zumindest unpräzise. Obwohl in den gespeicherten Daten keinerlei Information zu Bereichen ohne Daten erfasst sind, ergeben sich diese indirekt durch das Fehlen von Rasteradressen mit Messungen. Damit können Bereiche ohne Daten (aus Sicht der Rasterstruktur) mit einer Begrenzungslinie umschlossen werden. Die Stützpunkte dieser Linie sind die Punkte der Ebene 1 unmittelbar vor einer Datenlücke. Diese muss das definierte Mass der Relevanz aufweisen.

Die Information „NoData“ kann für grössere, mit Linien umgrenzte Flächen dazu verwendet werden, Ersatzdaten gezielt einzulesen. Je nach Anwendung kann es genügen solche Daten beispielsweise mit DATM-AV Daten minimal zu bestücken.

### **3.5 Bruchkanten**

Die Bruchkanten, welche im Zuge der Objekterkennung und der Vegetationserkennung ermittelt werden, sind in den entsprechenden Kapiteln bereits behandelt. Daneben werden Geländebruchkanten bestimmt. Als Bedingung müssen sie eine minimal vorgegebene Geländeumbiegung wiedergeben. Die Schärfe der Umbiegung muss nicht derart ausgeprägt sein wie bei der Objekterkennung. Der dazu nötige Raum wird in Abhängigkeit der gewünschten DTM-Auflösung bestimmt. Die Bruchkanten werden nach der topografischen Lage als konvex oder konkav unterschieden. Bruchkanten mit wechselnder topographischer Lage dürfen sich in kürzeren Abständen folgen als solche mit gleicher topografischer Lage.

Zu den Geländebruchkanten werden ähnlich den Objekten Metadaten gespeichert. Dazu gehören eine im Projekt eindeutige Nummer, die topographische Lage, die Länge und Informationen zur Geländeumbiegung an der Bruchkante.

### **3.6 Zusatzinformationen zu den Punkten**

#### **3.6.1 Qualitätsmerkmale**

Mit Zusatzinformationen zu den Punkten sollen verlässliche Aussagen zur Messqualität eines Punktes abgeleitet werden. Die Qualifikationen liefern Zahlenwerte, dennoch kann lediglich von

einer qualitativen Beurteilung der Messungen gesprochen werden. Die quantitative Beurteilung setzt Vergleiche mit Kontrollmessungen voraus. Diese können zwar jederzeit erfolgen, werden in der vorgestellten Methode verfahrenstechnisch jedoch nicht vorausgesetzt oder direkt verwendet. Aufgrund der vorgenommenen Analysen bieten sich insbesondere die folgenden Merkmale an, die Messqualität zu beurteilen:

Der **absolute Clusterwert** gibt das Gewicht eines Punktes an, der als Repräsentant der Pseudozelle ausgewählt wurde. Der Wert 1 ist das Minimum. Liegen beispielsweise drei Punkte annähernd auf derselben Höhe geht der Wert gegen 3. Es darf vermutet werden, dass der Punkt mit guter Wahrscheinlichkeit repräsentativ ist.

Der **relative Clusterwert** setzt den absoluten mit der Anzahl der Punkte in der Pseudozelle ins Verhältnis. Ergibt sich ein relativer Clusterwert von knapp 3 aus 5 Messungen, so zeugt dies von einer besseren Messung als wenn dazu 23 Messungen vorliegen. Dass die grössere Anzahl an Messungen auf die Grösse der Pseudozellen zurückzuführen sein könnte, spielt für die Wertung keine Rolle.

Die **Streuung** aller Messungen in einer Pseudozelle ist ein geeignetes Mass, um die Sicherheit der Messung einzuschätzen. Die Streuung wird nicht mit der erwarteten Messgenauigkeit verglichen, da innerhalb einer Pseudozelle Messungen erfolgen, die sich in der Realität auf unterschiedliche Punkte beziehen können.

Die **Plausibilität** wird anhand der Abweichung von Nachbarpunkten beurteilt. Dabei wird eine geringe Abweichung zu Nachbarn als günstig und eine grosse als ungünstig beurteilt. In der Beurteilung der Abweichungen wird die Streuung unter den Vergleichspunkten mit berücksichtigt. Die **Anzahl** der Messungen erlaubt eine Einschätzung, ob an der betrachteten Stelle Messprobleme auftauchen. Über die Art der Probleme kann aus den Daten keine vernünftige Vermutung angestellt werden. Eine für das Operat atypisch geringe Zahl von Messungen weist auf Schwierigkeiten bei der Autokorrelation.

### 3.6.2 Topografische Lage

Die topographische Lage der Punkte ist generell in konkav und konvex unterteilt. Der Wechsel der topographischen Lage der Punkte kann in (deutlich) engeren Abständen erfolgen als die gewählte DTM-Auflösung. Bei der späteren Komposition der DTM-Daten ist zu beachten, dass in sehr rauem Gelände (Blockfelder, gepflügter Acker und ähnliches) die mittlere Höhenlage und die übernommene Rauigkeit ins DTM stark davon abhängt, ob konkave oder konvexe Punkte übervertreten sind.

### 3.7 Vorauswahl der Massenpunkte

Am Ende der Datenanalyse und -klassierung werden die Punkte, welche zu keiner besonderen Klasse von Umrandungen oder Bruchkanten gehören, ein letztes Mal bewertet. Die zu bewertenden Punkte werden so gewählt, dass der gewählte Bereich nirgends Bruchkantenstützpunkte überschreitet. Bei der Bewertung der Plausibilität (Abweichung zu Nachbarn) hätte der Einbezug von Punkten, die jenseits einer Bruchkante liegen, eine Verfälschung zur Folge. Die Unterbrechung der Datenanalyse an den Bruchkanten trägt zur Erhaltung der Geländekanten bei und verhindert die Bildung von Deformationen in unmittelbarer Nähe von Bruchkanten. Die Qualitätsmerkmale werden ein letztes Mal nachgeführt.



## 4 Konzept der Datennutzung

Die Verarbeitung ist für Punktwolken konzipiert, welche den vollen 3D-Datengehalt noch aufweisen. Die vorgestellte Methode nutzt einzig die aus der Verteilung der Punkte ableitbaren Informationen. Die Daten werden in eine Datenbank eingespielt und in eine hybride Datenstruktur überführt, die gleichermassen Eigenschaften von Vektordaten und Rasterdaten aufweist. Der Anwender lenkt die Datenanalyse mit seiner Parametersetzung hinsichtlich der gewünschten Auflösung und Datenqualität. Die resultierende Datensammlung ist geeignet, unterschiedliche Endprodukte zu erzeugen.

Die Anwendung ist sowohl für die Annahme von Daten wie auch den Export zu verschiedenen Formaten offen.

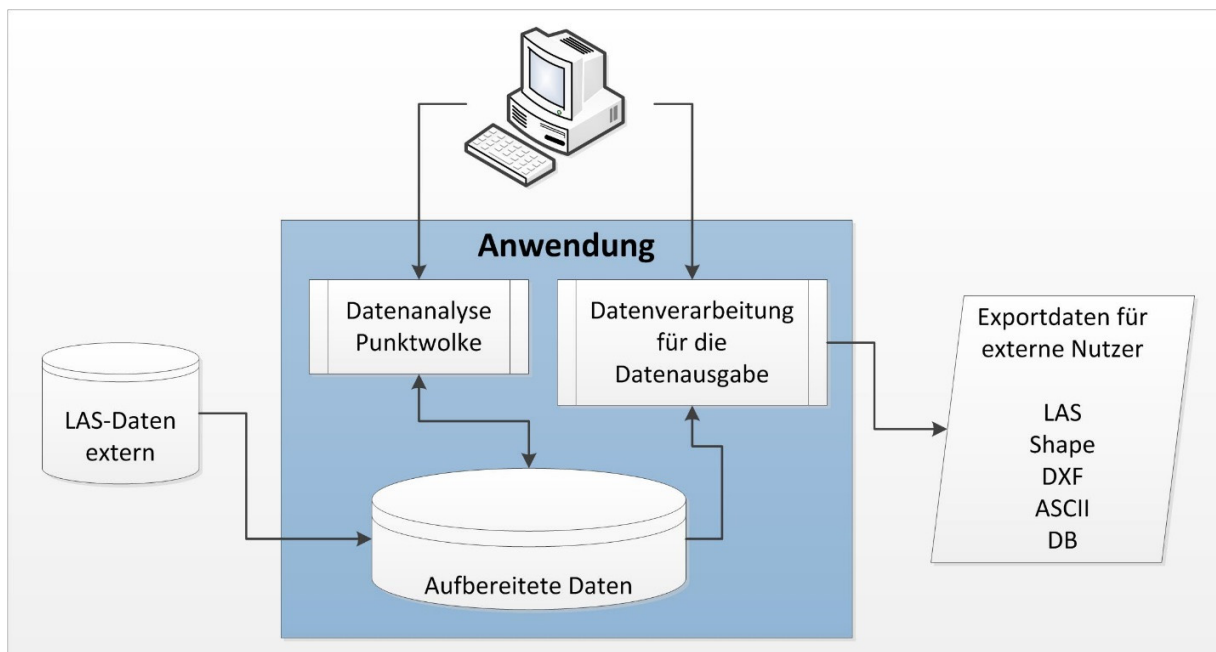


Abb. 5: Schema der konzeptionellen Datennutzung

Die differenzierte Datenauswertung und -ablage erlauben es, die Daten nach unterschiedlichen Zielsetzung zu Endprodukten zu komponieren. Die folgenden, schematischen Darstellungen zeigen das Wesentliche auf.

Mit der vorgestellten Methodik welche Objekte erkennt und ausblenden kann, Vegetation erfassen oder einblenden kann und Überdeckungen in zwei Ebenen aufteilt, können unterschiedliche DTM resp. DOM (digitale Oberflächenmodelle) erstellt werden.

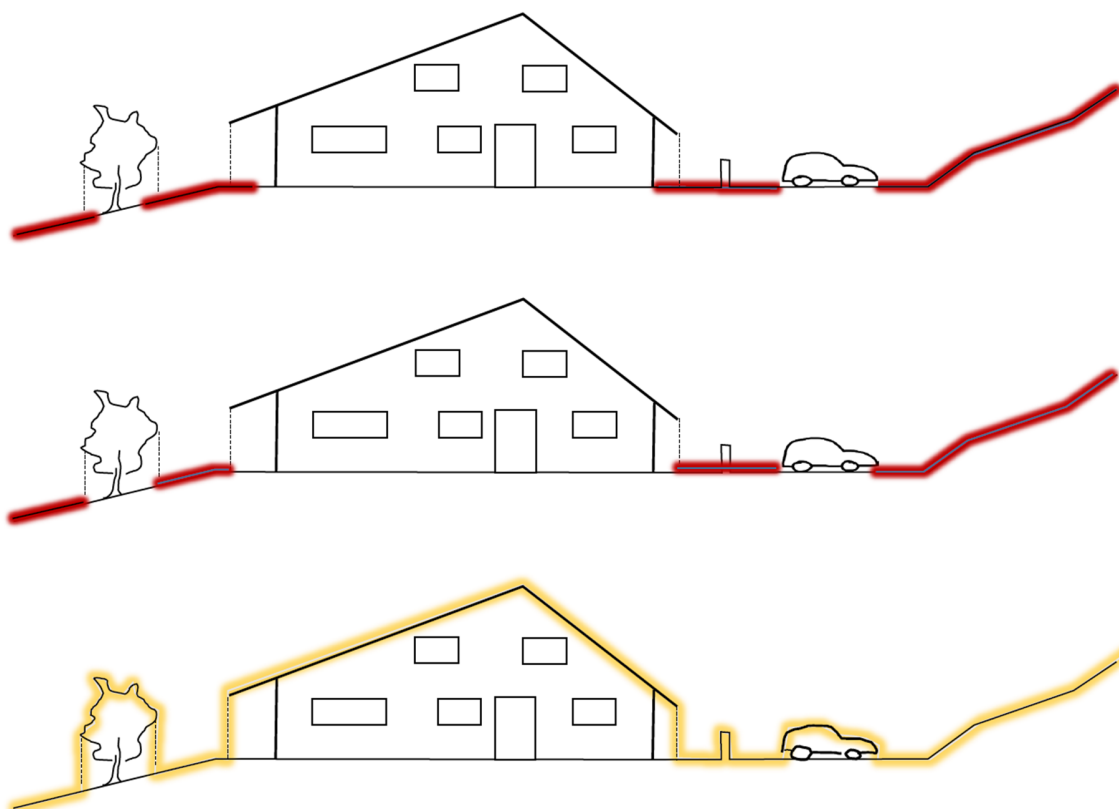


Abb. 6: Schemata von DTM und DOM

Die oberste Version entspricht dem üblichen DTM. Die Daten werden soweit sie vorhanden sind, an ein Gebäude heran als Erdoberfläche verwendet. Objekte wie Bäume, Mauern oder Fahrzeuge gehören nicht zum DTM. Die zweite Version verwendet die Daten nur bis an die Überdeckung, jedoch nicht unter diese. Auch bei Bäumen hört die Erdoberfläche am Trauf auf. Die letzte Version ist ein Dom, welches zwischen Objekten und Vegetation die bereinigte Erdoberfläche des DTM verwendet und ergänzend die Objekteinformation und die Baumvegetation enthält. Ein DTM kann allerdings auch gezielt mit einzelnen Objekten, beispielsweise Mauern ergänzt werden. Letztere sind bei 2D Überflutungsmodellierungen wichtig.

## 5 Fazit und Ausblick

Die gewählte Methode erzeugt aus Punktwolken automatisch Daten als Grundlage für DTM. Die aufbereiteten und klassierten Daten werden in einer Datenbank gehalten. Dadurch ist ein gezielter Zugriff auf die Daten möglich, um die gewünschten Produkte zu komponieren.

Es dürfte sich lohnen, die Automatisierung noch weiter zu verbessern. Bei der Aufbereitung der DTM-Daten ist vorstellbar, das gewünschte Endprodukt zu spezifizieren und das Programm die geeignete Parameterwahl anhand von gewählten Referenzflächen bestimmen zu lassen.

Die Möglichkeit, Bruchkanten automatisch zu erfassen, könnte künftig auch auf senkrecht stehende Flächen angewandt werden. Mit der Erweiterung um transformierte Koordinatensysteme, könnten Felswände oder Fassaden detailliert analysiert werden.