

## Pilot Bewertung von Gewässerrandstreifen mittels Fernerkundung

Auftraggeber:  
Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW)  
Griesbachstraße 1  
76185 Karlsruhe

Werkvertrag Bestell.-Nr. 4500759036/41  
Aktenzeichen 13-0415.1

Innsbruck, 14.12.2020

### Einführung LUBW

Mit den ansteigenden Tageshöchsttemperaturen steigt auch die Wassertemperatur in den Gewässern Baden-Württembergs. Dadurch werden Pflanzen und Tiere im Gewässer einem immer größeren Hitzestress ausgesetzt, der die Erfolge bei der Verbesserung der Wasserqualität und Gewässerstruktur zum Teil wieder zunichtemacht.

Im Projekt soll nachgewiesen werden, mit welchen Fernerkundungsmethoden die Vermessung von Gewässerbett und höherem Bewuchs im Umfeld des Gewässers so erfolgen kann, dass auf dieser Datenbasis berechnet werden kann, wie viel Beschattung durch Topographie und Bewuchs auf das Gewässer erfolgt.

### 1. Datengrundlagen

Vom Auftraggeber wurden Dateien für die Untersuchungsgebiete an der Dreisam bei Freiburg und an der Wutach bei Waldshut-Tiengen übergeben:

- Digitales Geländemodell (DGM) 1m auf Basis des Airborne Laserscannings (ALS) des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) ASCII ZIP ([Metadaten](#))
- Gebäude (ALKIS) ([Metadaten](#))
- Flurstücke (ALKIS) ([Metadaten](#))
- GPRO Gewässerquerprofile und Längsprofile Dämme ([Metadaten](#))
- Gewässernetz (AWGN) ([Metadaten](#))
- Digitales Orthophoto (farbig) ([Metadaten](#))
- DGM-HYD HWGK 0.5m im Format .tif

Nur an der Dreisam fanden aus Gründen der Datenverfügbarkeit folgende weiteren Daten Eingang in die Auswertungen:

- ALS-Daten des LGL im Punktwolkenformat .laz
- Baumkataster der Stadt Freiburg im Format DXF

Die Datensätze wurden mit vom Auftragnehmer im Oktober 2018 und Mai 2019 erhobenen Datenbeständen aus drohnenbasierten Laserscan-Befliegungen zusammengeführt. Diese Datenbestände wurden über den Kooperationspartner Universität Innsbruck, Institut für Geographie, im Auftrag der LUBW aufgenommen. Dazu wurde bei den Befliegungen der RIEGL RiCOPTER (Multicopter) mit einem RIEGL VUX-1LR bzw. BDF-1 Laserscanner, Applanix AP20 bzw. APX-15 IMU und Sony Alpha 6000 Kameras genutzt (siehe Werkvertrag Nr. 4500637124/41).

**Dreisam:**



*Untersuchter Flussabschnitt*

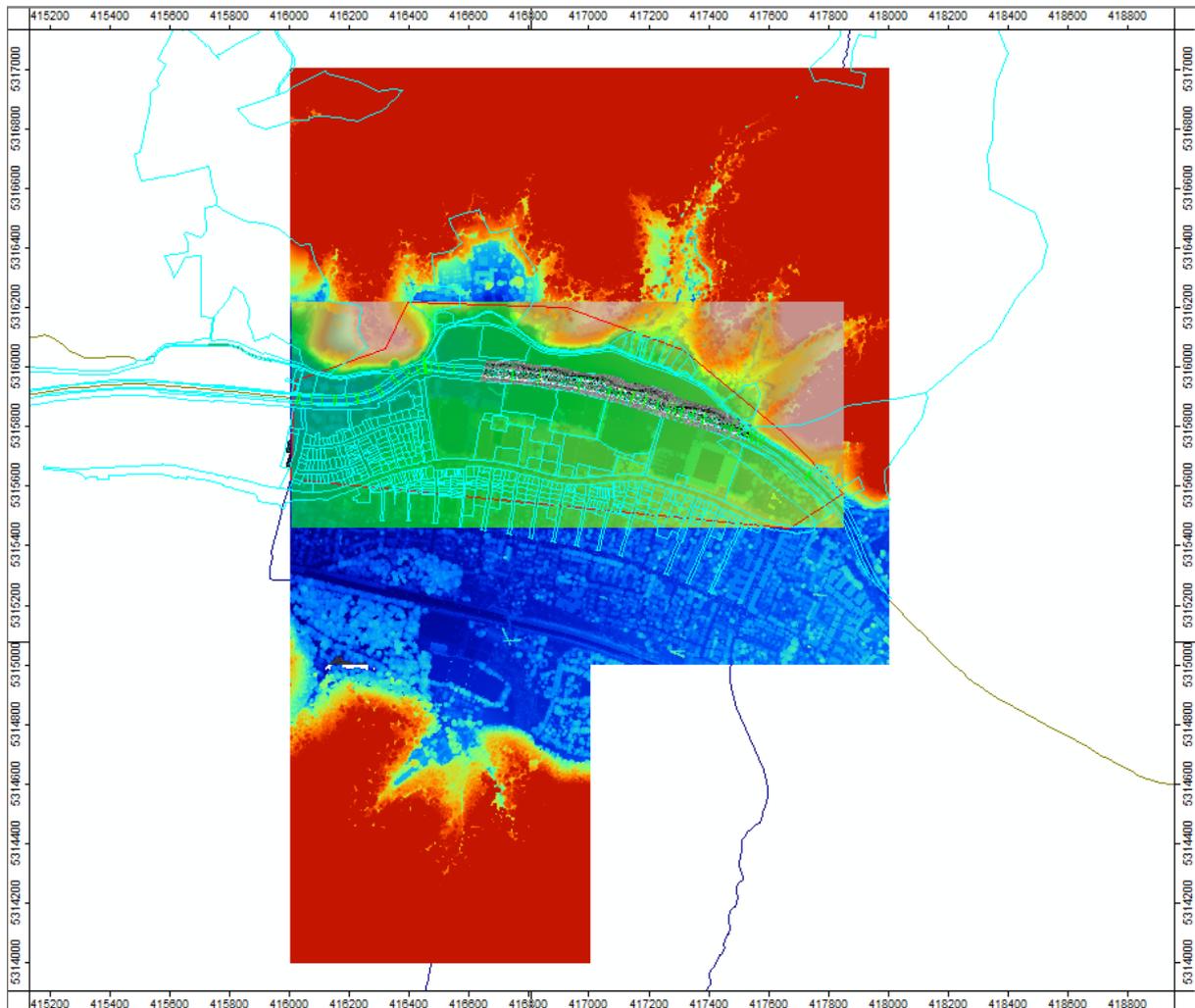
**Wutach:**



*Untersuchter Flussabschnitt*

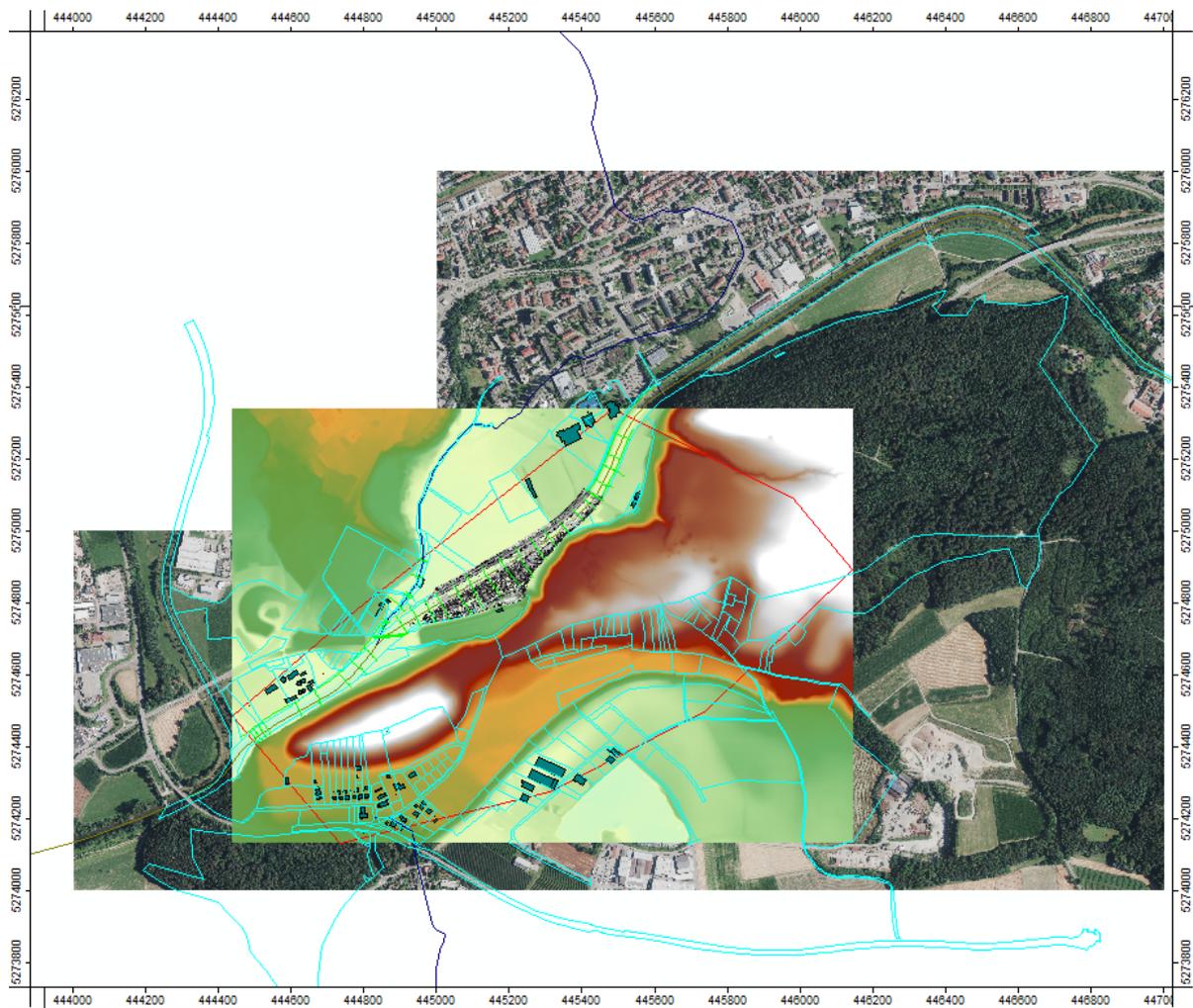
Die Datenzusammenführung und weiterführenden Auswertungen wurden in der firmeneigenen Software Laserdata LIS vorgenommen. Laserdata LIS ist eine kommerzielle Software zur 3D Punktwolkenprozessierung, die als Erweiterung zum Opensource Geographischen Informationssystem SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) erworben werden kann.

### **Dreisam:**



*Zusammenführung der Geodatensätze von LUBW, LGL und Auftragnehmer*

## Wutach:



*Zusammenführung der Geodatenätze von LUBW, LGL und Auftragnehmer*

## 2. Erzeugung von Geodatensätze zu Gewässerbett, Beschattung, Bewuchs, Gewässerrandstreifen

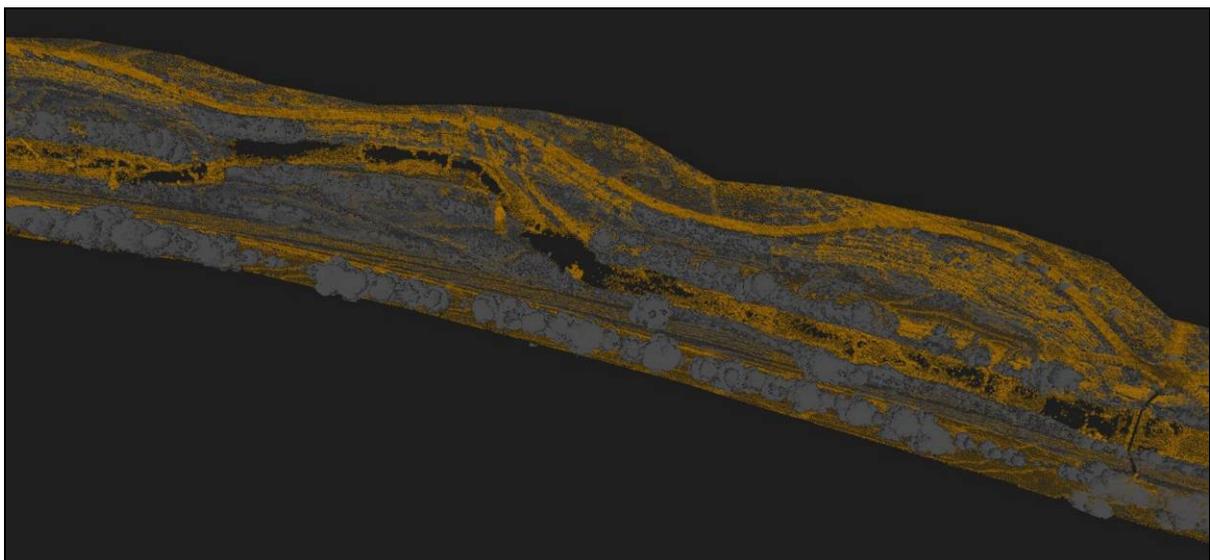
Sämtliche Datenaufbereitungs- und Verarbeitungsschritte wurden mit einem Prozessierungslaptop folgender Ausstattung durchgeführt:

- Prozessor: Intel® Core™ i7-8550U CPU@2.00 GHz;
- RAM: 32GB,
- Windows10 64 Bit-Betriebssystem

### 2.1 Klassifikation der Drohnenlaserscans in Boden- und Nichtbodenpunkte (Vegetation)

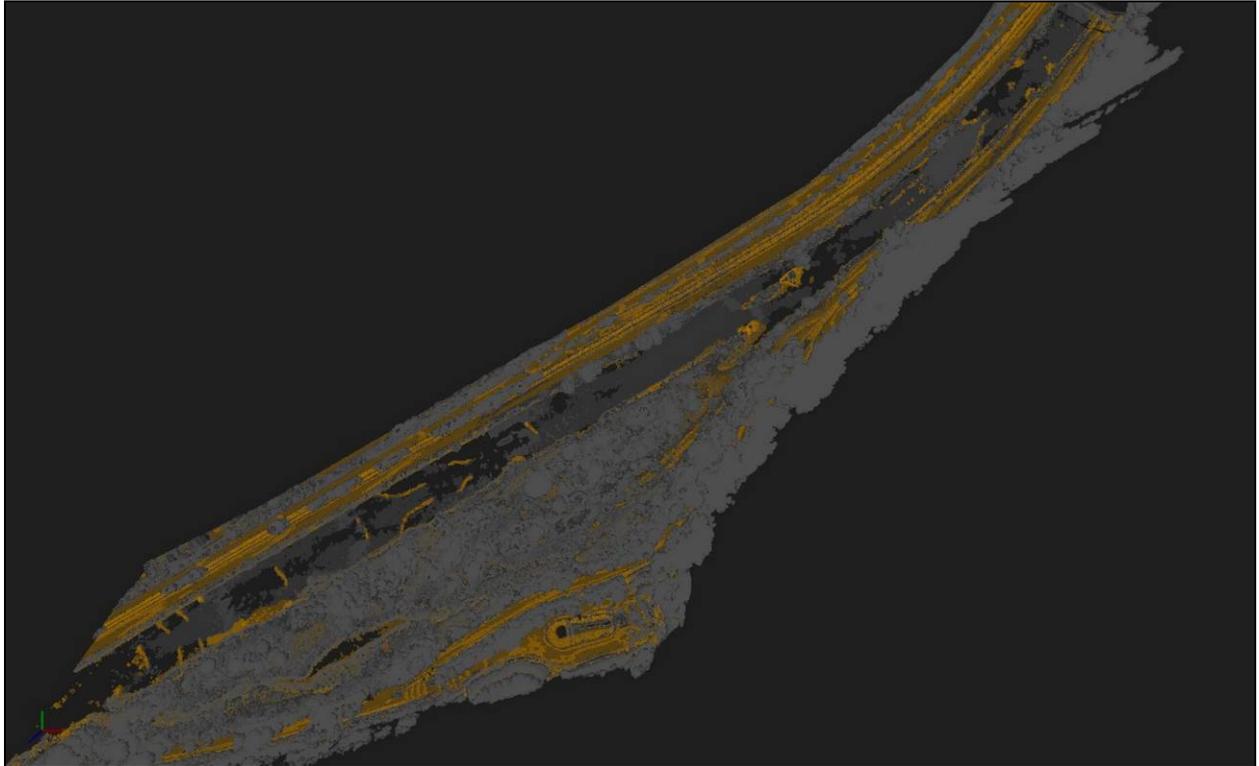
Die Klassifikation der aufgenommenen Drohnen-Laserpunktswolken in Boden- und Nichtbodenpunkte wurde nach einer Ausreißerentfernung über das Ground Classification Modul in der LASERDATA LIS Software bewerkstelligt. Die Klassifikation erfolgt über eine progressive TIN-Verdichtung. Die Berechnung selbst beginnt über die Bestimmung der niedrigsten Punkte innerhalb eines virtuellen groben Rasters, welches sukzessive immer besser aufgelöst wird (bis zur Größe der Objekte, welche nicht mehr in der Klasse Boden enthalten sein dürfen). Der TIN-Verdichtungsprozess wird über maximal erlaubte Winkel und Distanzen von potentiell neu hinzukommenden Punkten sowie über maximale Kantenlängen gesteuert. Die TIN-Verdichtung erfolgt solange, bis keine neuen Punkte mehr gefunden werden, welche die Bodenkriterien erfüllen. Um die Qualität der Klassifikation zu kontrollieren und zu verbessern wurden für Wutach und Dreisam manuelle Kontroll- und Relabeling-Maßnahmen mittels des LASERDATA LIS Point Cloud Editors vorgenommen.

#### **Dreisam:**



*Klassifikation der Punktswolke: Boden (ockerfarben), Nichtboden (grau)*

## **Wutach:**



*Klassifikation der Punktwolke: Boden (ockerfarben), Nichtboden (grau)*

## **2.2 Ableitung von generalisierten Bruchkanten mit 3D Geometrien der Flussdeiche (Böschungsober- und unterkanten, land- wie wasserseitig)**

### **2.2.1 vorbereitende Arbeiten Glättung und Filterung des Geländemodells**

Aus den klassifizierten Bodenpunkten wurde für die drohnenbasiert erfassten Flusstreckenabschnitte an Wutach und Dreisam ein Bodenraster mit einer Zellweite von 10 cm erstellt. Die Punktwolke der Klasse Boden wurde über die Aggregierungsmethode Maximum in ein Rastergeländemodell übergeführt und anschließend wurden die durch Wasserflächen erzeugten Lückenbereiche über ein Close-Gaps Verfahren geschlossen. Für die entstandenen digitalen Geländemodelle wurde eine Schummerung (Hillshade) berechnet.

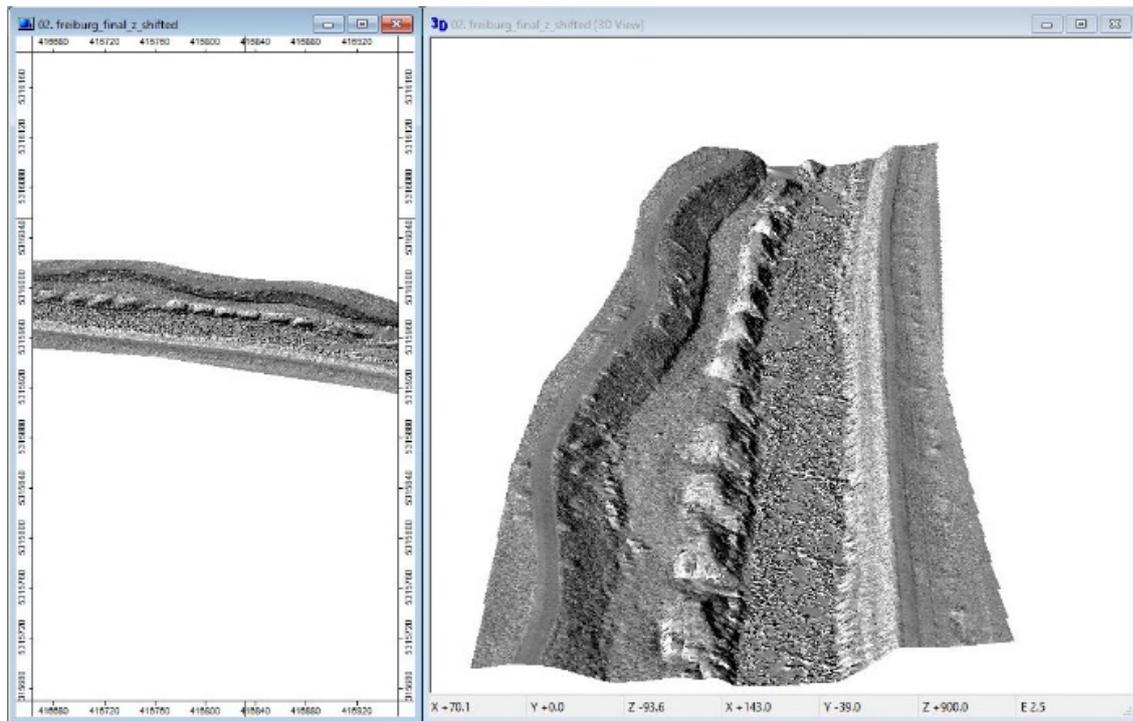
Für die Ableitung von Bruchkanten mit 3D Geometrien der Flussdeiche und deren land- und wasserseitigen Böschungsober- und Böschungunterkanten mussten rasterseitig datenvorverarbeitende Schritte an den digitalen Geländemodellen vorgenommen werden. Sie umfassten:

- ein Resampling von 0.1m auf 0.5m,
- die Anwendung eines datenglättenden Gauß-Filters und
- die Anwendung eines kantenerhaltenden Multi-Direction Lee Filters

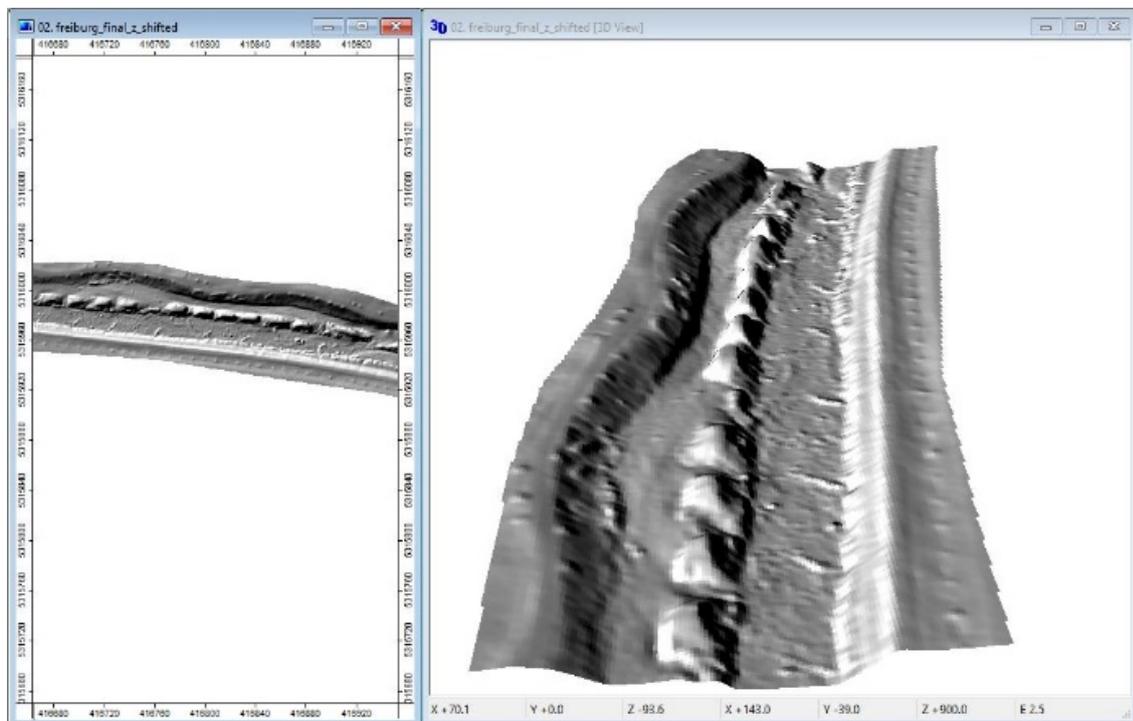
Ziel dieser vorverarbeitenden Schritte war die Herstellung von homogenen und geglätteten Geländemodellen, welche eine Ableitung von generalisierten und nicht durch Rauigkeit zu

detailreichen Bruchkanten ermöglichen sollte. Die Auswirkungen der vorverarbeitenden Schritte kann den folgenden Abbildungen entnommen werden.

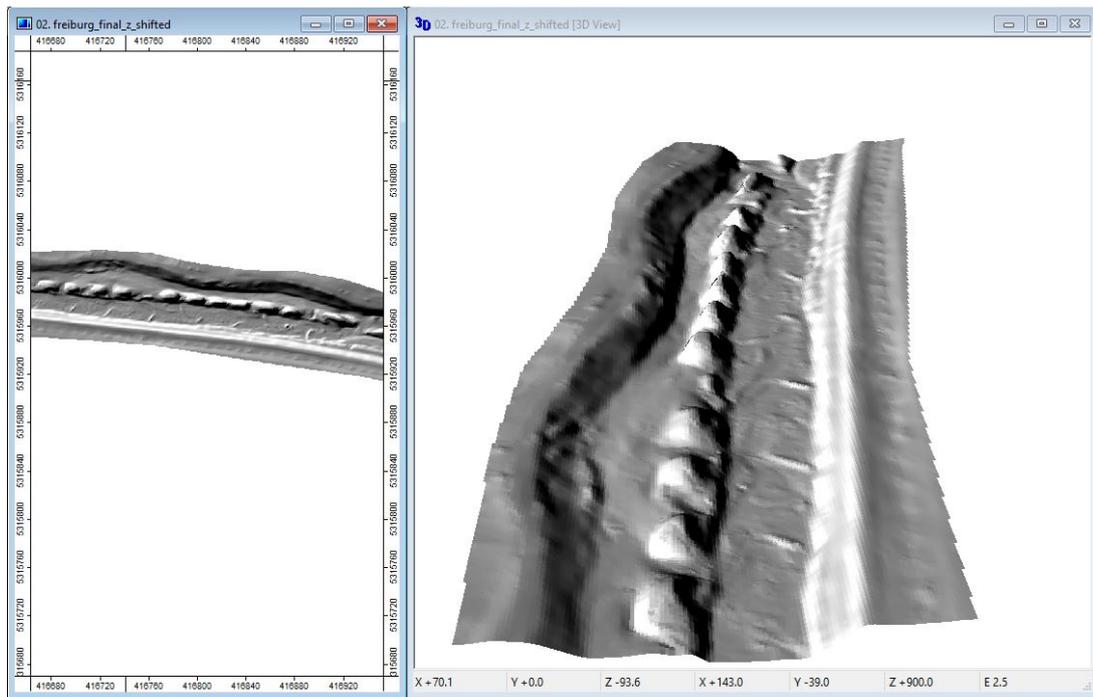
### ***Dreisam, Datensatz Drohnenbefliegung:***



*Original RiCOPTER DGM 10cm Auflösung*

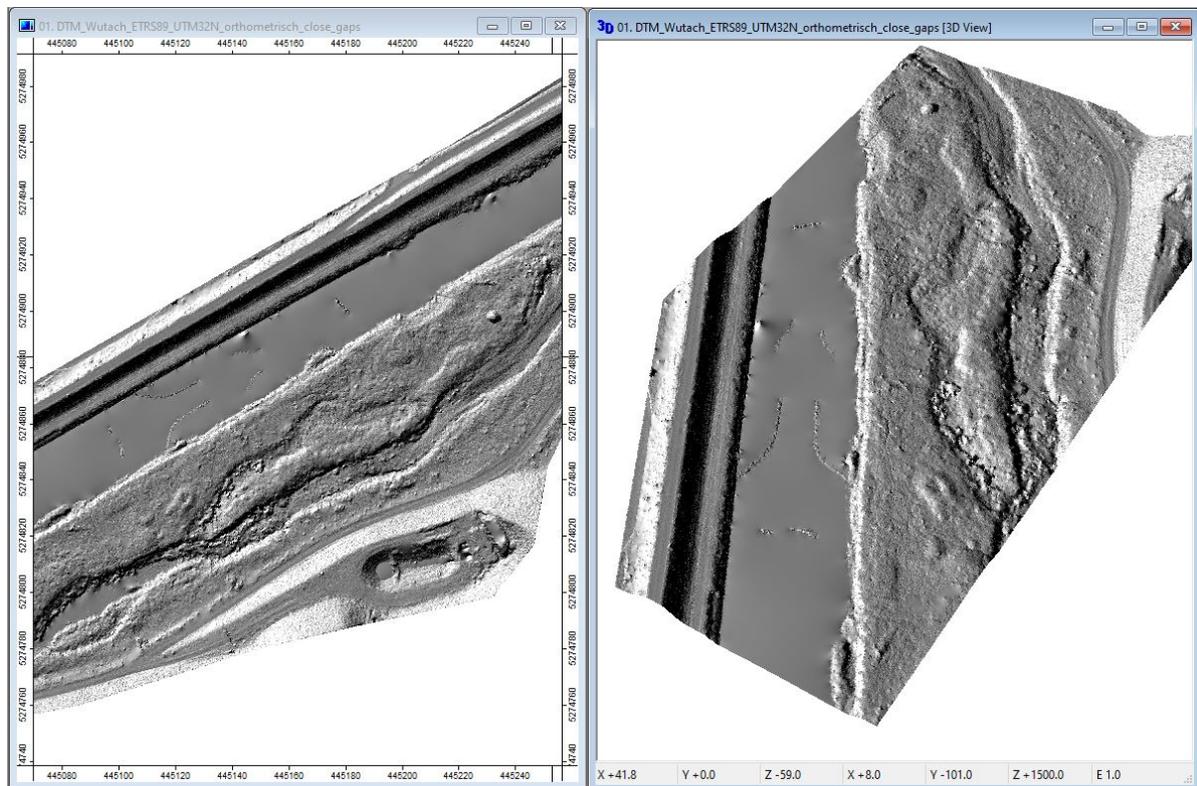


*RiCOPTER DGM, resampled auf 0.5m und Gauß-gefiltert*

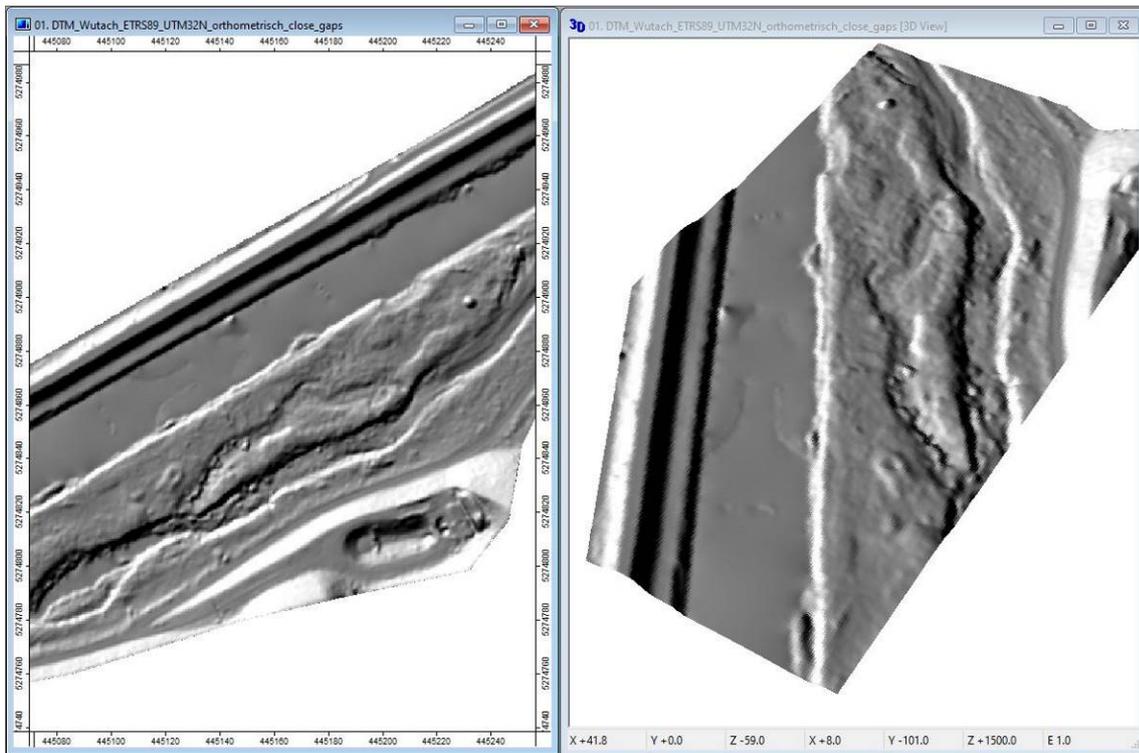


*RiCOPTER DGM 0.5 m mit finalem Multi-Direction Lee-Filter*

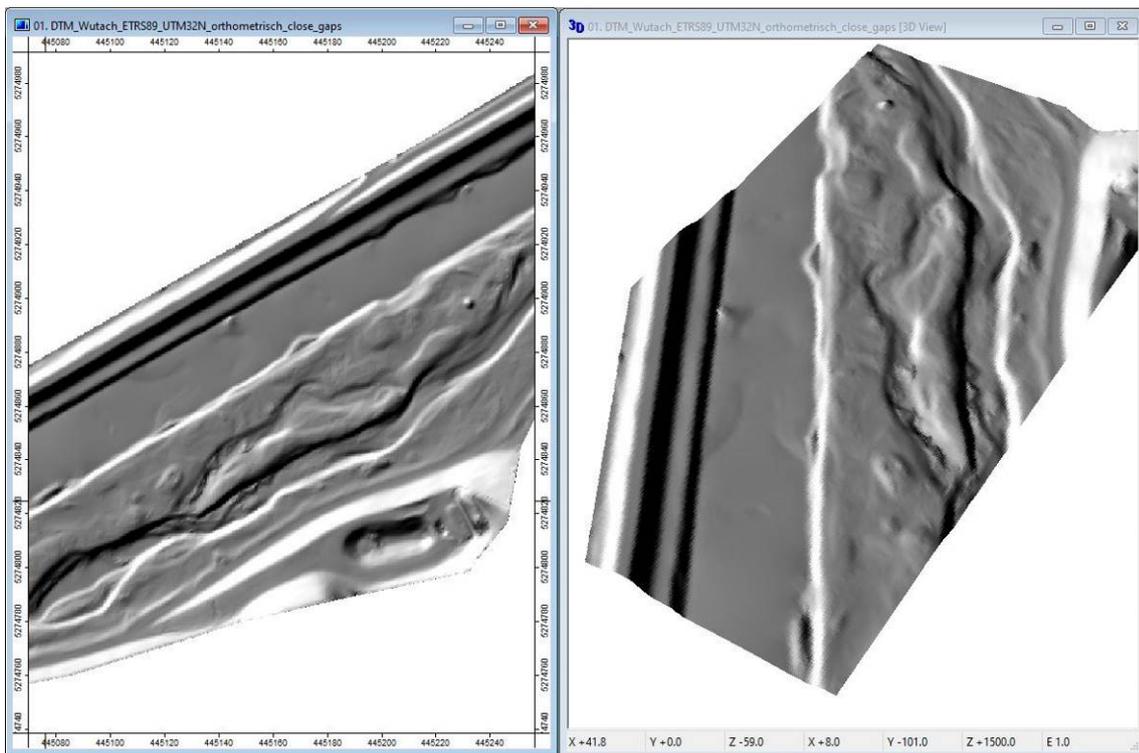
**Wutach, Datensatz Drohnenbefliegung:**



*Original RiCOPTER DGM, 10cm Auflösung*



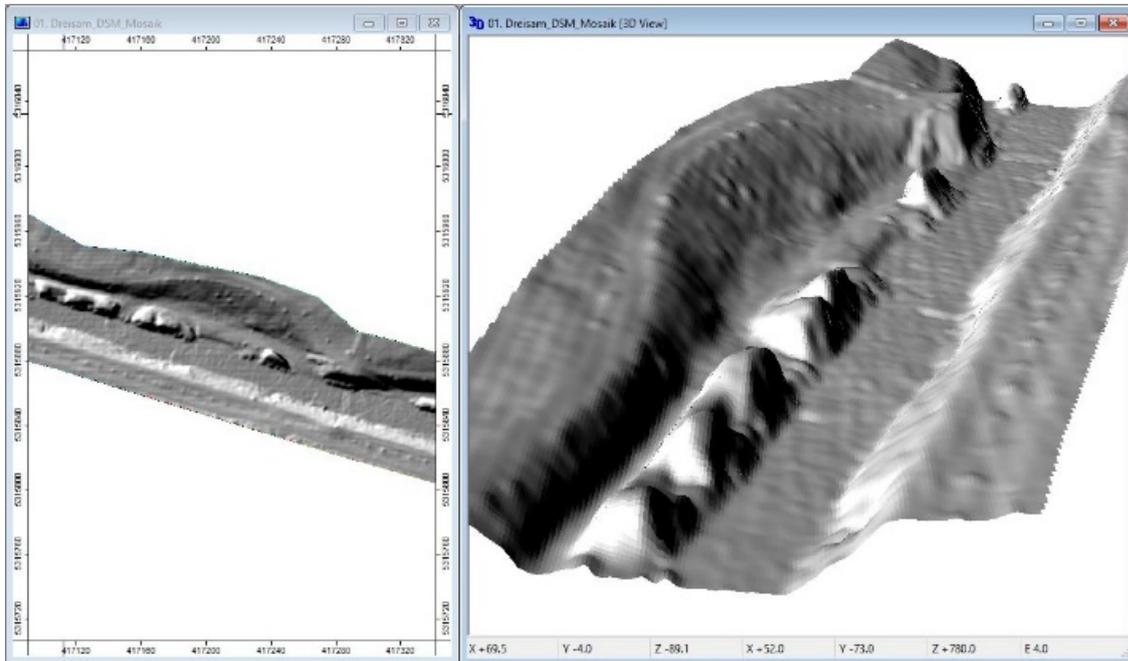
*RiCOPTER DGM, resampled auf 0.5m und Gauß-gefiltert*



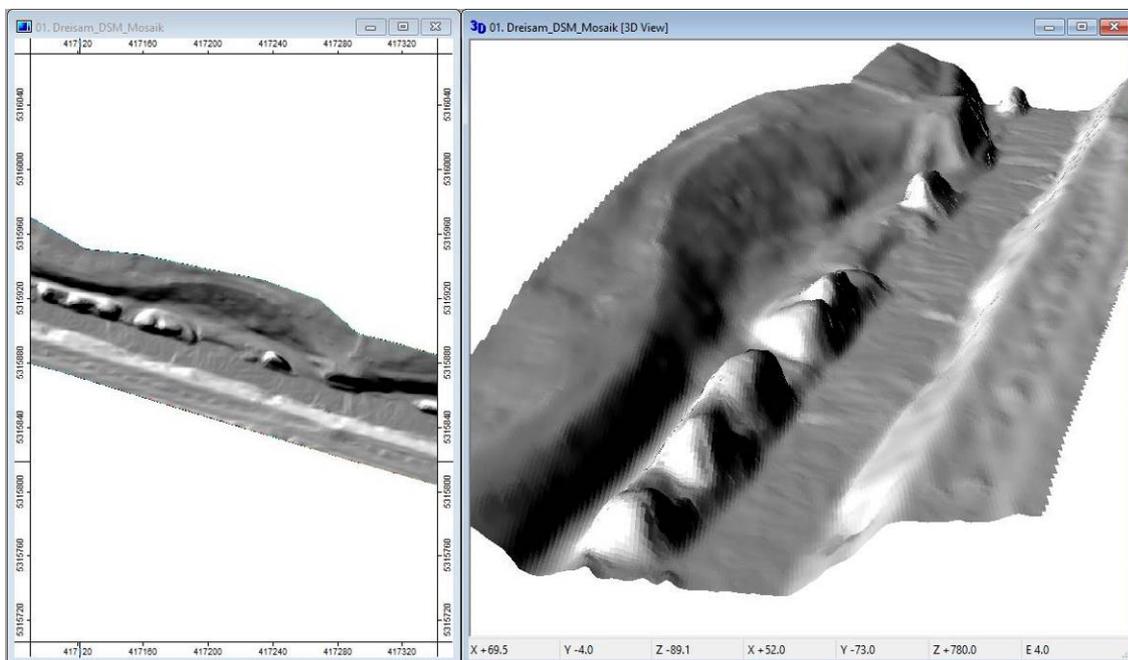
*RiCOPTER DGM, 0.5 m mit finalem Multi-Direction Lee-Filter*

Dieselben vorverarbeitenden Schritte (Punkt- zur Rasterkonvertierung der Bodenpunkte auf ein 0.5m DGM, Hillshade-Berechnung, Gauß-Filterung und Multi-Direction Lee-Filterung) wurden für die ALS Punktwolke des LGL an der Dreisam angewendet, um auch nachfolgend für diese Datengrundlage Bruchkanten ableiten zu können.

### ***Dreisam, LGL ALS-Punktwolke:***



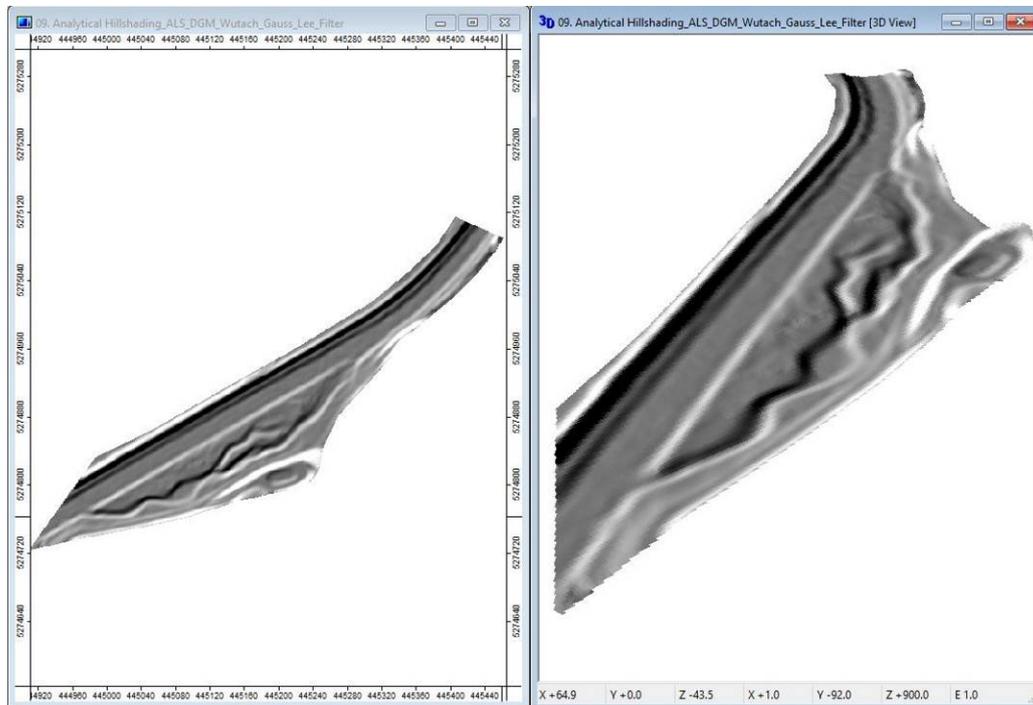
### ***ALS DGM, 0.5m Gauß-gefiltert***



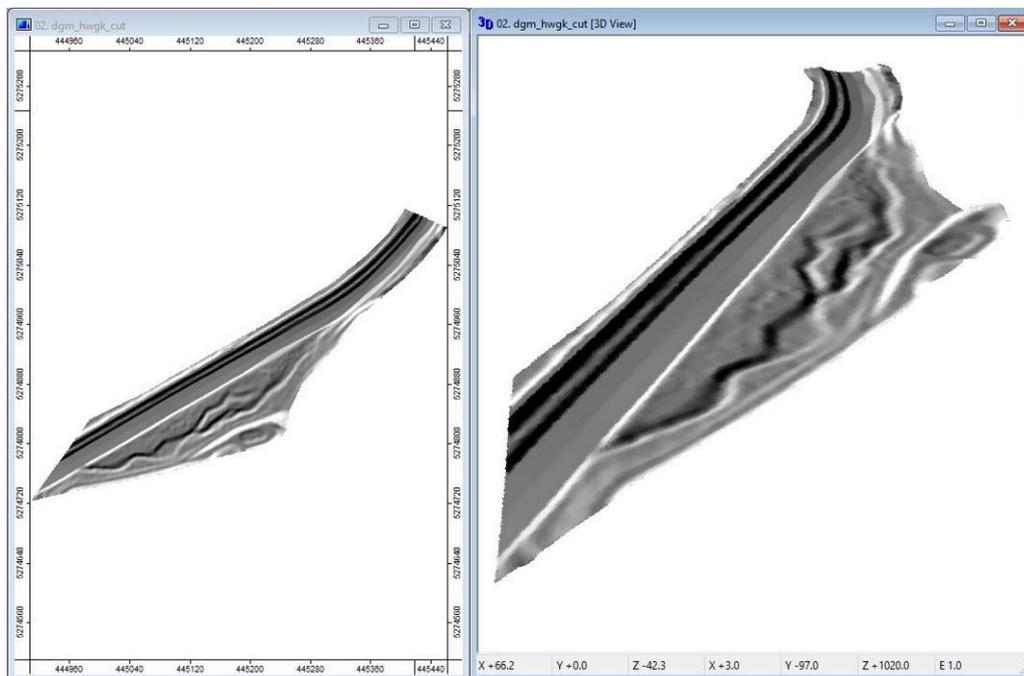
### ***ALS DGM, 0.5m mit finalem Multi-Direction Lee-Filter***

Die Vorverarbeitung des ALS DGM mit 1 Meter Auflösung an der Wutach umfasste Anwendung des Gaußfilters und des Multi-Direction Lee Filters sowie die Schummerungsgenerierung. Für das DGM HWGK konnten die vorbereitenden Schritte für die Bruchkantenableitung noch weiter simplifiziert werden. Sie umfasste lediglich die Anwendung des Multi-Direction Lee-Filters und die Ableitung eines Schummerungsmodells.

**Wutach, LGL-DGM und DGM-HYD HWGK:**



*LGL-DGM, 1m mit Gauß- und Multi-Direction Lee-Filter*



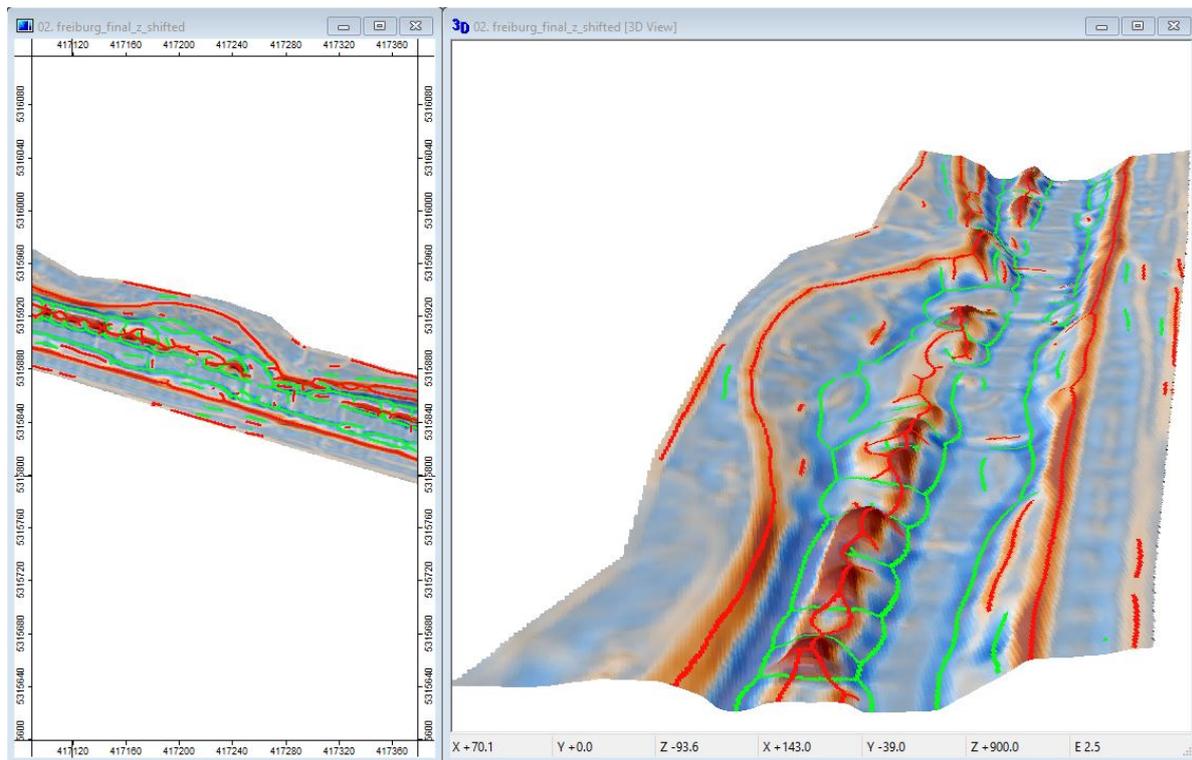
*DGM-HYD, 0.5m mit finalem Multi-Direction Lee-Filter*

## 2.2.2 automatisierte Bruchkantenableitung

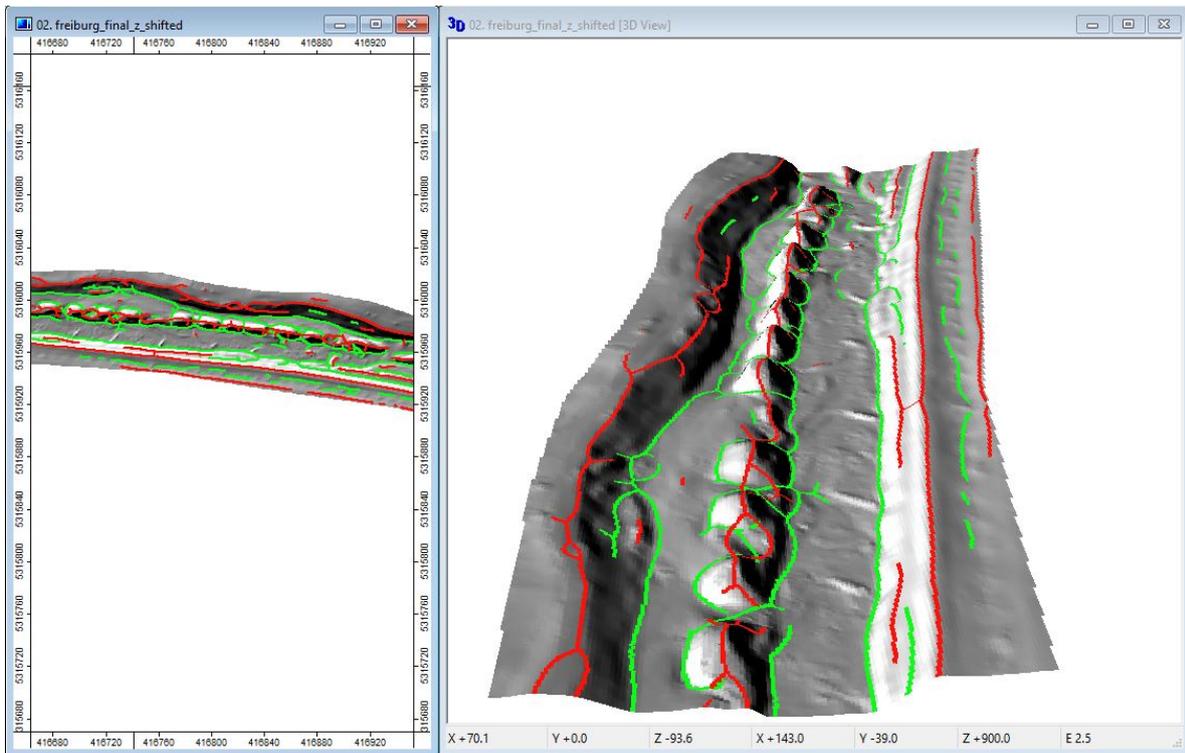
Für die vorverarbeiteten Rastergeländemodelle wurde nachfolgend eine Bruchkantenableitung mit dem Terrain Breaklines Modul in der LASERDATA LIS Software vorgenommen. Das angewandte Verfahren erlaubt deren Ableitung auf Basis von Minimum- und Maximumkurvaturen bei einem nutzerdefinierten Skalenradius. Über die Minimum-Kurvatur werden konvexe Bruchkanten abgeleitet, über die Maximum-Kurvatur die konkaven Bruchkanten. Die Ausgabe ist ein 3D-Shapefile der Bruchkanten mit einem Klassenattribut für konvex und konkav. Optional kann das 3D-Shapefile geglättet werden. Der Skalenradius bestimmt das Analysefenster bei der Kurvaturberechnung. Je breiter der Skalenradius gewählt wird, umso breiter ist das Analysefenster bei der rasterbasierten Kurvaturberechnung. Der Skalenradius wurde nach vergleichenden Testläufen bei den 0.5m aufgelösten Datensätzen auf 3m (6 Zellen) gesetzt, bei den 1m aufgelösten Datensätzen auf 2m (2 Zellen). Ein weiterer Steuerparameter ist ein nutzerdefinierter Kurvaturschwellenwert (Threshold). Je niedriger dieser gesetzt wird, desto detaillierter und feingliedriger sind die erhaltenen Bruchkanten. Der Kurvaturschwellenwert konnte für Dreisam und Wutach bei allen Datensätzen in einem sehr engen Intervall von 0.02 bis 0.04 gesetzt werden. Die Bruchkanten werden aus den über dem Schwellenwert liegenden gerasterten Kurvaturbereichen über Skeletonisierungsverfahren auf eine Zentrallinie fokussiert, vektorisiert, geglättet und mit den Höhen des Minimumgrids versehen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Bruchkantenableitungen für die Dreisam und die Wutach auf Basis der Datengrundlage drohnenbasierter DGMs, LGL-DGM und DGM-HYD.

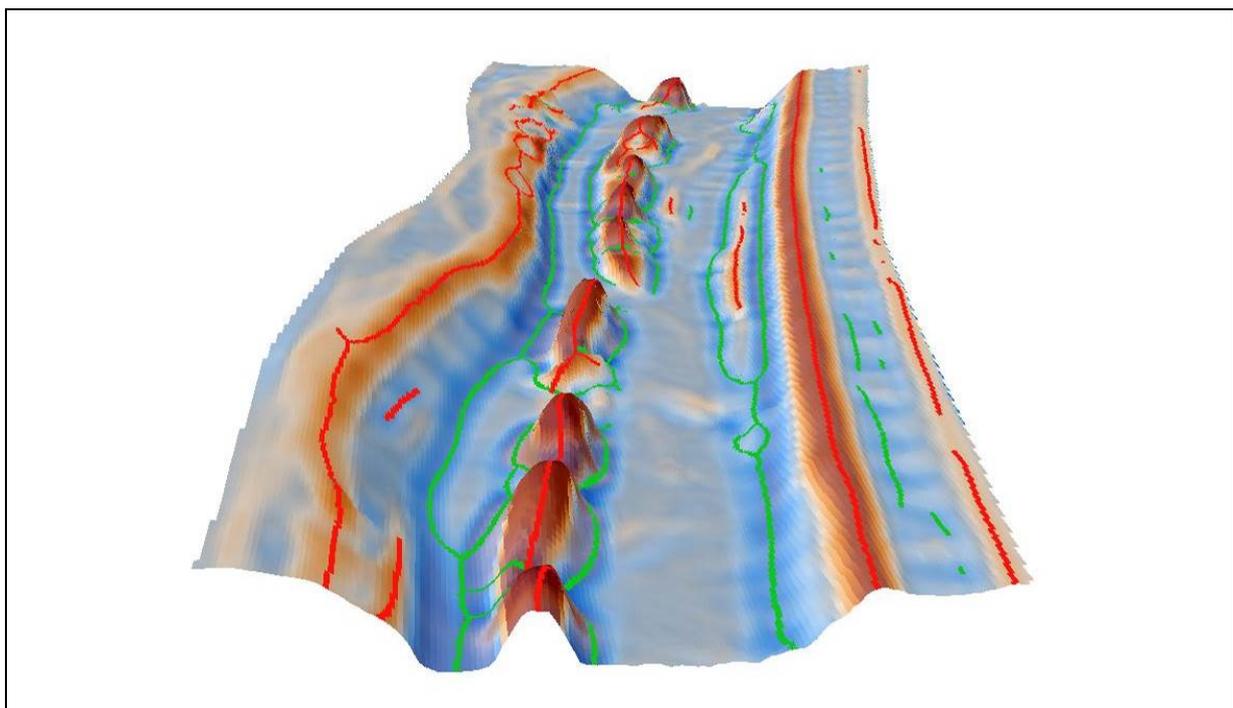
### Dreisam:



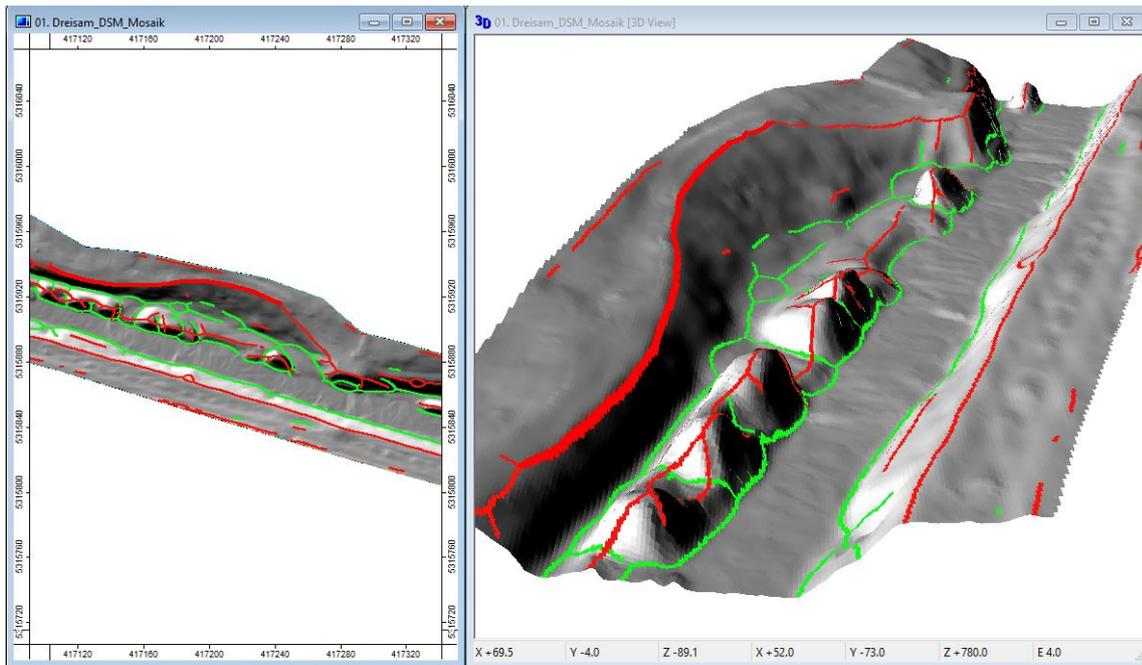
*RiCOPTER DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert mit Minimum- (braun), Maximum-Kurvaturgrid (blau)*



*RICOPTER DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert mit Hillshade*

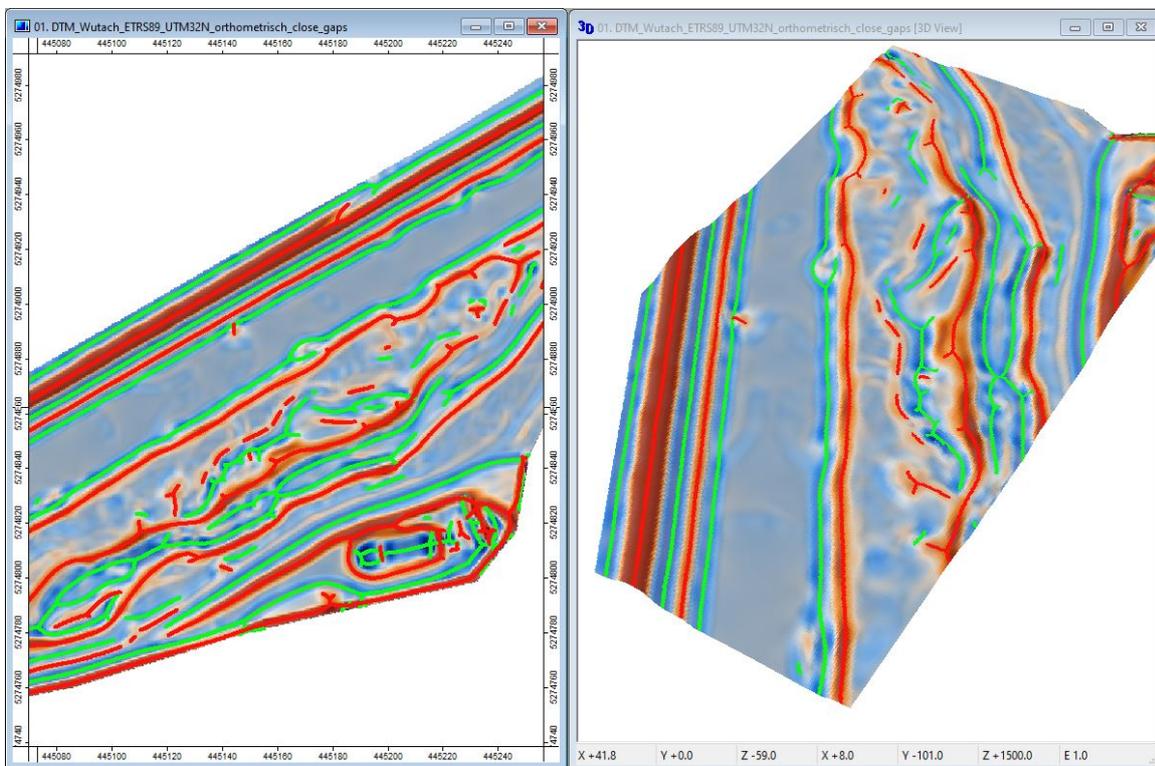


*LGL-DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert mit Minimum- (braun), Maximum-Kurvaturgrid (blau)*

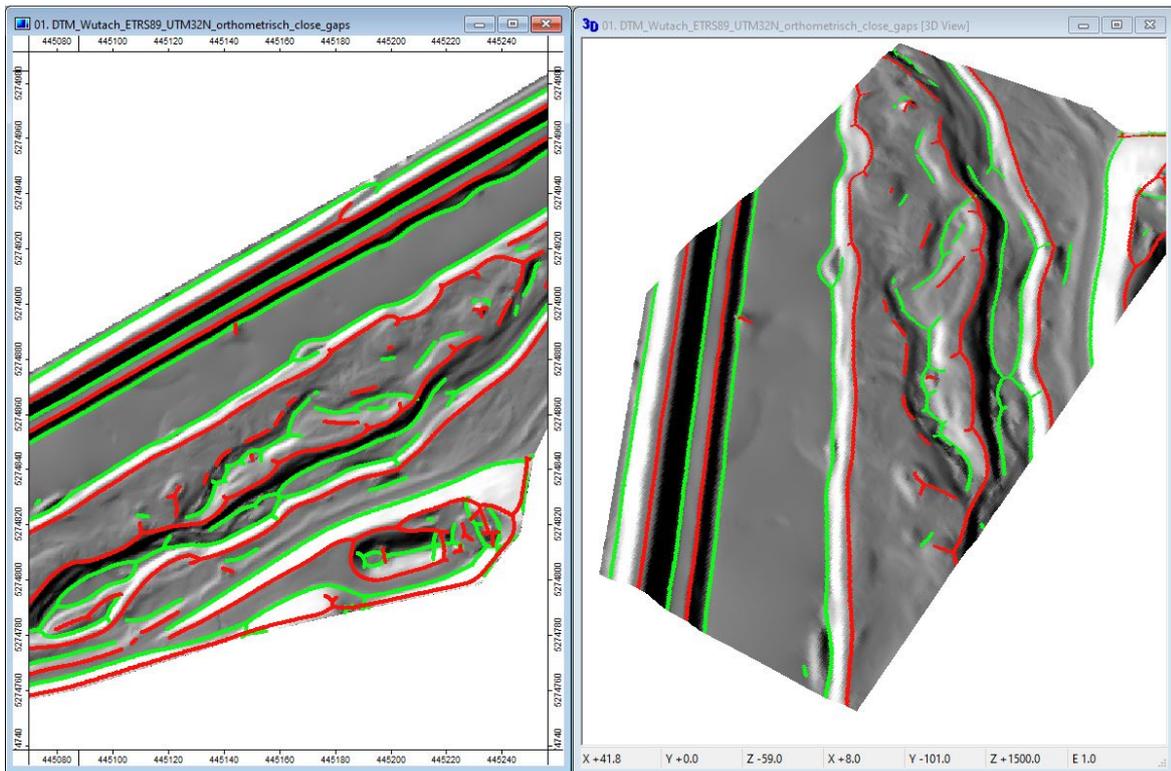


*LGL-DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert mit Hillshade*

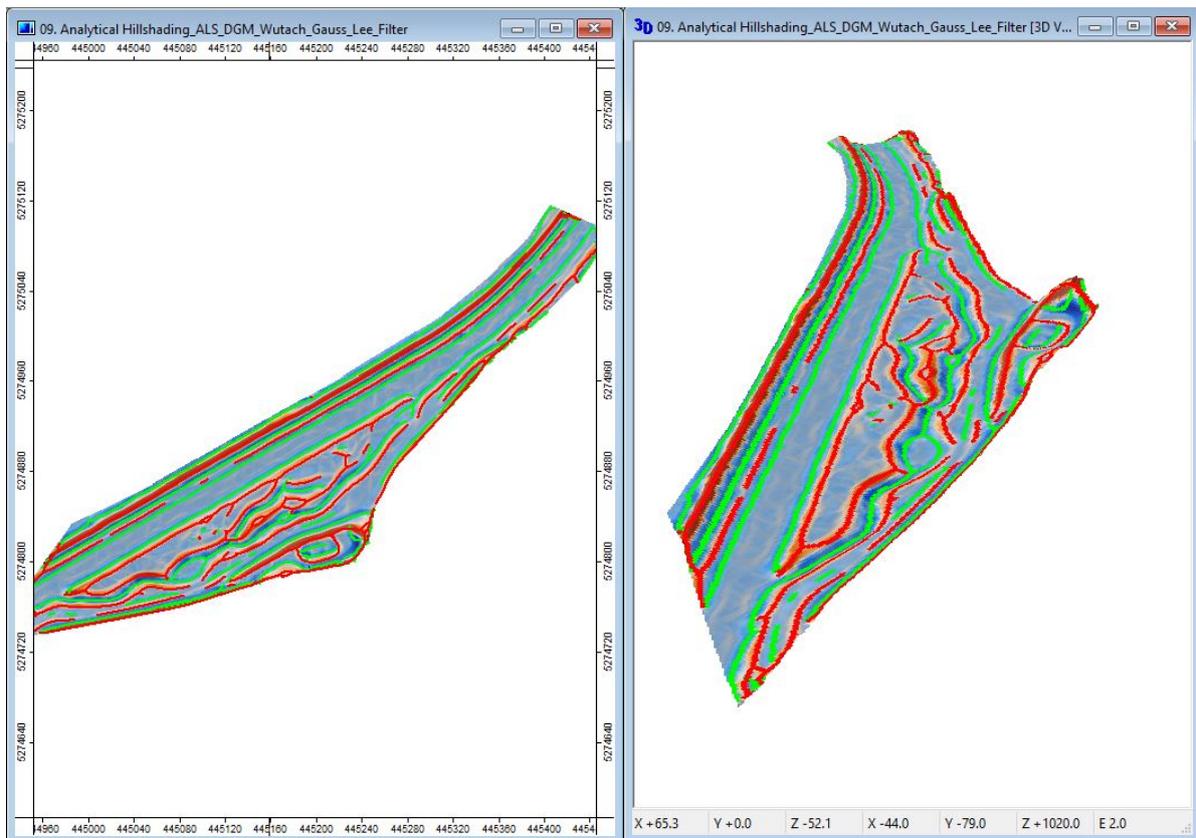
### **Wutach:**



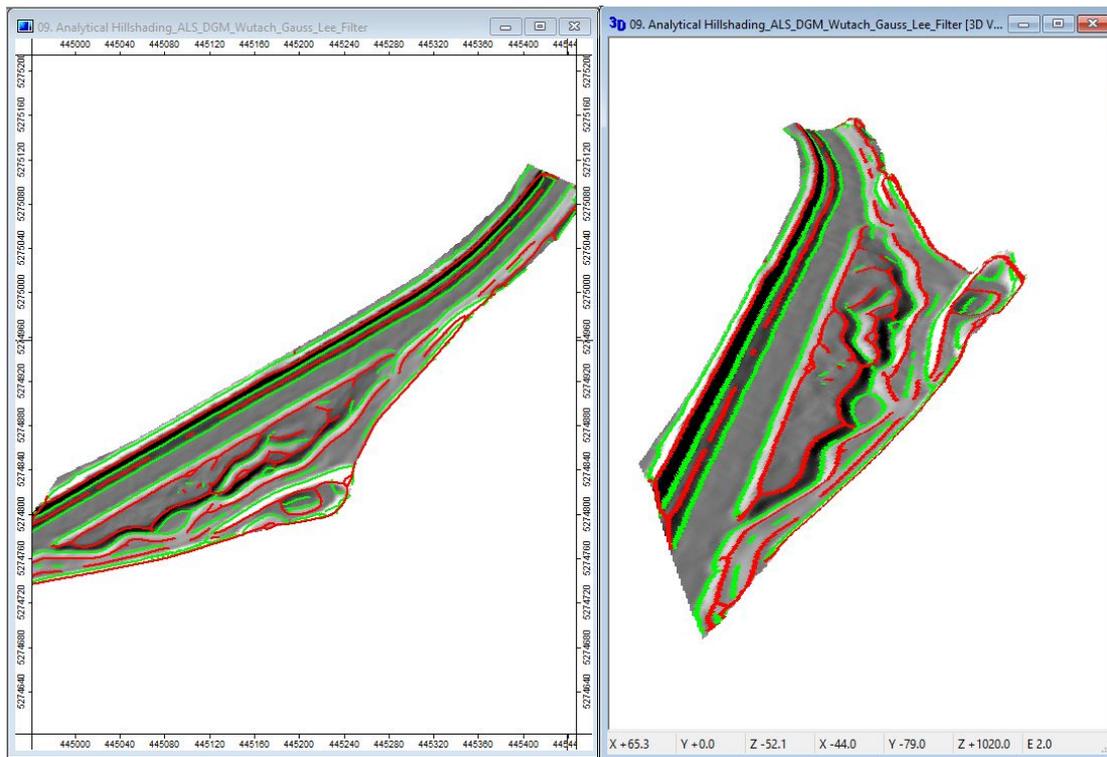
*RiCOPTER DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.04 unterlagert mit Minimum-(braun), Maximum-Kurvaturgrid (blau)*



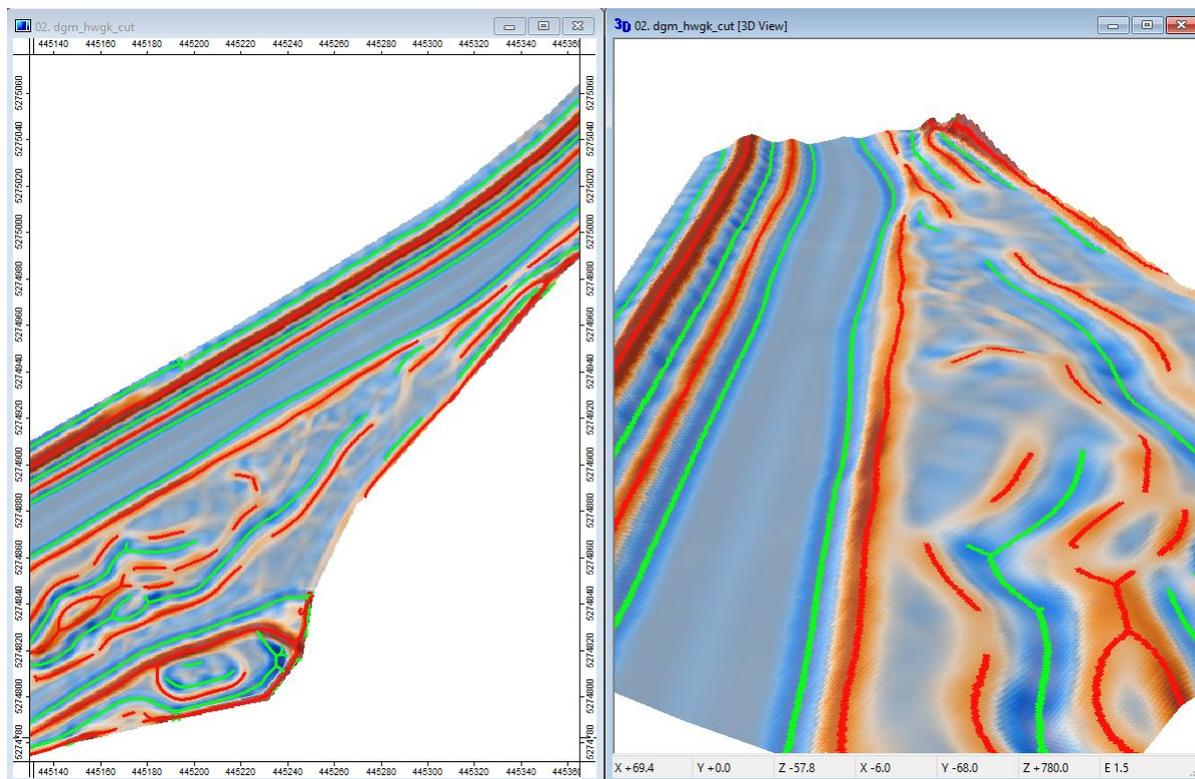
*RICOPTER DGM 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.04 unterlagert mit Hillshade*



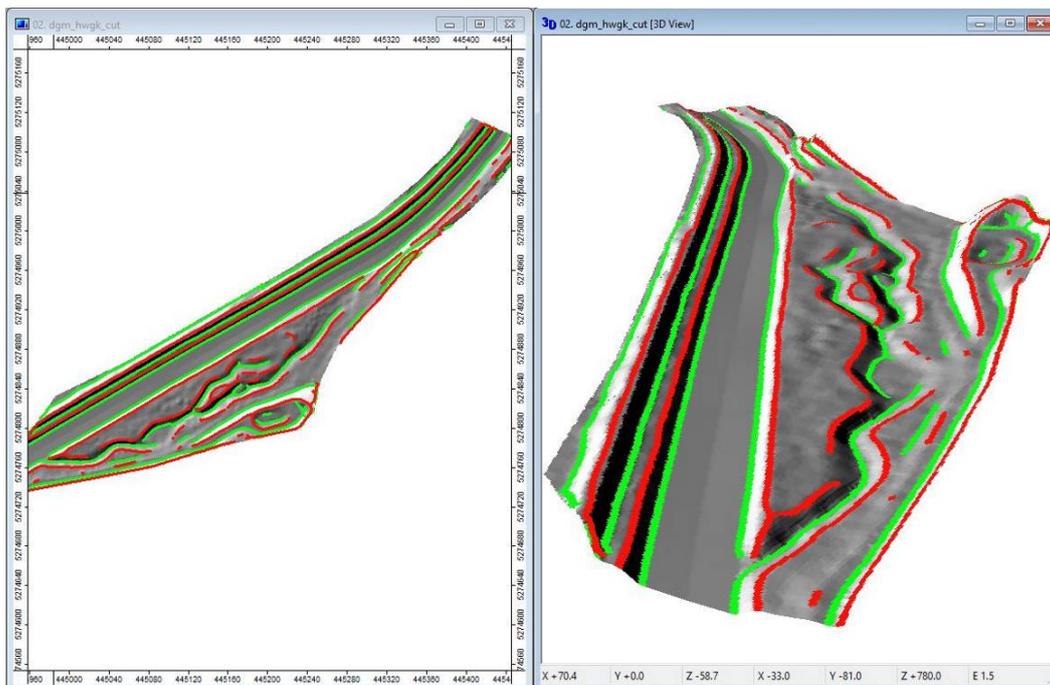
*LGL-DGM 1m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 2 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert mit Minimum-(braun), Maximum-Kurvaturgrid (blau)*



*LGL-DGM 1m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius: 2 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.02 unterlagert Hillshade*



*DGM-HYD 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.04 unterlagert mit Minimum-(braun), Maximum-Kurvaturgrid (blau)*

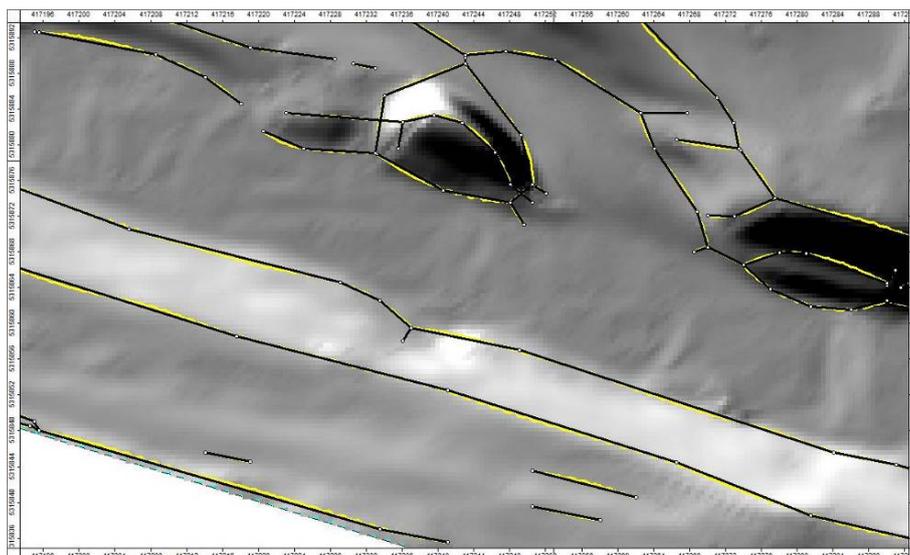


DGM-HYD 0.5m: Bruchkanten (rot: konvex, grün: konkav) bei Scale Radius 6 Zellen, Kurvatur-Threshold: 0.04 unterlagert mit Hillshade

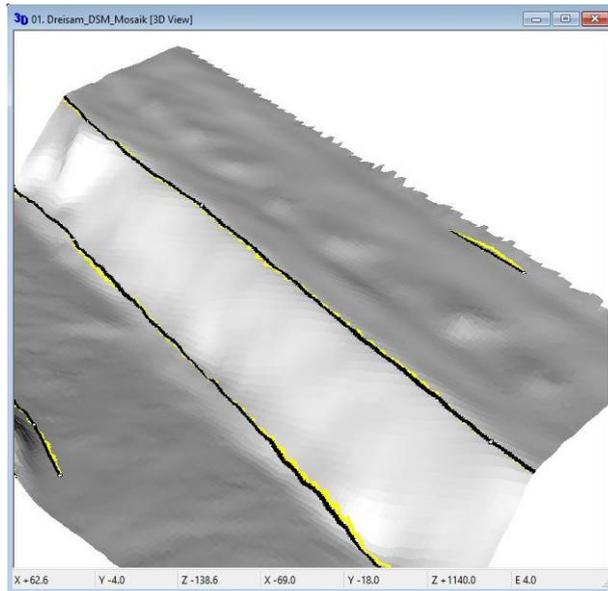
### 2.2.3 Generalisierung der Bruchkanten

Eine Generalisierung der Linienzüge wurde über ein in der SAGA-GIS-Software verfügbares Tool zur „Line-Simplification“ durchgeführt. Dieses Tool bietet über den Parameter „Tolerance“ die Möglichkeit, eine maximale Abweichung in metrischen Maßen zwischen dem originalen und simplifizierten Bruchkantenverlauf zu definieren. Für die abgeleiteten Bruchkanten wurde der Toleranz-Wert auf 0.5 Meter gesetzt. Die folgenden Abbildungen zeigen für die Bruchkanten an Dreisam und Wutach die Original-Lage und den simplifizierten Bruchkantenverlauf. Durch die Simplifizierung konnte der Speicherplatzbedarf der 3D-Shapefiles in den Untersuchungsgebieten von durchschnittlich etwas mehr als einem Megabyte um mehr als ein Zehntel und einige Zehner Kilobyte reduziert werden.

#### Dreisam:

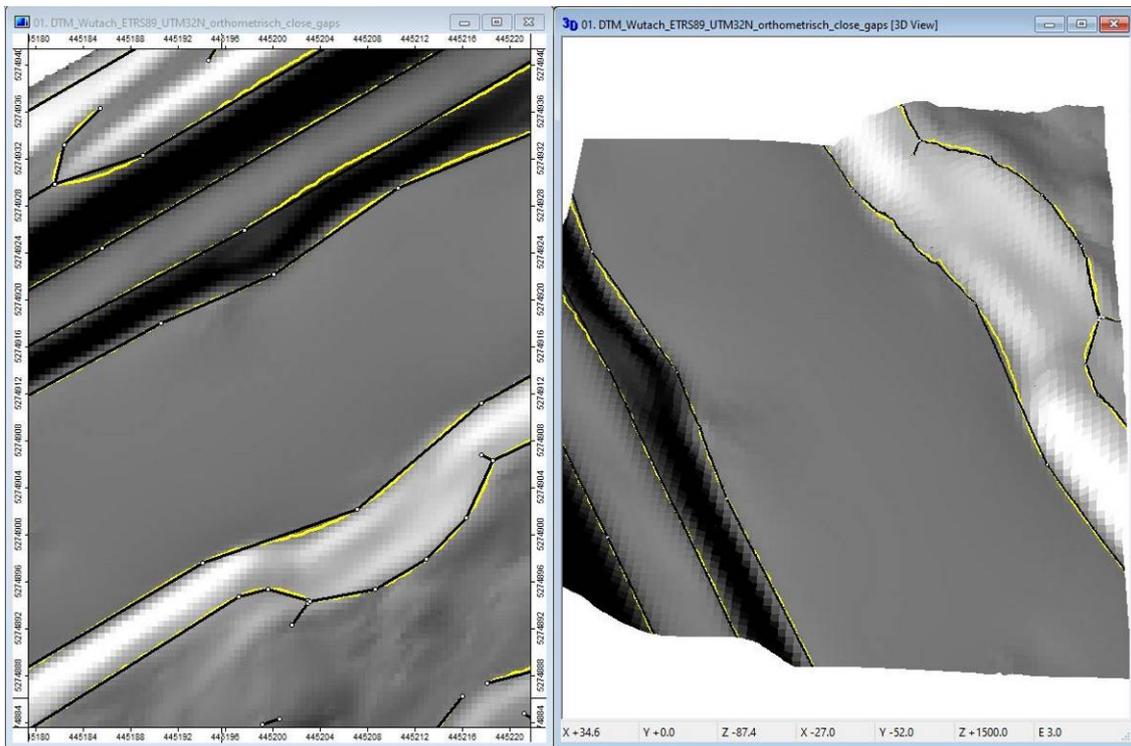


Bruchkanten simplifiziert (schwarz) und original (gelb) auf Basis des LGL-DGM im Map View

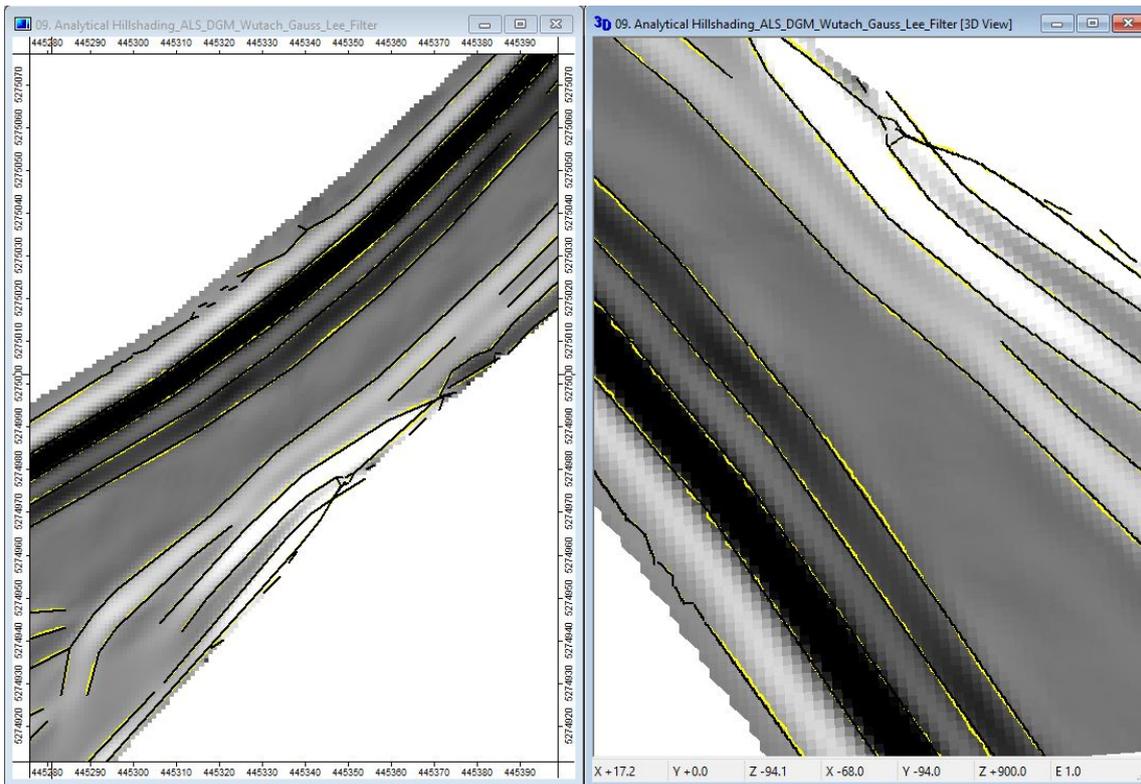


*Bruchkanten simplifiziert (schwarz) und original (gelb) auf Basis des LGL-DGM im 3D Rasterviewer*

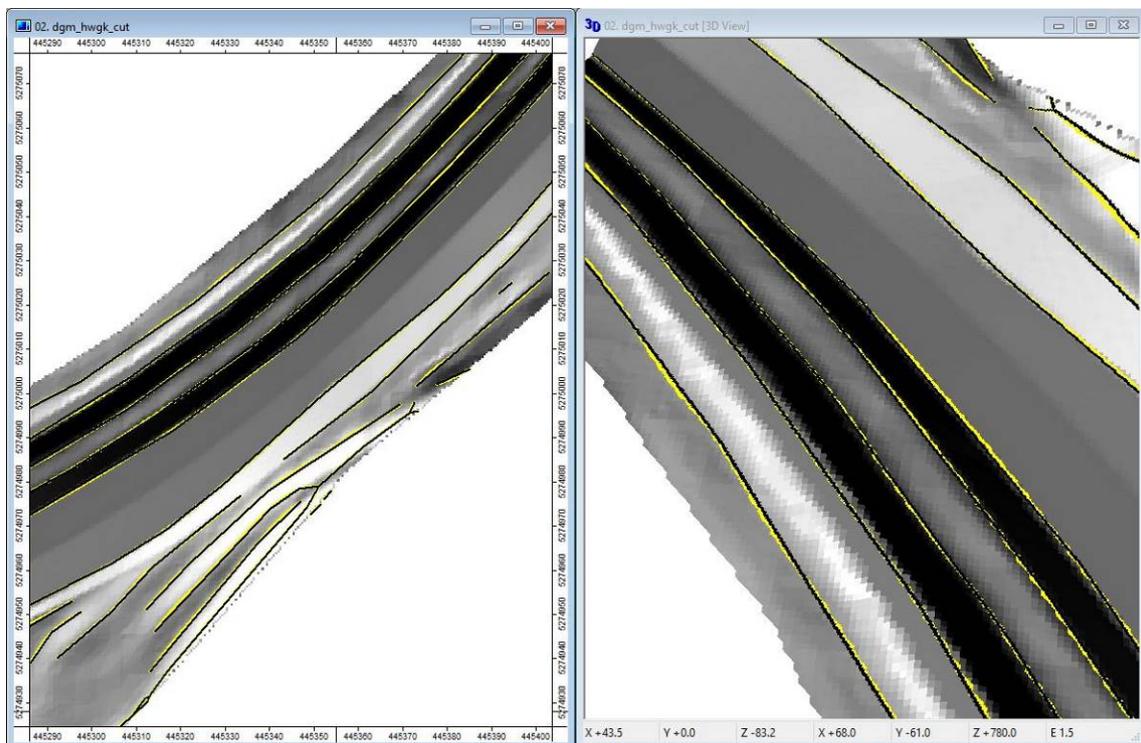
**Wutach:**



*Bruchkanten simplifiziert (schwarz) und original (gelb) auf Basis des RiCOPTER DGM im Map View und im 3D Rasterviewer*



*Bruchkanten simplifiziert (schwarz) und original (gelb) auf Basis des LGL-DGM im Map View und im 3D Rasterviewer*



*Bruchkanten simplifiziert (schwarz) und original (gelb) auf Basis des DGM-HYD im Map View und im 3D Rasterviewer*

## 2.2.4 Fazit der Bruchkatenerstellung

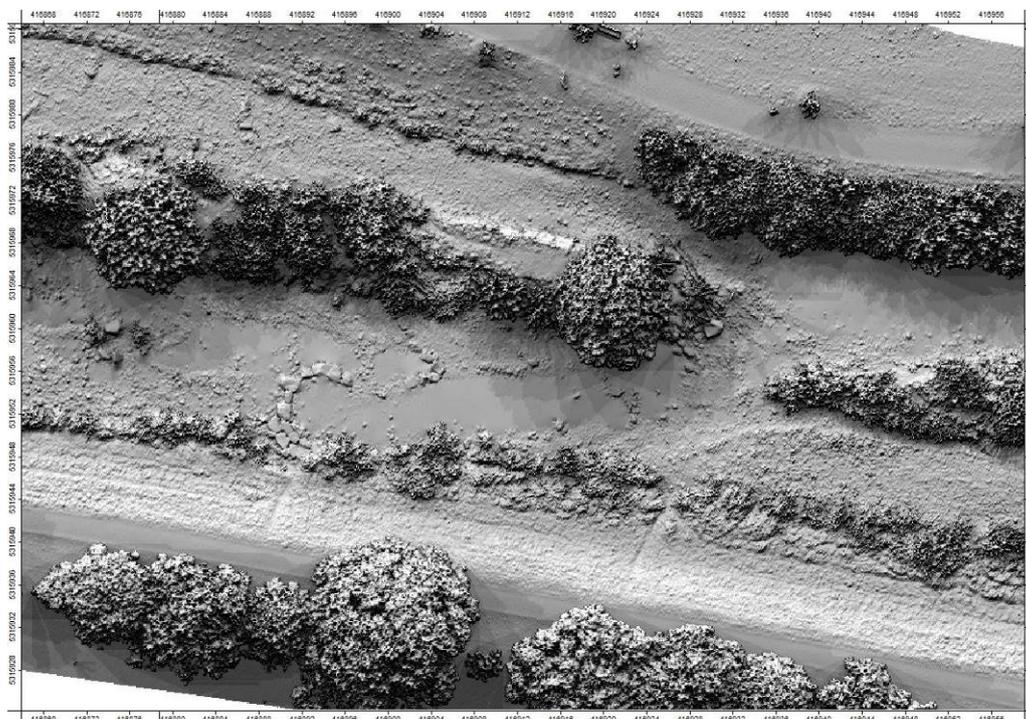
Eine vollautomatische Generierung je eines durchgängigen Linienzuges für wasser- und landseitige Böschungsober- und Böschungsunterkanten ist nach Einschätzung des Auftragnehmers nicht möglich, da die Neigungen am Dammkörper zum Gewässer hin aufgrund der flussbaulichen Maßnahmen sehr heterogen sind. Weiter sind Gesteinsblöcke und Inseln am Gewässerverlauf vorzufinden, die einem idealisierten Linienverlauf im Wege stehen. Der Vorteil des aufgezeigten Verfahrens ist eine auf Basis von objektiven Kriterien bestimmbare, vollautomatisierte Ableitung von Bruchkantenabschnitten. Je weiter der Eingangsdatensatz aufbereitet ist, um so längere zusammenhängende Abschnitte können vom Algorithmus gebildet werden. Auf dem DGM-HYD können deshalb für die Böschungskanten (nahezu) geschlossenen Linienzüge gebildet werden.

## 2.3 Ableitung von Geodatensätzen zum Bewuchs

### 2.3.1 Vorverarbeitende Schritte

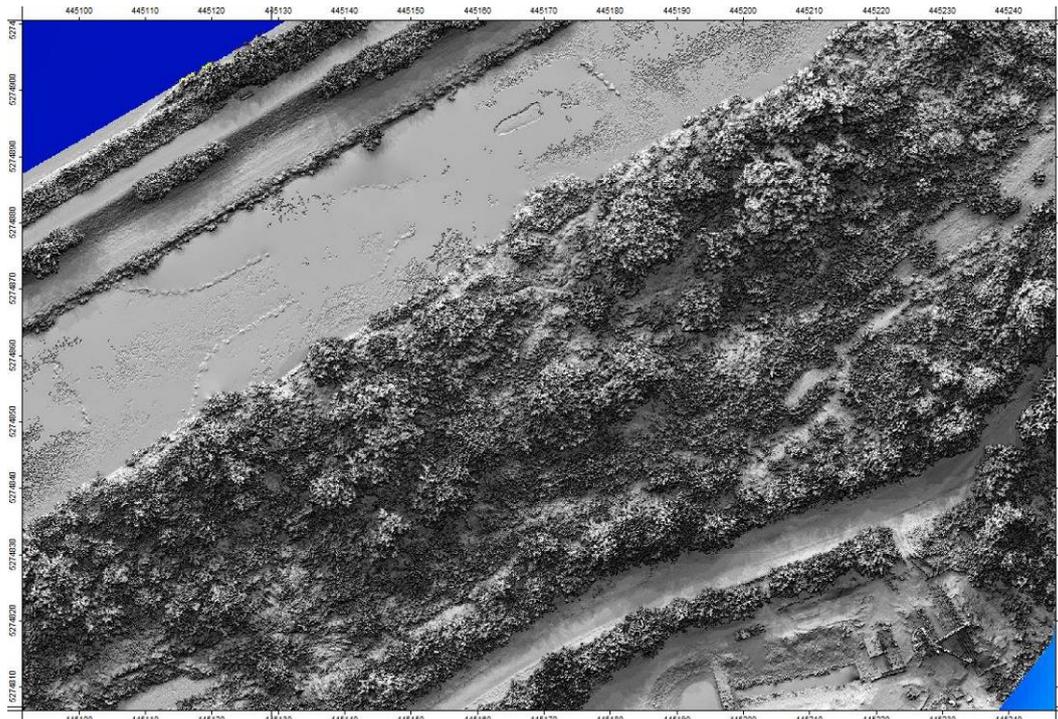
Für die Ableitung von Vegetationslayern wurde für jeden Datensatz ein digitales Oberflächenmodell (DOM) aus der Punktwolke über die Rasterisierung des höchsten Punktes pro Gridzelle aggregiert. Im Falle der drohnenbasiert erfassten Laserdaten wurden die NoData-Bereiche (vornehmlich Wasserflächen) mit den Informationen der oben beschriebenen digitalen Rastergeländemodelle gefüllt. Dies erfolgte über das SAGA-Tool "Grid Calculator" mit der Bedingung  $\text{ifelse}(\text{eq}(g1, \text{nodata}()), g2, g1)$ , wobei  $g1$  das DOM und  $g2$  das DGM definieren. Für die entstandenen Oberflächenmodelle wurden Schummerungsmodelle mit der Berechnungsoption Ambient Occlusion für einen optimierten Schatteneffekt berechnet.

### Dreisam:



*Hillshade (Methode Ambient Occlusion) des drohnenbasierten digitalen Oberflächenmodells*

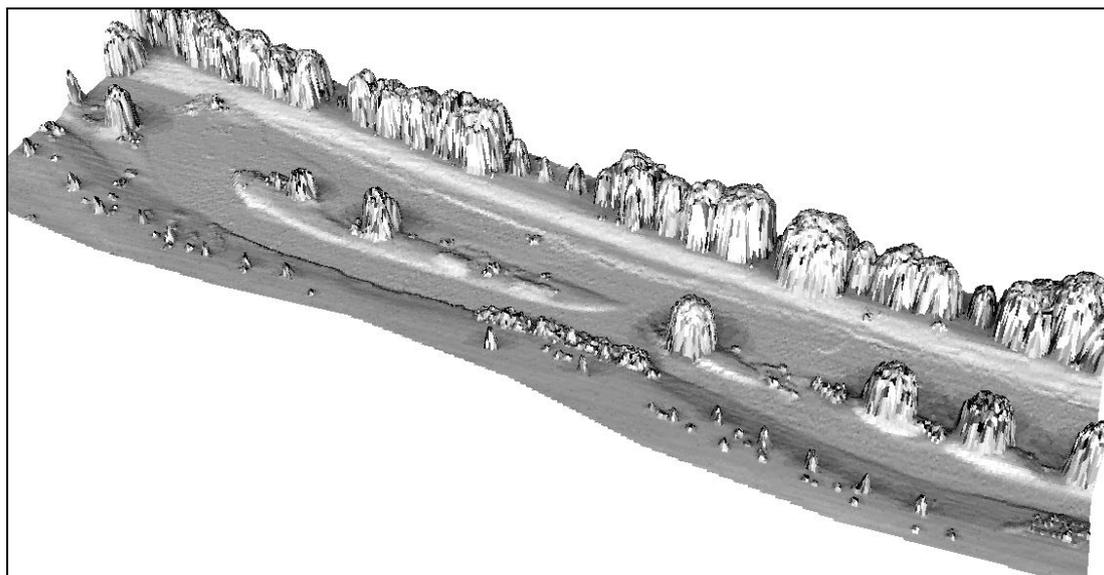
## Wutach:



*Hillshade (Methode Ambient Occlusion) des drohnenbasierten digitalen Oberflächenmodells*

Auch aus den ALS-Daten der Landesvermessung wurde aus der Punktwolke ein digitales Oberflächenmodell über die Aggregierungsmethode Maximum pro Gridzelle erzeugt. Die Gridzellenweite betrug aufgrund der geringeren Punktdichte 0.5m im Gegensatz zu den 10cm Oberflächenmodellen der drohnenbasierten Datensätze. Wenige NoData-Bereiche wurden über die Routine Close Gaps geschlossen.

## Dreisam:



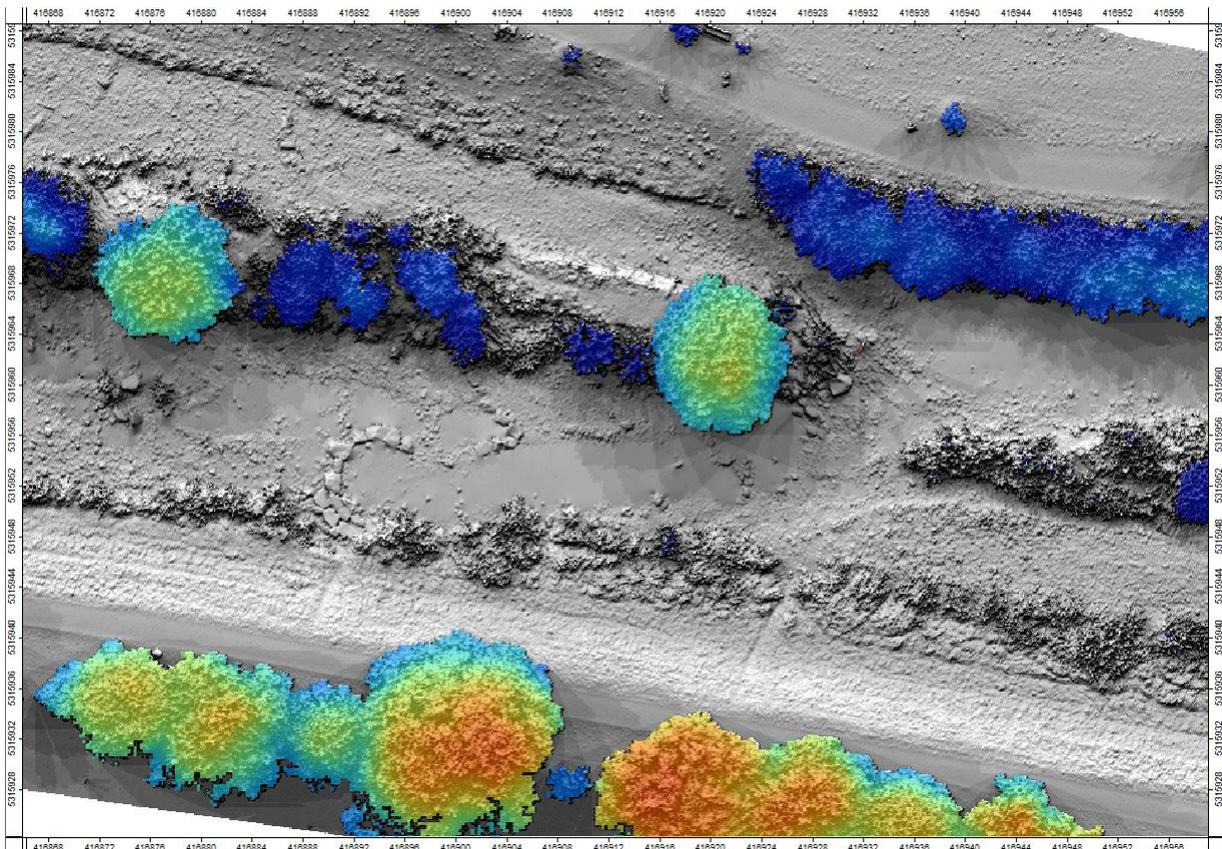
*Hillshade (Methode Ambient Occlusion) des digitalen Oberflächenmodells aus Airborne Laserscanning Daten (3D Rasterviewer mit Blickrichtung nach Süden)*

Für Dreisam und Wutach lagen nun für die unterschiedlichen Datengrundlagen (siehe Aufstellung zu Beginn des Berichts) jeweils digitale Oberflächen- und Geländemodelle (hier kamen die nicht für die Bruchkanten optimierten Original-DGMs zum Einsatz) vor. Aus den jeweiligen Datenpaaren wurde über Subtraktion des DGM vom DOM ein normalisiertes Oberflächenmodell berechnet, in welchem nur noch die Objekthöhen (im Wesentlichen der Vegetation), enthalten sind.

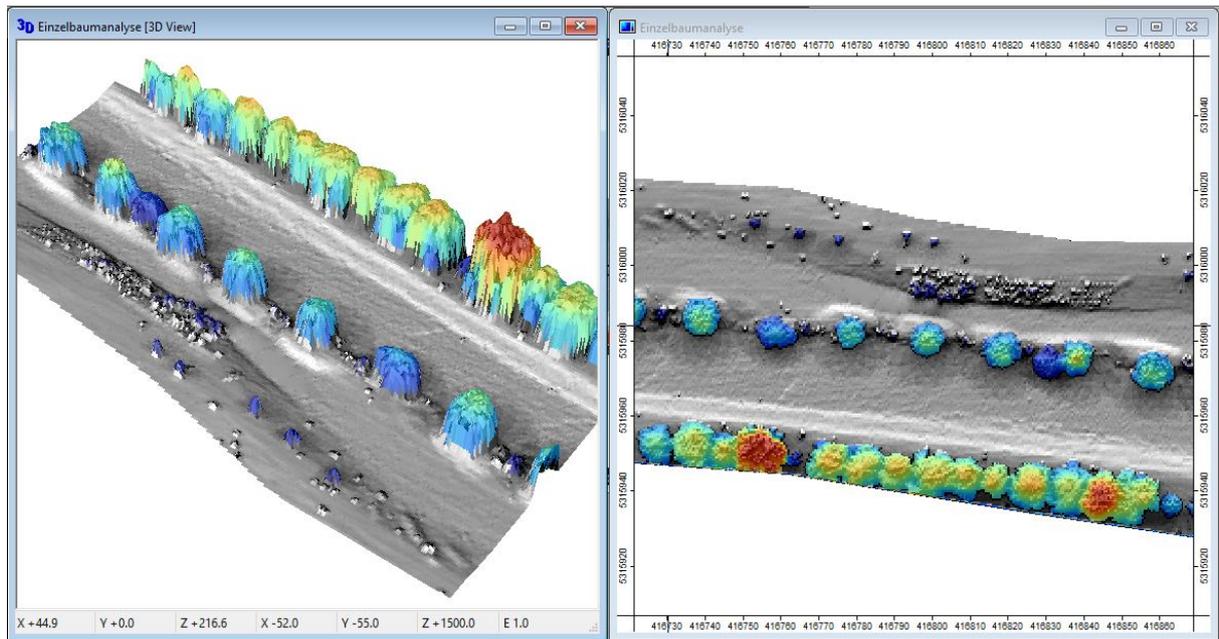
Für die Ableitung von Einzelbäumen empfiehlt es sich, die Auflösung der drohnenbasierten normalisierten Oberflächenmodelle durch ein bilineares Resampling auf 25cm zu reduzieren, um insbesondere bei Laubbäumen nicht zu viele Details (einzelne Äste) zu analysieren, die eine Überschätzung der Einzelbaumanzahl führen.

Aus allen normalisierten Oberflächenmodellen wurde ein Subset gezogen über eine Höhengrenzwert von 2 Metern, um Buschwerk nicht in die Einzelbaumableitung zu integrieren. In den entstandenen Datensätzen, den sogenannten Kronenoberflächenmodellen wurden zusammenhängende Lückenflächen bis zu 10 Gridzellen automatisiert befüllt, um geschlossene Kronenoberflächen für eine saubere Einzelbaumableitung zu erzeugen. Interaktiv wurden Reststörobjekte wie Brücken und Schuppen entfernt. Abschließend wurde ein Gauß-Filter auf das Kronenoberflächenmodell appliziert, um glatte Kronenkuppen zu erhalten, die für eine nachfolgende Bestimmung von lokalen Maxima pro Baum von Vorteil sind.

### **Dreisam:**

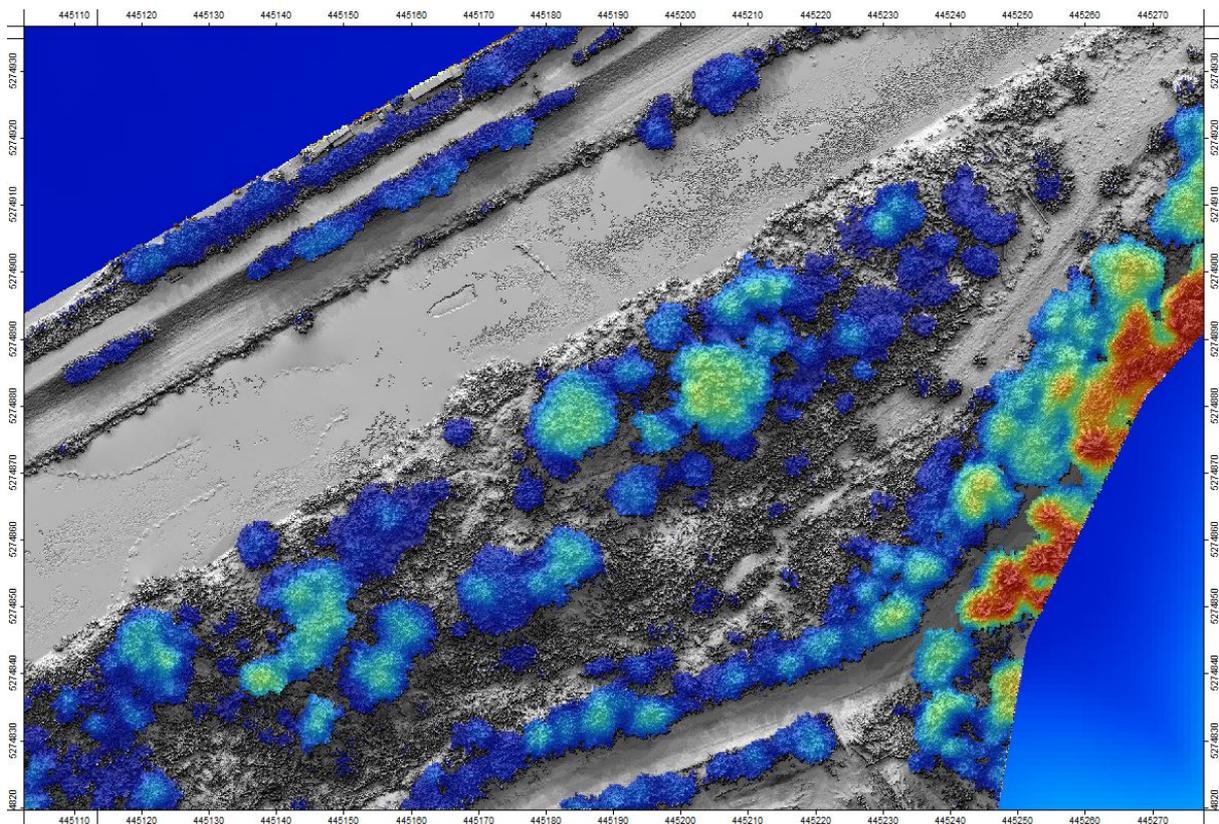


*Kronenhöhenmodell größer 2m eingefärbt nach Baumhöhe, semitransparent der Schummerung des Oberflächenmodells überlagert (Drohrendatensatz)*



*Kronenhöhenmodell größer 2m eingefärbt nach Baumhöhe, semitransparent der Schummerung des Oberflächenmodells überlagert (ALS-Datensatz), 3D-View und Map View*

**Wutach:**

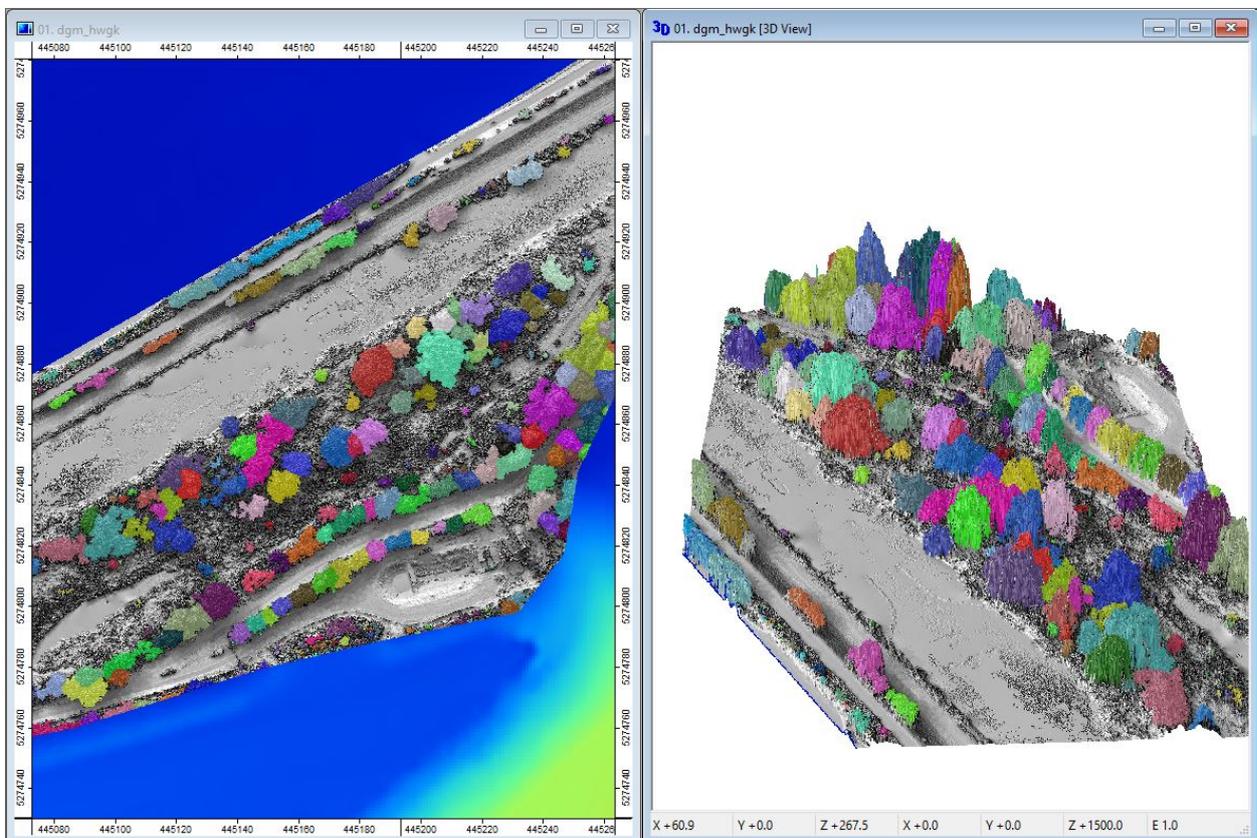


*Kronenhöhenmodell größer 2m eingefärbt nach Baumhöhe, semitransparent der Schummerung des Oberflächenmodells überlagert (Drohnendatensatz)*

### 2.3.2 Einzelbaumableitung

Die Ableitung der Einzelbäume erfolgte auf Basis der aufbereiteten Kronenhöhenmodelle an Dreisam und Wutach über Tools des LIS Forestry Software Packages von Laserdata. Die Kronenoberfläche wird dabei über das Tool "Single Tree Derivation" segmentiert um Einzelbäume und Baumpositionen zu erhalten. Als weitere optionale Einstellungen des Tools wurde es erlaubt, Baumpositionen als lokale Maxima auch an Randpixeln der berechneten Segmente zu positionieren. Dies war nötig, um insbesondere kleinere, schlanke Bäume zu erfassen. Zudem wurde eine Differenz von 0.75m zwischen lokalen Maxima und lokalen Minima definiert, um bei großen Laubbäumen eine Übersegmentierung durch einzelne Kronenkuppen zu verhindern. Das Prinzip der Einzelbaumsegmentierung basiert auf einer inversen Einzugsgebietsbestimmung des Kronenhöhenmodells, welche lokale Maxima (Baumpositionen) und lokale Minima (vor dem Anstieg zur nächsten Baumkrone) erkennt. Die erzeugten Segmente erhalten eine ID und können im GIS zufallseingefärbt zur Visualisierung der Einzelabgrenzungen dargestellt werden.

#### Wutach:

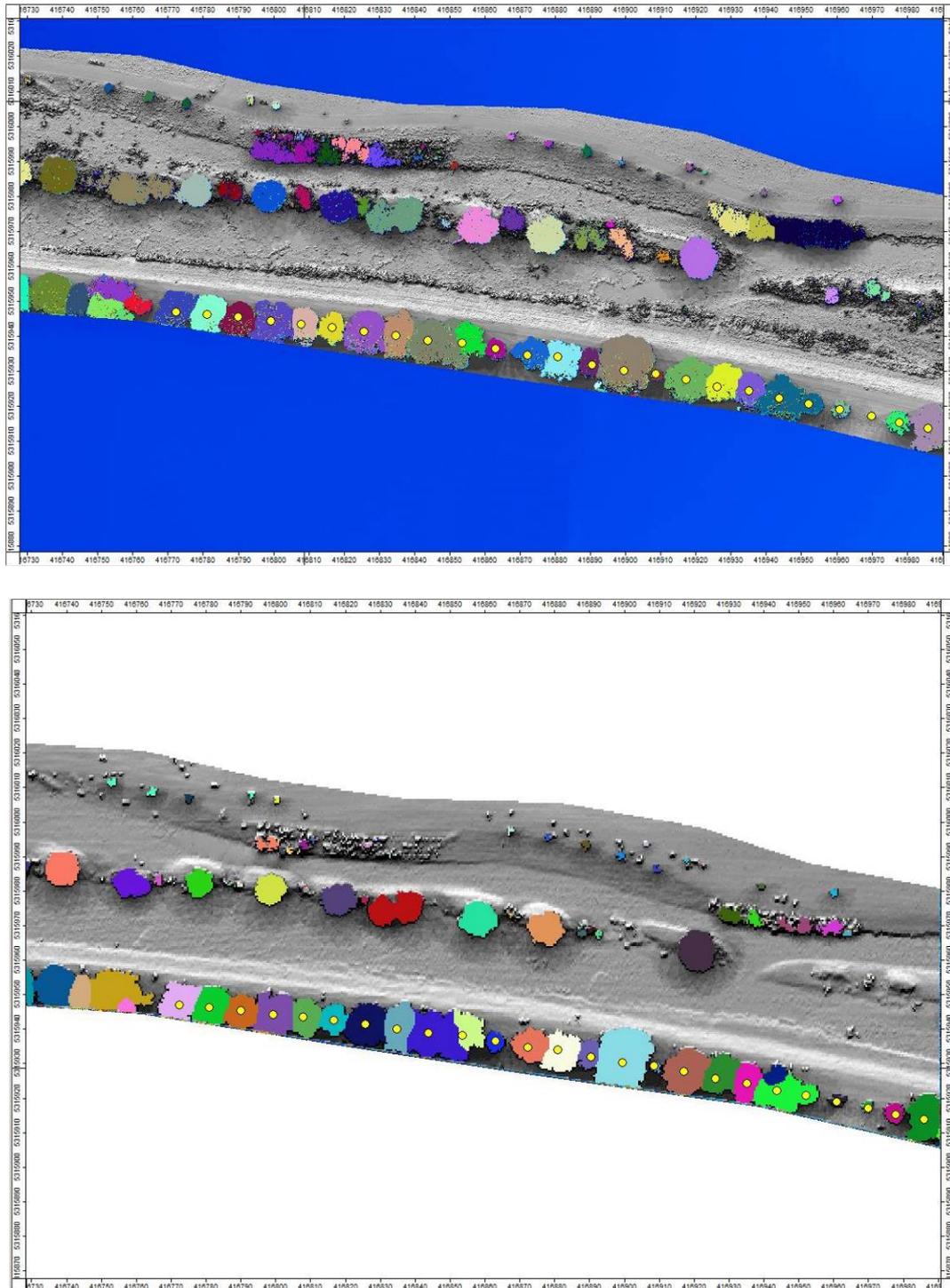


*Einzelbaumsegmente zufallseingefärbt auf Basis des Drohnen Datensatzes*

Zu Kontrollzwecken wurde für die Dreisam vom Auftraggeber ein Baumkataster der Stadt Freiburg übergeben, welcher die Bäume im Untersuchungsgebiet auf Basis einer Luftbildauswertung als Punktinformation wiedergibt. Beim Vergleich mit den Segmentierungsergebnissen konnte eine sehr hohe Übereinstimmung festgestellt werden. Nur vereinzelt tritt das Phänomen einer Untersegmentierung auf, wenn die Abgrenzung von Bäumen gegeneinander mit der Differenz von 0.75m zwischen lokalem Maximum und Minimum wegen zu geringen Höhenunterschieden nicht möglich ist. Auch ein Vergleich der Segmentierungsergebnisse auf Basis der Drohnen- und ALS-Daten zeigte plausible

Ergebnisse. So wies der drohnenbasierte Datensatz 264 Bäume aus, der ALS-Datensatz 221 Bäume. Die Ursache hierfür liegt in dem höheren Wuchs und der ausgeprägten Belaubung insbesondere der niedrigen erkannten Bäume im Drohnenbasierten Datensatz, welcher auch jüngeren Datums ist.

### Dreisam:



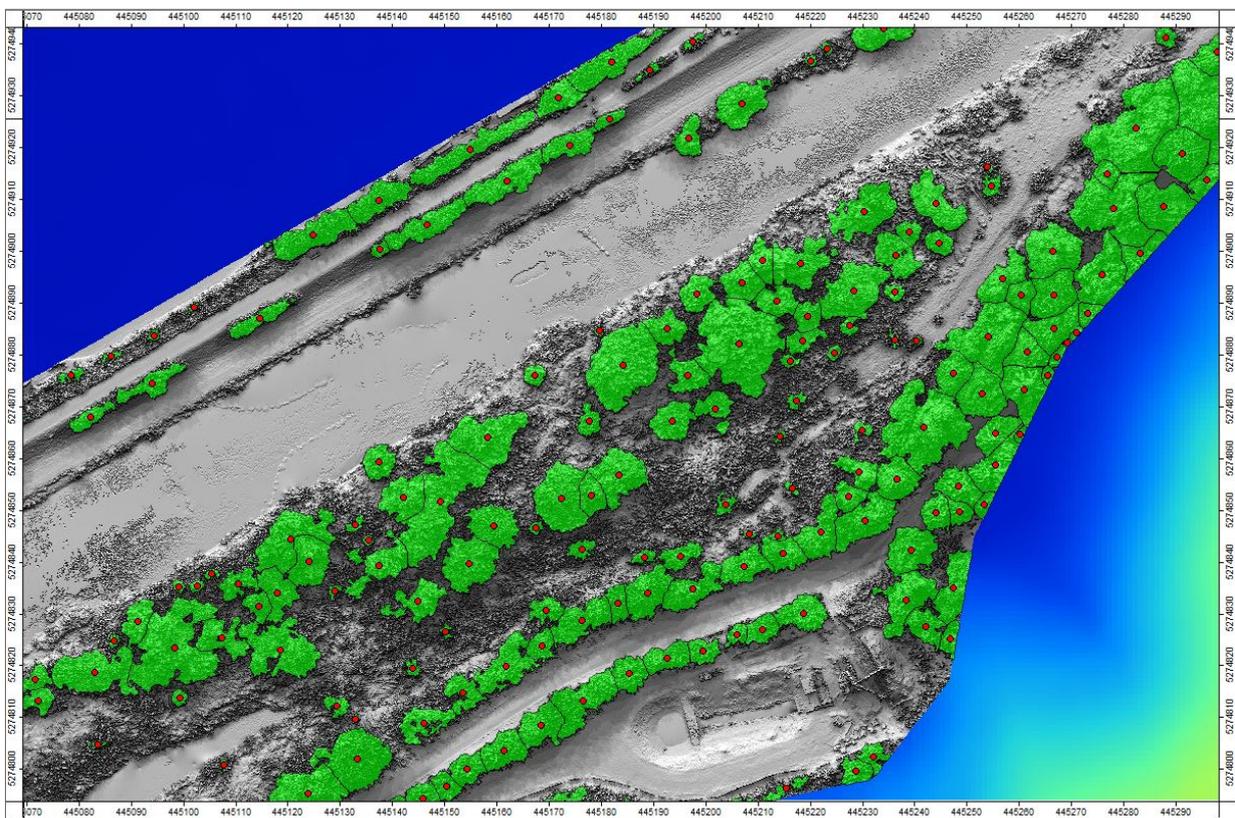
*Einzelbaumsegmente zufallseingefärbt auf Basis des Drohnenbasierten Datensatzes (oben) und des ALS-Datensatzes (unten) mit Überlagerung eines vom Auftraggeber übergebenen Baumkatasters (gelbe Punkte) zu Kontrollzwecken*

Nachfolgend wurde das Tool "Tree Shape Metrics" aus Laserdata's LIS Forestry Software-Package auf die jeweils entstandenen Segmentierungsergebnisse angewendet. Das Tool berechnet pro Segment wichtige Attribute wie

- Baumposition,
- Baumhöhe,
- Kronenfläche,
- mittlerer Kronenradius und -durchmesser,
- maximalen Kronendurchmesser,
- sowie einen Kronenformindex als Quotienten aus Radius/maximaler Kronendurchmesser, um zu lange Vegetationskomplexe (z.B. Gartenhecken) herausfiltern zu können.

Weiters wurden auch die Zentroiden als Schwerpunkte der Rasterkronensegmente im Format Punkt-Shapefile und die Segmentgrenzen der Einzelbäume als geglättete Polygon-Shapefiles ausgegeben. Als Mindestfläche für einen Einzelbaum wurden 2m<sup>2</sup> definiert, um Störobjekte wie Lichtmasten zu eliminieren. Alle Attribute sind in Tabellenform den Zentroiden und Polygon-Datensätzen angeheftet.

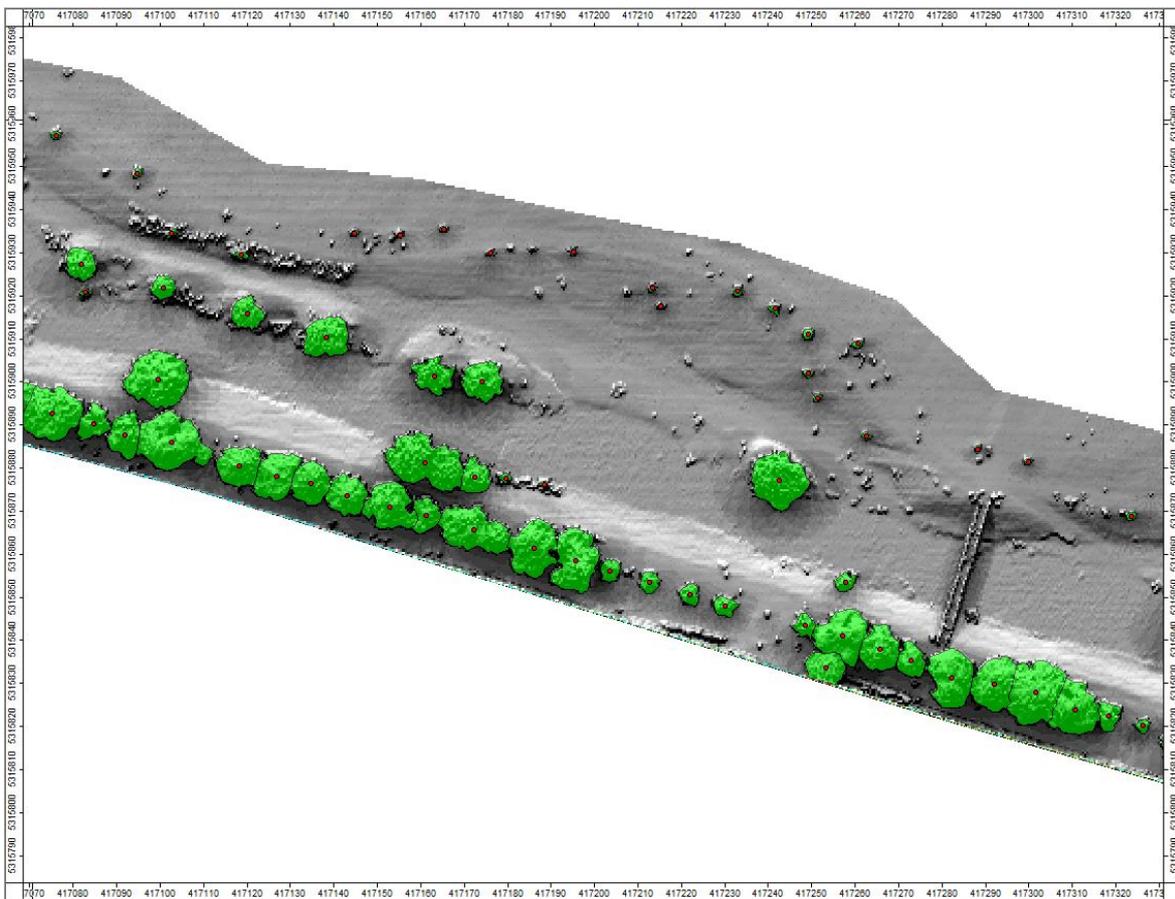
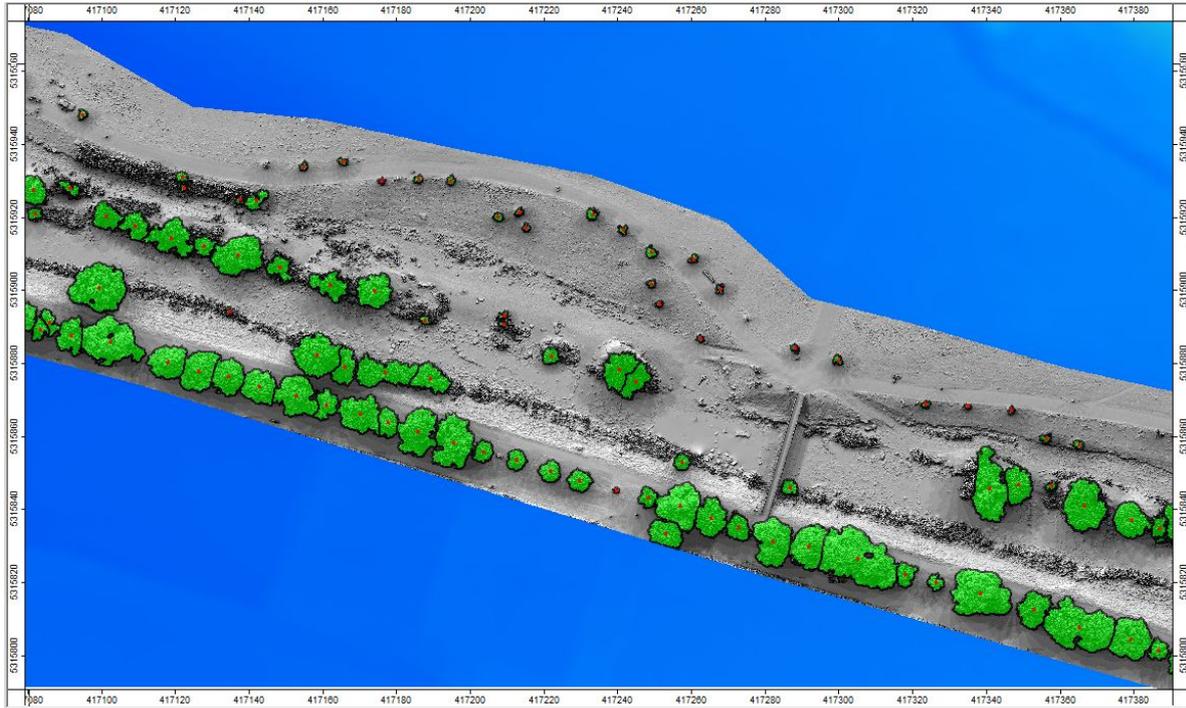
**Wutach:**



	ID	X [m]	Y [m]	Height [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Radius [m]	Diameter [m]	Max_Dist [m]	Shape_Ratio
1	15	417498.12	5315756.65	15.52	22.375	2.66	5.33	8.03	0.66
2	41	417518.87	5315759.90	9.00	53.81	4.13	8.27	11.98	0.69
3	43	417518.87	5315760.45	13.70	10.87	1.86	3.72	5.50	0.67

*Abgeleitete geglättete Einzelbaumpolygone (grün) und Zentroiden (rot), semitransparent der Schummerung des Oberflächenmodells überlagert (oben) mit zugehöriger Einzelbaum-Attributtabelle (unten)*

## Dreisam:

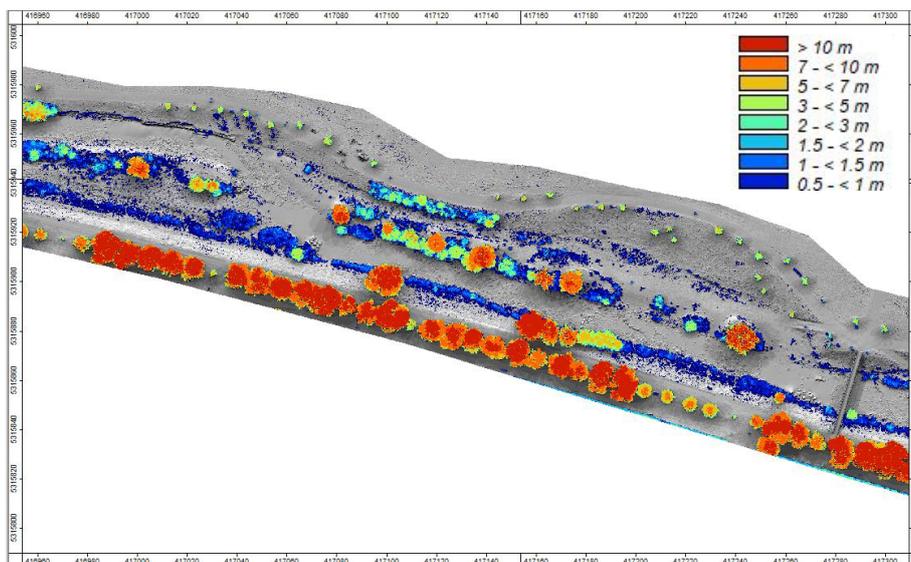


*Abgeleitete geglättete Einzelbaumpolygone (grün) und Zentroiden (rot), semitransparent der Schummerung des Oberflächenmodells überlagert, aus Basis des Drohnendatensatzes (oben) und des ALS-Datensatzes (unten)*

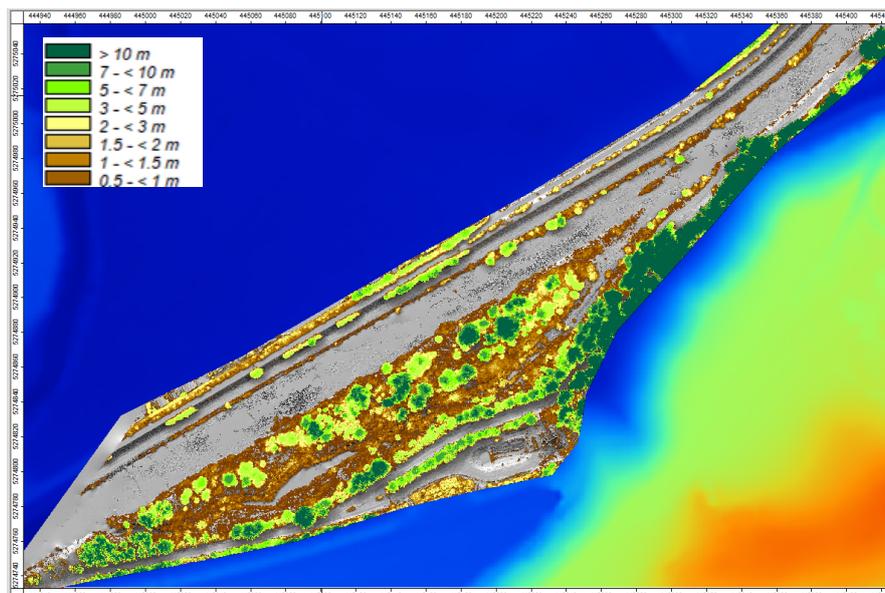
### 2.3.3 Höhenklassierung der Vegetation und Klötzchendarstellung

Weiter wurde entsprechend dem Pflichtenheft des Auftraggebers eine Höhenklassierung der Vegetationspunkte vorgenommen. Dies erfolgte über die Vermaschung der Bodenpunktekategorie in den Drohnen- und ALS-Datensätzen mit gleichzeitiger Berechnung der Höhe über Boden für alle Nichtbodenpunkte (Vegetation). Die Nichtbodenpunkte wurden manuell noch um Störobjekte bereinigt (Brücken, Lichtmasten, Dachflächen) und dann über eine Punkt-zu-Raster Aggregation mittels Verspeicherung des Maximalwertes pro Gridzelle in der geforderten Auflösung von 0.25m aufgerastert. Für die entstandenen Vegetationsraster wurde ein Lookup-Table mit einer Höhenklassierung laut Vorgabe erstellt und angewandt. Die Repräsentation der Datensätze findet sich in 2 farblichen Ausgabevarianten in den nachfolgenden Abbildungen.

#### Dreisam:



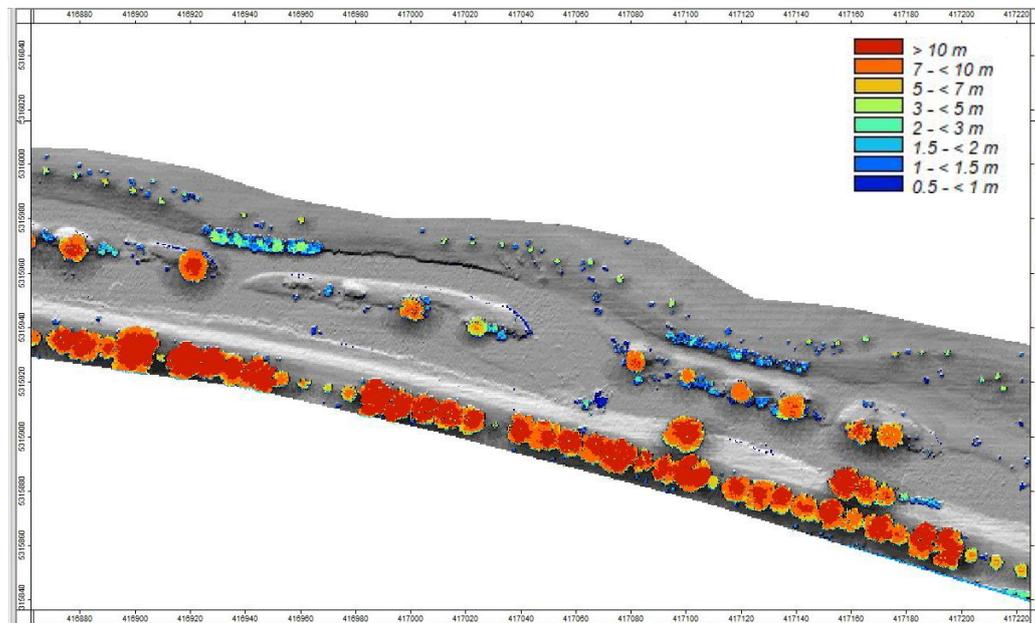
#### Wutach:



Höhenklassierte Darstellung der Vegetation auf Basis der Drohnen Datensätze

Aufgrund der Tatsache, dass Vegetationshöhen kleiner 0.5 Meter zu einer flächendeckenden Darstellung von Grasflächen geführt hätten, wurde bei der Klassierung im Raster die niedrigste Klasse nicht dargestellt. Das Vegetationshöhenraster des ALS-Datensatzes zeigt weniger niedrige Vegetation am Flussverlauf als der drohnenbasierte Datensatz, was auf phänologische Effekte und den jüngeren Aufnahmezeitpunkt des Drohnen Datensatzes zurückzuführen ist.

### **Dreisam:**



*Höhenklassierte Darstellung der Vegetation auf Basis des LGL-ALS-Datensatzes*

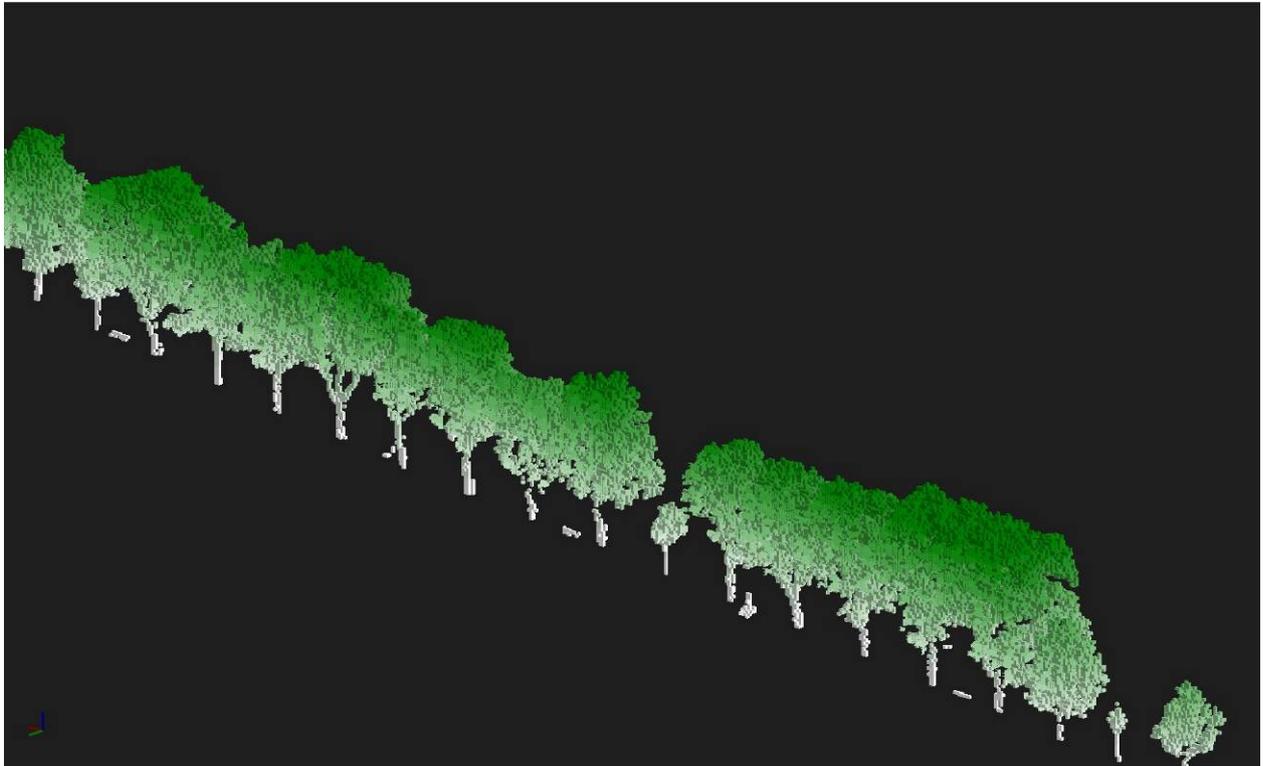
Einzig leider nicht möglich war die automatisierte Erkennung von Bäumen mit einem Stammumfang von mehr als 50cm in 1m Höhe, da der Stamm aufgrund der starken Belaubung zum Zeitpunkt der Drohnenbefliegung unter dem Kronenkörper teilweise nicht erfasst wurde

Für die Darstellung der 3D Geometrie der Bäume als Klötzchenmodell mit einer Voxelgröße von 25 Zentimeter Kantenlänge laut Pflichtenheft wurde ein spezielles Verfahren entwickelt. Aus den Vegetationspunkten mit der Höheninformation jedes Punktes über Boden der Drohnen- und ALS-Daten wurden über ein 3D Block Thinning die Punkte über die Definition von virtuellen 3D Blöcken mit 25 cm Kantenlänge ausgedünnt. Erhalten blieb pro mit Vegetationspunkten gefüllten 3D Block (=Voxel) der Zentroid des Voxels mit berechnetem Höhenwert über Boden. Um später eine Voxeldarstellung von sehr niedriger, flächiger Vegetation zu verhindern, wurden bei der Ausdünnung nur Vegetationspunkte höher als 0.5m über Boden verwendet. Durch Anordnung der virtuellen 3D Blöcke über eine definierte Basislinie (Absoluthöhe, etwas niedriger als der niedrigste Vegetationspunkt) wurde ein gleichabständiger höhengeschichteter Zentroidpunktwellenverband erzeugt und abgespeichert.

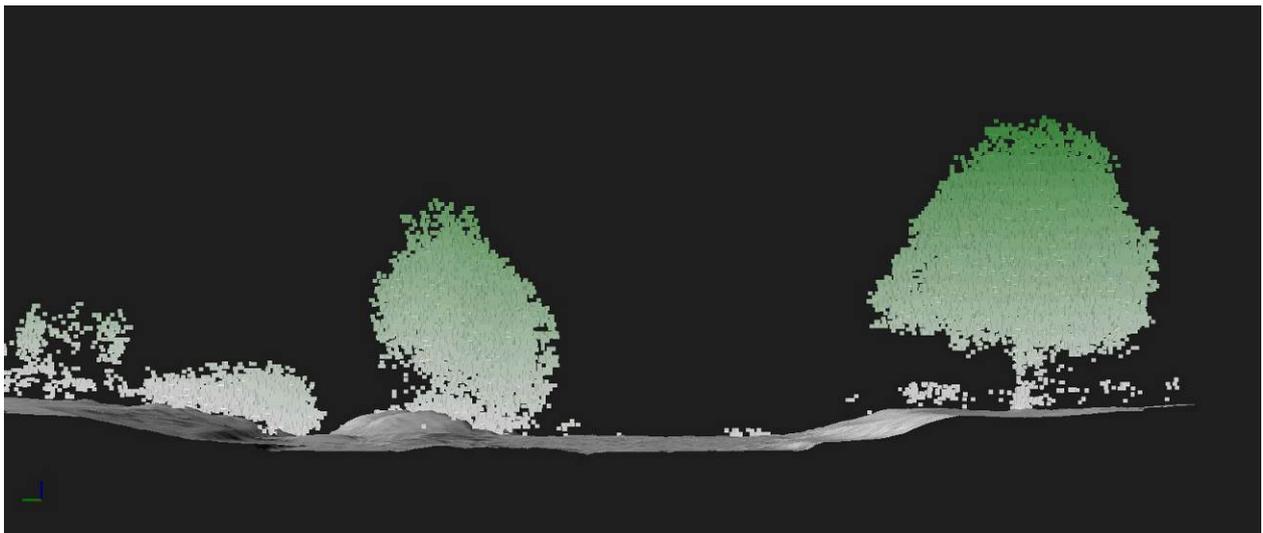
Um die Klötzchenmodelle der Baumkronen zu erzeugen wurde darauf aufbauend ein Tool programmiert, welches um die Zentroid-Punktvolke ein 3D-Voxelshapefile mit einer benutzerdefinierten horizontalen und vertikalen Voxel-Größe - im vorliegenden Fall mit 25 Zentimeter Kantenlänge - erzeugt. Die 3D-Voxelshapefiles können zusammen mit der Zentroid-Punktvolke, den Rastergeländemodellen und den Hillshades als Drape-Layer im LIS Point Cloud Viewer gleichzeitig betrachtet werden. Die Voxelshapefiles für die

drohnenbasierten Laserdaten und die ALS-Daten an der Dreisam waren noch mit einer Voxelkantenlänge von 25 Zentimetern visualisierbar. Für die Wutach wurde der Speicherbedarf des 3D Voxelshapefiles und das Datenhandling zu groß, so dass hier auf eine Berechnung und Darstellung von Voxeln mit einer Kantenlänge von 50 Zentimetern zurückgegriffen werden musste.

**Dreisam:**

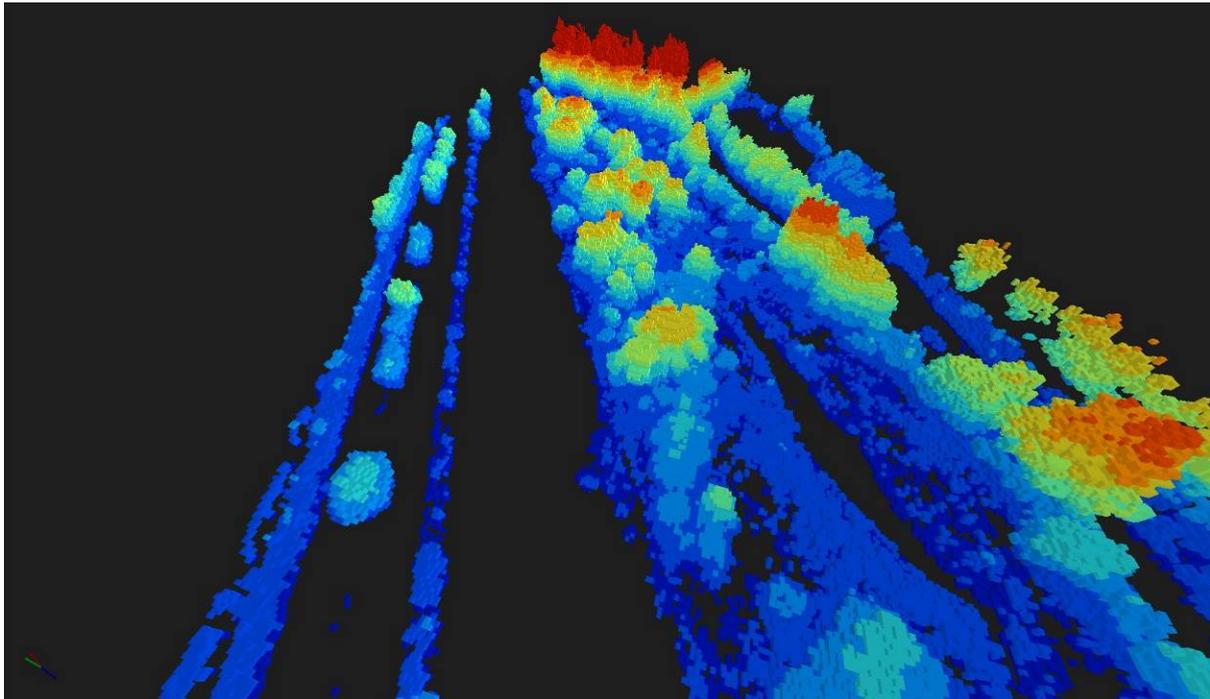


*Klötzchendarstellung der Bäume im gewässerbegleitenden Gehölzsaum auf Basis der drohnenbasierten Punktwolken (Voxelkantenlänge 0.25 Meter)*



*Klötzchendarstellung der Vegetation auf Basis der ALS Punktwolken, unterlagert mit dem DGM (Voxelkantenlänge 0.25 Meter)*

## **Wutach:**



*Klötzchendarstellung der Vegetation auf Basis der drohnenbasierten Punktwolken, eingefärbt nach Höhe über Boden (Voxelkantenlänge 0.5 Meter)*

## **2.4 Ableitung von Geodatensätzen zur Beschattung**

### **2.4.1 vorbereitenden Tätigkeiten**

Anhand der erstellten digitalen Oberflächenmodelle sowie der weiteren verschattungsrelevanten Topographie (repräsentiert über ein digitales Geländemodell der Umgebungssituation), sollte ein Beschattungslayer im Flussverlauf für beliebig definierbare Zeitspannen berechnet werden können.

Dazu wurden ein Tool programmiert, welches es erlaubt die Beschattungsdauer in Stunden zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang zu berechnen. Die Eingabeparameter für das Werkzeug sind:

- das hochaufgelöste Oberflächenmodell (berechnet über die Rasterisierung der drohnenbasierten oder ALS-Punktwolken nach der Aggregierungsmethode Maximum pro Gridzelle),
- ein niedrig aufgelöstes Geländemodell der verschattungsrelevanten Umgebungstopographie,
- die geographische Breite des Zielgebietes für welche die Beschattungssimulation durchgeführt werden soll,
- die zeitliche Auflösung, in welcher die Simulation durchgeführt werden soll (z.B. halbstündlich),
- sowie der Start- und Endtag im Jahr, für welchen die Berechnung der Beschattungsdauer erstellt werden soll.

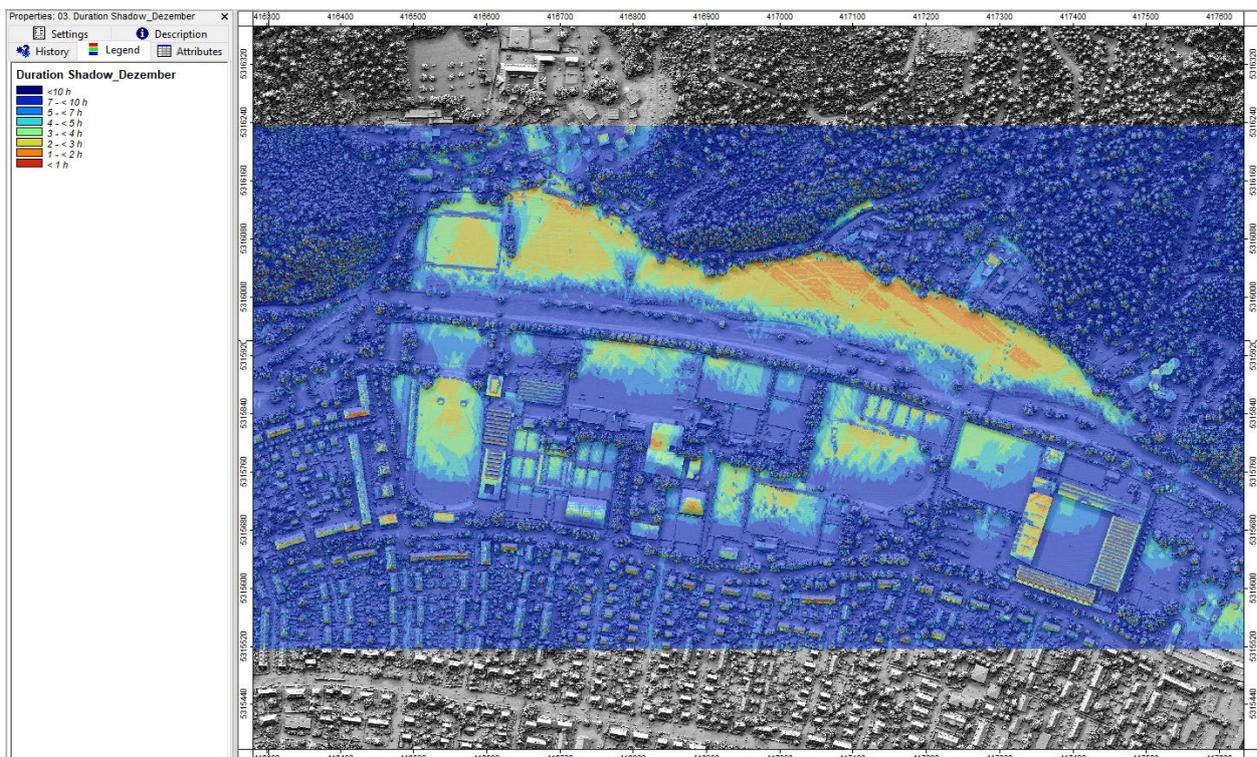
## 2.4.2 Auswertung mittlere Beschattungsdauer pro Tag für Dezember, Januar und Juni

In einem ersten Auswertungsdurchlauf wurden die Beschattungsdauern an Dreisam und Wutach für die Monate Dezember, Januar und Juni mit einem stündlichen Simulationsintervall erhoben. Die Ergebnistraster mit einer Auflösung von 1m im Fall der ALS-basierten Auswertung an der Dreisam und einer Halbmeterauflösung im Fall der drohnenbasierten Daten weisen die Beschattungsdauer pro Pixel aus und sind als Fließkommazahl rasterseitig gespeichert. Für die kartographische Ausgabe wurde eine Klassenunterteilung in:

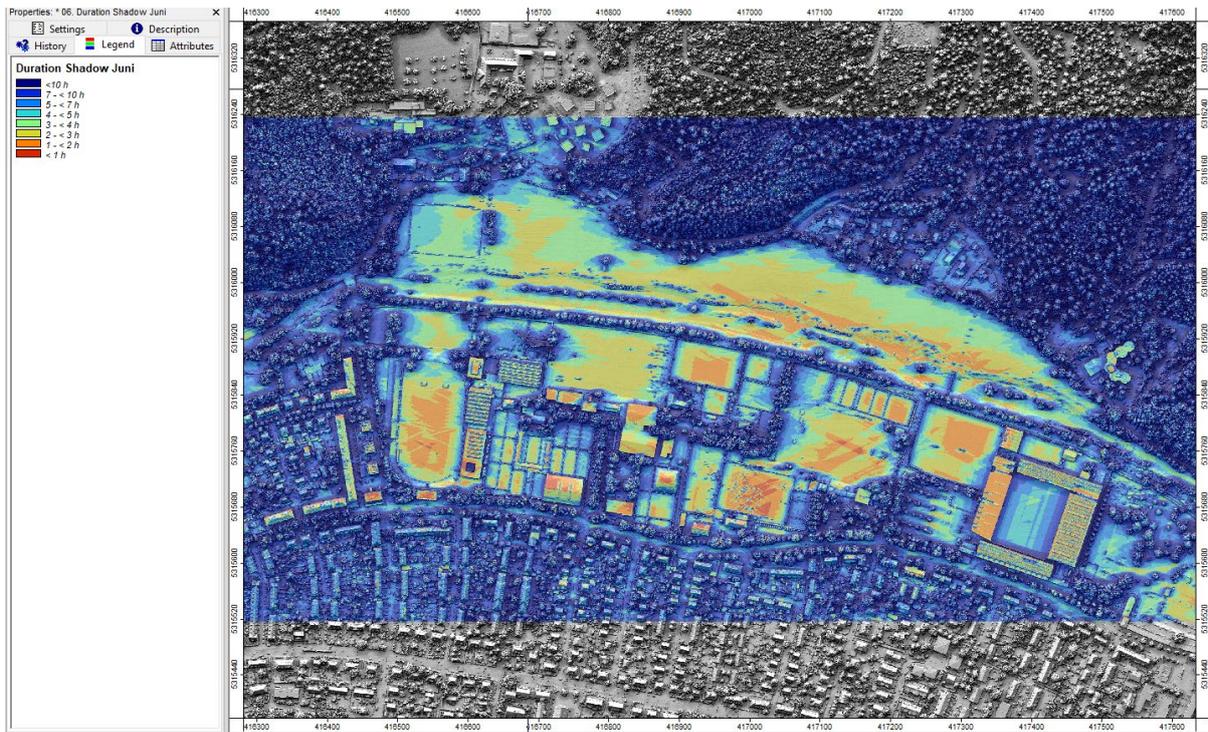
- weniger als 1 Stunde pro Tag
- 1 Stunde bis weniger 2 Stunden pro Tag
- 2 Stunden bis weniger 3 Stunden pro Tag
- 3 Stunden bis weniger 4 Stunden pro Tag
- 4 Stunden bis weniger 5 Stunden pro Tag
- 5 Stunden bis weniger 7 Stunden pro Tag
- 7 Stunden bis weniger 10 Stunden pro Tag
- mehr als 10 Stunden pro Tag

vorgegeben und es wurde ein dementsprechender Lookup-Table angewendet. Die erstellten Monatsauswertungen sind den folgenden Abbildungen zu entnehmen, wobei die Summengrids der Beschattungsdauer pro Monat noch durch die Anzahl der Tage dividiert wurde, um auf eine mittlere Beschattungsdauer pro Tag im jeweiligen Zielmonat zu gelangen.

### **Dreisam:**

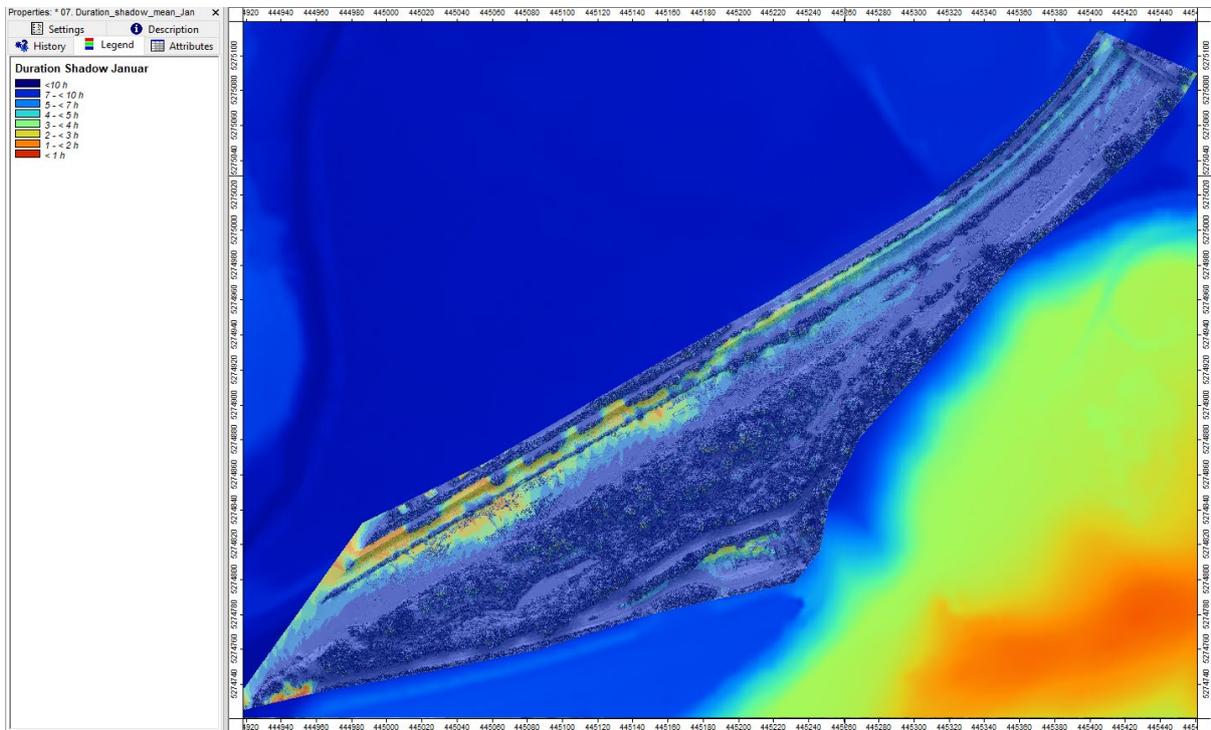


*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Dezember auf Basis des ALS-basierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell*

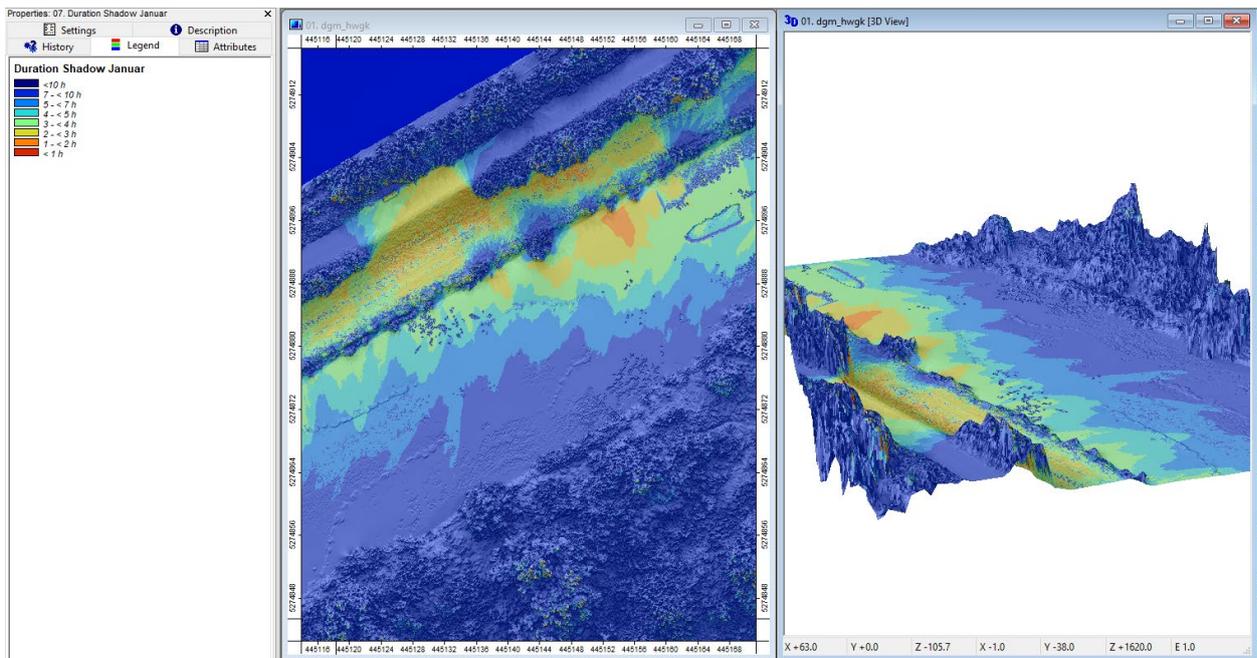


*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Juni auf Basis des ALS-basierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell*

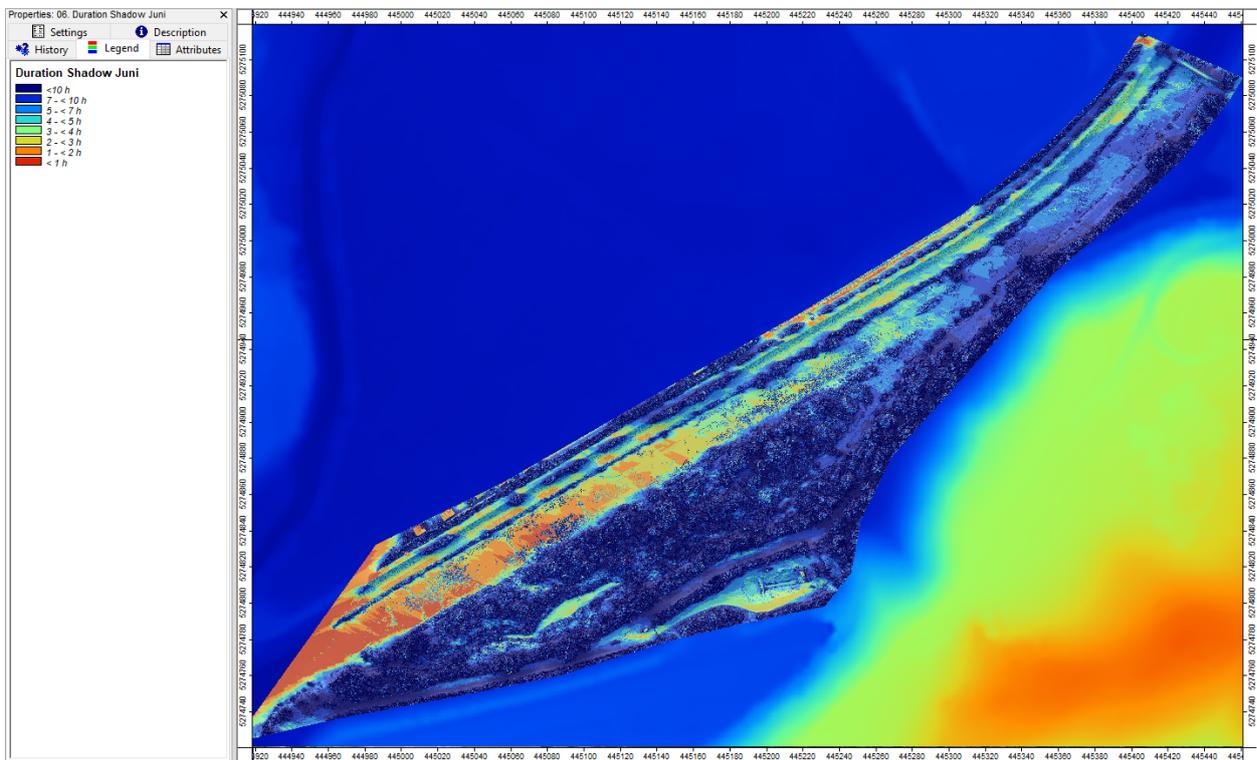
**Wutach:**



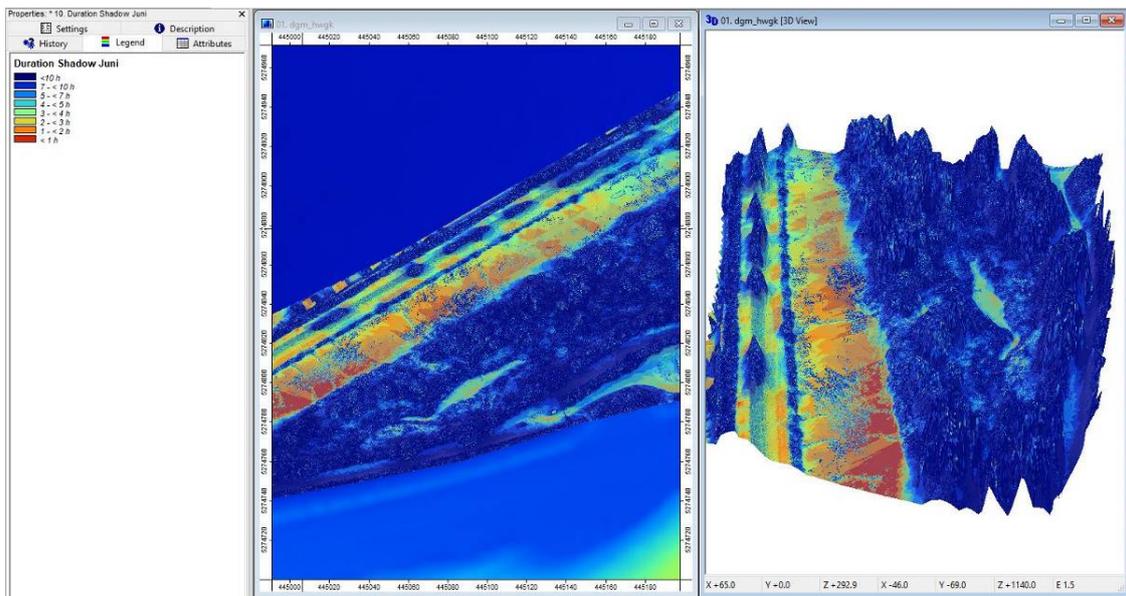
*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Januar auf Basis des drohnenbasierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell (LGL-DGM)*



*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Dezember auf Basis des drohnenbasierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell (LGL-DGM) – Detailsicht Mapview und 3D Rasterviewer*



*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Juni auf Basis des drohnenbasierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell (ALS-DGM)*

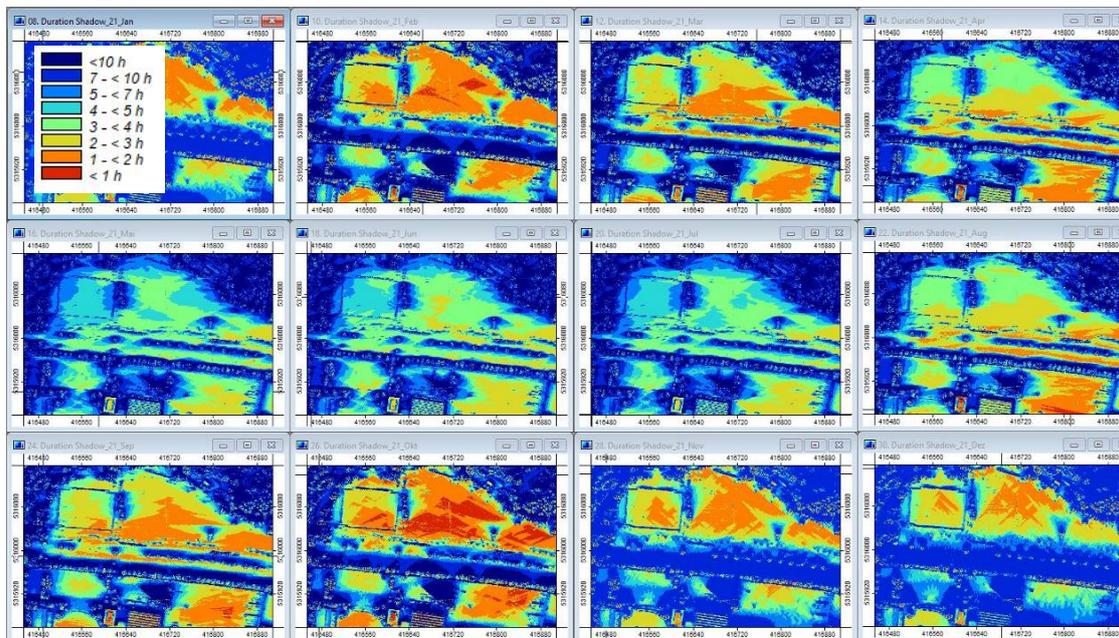


*Mittlere Beschattungsdauer pro Tag für den Monat Juni auf Basis des drohnenbasierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell (ALS-DGM) – Detailsicht Mapview und 3D Rasterviewer*

### 2.4.3 Auswertung mittlerer Beschattungsdauer am 7. und 21. jeden Monats

Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber wurde im Hinblick auf eine Anwendung des Verfahrens auf großflächige Auswertungen mittels ALS-Daten und über den ganzen Jahrgang hinweg eine halbstündliche Simulation für den 7. und 21. jedes Monats festgelegt.

#### **Drisam:**



*Beschattungsdauer pro Tag für den 21. jeden Monates auf Basis des ALS-basierten Oberflächenmodells und der topographisch wirksamen Verschattung aus dem Geländemodell (LGL-DGM)*

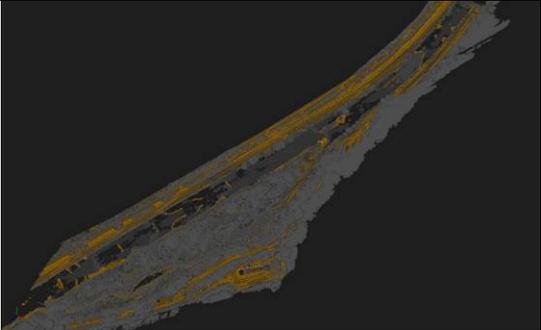
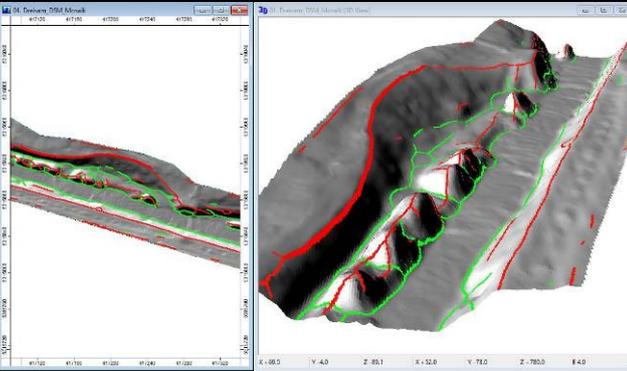
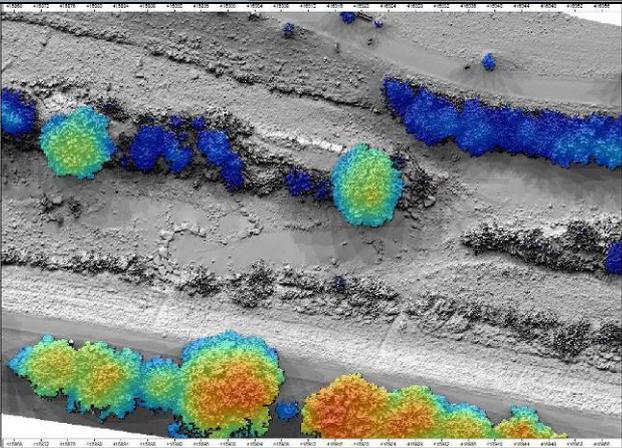
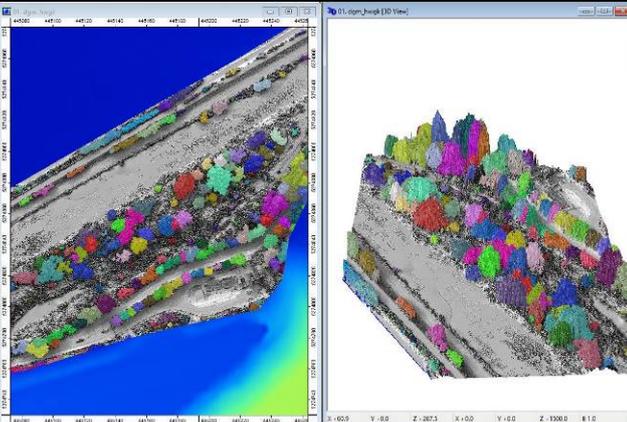
#### 2.4.4 Fazit Berechnung der Beschattungsdauer

Die Interpretation der Zeitreihe über die Monate hinweg zeigt, dass nicht alle Beschattungsdauerklassen in jedem Monat auftreten. So sind Beschattungsdauern in der Klasse größer 10 Stunden in den Monaten November, Dezember und Januar nicht vorhanden, da auch die Tageslängen nicht 10 Stunden erreichen. Klar ersichtlich wird die Ausleuchtung des Flusslaufes in den Monaten April bis September durch die West-Ost Ausrichtung des Flussverlaufes. Andererseits schlagen sich die topographischen Verschattungen und damit längeren Beschattungsdauern in den Monaten Mai, Juni und Juli durch das weitere Umgebungsrelief und die nordöstlichen und nordwestlichen Sonnenauf- und Sonnenuntergangsrichtungen mit längeren Verschattungszeiten nieder. Es sind hier aber auch dementsprechend längere Sonnenscheindauern pro Tag zu verzeichnen. Die Berechnungszeiten für die Beschattungsdauern sind abhängig von der zu berücksichtigten Umgebungsfläche des verschattungsrelevanten Reliefs (im Flachland gering, im Gebirge hoch) sowie von dem Simulationszeiträumen.

Das oben beschriebene Auswerteverfahren kann hinsichtlich einer Übertragung auf andere Gebiete und großflächige Datensätze durch entsprechende Automatisierungsprozesse über Python-Scripting unter Linux bzw. Windows skaliert werden. Hinsichtlich der unterschiedlich aufgelösten Eingabe- und Ergebnisdatensätze werden Verzeichnisse inkl. Datenformattypen bestimmt. Von zentraler Bedeutung bei flächenhaften Auswertungen ist die Anwendung von Tiling-Verfahren zur Datenkachelung mit Berücksichtigung von Überlappungsbereichen bei angrenzenden Kacheln zur Vermeidung von Randeffekten in der Beschattungssimulation. Die Überlappungsbereiche werden bei der Aufbereitung der finalen Ergebnisdateien der Beschattungsdauer wieder entfernt.

### 3. Zusammenschau der Bearbeitungsschritte und Zeitaufwand

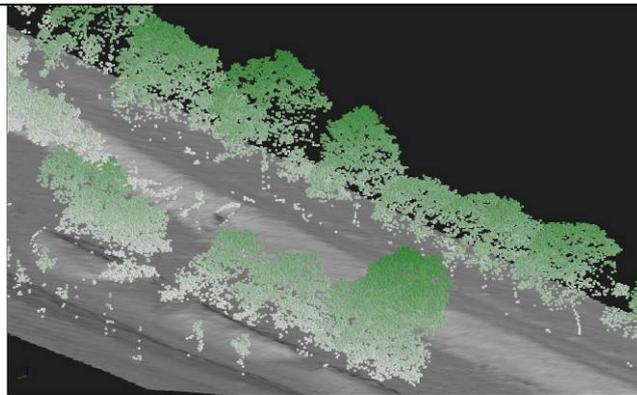
Die angegebenen Zeitaufwände beziehen sich auf die Berechnungszeiten und Parameteroptimierungen, nicht auf konzeptionelle Arbeiten und die Entwicklungs- und Adaptierungszeiten der Software-Tools.

Bearbeitungsschritt	Abbildung	Software / Zeitaufwand
<p><i>Klassifikation der drohnenbasierten Punktwolken in Boden/Nichtboden inklusive Qualitätskontrolle und manuelle Nachbearbeitung</i></p>		<p><b>SAGA / Laserdata LIS</b></p> <p><b>3 h pro Datensatz</b></p> <p><b>(drohnenbasiert)</b></p>
<p><i>Arbeiten zur Bruchkantenableitung: Raster-DGM-Erstellung, Close Gaps, Resampling, Gauß- und Multi-Direction Lee Filter, Terrain Breaklines-Ableitung, Line Simplification</i></p>		<p><b>SAGA / Laserdata LIS</b></p> <p><b>1 h pro Datensatz</b> <b>(drohnenbasiert)</b></p> <p><b>0.5 h pro Datensatz (ALS oder HyddGM)</b></p>
<p><i>Geodatensätze zum Bewuchs</i></p> <p><i>Vorverarbeitende Schritte</i></p> <p><i>DSM-Erstellung, nDSM Erstellung, Kronenhöhenmodell, Lückenschließen, Gauß-Filterung,</i></p>		<p><b>SAGA / Laserdata LIS</b></p> <p><b>30 min pro Datensatz</b></p> <p><b>(drohnenbasiert oder ALS)</b></p>
<p><i>Einzelbaumableitung (Segmentierung)</i></p> <p><i>und</i></p> <p><i>Attributberechnungen pro Baum</i></p>		<p><b>SAGA / Laserdata LIS</b></p> <p><b>20 min pro Datensatz</b></p> <p><b>(drohnenbasiert oder ALS)</b></p>

Höhenklassierung  
der Vegetation über  
DZ-Berechnung

und

Berechnung  
Klötzchenmodelle der  
Bäume



SAGA /  
Laserdata LIS

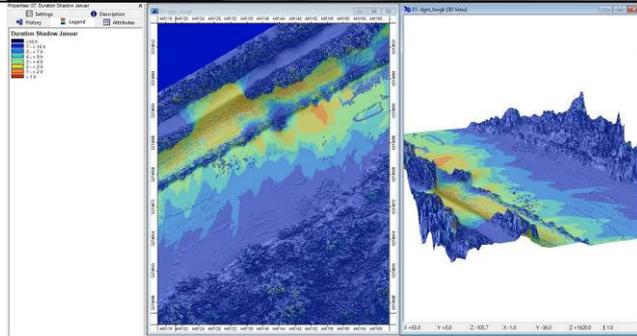
45 min pro  
Datensatz  
(drohnenbasiert  
oder ALS)

Ableitung von  
Geodatendaten-  
sätzen zur  
Beschattung

Vorverarbeitende  
Schritte: DSM-  
Generierung aus der  
Punktwolke,  
Fusionieren mit ALS-  
DGM der Umgebung

Mittlere  
Beschattungsdauer  
pro Monat,

Beschattungsdauer  
für definierte Tage  
pro Monat

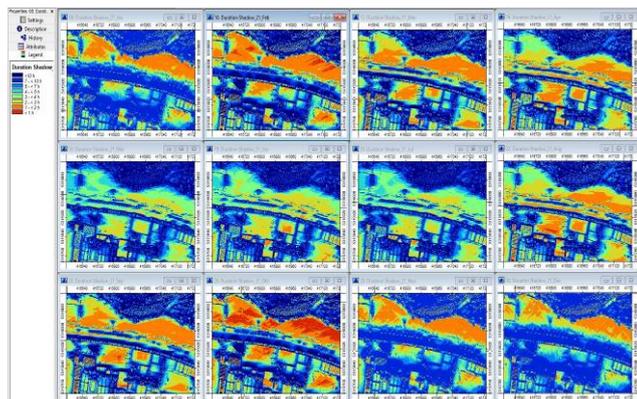
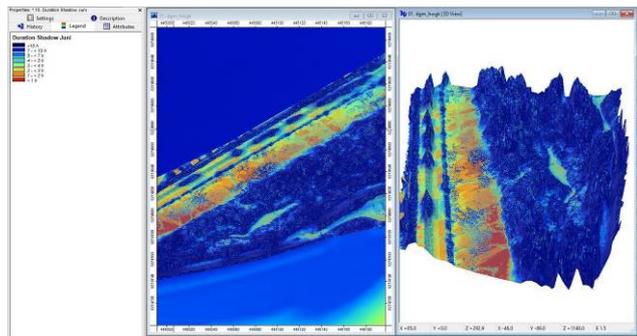


SAGA /  
Laserdata LIS

Mittlere  
Beschattungs-  
dauer pro Monat:  
45 min pro  
Datensatz  
(drohnenbasiert  
oder ALS),  
reliefabhängig

Beschattungs-  
dauer definierter  
Tage

20 min für 12  
Tage im  
Jahresgang  
(ALS-basiert),  
reliefabhängig



## **Bewertung des Projekts durch die LUBW**

Im Projekt konnte klar herausgestellt werden, dass bereits auf dem ALS-Datensatz der Landesvermessung Bewuchs ab 2m Höhe und einzelne Bäume sehr gut modelliert werden können. Auf dieser Grundlage kann die Beschattungswirkung der Topographie und des gewässerbegleitenden Bewuchses über gängige Sonnenverlaufsansätze ermittelt werden

Mit diesem Algorithmus steht der Wasserwirtschaftsverwaltung ein Werkzeug zur Verfügung, das bereits zur Verfügung stehende Datensätze nutzt, um für alle Gewässer Baden-Württembergs eine sehr detaillierte Aussage über den Bewuchs im Gewässerumfeld und die damit erzielte abkühlende Wirkung des Schattenwurfs treffen zu können.

Zudem kann über die Veränderung des Bewuchses innerhalb des Modells auch die Wirkung von Gehölzpflege, -entwicklung oder -aufstockung auf den Schattenwurf simuliert werden. Dadurch ist eine sachdienliche Aufwand-Nutzen-Abschätzung weiterer Gehölzpflege möglich.