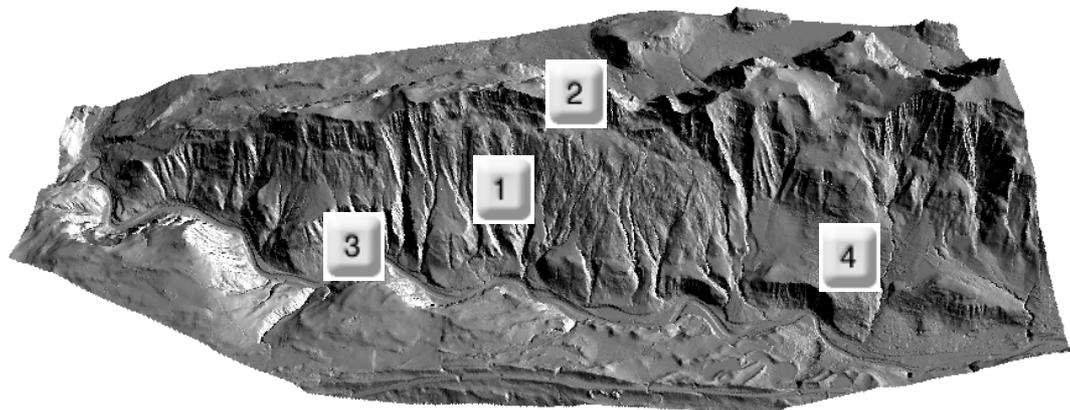
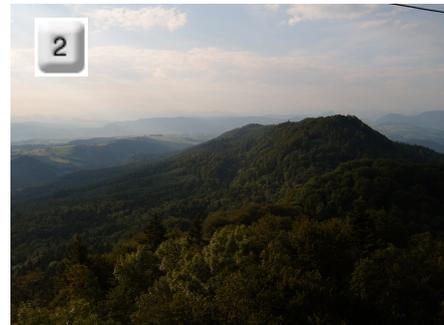
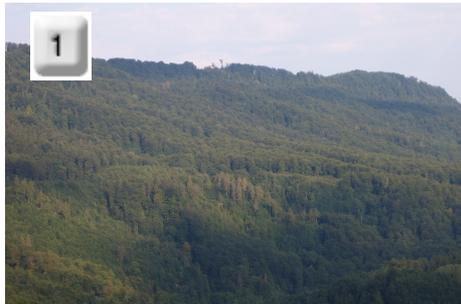


Universität Zürich
Geographisches Institut

Konturlinien Sihlwald

Semesterarbeit im Block B „Projektseminar“ SS2005



Leitung: Dr. S. Timpf, D. Burkhart
Geographisches Institut, Universität Zürich

Autoren: Reinhold Briegel (r.briegel@freesurf.ch)
Marco Zuan (mzulu@freesurf.ch)
Christian Sailer (c.sailer@gmx.ch)

Betreuer: S. Steiniger (sstein@geo.unizh.ch)

Zürich, 15. Juli 2005

INHALTSVERZEICHNIS:

1. GIS SIHLWALD	1
1.1. PROJEKT SIHLWALD	1
1.2. UNTERSUCHUNGSGEBIET	1
2. AUFGABENSTELLUNG	2
3. KONZEPT	3
3.1. LINIEN-GENERALISIERUNG IN DER KARTOGRAPHIE	4
3.2. DOUGLAS-PEUCKER-ALGORITHMUS (SIMPLIFY)	6
3.3. PAEK-ALGORITHMUS (SMOOTHING)	6
3.4. ÄQUIDISTANZ-BERECHNUNG	7
4. AUSARBEITUNG / MODELLIERUNG	8
4.1. METHODE 1	8
4.2. METHODE 2	9
4.3. ARTEFAKTE	9
4.3.1. Polygonartefakte	9
4.3.2. Linienanhängselartefakte	10
4.4. PROBLEME	10
5. VERIFIKATION UND VALIDATION	11
5.1. VERIFIKATION	11
5.1.1. Qualitativ	11
5.1.2. Quantitativ anhand Examples	11
a) Puffererzeugung	11
b) Buffer-Contourline-Intersection	12
c) Längenberechnung	12
d) Resultate am Beispiel des 1:25'000er Datensatz	12
5.1.3. Vergleich der 1:25'000er Karten der Methode 1 und Methode 2	13
5.2. VALIDATION	14
6. DISKUSSION DER RESULTATE	15
7. ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	18
8. LITERATURVERZEICHNIS	19

Anhang A: Verwendete Parameter in tabellarischer Form

Anhang B: Artefaktklassifikation in illustrativer Form

Anhang C: Auschnitte einzelner Karten

Anhang D: Vergleich einzelner Karten gleichen Masstabes

ABBILDUNGSVERZEICHNIS:

Fig. 1	Lageplan mit effektiver Waldfläche des Sihlwaldes.....	1
Fig. 2	Nordspitz des Untersuchungsgebietes mit Gemeinde Langnau.....	2
Fig. 3	Westflanke des Untersuchungsgebietes mit Gemeinde Hausen	2
Fig. 4	Testgebiet und Übersichtskarte	4
Fig. 5	Minimale Linienschwankung.....	5
Fig. 6	Visuelle Linienschwankungstoleranz anhand eines Buffers.....	5
Fig. 7	Douglas Peucker Algorithmus	6
Fig. 8	Funktionsweise des PAEK-Algorithmus	7
Fig. 9	Histogramm der Hangneigung des Untersuchungsgebietes	7
Fig. 10	Artefakte in Siedlungsgebiete	9
Fig. 11	1:25'000er Konturlinien & 1:10'000er Konturlinien.....	11
Fig. 12	1:25'000er Konturlinien nach der Bufferintersection der Methode 2.....	12
Fig. 13	Ausschnitt aus dem Datensatz 1:25'000 mit Konturlinien beider Methoden.....	13
Fig. 14	Vergleich der Konturlinien der Methode 1 mit der DHM25-Linien.....	15
Fig. 15	Vergleich der Konturlinien der Methode 2 und der DHM25-Linien.....	16
Fig. 16	Ausschnitt aus ArcExplorer des Hauptordners GEODATABASE.....	17

TITELBILD:

- Photoset „Sihlwald“ aus vier Farbbildern (C. Sailer, 15. Juli 2005)
- Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes (C.Sailer, 2. April 2005)

TABELLENVERZEICHNIS:

Table 1	Berechnung der Buffer	5
Table 2	Äquidistanz zum entsprechenden Masstab gemäss Berechnung von Hake et al. .	8
Table 3	Parameter der Methode 1	20
Table 4	Parameter der Methode 2	20
Table 5	Verwendete Parameter der Annotation	21

1. GIS Sihlwald

1.1. Projekt Sihlwald

Seit einiger Zeit ist das GIS Sihlwald die zentrale Sammelstelle für raumbezogene Daten über den Sihlwald. Hier werden nicht nur Basisdaten verwaltet, sondern auch Daten aus Forschungsprojekten zusammengeführt. Ziel des GIS Sihlwaldes ist es, die Daten für weitere Forschungsprojekte, sowie für Verwaltung und Besucherinformation zur Verfügung zu stellen.

Am 20. April 2004 wurde im ganzen Sihlwald eine Laserscanbefliegung durchgeführt, um ein hochgenaues Digitales Geländemodell (DGM) zu erzeugen. Dieses DGM wird momentan zur Erzeugung verschiedener Basisdaten verwendet.

Für verschiedene Forschungsprojekte werden immer wieder topographische Karten in unterschiedlichen Massstäben benötigt. Mit dem Laserscan-DGM ist es nun möglich, Konturlinien der Höhen für diese Karten zu erzeugen.

1.2. Untersuchungsgebiet

Das Gebiet des Sihlwaldes erstreckt sich von Langnau im Nordwesten entlang des Albiskamms und der Sihl bis nach Sihlbrugg. Unser Untersuchungsgebiet weist ein Fläche von knapp über 40km² auf. Es beinhaltet neben der Waldfläche auch noch die Gemeinde Langnau und Gattikon im Norden, Türlen und Hausen im Westen, Sihlbrugg im Süden und Teile des Zimmerberges im Osten. Das Untersuchungsgebiet unterscheidet sich also wesentlich vom eigentlichen Sihlwaldgebiet, das lediglich eine Reservatsfläche von 800ha - also 8km² - aufweist (BUWAL, 7. Juli 2005). Genau diese Differenzgebiete, die Sihlwaldgemeinden Langnau, Thalwil, Horgen, Hirzel und Hausen sind es dann auch, die uns später noch zu einigen Problemen führen werden.

Folgende Abbildungen sollen einen Überblick über unser Arbeitsgebiet liefern:

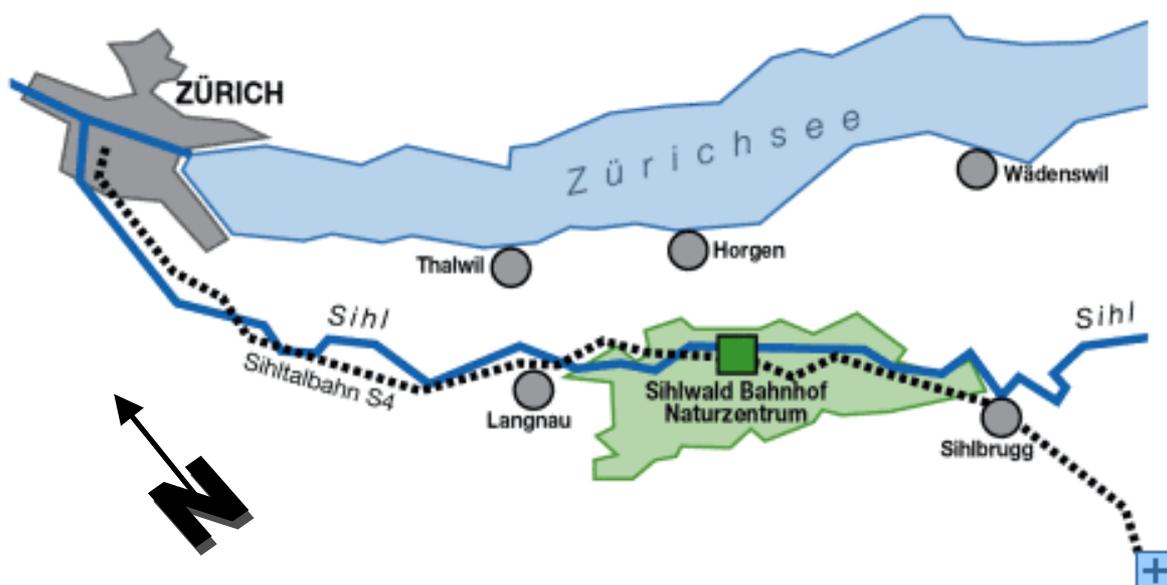


Fig. 1 Lageplan mit effektiver Waldfläche des Sihlwaldes (STADT ZÜRICH, 7. Juli 2005)

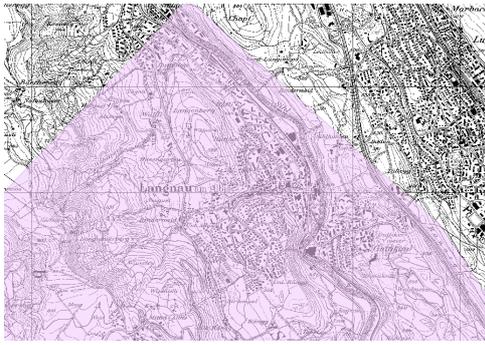


Fig. 2 Nordspitz des Untersuchungsgebietes (rosa) mit Gemeinde Langnau (C. SAILER, Juli 2005)

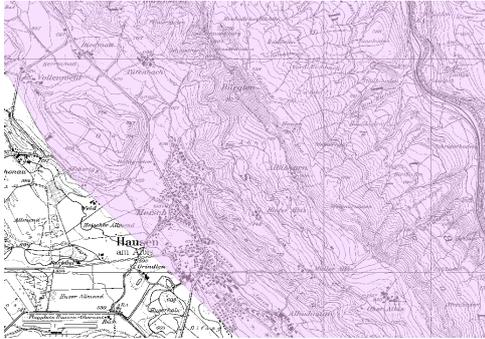


Fig. 3 Westflanke des Untersuchungsgebietes (rosa) mit Gemeinde Hausen (C. SAILER, Juli 2005)

2. Aufgabenstellung

Folgende Punkte waren Bestandteil unserer Zielsetzung:

- Erzeugung von Konturlinien für die Kartographische Darstellungen im Massstab 1:2500, 1:5000, 1:10000, 1:25000
- Herstellung eines optimalen Verhältnisses zwischen Speicherbedarf, Genauigkeit und visuellem Anspruch in den einzelnen Massstäben
- Entfernung von Artefakten
- Format: Geodatabase mit Featureclasses Line und Annotation
- Für jeden Massstab ein Layerfile mit Liniensymbolen und Beschriftungen herstellen

Ausserdem sollen die einzelnen Arbeitsschritte fortlaufend dokumentiert werden, um ein effiziente Nachvollziehbarkeit für allfällige Folgeprojekte sicher zu stellen.

Für dieses Projekt stehen folgende Grundlagedaten zur Verfügung:

- Digitales Geländemodell (Laserscan) des Sihlwaldes vom 20. April 2004 mit Auflösung 1m zur Modellierung der Konturlinien
- DHM25-Dateien der Swisstopo mit Kontrollfunktion:
 - Höhenkotenkarte
 - Höhenlinienkarte des DHM25
- Shapefile des vollständigen Perimeters des Laserscans zur Darstellung des Untersuchungsgebietes (rosa Fläche)

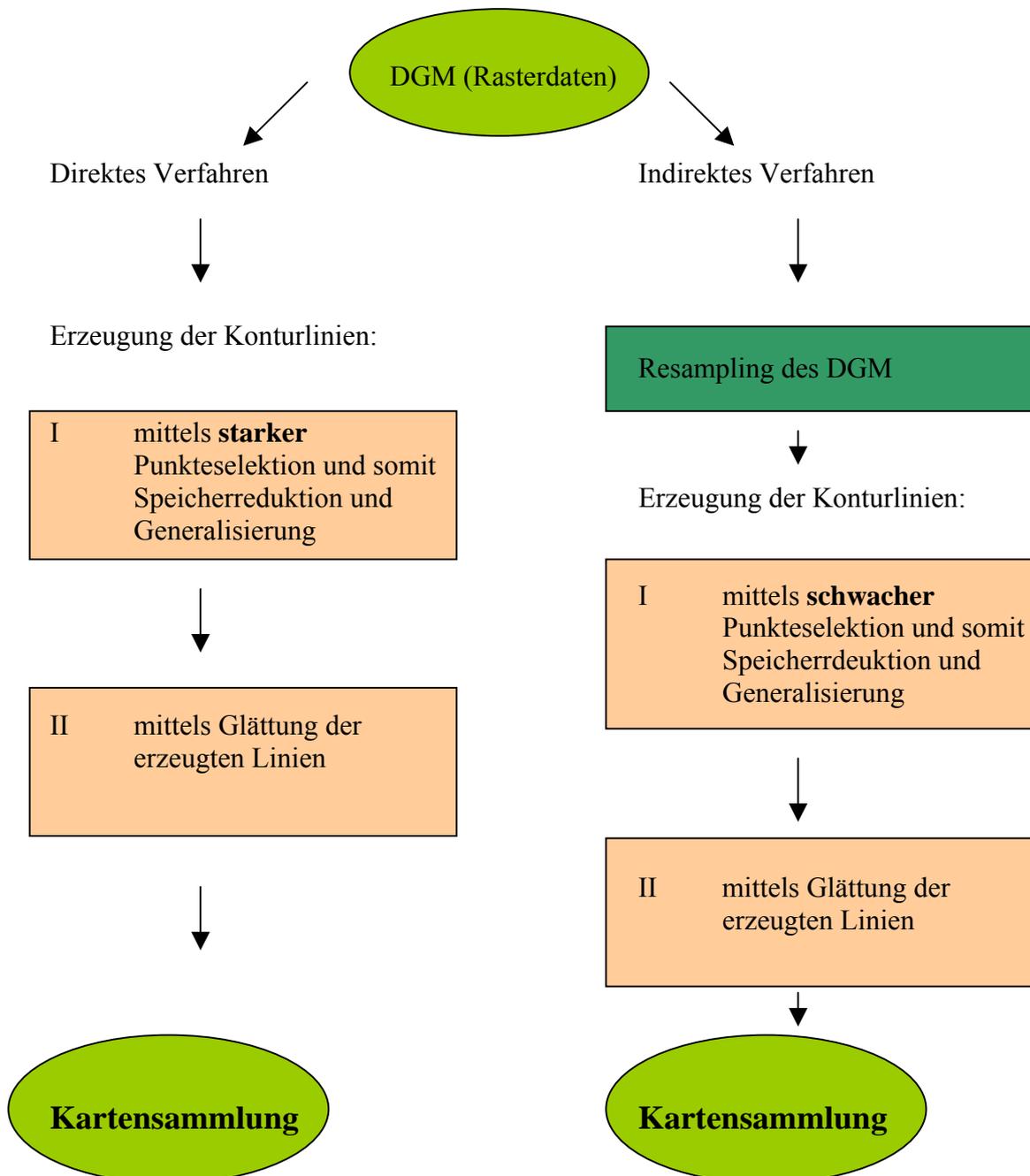
Im Bereich Software stützten wir uns hauptsächlich auf die ArcMap 9.0 und verwendeten zusätzlich, für spezielle Angelegenheiten, die Opensource-Software Jump 1.1.2.

3. Konzept

Aufgrund der hohen Auflösung des digitalen Geländemodelles, benötigen die Grunddaten einen grossen Speicherbedarf und weisen eine hohe Genauigkeit auf. Wir müssen deshalb mit Methoden operieren, die der geometrischen Auflösung adäquate Bedeutung schenkt, aber immer in Rücksicht auf optimierten Speicherbedarf und suchen demnach nach idealen Bedingungen für die Kartenproduktion.

Da die hohe Auflösung vermutlich extrem viele Vertices (Stützpunkte) der Konturlinien haben wird, soll in unserem Konzept ein zweites Verfahren zum Zuge kommen, das das Original DGM durch ein Resampling in einer geringeren Auflösung erstellt werden, um somit die Bearbeitung durch den grossen Speicherbedarf zu entlasten. Wir erhoffen dadurch kleinere Speichermenge der Daten, rundere Konturlinien mit weniger Vertices und einen direkteren Weg der Arbeitsschritte zur Zielbewältigung zu finden.

Das Ablaufdiagramm soll das obenstehende Konzept noch einmal verdeutlichen:



Zuerst soll in einem Testgebiet, das Hangneigung aller Grössen und Bruchkanten, sowie Täler und Kreten aufweist, die optimalen Einstellungen gefunden werden.

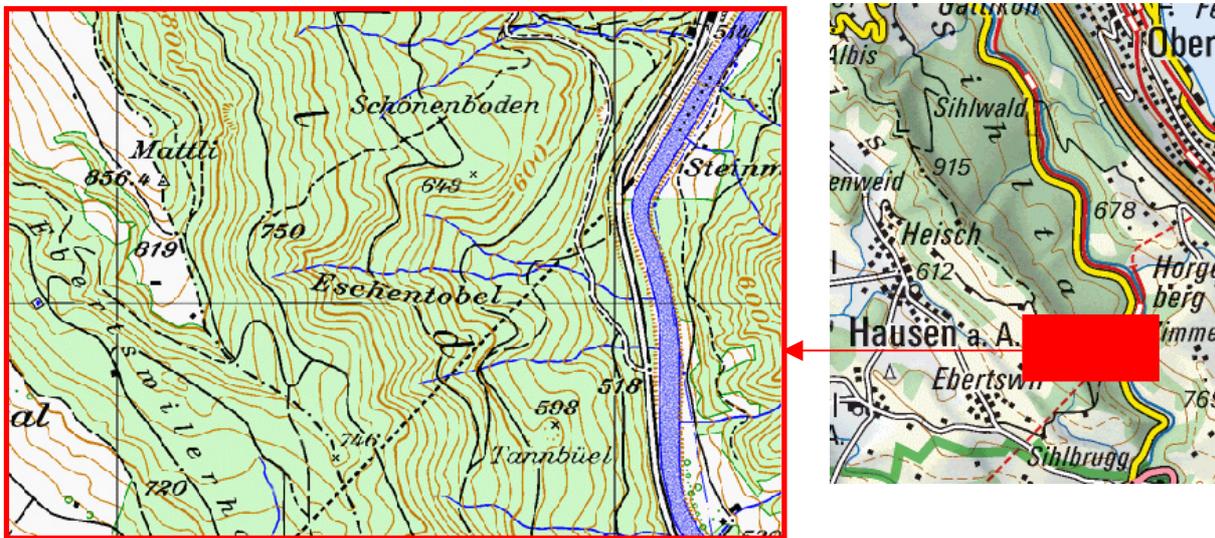


Fig. 4 Testgebiet und Übersichtskarte (SWISSGEO, Juli 2005)

Um die ganze Exaktheit nach kartographischen Kriterien abzuwägen, wird ein Toleranzbuffer gewählt, um die Kontrolle zu gewährleisten.

Am Schluss werden dann die beiden Linienkarten verglichen und analysiert und eine These erstellt, welche Methoden und Parameter geeignet sind, um Konturlinien aus digitalen Laserscanmodellen zu erzeugen.

3.1. Linien-Generalisierung in der Kartographie

In der Kartographie wird mit Generalisierung versucht, Sachverhalte im Raum für den Kartenbenutzer so darzustellen, dass die Karte an Informationen nicht überhäuft ist und somit leserlich ist. Dazu gibt es Minimalgrößen, die nicht unterschritten werden sollten, denn das menschliche Auge kann nur bis zu einem gewissen Grad Objekte auflösen.

Generalisierung ist stets mit Fehlern behaftet, denn beim Vereinfachen eines Sachverhaltes wird Information weggelassen. Trotz diese Veränderungen in den Ausgangsdaten soll die Strukturierung der Daten und ihre Charakteristiken erhalten bleiben. Es wird je nach Zweck und Massstab einer Karte unterschiedlich generalisiert. Bei der Generalisierung werden folgende Operationen unterschieden: Weglassen/Auswählen von Elementen, Vereinfachen/Glätten von Geometrien, Vergrössern und Betonen von Elementen, Zusammenfassen, Klassifizieren und Verdrängen. (HURNI, 2005)

Bei der Umsetzung ist wichtig, dass zwischen geometrischer Generalisierung und sachlicher Generalisierung mit geometrischer Wirkung unterschieden wird. Zusätzlich kann es noch eine temporale Generalisierung geben. (HAKE ET AL., 2002)

Zahlreiche Beispiele zur Generalisierungspraxis befinden sich in "Topographische Karten - Kartographie und Generalisierung", von der Schweizerischen Gesellschaft für Kartographie (SGK) ausgegeben (SGK, 2005).

Bei der Generalisierung von Höhenlinien sind vor allem die Funktionen Vereinfachen und Glätten von zentraler Bedeutung.

In diesem Projekt werden die aktuellen Angaben für Minimalgrößen von der SGK verwendet. Es werden nun die wichtigsten Punkte daraus kurz erläutert:

- Eine **einfache Linie** sollte eine Mindeststrichstärke von 0.08 mm haben. In der Karte 1:25 000 sind dies zwei Meter.
- Bei einer **punktierten Linie** sollten die Mindestabstände zwischen den Punkten 0.4 mm haben.
- Die **Minimale Linienbewegung**, welche von Augen nicht unterschieden werden kann, hat eine Mindestgröße von 0.3 mm. In der 1:25 000 Vergrößerung sind dies 7.5 m.

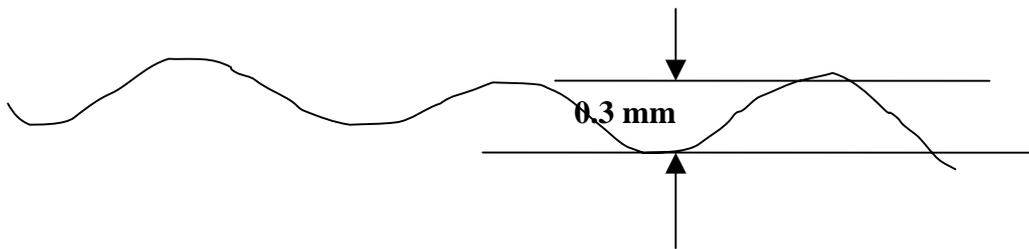


Fig. 5 Minimale Linienschwankung (R. BRIEGEL, nach SGK, Juli 2005)

Für das Generalisieren der Höhenlinien hat dies eine Auswirkung und zwar, dass folgende Annahme gemacht werden kann: Wenn sich die generalisierte Höhenlinie in einem Buffer befindet, der um die nicht generalisierte Höhenlinie unter einer Schwankungstoleranz von 0.3 mm liegt, wird die Abweichung von Auge nicht wahrgenommen. Für die einzelnen Massstäbe kann mit einem Toleranzpuffer gearbeitet werden, der so gewählt ist, dass Schwankungen innerhalb dieses Puffers wegen der minimalen Linienbewegung vernachlässigt werden können. Dieser Puffer variiert je nach Kartenmassstab.

Die Berechnung der Toleranzpuffer wurde folgendermassen vorgenommen:

Masstab	Berechnung (Mindestgröße (in mm) * Masstabszahl / 1000)	Puffer Naturgröße (in m)
1: 25 000	$(0.3 * 25000) / 1000$	7.5
1: 10 000	$(0.3 * 10000) / 1000$	3
1: 5 000	$(0.3 * 5000) / 1000$	1.5
1: 2 500	$(0.3 * 2500) / 1000$	0.75

Table 1 Berechnung der Buffer

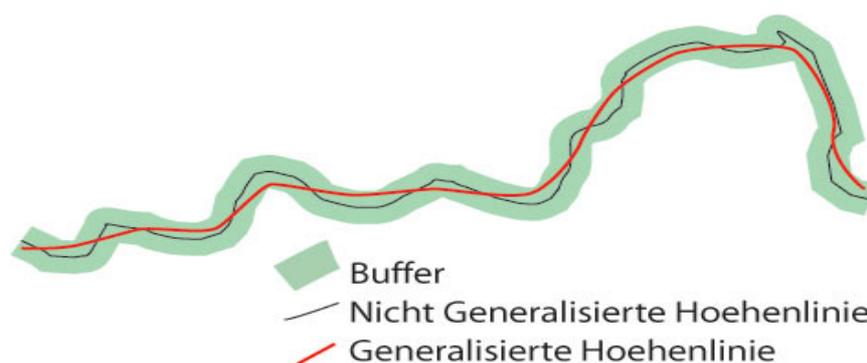


Fig. 6 Visuelle Linienschwankungstoleranz anhand eines Buffers (R. BRIEGEL, Juli 2005)

3.2. Douglas-Peucker-Algorithmus (Simplify)

Um die Linien zu Generalisieren, werden mittels dem Douglas-Peucker-Algorithmus die Punkte entfernt. Daher kommt auch der Name der Funktion Point-Remove.

Der Douglas-Peucker-Algorithmus verfolgt eine bestimmte Methode, nach der Linienstützpunkte nach konkreten Kriterien beibehalten oder eliminiert werden. Die Linie wird dabei als Ganzes betrachtet und die elementare Form der Linie bleibt erhalten.

Der Anfangspunkt und der Endpunkt der zu glättenden Linie werden verbunden und definieren so eine gerade Linie, die sogenannte Grundlinie. Um diese Grundlinie wird ein Toleranzband im Abstand des Schwellwertes gelegt. Es werden nun alle lotrechten Abstände der Zwischenpunkte zu der Grundlinie berechnet. Sind sämtliche Abstände kleiner als der vorgegebene Schwellwert, d.h. liegen alle Punkte innerhalb der Toleranzbreite, so werden die Zwischenpunkte bei diesem Grad der Generalisierung gelöscht. Liegen jedoch Punkte außerhalb des Toleranzbandes, so wird unter diesen Zwischenpunkten der Punkt mit dem maximalen Abstand von der Grundlinie ermittelt. Nun wird die ursprüngliche Grundlinie in zwei Abschnitte geteilt : es entstehen die beiden neuen Linien "Anfangspunkt - Punkt mit maximalem Abstand", sowie "Punkt mit maximalem Abstand – Endpunkt". Mit diesen beiden Linien wird getrennt voneinander wie mit der ursprünglichen Grundlinie verfahren, und zwar solange, bis alle unnötigen Zwischenpunkte eliminiert wurden“. (UNI STUTTGART, 8.7.2005)

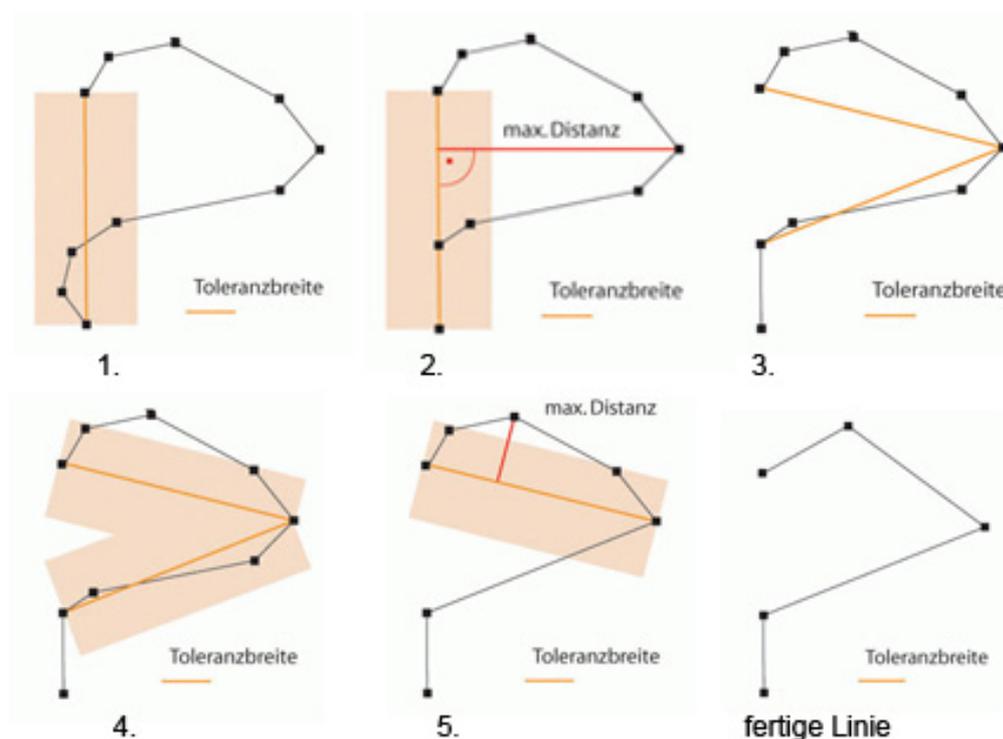


Fig. 7 Douglas Peucker Algorithmus (R. BRIEGEL, Juli 2005)

3.3. PAEK-Algorithmus (Smoothing)

Linien, welche aus direkten Punktverbindungen bestehen, erscheinen bei näherer Betrachtung sehr kantig. Um die Ecken abzurunden und die Linien zu glätten, kann der Polynomial-Approximation-with-Exponential Kernel Algorithmus (PAEK) gebraucht werden.

„PAEK, meaning Polynomial Approximation with Exponential Kernel calculates smoothed lines using a parametric continuous averaging technique. The current point coordinates are calculated by the weighted averaging of the coordinates of all points of the source line. The weights of each point

decrease with the distance along the line to the current point. In addition to averaging, approximation with polynomials of the second degree is used. The smoothed line doesn't necessarily contain all or any vertices of the source line except the end points. The result depends on one parameter. The method is stable - a minor change to the parameter causes a minor change in the result. In general, this algorithm gives better results than BEZIER INTERPOLATION in terms of the smoothed shapes.” (ESRI ArcInfo Help, 2005)

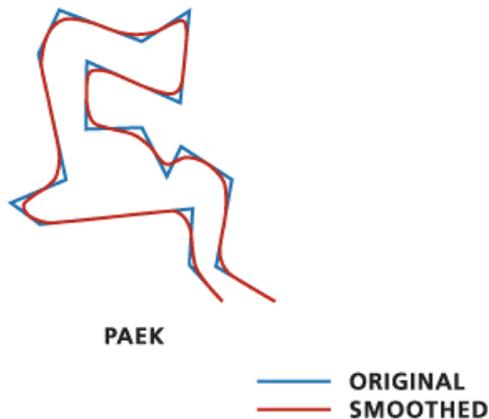


Fig. 8 Funktionsweise des PAEK-Algorithmus (ESRI HELP, 7. Juli 2005)

3.4. Äquidistanz-Berechnung

Für das Wählen der optimalen Äquidistanz stützen wir uns wieder auf die SGK. Die Landeskarten 1:25'000 haben im Mittelland Äquidistanzen von 10m und in den alpinen Gebieten 20m. Wir folgten demnach dem Mittelland-Standart der Landeskarten für unseren kleinsten Masstab.

Bei den anderen Masstäben war es einiges schwieriger. Unsere Tests haben beispielsweise ergeben, dass eine 1m Äquidistanz bei einem Masstab 1:2500 keinen Sinn macht, obwohl die horizontalen Distanzen nun 10mal länger sind. Die Höhenlinien geraten enger aneinander und erfüllen nicht mehr die Minimaldimensionen. Es galt also im Wesentlichen die Steigungen des Untersuchungsgebietes zu ermitteln und die steilsten Hänge ausfindig zu machen.

Dazu gibt es eine Funktion Slope in der Toolbox von ArcGis unter Spatial Analyst Tools / Surface.

Die steilsten Gebiete haben eine Neigung von fast 50 Grad. Das Histogramm der Hangneigungen ist linksschief und kontinuierlich nach rechts auslaufend. Es hat nur sehr wenige extrem steile Stellen in unserem Gebiet. So versuchen wir etwa die letzten 5-10% weg zu lassen, und sie als Ausreisser zu klassieren. So kommen wir zu einem maximalen Winkel von 40 Grad für die Berechnung der Äquidistanz.

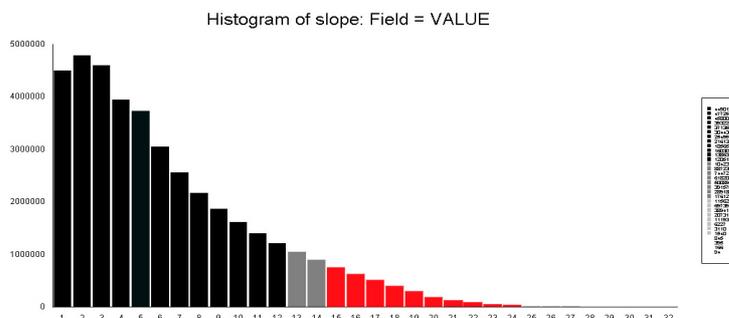


Fig. 9 Histogramm der Hangneigung des Untersuchungsgebietes (R. BRIEGEL, Juli 2005)

Mit Hilfe der Formel von Imhof kann eine optimale Äquidistanz für einen bestimmten Masstab errechnet werden.

$$\text{Optimale Äquidistanz} = n * \log n * \tan \alpha$$

$$n = \sqrt{((\text{Masstab} / 100) + 1)}$$

α = Steilster Winkel

(HAKE ET AL., 2002: S. 427)

Die Formel ergab nun, dass folgende Äquidistanzen für unsere Masstäbe in Frage kommen:

Masstab	Äquidistanz
1: 25 000	10m
1: 10 000	5m
1: 5 000	4 m
1: 2 500	2 m

Table 2 Äquidistanz zum entsprechenden Masstab gemäss Berechnung von Hake et al.

4. Ausarbeitung / Modellierung

4.1. Methode 1

Bei dieser Methode werden vom Original-Laserscan Datensatz, welcher eine Auflösung von 1.0 m hat, die Höhenlinien mit derselben Genauigkeit abgeleitet. Diese Höhenlinien sind sehr detailliert und erscheinen dadurch sehr unruhig in ihrer Zick-Zack-Form. Für einen kleinen Kartenmasstab wirkt der Gesamteindruck der einzelnen Linie zu stark verzerrt.

Ausgehend von dieser Höhenlinie werden in einem ersten Schritt mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus die Stützpunkte der Linie ausgedünnt. Für die einzelnen Masstäbe werden die einzelnen Toleranzbreiten an einem Testgebiet spezifisch eingestellt. Ziel ist es, die generalisierte Höhenlinie möglichst vereinfacht und gerundet darzustellen, während der Verlauf aber immer noch innerhalb des Toleranzbuffers liegt.

Nach diesem Schritt weisen bevorzugt flache Regionen viele Artefakte auf, welche teils manuell, teils mittels Selektion durch bestimmten Schwellenwert der Länge entfernt werden (siehe 4.3 Artefakte). Damit die Linien eine natürliche Rundung bekommen wird eine Glättung mit der Funktion Smooth durchgeführt. Die genauen Parameter-Einstellungen befinden sich im Anhang A, Tabelle 2.

Zum Erstellen der Konturlinien aus einem digitalen Geländemodell sind bei dieser Methode zwei automatische und ein manueller Arbeitsschritt notwendig.

Weiter war noch die Beschriftung ein vorgegebener Arbeitsschritt dieses Projektes. Das ArcMap bietet in einer Extension eine fortgeschrittenere Funktion, die „Maplex Labeling Engine“, um speziell Linien zu beschriften. Die Einstellungen der Beschriftung sind einheitlich über alle Masstäbe gefertigt worden und sind ebenfalls im Anhang A, Tabelle 2 vorzufinden.

Zum Schluss wurden die Datensätze in eine Geodatabase überführt und sind nun für jedermann des GIS Sihlwaldes zugänglich und anhand Metadaten beschrieben.

4.2. Methode 2

Bei dieser Methode wird der Original-Laserscan Datensatz mit einem Resamplingverfahren von einer 1.0 m auf 2.0 m Auflösung verändert. Die Bilinear-Technik zeigte sich als die geeignetste Methode, da das Resultat ein Kompromiss der Nearest Neighbour- und der Cubic Interpolation-Technik ist.

Danach wurden direkt im ArcInfo die Konturlinien aus dem neuen Geländemodell erzeugt und dabei deren Stützpunkte mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus ausgedünnt. Anschliessend wurden spezifisch dem Massstab und seinem Toleranzbuffer entsprechend die Höhenlinien mit der Funktion Smooth geglättet.

Wie bei Methode1 waren auch diese Höhenlinien nicht frei von Artefakten. Mit der Software Jump 1.1.2 und dem Plugin ArcGis Clean Contour wurde auf Linienanhängselartefakten geprüft. Dabei wurden keine Linienanhängselartefakte gefunden. Die überschüssigen Kleinstpolygone wurden zuerst mit einem Längengrenzwert und dann manuell eliminiert.

Die Beschriftung verlief analog wie in Methode 1 mit denselben Einstellungen. Die Datensätze wurden anschliessend ebenfalls in eine separate Geodatabase überführt und sind mit den nötigen Informationen für zukünftige Nutzer belegt.

4.3. Artefakte

Die Artefakte haben uns unerwartet grosse Mühe bereitet und unseren Zeitplan enorm in die Länge gezogen. Es gab dabei zwei Arten von Artefakte. Einerseits waren sogenannte Polygonartefakte vorhanden, die eine Vielzahl an unbrauchbaren Kleinstpolygone bildeten, andererseits waren Linienanhängselartefakte (stulpenhafte, unlogische Anhängsel) an den Konturlinien angehängt. Diese beiden Arten von Artefakte galt es zu eliminieren und werden nun im Folgenden genauer erklärt.

4.3.1. Polygonartefakte

Die Polygonartefakte sind vor allem in flachen Regionen und in Siedlungsgebieten, sowie bei Brücken und Mulden aufgetaucht. In flachen Gebieten verläuft z.B. eine Höhenlinie durch die grosse Genauigkeit streckenweise in grossem Zick-Zack und unnatürlicher Form. Bei den Siedlungsgebieten werden Hausgrundrisse als „Kuppen“ dargestellt, was zwar korrekt wäre, jedoch in einer Karte wenig Sinn ergibt und die Interpretation nur erschwert.

Die Kleinstpolygone wurden deshalb anhand von Grenzwerten der Länge und anhand subjektiver Einschätzung der Form automatisch und manuell eliminiert. Eine völlig automatische Eliminierung ist in diesem Falle nicht möglich, denn bei einer zu grossen Einstellung des Grenzwertes zur Elimination der Polygone würden auch Kuppen herausfallen.

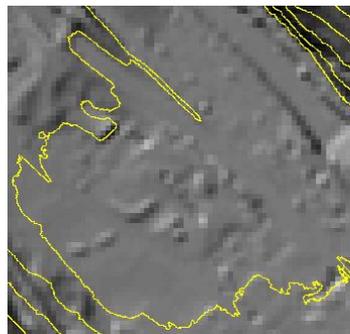
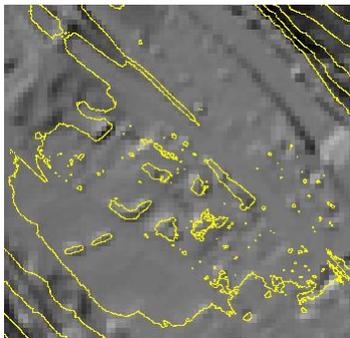


Fig. 10 Artefakte in Siedlungsgebiete (M. ZUAN, JULI 2005):

Links: Vor der Bearbeitung

Rechts: Nach der Bearbeitung

4.3.2. Linienanhängselartefakte

Diese Artefakte sind scheinbar zufällig an einer Linie aufgetaucht, allgemein vermehrt aber in flachen Gebiet. Das Problem bestand darin, dass die Schleifen an einer Konturlinie am gleichen Punkte begonnen haben wo sie auch wieder endeten. Es sind somit eigentlich unterschiedliche Punkte mit gleicher Semantik aufgetreten. Wegen diese Tatsache war es unmöglich, diese Schleifen durch eine Simplify-Funktion im ArcMap zu löschen. Wir wechselten deshalb die Software und wendeten die Opensource-Software *Jump 1.1.2* an. Anhand eines Java-Plugins wurden alle diese Anhängsel (Punkte mit doppelter Semantik) detektiert und anschliessend eliminiert. Dieser Arbeitsschritt brachte uns einen fast kompletten Erfolg und daher war nur wenig Handarbeit noch nötig für die Vollendung dieser Artefaktelimination. Im Anhang B findet man Beispiele dieser Artefakte.

4.4. Probleme

Sowohl bei der Methode 1 als auch bei der Methode 2 gab es mehrere Probleme:

Ein wichtiges gemeinsames Problem ist die lange Rechenzeit des Servers beim Ausführen von bestimmten Funktionen, besonders für das Erstellen der Buffer. Je grösser der Massstab, je länger dauerte die Rechenzeit. So brauchte zum Beispiel das Erzeugen des 1:10'000er Buffers fast vier Tage „non-stop-computing“.

Für die Artefaktelimination der Polygone fanden wir kein reines automatisches Konzept. Es können geschlossene Polygone bis zu einer bestimmten Umfanglänge automatisch gelöscht werden, doch dabei besteht die Gefahr, dass auch relevante Kuppen mit herausgelöscht werden. Es ist unerlässlich mit Hilfe der Landeskarte und dem Oberflächenmodell das ganze Gebiet manuell zu bearbeiten. Diese Arbeit haben wir zu Beginn auch eindeutig unterschätzt. Weiter war die Elimination der Linienanhängselartefakte auch nicht vorprogrammiert gewesen. Denn im Testgebiet sind sowohl bei der Methode 1, als auch bei der Methode 2 keine solche Artefakte vorgekommen. Hierzu ist zu sagen, dass wir die flachen Gebiete des Untersuchungsgebietes im Testgebiet nicht berücksichtigt haben, jedoch entscheidend gewesen wären, um auf die Artefakte zu stossen.

Für all diese unvorhergesehenen Probleme haben wir lediglich eine Woche als Pufferzone eingeplant, um das Projekt samt Bericht Ende Semester abzuschliessen. Zu wenig, wie wir jetzt im Nachhinein feststellen müssen.

5. Verifikation und Validation

5.1. Verifikation

5.1.1. Qualitativ

Die folgenden Abbildungen sind nun Vergleiche zweier Konturliniendatensätze gleichen Masstabes, erzeugt durch Methode 1 (gelb) und Methode 2 (rosa):

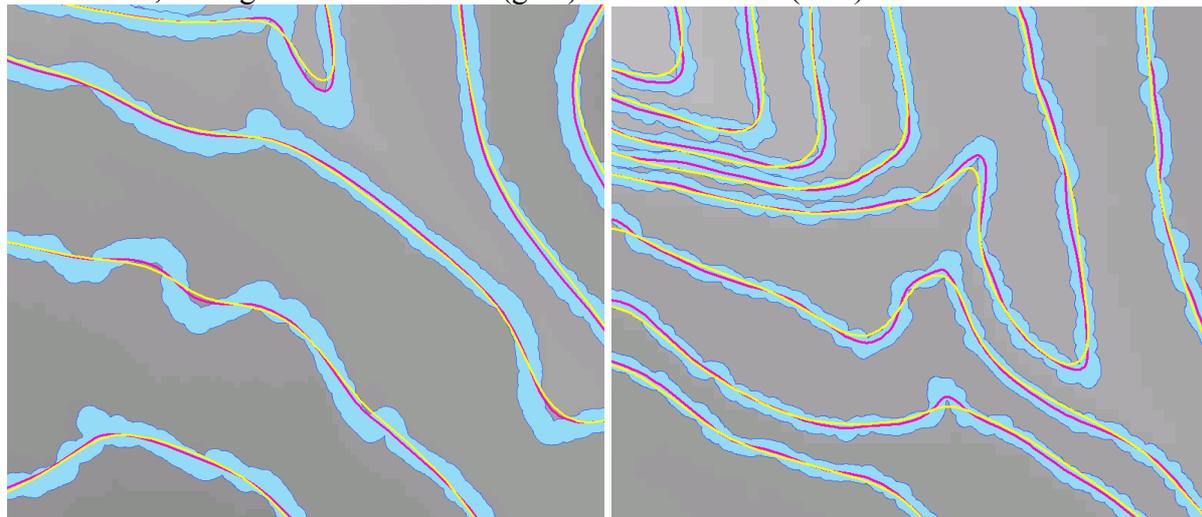


Fig. 11 1:25'000er Konturlinien

1:10'000er Konturlinien

Erkennbar durch die relativ hohen Beträge des Simplify und Smoothing in der Tabelle 3 im Anhang B, kommt die stärkere Generalisierung der Methode 1, das heisst die Ausdünnung der Stützpunkte, trotz Erzeugung aus dem Original-DGM, vor allem bei den S-Kurven der Puffer gut zum Ausdruck. Bei der Erzeugung der Konturlinien (rosa) der Methode 2 wurde speziell auf das Einhalten der Puffertoleranz in den engen Kurven geachtet. Dies führte natürlich zu Konturlinien mit grösseren Linienschwankungen während beim Erzeugen der Konturlinien (gelb) der Methode 1 mehr auf Kontinuität und Regelmässigkeit geachtet wurde.

Aus rein qualitativer Sichtweise und der Gewissheit, dass beide Methoden unter ziemlich ähnlichen Arbeitsschritten erfolgten und sehr ähnliche Resultate lieferten, sind somit die Methoden als sehr konsistent zu betrachten.

5.1.2. Quantitativ anhand Examples

a) Puffererzeugung

Wie schon im Abschnitt des Konzeptes bereits erwähnt ist, prüfen wir die Genauigkeit unserer erzeugten Konturlinien mit Toleranzpuffern. Anhand der vorgegebenen Mindestgrössen (siehe Anhang B), erzeugten wir aus den völlig unbearbeiteten Konturlinien – also vor der Simplifizierung und Glättung – Toleranzpuffer mit ihren spezifischen Breiten in Abhängigkeit des Masstabes. Die Funktion Buffer ist bei den Analysis Tools unter dem Kapitel Proximity zu finden. Als *Distance* musste dabei die Hälfte der Pufferdistanz eingegeben werden. Beim 1:25'000er Puffer von 7.5m also 3.75m.

Der Ablauf scheint nach einem kurzen Arbeitsschritt zu klingen, doch das ganze Prozedere mit überlastetem Server und zu geringer Speicherkapazität – wie bereits im Abschnitt der Probleme erwähnt – dauerte eine ganze Woche, um die Buffer der Masstäbe 1:25'000 und 1:10'000 fertigzustellen.

b) Buffer-Contourline-Intersection

Anschliessend verschnitten wir die generalisierten Konturlinien mit den Puffern und stellten folgendes fest:

Methode 1:

Die meisten Liniensegmente liegen innerhalb des Puffers. Infolge der doch starken Generalisierung der Linien mit dem PAEK-Algorithmus sind aber die scharfen Kurven der Puffer abgeschnitten worden. Oft liegen die Linien dort innerhalb des Kurvenradius.

Methode 2:

Der grösste Teil der Liniensegmente liegt innerhalb der Puffer. An den Pufferkurven liegen zum Teil die Konturlinien ausserhalb der Toleranz. Dies geschah wie bei Methode 1 ebenfalls aufgrund des PAEK-Algorithmus, der die Kurvenradien der Ecken verkleinert. Sonst sind die Konturlinien wie erwartet innerhalb der Puffer.

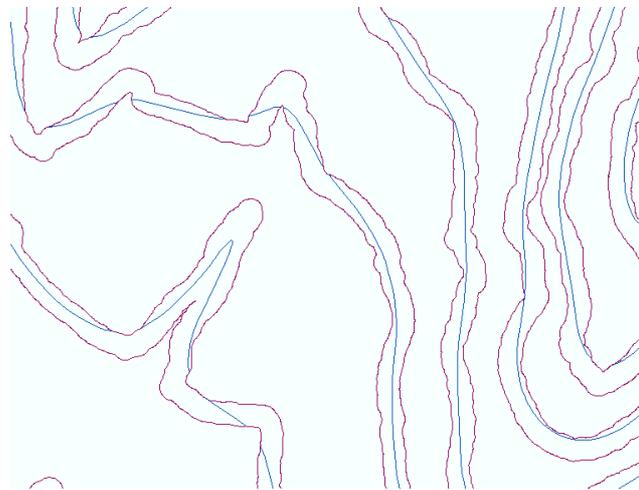


Fig. 12 1:25'000er Konturlinien nach der Bufferintersection der Methode 2 (C.Sailer, Juli 2005)

c) Längenberechnung

Nun berechneten wir die Summe der Längen innerhalb des Puffers. Es war aber wichtig, dass vorerst die Linien von multipart features in singlepart features umgewandelt wurden. Nur so konnte dann die Summe jedes einzelne Liniensegment summiert werden. Im MapCalculator rechneten wir dann die Summe dieser puffertreuen Linien.

d) Resultate am Beispiel des 1:25'000er Datensatz

Methode 1:

Es wird in einem ersten Schritt die Gesamtlänge der generalisierten Höhenlinie berechnet. Dies sind 1'258'356 Meter. In einem nächsten Schritt wird die Differenz berechnet von den Abschnitten, welche ausserhalb des Puffers liegen. Als nun zurückbleibende Längen aller Segmente innerhalb des Puffers resultieren 947'108 Meter. In Prozent umgerechnet sind dies 75% der generalisierten Höhenlinien.

Methode 2:

Mit dem gleichen Verfahren wie in Methode 1 resultieren hier 987'001 Meter von 1'020'810 Meter, die im Toleranzpuffer liegen. Somit sind 97% der kreierte Linien von Auge nicht von den Originalkonturlinien zu unterscheiden.

Auf den ersten Blick erscheinen die Resultate der Methode 1 sehr schlecht zu sein, und die der Methode 2 fast perfekt. Doch diese Resultate sind nicht zufällig entstanden, sondern hängen vom Generalisierungsgrad ab. Im Allgemeinen sind es bei der Methode 1 nur sehr kleine Teilstrecken, welche aus dem Buffer fallen und dies nur bei sehr engen Kurven. Das Abschätzen des Wertes des Resultates unterliegt somit der persönlichen, subjektiven Einschätzung.

5.1.3. Vergleich der 1:25'000er Karten der Methode 1 und Methode 2

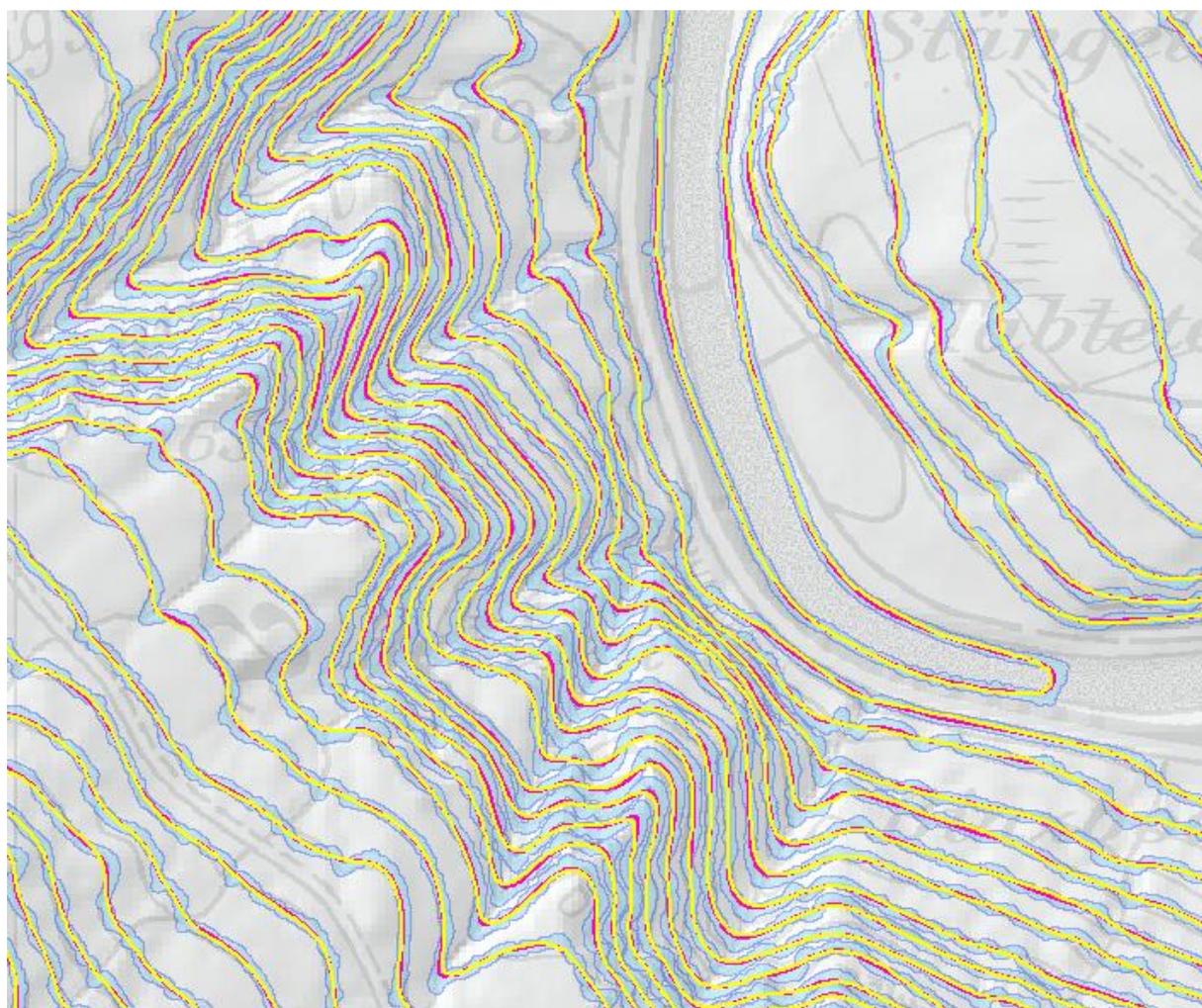


Fig. 13 Ausschnitt aus dem Datensatz 1:25'000 mit Konturlinien beider Methoden (M. ZUAN, 2005)

Hier ist vor allem in den Tälern gut ersichtlich, dass die gelben Linien der Methode 1 kleinere Radien drehen, während die roten Linien der Methode 2 engere Kurven bilden und sich mehr in den Puffern festklammern. Im allgemeinen stimmen die beiden Methoden sehr gut überein und visuell lässt sich kaum ein Unterschied erkennen.

5.2. Validation

Bei der Validation unserer Methoden bezieht sich die Frage hauptsächlich auf die Gültigkeit der angenommenen Parameter. Weiter ist die kritische Reflexion der Minimalgrößen und der von uns gewählten Standards ein wichtiger Beitrag der Validation.

Unser wohl wichtigstes Kriterium der Parameterwahl war, dass die Toleranzbreite des Puffers – die minimale Linienbewegung von 0.3 mm - eingehalten wird. Die Frage ist nur, ob die Absicht auch wirklich umgesetzt werden konnte. Denn theoretisch sind auch jetzt noch Linienbewegungen möglich und wohl auch vorhanden, die kleiner als 0.3 mm sind. Doch eine Methode zum Feststellen dieses Sachverhaltes ist uns nicht bekannt. Demzufolge dürfen die Puffer und der dort vorhandenen Resultate der Streckenlängen der Linien innerhalb der Puffer, nicht überbewertet werden.

Allgemein sind aber unsere Methoden und Algorithmen von Fachkräften anerkannt, wie es im Abschnitt des Konzeptes geschrieben steht.

6. Diskussion der Resultate

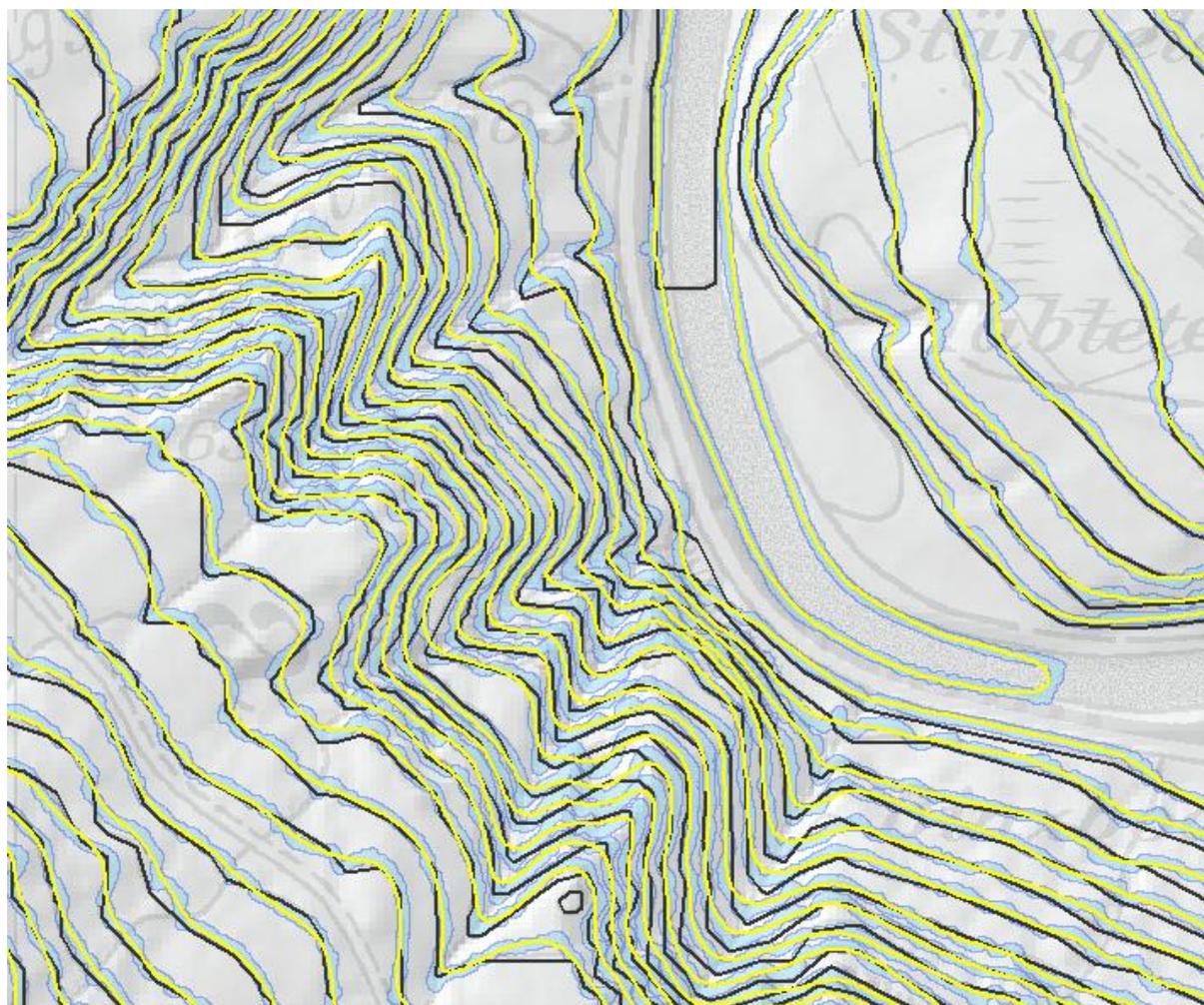


Fig. 14 Vergleich der Konturlinien der Methode 1 mit der DHM25-Linien (M. ZUAN, Juli 2005)

Beim Vergleich der gelben Höhenlinien der Methode 1 mit den schwarzen Höhenlinien der swisstopo erkennt man, dass die gelben Linien viel weicher und gerundeter sind. Die schwarzen Linien sind eckiger und haben lange Kanten. Es lässt so vermuten, dass sie aus viel weniger Stützpunkte bestehen, da sie ja aus eine DGM mit 25 Meter Auflösung entstanden. Der Unterschied des Grades der Exaktheit beider Modelle kommt deshalb gut zum Ausdruck. Ein weiterer Unterschied ist im Flussbett der Sihl auszumachen. Die gelbe Linie ist viel weiter flussaufwärts gezogen, was möglicherweise aufgrund einer Tiefenerosion der Sihl zustande kam, viel eher wohl aber mit der höheren Genauigkeit des DTM der Methode 1 zu tun hat. Vermutlich sind an beiden Stellen natürliche oder künstliche Schwellen vorhanden. Auf Grund der höheren Genauigkeit der resultierenden Linien ist die Methode 1 dem Verfahren der swisstopo vorzuziehen. Der Nachteil liegt in der Darstellung von Kerbtälern und anderen eckigen Formen, die mit den weicheren gelben Linien nur ungenügend wiedergegeben werden können. Ein weiterer Vorteil der Karte der swisstopo ist, dass sie Zwischenhöhenlinien enthält, die vor allem die flachen Gebiete besser darstellen. Es besteht aber natürlich auch die Möglichkeit die fehlenden Zwischenhöhenlinien nachträglich bei der Methode 1 einzufügen.

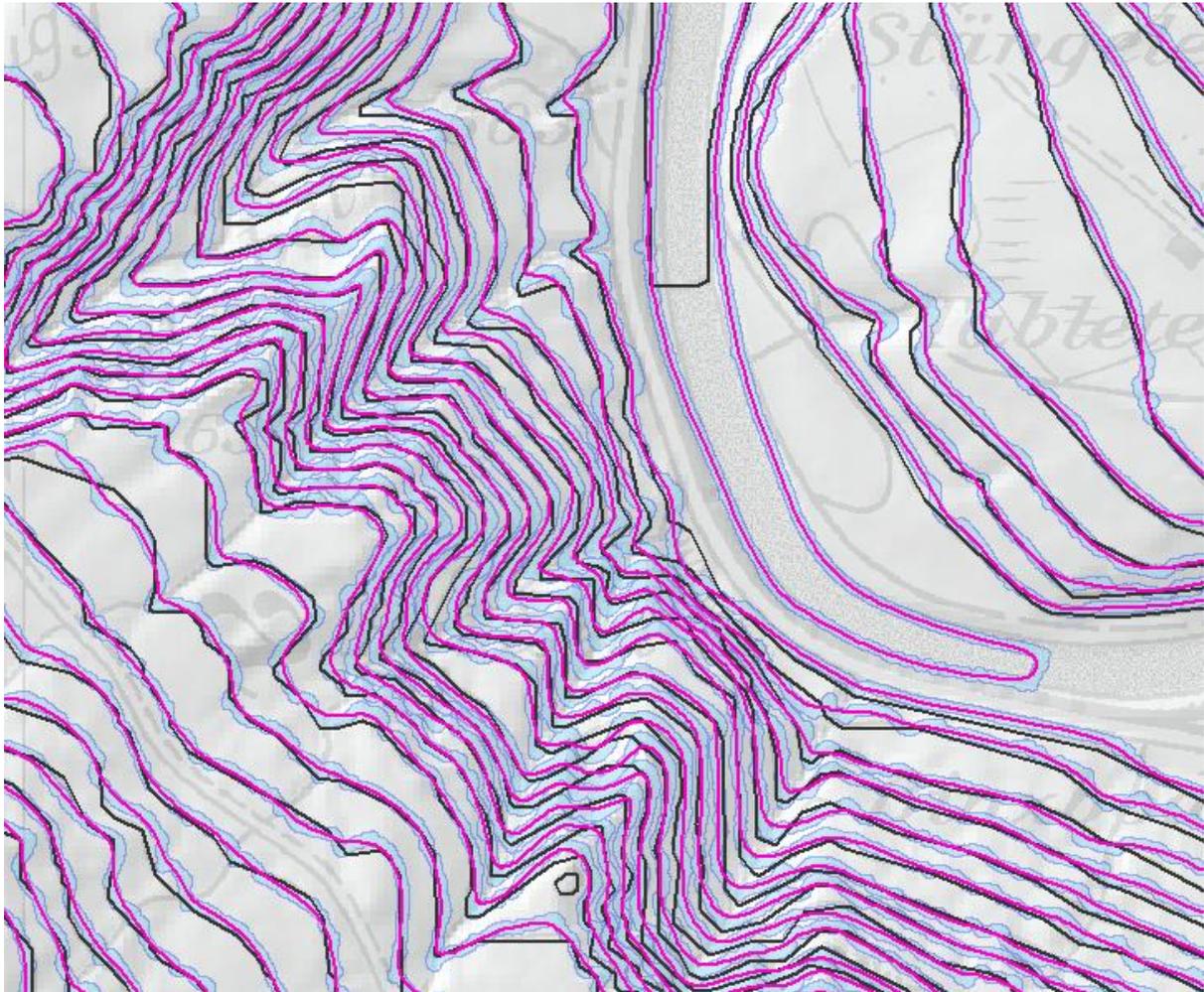


Fig. 15 Vergleich der Konturlinien der Methode 2 und der DHM25-Linien (M. ZUAN, Juli 2005)

Beim Vergleich der violetten Höhenlinien der Methode 2 mit den schwarzen Höhenlinien der swisstopo erkennt man wieder den Glättungsalgorithmus, den die Linien bei der Methode 2 erfahren haben. Die schwarzen Linien sind eckiger und weisen einen höheren Generalisierungsgrad auf.

Generell sind die Unterschiede zwischen Methode 2 und swisstopo eigentlich dieselben wie die Unterschiede zwischen Methode 1 und swisstopo.

Organisation der resultierenden Datensätze:

Die Resultate liegen in zwei separaten Geodatabases (Methode1 & Methode2) vor. Zusätzlich haben wir die einzelnen Kartenlösungen symbolisiert und gemäss Tabelle 4 Anhang B beschriftet und als Layerpakete abgespeichert. Diese Lösungen liegen ebenfalls im Hauptordner *GEODATABASE* und Unterordner *Layerfiles*.

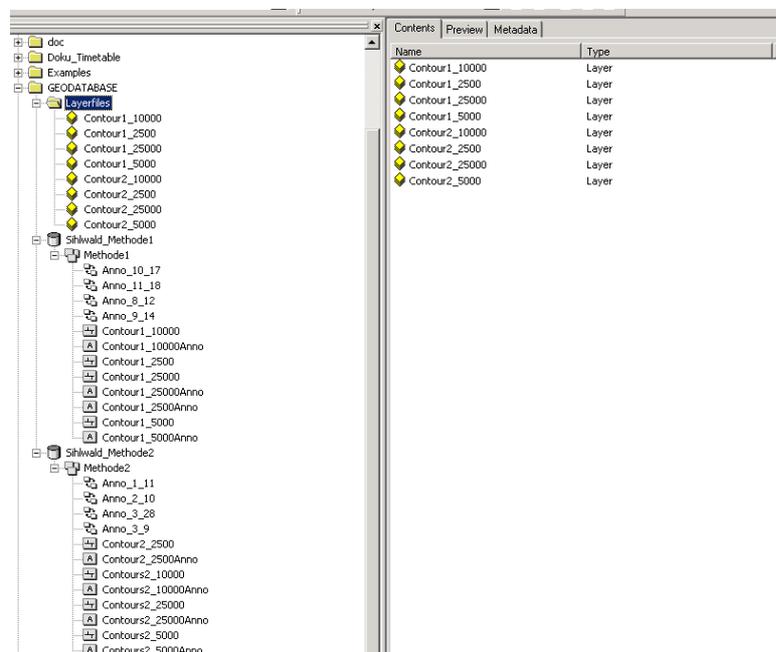


Fig. 16 Ausschnitt aus ArcExplorer des Hauptordners GEODATABASE (C.SAILER, JULI 2005)

7. Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Konturlinienkarten in den vier Massstäben 1:25'000, 1:10'000, 1:5'000 und 1:2'500 mit den entsprechenden Annotationen generiert. Ausserdem wurden alle Karten in eine Geodatabase überführt und zum Schluss mit Metadaten beschrieben, damit verschiedene Nutzungsgruppen direkt Zugriff erhalten, die Datenverwaltung vereinfacht wird und die Aktualität gewährleistet werden kann.

Wir haben uns dabei stark auf die Theorie der SGK gestützt und haben mit eigener Erfahrung und Diskussion innerhalb der Gruppe und mit den Betreuern zwei verschiedene Methoden getestet und fertiggestellt.

Der Grund, zwei verschiedene Methoden parallel zu testen war, dass wir nicht sicher waren, welche Methode erfolgreich zum Ziel führt. Dass schlussendlich beide Methoden brauchbare Resultate lieferten, freute uns umso mehr. Aus diesem Grund haben wir acht Endprodukte (zwei für jeden Massstab) erhalten, die uns hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Speicherbedarf, Genauigkeit und visuellem Anspruch sehr zufriedenstellen. Mit der Annotation sind wir nur bedingt zufrieden, da die automatische Platzierung nicht das gewünschte Resultat lieferte.

Der Arbeitsaufwand bei der automatischen Ableitung der Höhenlinien lag im Rahmen unserer Vorstellungen. Die Funktion die im ArcGis angeboten wird, schätzen wir als effizient und zweckmässig ein. Auch die Funktionen für die Linienausdünnung und die Glättung der Linien erfüllten ihren Zweck.

Unterschätzt haben wir eindeutig den Arbeitsaufwand der manuellen Nachbearbeitung bei der Elimination der Artefakte. Dieser hat erheblich mehr Zeit in Anspruch genommen als geplant war. Probleme bereiteten uns vor allem die Siedlungsgebiete, Gewässer, Brücken und Mulden. Das Ableiten der Höhenlinien für das eigentliche Untersuchungsgebiet Sihlwald verlangte nur geringer manueller Nachbearbeitung. Überrascht waren wir auch von dem grossen Speicherbedarf und der langen Rechenzeit bei der Berechnung der Puffer und beim Glätten der Höhenlinien, vor allem bei den grossen Massstäben.

Verbesserungspotential für zukünftige Arbeiten sehen wir vor allem bei Herstellung des digitalen Geländemodells (DGM) aus dem Laserscanning. Die Bebauung muss unbedingt aus dem DGM gefiltert werden, damit beide Methoden zur Erzeugung der Höhenlinien effizienter und schneller ausgeführt werden können. Auch die Wellenbewegungen auf Gewässern sollte irgendwie rausgefiltert werden.

Ausbaubedarf erkennen wir zudem bei der Elimination der Artefakte. Die Länge der Polygone und Linien stellte sich als mögliches, aber eher ineffizientes Kriterium für die Löschung der Artefakte heraus. Mit den entsprechenden Programmierkenntnissen könnte ein Algorithmus geschrieben werden, der es erlaubt, alle Artefakte ohne manuelle Nachbearbeitung automatisch zu eliminieren. Trotzdem denken wir, dass auch in naher Zukunft auf die manuelle Bearbeitung nicht verzichtet werden kann.

8. Literaturverzeichnis

ESRI ARCFINFORM HELP (2005):

Smoothing and generalizing features
How Simplify Line or Polygon works

ESRI-HANDOUTS (2005):

- Using spatial Analyst
- Building a Geodatabase
- Geodatabase Workbook

GITTA ELLING (2002):

Einsatz von digitalen Höhenmodellen in der Forstverwaltung, Diplomarbeit,
Institut für Kartographie an Technischer Universität Dresden

HAKE, G. ET AL. (2002):

Kartographie:
Visualisierung raumzeitlicher Informationen,
Walter de Gruyter Verlag, 8. Auflage. Berlin

HURNI L. (2005):

Vorlesungskript von Prof. Dr. L Hurni, , Generalisierung Skript 6, ETH Zürich
Institut für Kartographie Sommersemester 2005.

WEBPAGE BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT

http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/fachgebiete/fg_wald/rubrik/waldinfos/vielfalt_waldreservate,
Zugriff: 2.7.2005

WEBPAGE GIS SIHLWALD

<http://www.sihlwald.unizh.ch>,
Zugriff: 15. 6. 2005

WEBPAGE SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAFIE (SGK)

www.cartography.ch/publikationen/publications.html,
Topografische Karten – Kartengrafik und Generalisierung,
Zugriff: 20.6. 2005

WEBPAGE STADT ZÜRICH

<http://www3.stzh.ch/internet/gsz/home/naturraeume/sihlwald>,
Zugriff 8.7. 2005

WEBPAGE SWISSGEO

www.swissgeo.ch,
Zugriff: Juli 2005

WEBPAGE UNI STUTTGART

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/lehre/studienarbeiten/bernecker.html#Douglas>,
Zugriff: 8.7. 2005

Anhang A: Verwendete Parameter in tabellarischer Form

Verwendete Arc-Gis 9 - Parameter der Methode 1

Massstab	Simplify	Smooth	Äquidistanz	Speicherbedarf vor Generalisierung	Speicherbedarf nach Generalisierung
1:25000	4m	a) 50m b) Bereinigen der Artefakte c) 20m Grund: Artefakte sind nach erstem Smoothing leichter erkennbar	10m	57.2 MB	5.7 MB
1:10000	2m	a) 15m b) Bereinigen der Artefakte c) 10m Grund: Artefakte sind nach erstem Smoothing leichter erkennbar	5m	114 MB	23.1 MB
1:5000	1.3m	20m	4m	154 MB	31 MB
1:2500	1m	8m	2m	310 MB	80.3 MB
Digitales Geländemodell: DTM_int: 315MB					

Table 3 Parameter der Methode 1

Verwendete Parameter Methode 2

Massstab	Simplify	Smooth	Äquidistanz	Speicherbedarf vor Generalisierung	Speicherbedarf nach Generalisierung
1:25000	1m	50m	10m	26.6 MB	3.5 MB
1:10000	1m	10m	5m	3.9 MB	28.5 MB
1:5000	1m	10m	4m	68.3 MB	35.5 MB
1:2500	1m	5m	2m	133 MB	131 MB
Digitales Geländemodell: DTM_int_2m: 80 MB					

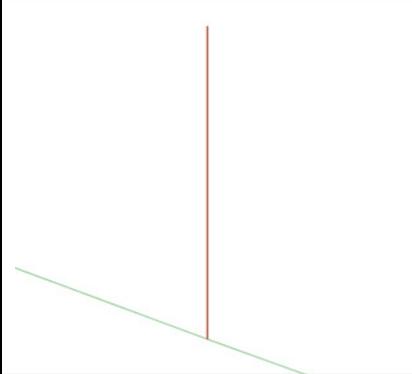
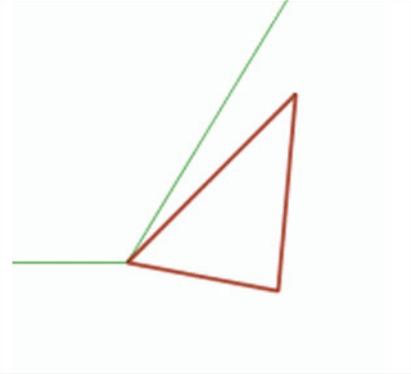
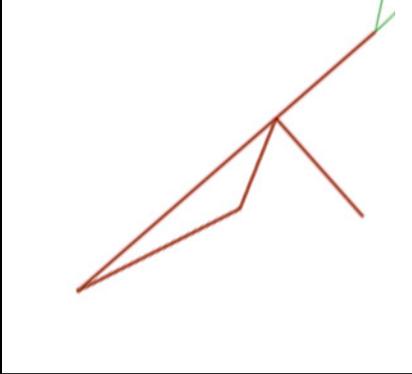
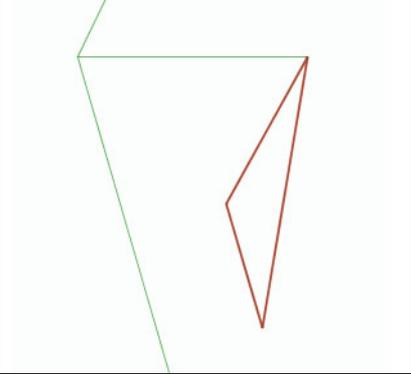
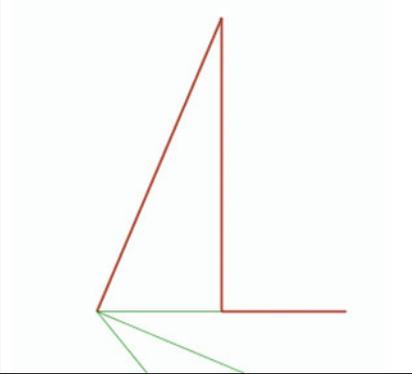
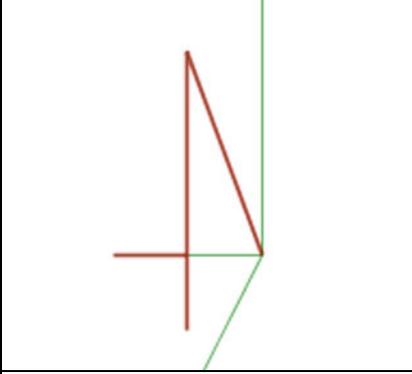
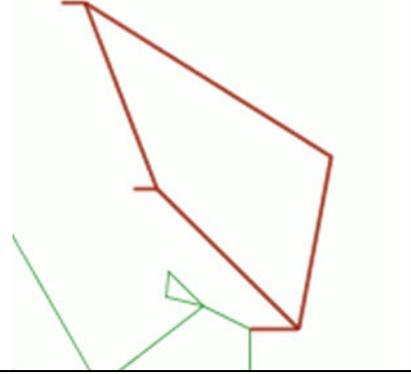
Table 4 Parameter der Methode 2

Verwendete Parameter der Beschriftung in der Maplex Label Engine check box:

<p>Text string: Contour</p>
<p>Text symbol: TimesNewRoman 6pt, kursiv, RGB-Braun (200, 100, 0) Symbol, Properties: Mask: Style: Halo 1.5</p>
<p>Placement Properties:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Position Options <ul style="list-style-type: none"> - Position: Centered Curved - Label Orientation: not selected 2. Label Fitting Strategy <ul style="list-style-type: none"> - Stack Label: not selected - Overrun feature: not selected - Reduce font size: not selected - Abbreviate Label: not selected 3. Conflict Resolution <ul style="list-style-type: none"> - Feature weight: default (0) - Background label: not selected - Remove duplicate labels: Search Radius: 30 MapUnits - Never remove Labels: not selected - Label buffer: default (15%)
<p>4. SQL Query Bei 1:25'000: [CONTOUR] = 500 OR [CONTOUR] = 550 (alle 50er Linien beschriftet)</p> <p>Bei 10:'000, 1:5'000 und 1 :2'5000: [CONTOUR] = 500 OR [CONTOUR] = 520 (alle 20er Linien beschriftet)</p>

Table 5 Verwendete Parameter der Annotation

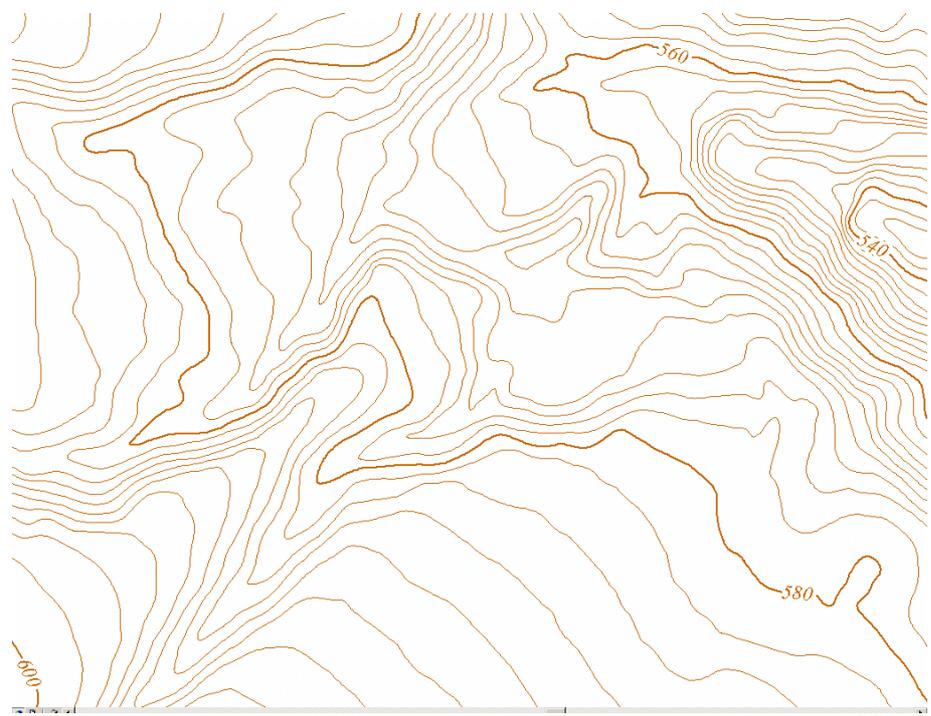
Anhang B: Artefaktklassifikation in illustrativer Form

		
1: Es	1: Sch	1a: Es 1b: Sch
		
1: Zws 2a: Sch 2b: Es	1: Zws 2: Sch	1: Sch 2: Es
		
1: Sch 2a: Es 2b: Es	1: Zws 2: Sch 3a: Es 3b: Es	

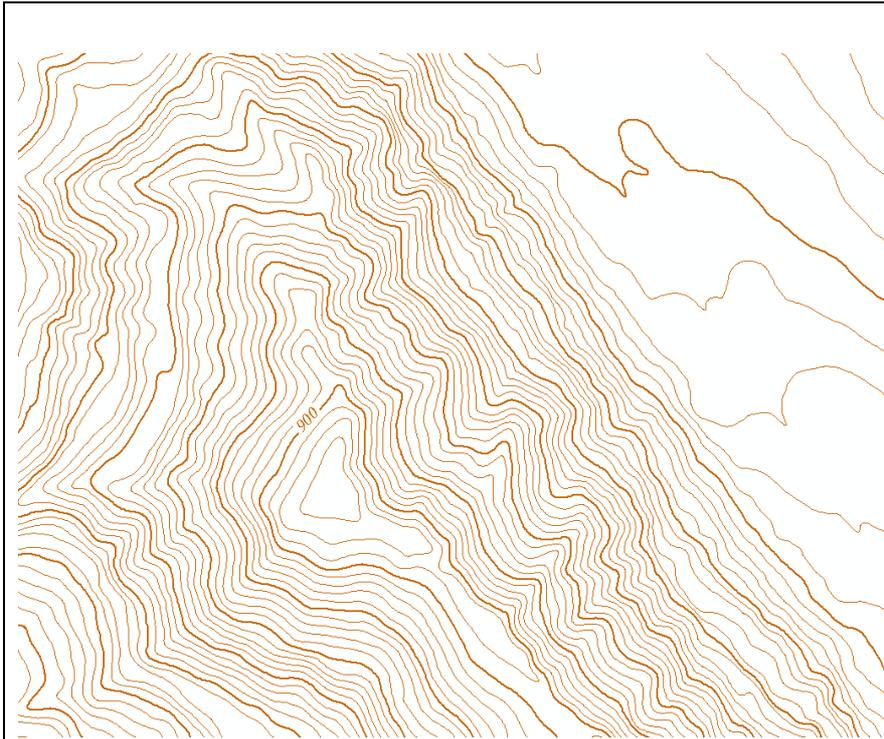
Abkürzungen der Anhängsel:**Zws:** Zwischensegment**Es:** Endsegment**Sch:** Schlaufe**1,2,3:** Gerade ab Startpunkt auf korrekter Konturlinie**a,b:** Parallel weglaufende Objekte gleichen Grades

Anhang C: Ausschnitte einzelner Karten

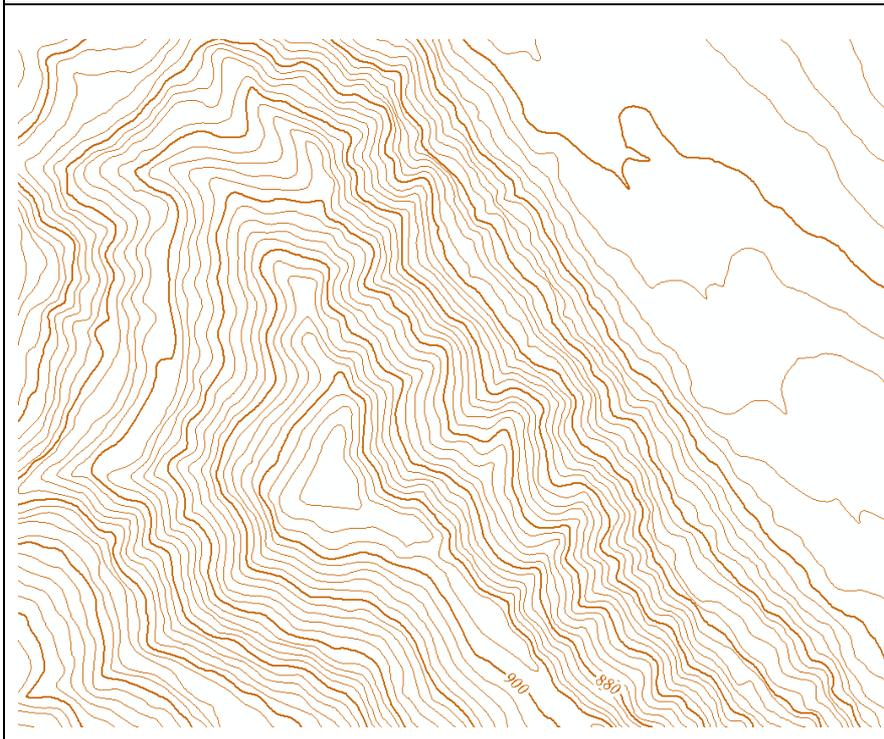
Masstab: 1:2'500

	<p>Methode 1</p>
	<p>Methode 2</p>

Masstab: 1:5'000

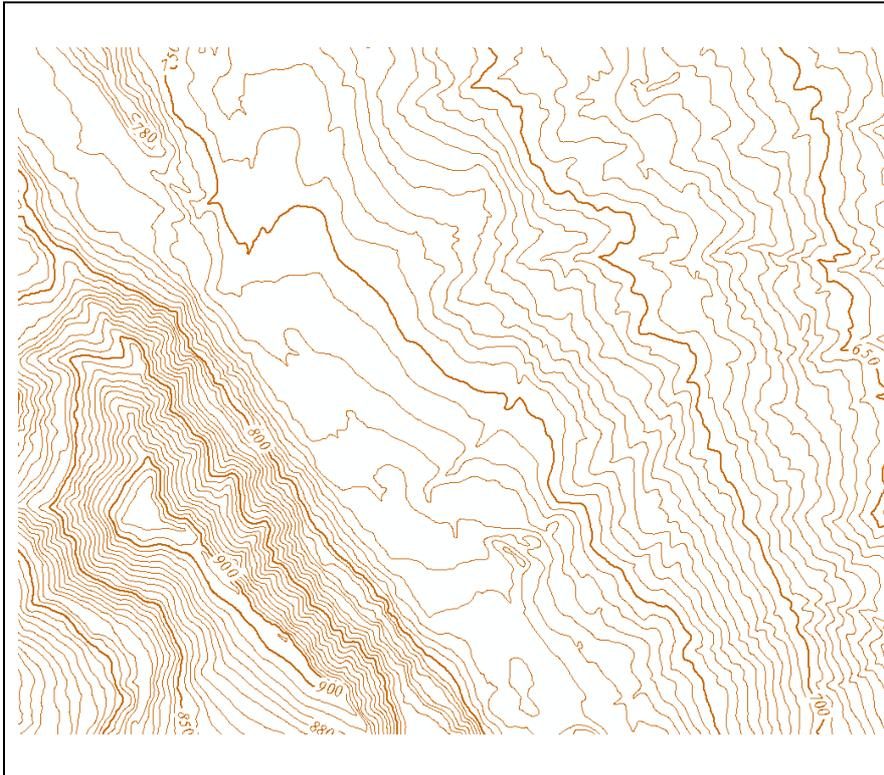


Methode 1



Methode 2

Masstab: 1:10'000

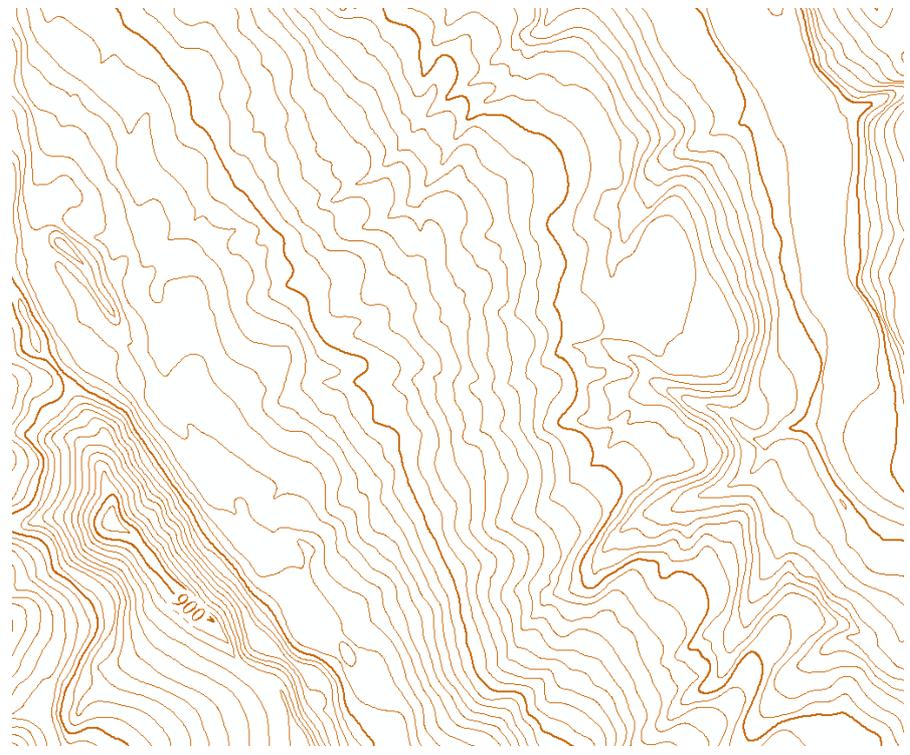


Methode 1



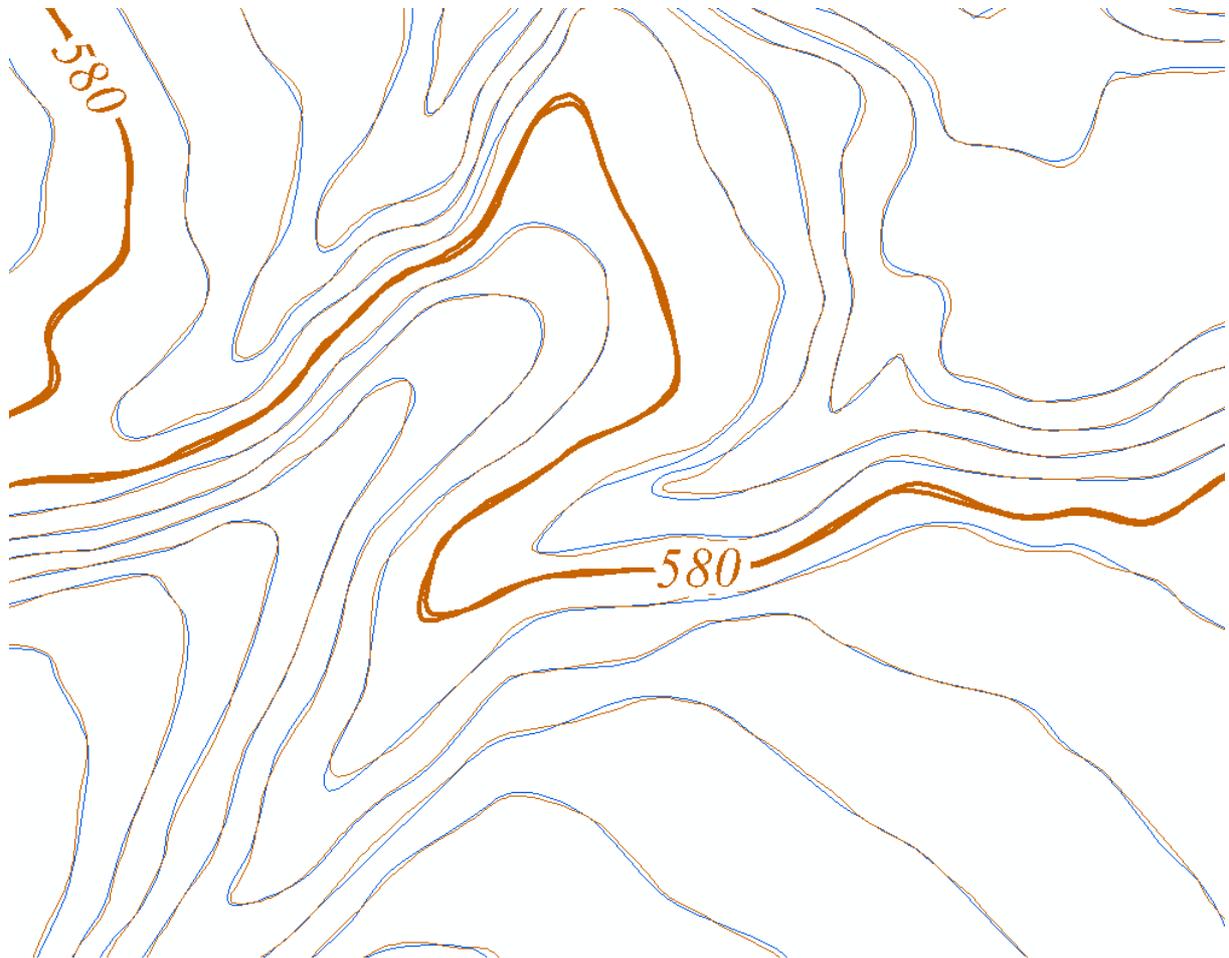
Methode 2

Masstab: 1:25'000

	<p>Methode 1</p>
	<p>Methode 2</p>

Anhang D: Vergleich einzelner Karten gleichen Massstabes

1:2'500



Blaue Linie: Methode 1
Braune Linie: Methode 2

1:5'000



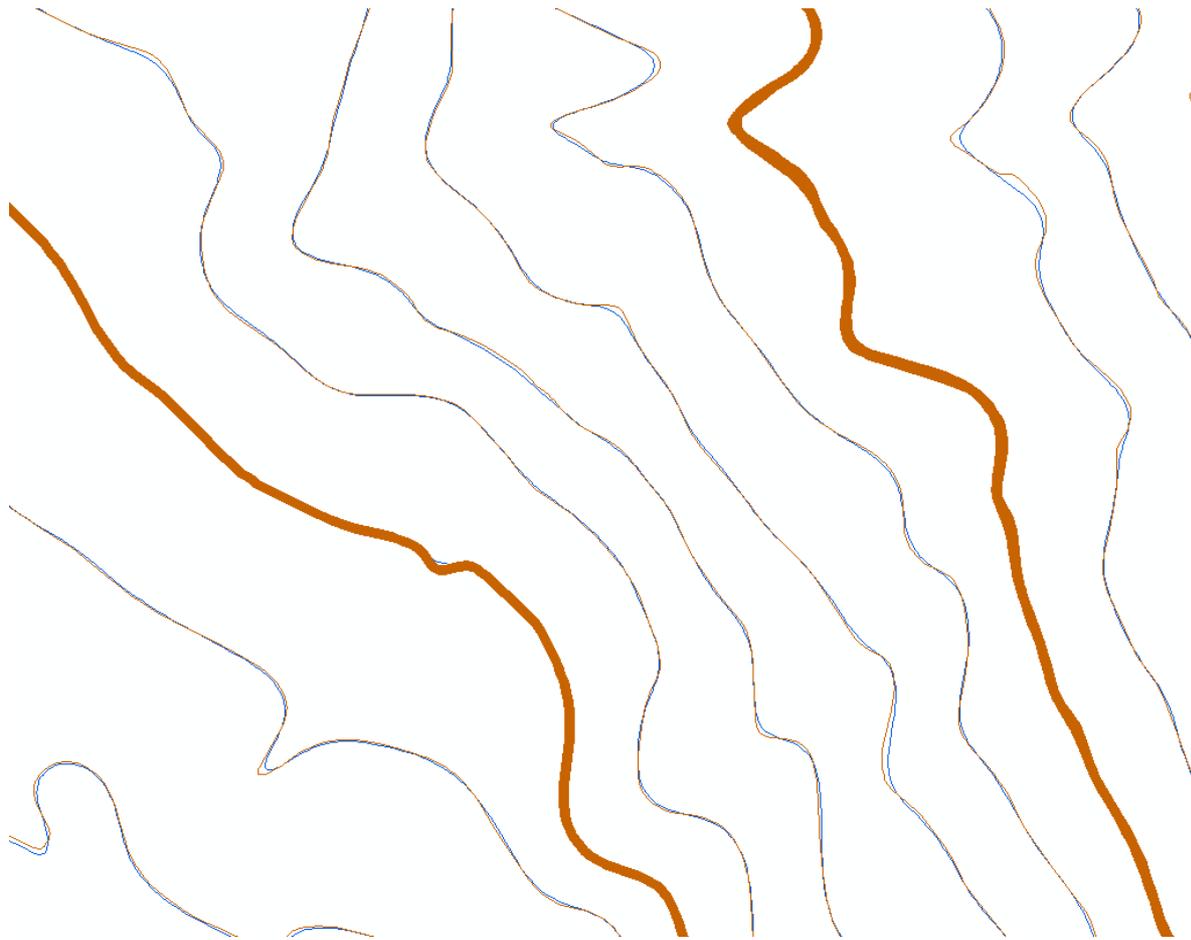
Blaue Linie: Methode 1
Braune Linie: Methode 2

1:10'000



Blaue Linie: Methode 1
Braune Linie: Methode 2

1:25'000



Blaue Linie: Methode 1
Braune Linie: Methode 2