
Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus für die Abgrenzung von vergleichbaren Talbodensegmenten im Rahmen des Sparkling Science Projektes „FlussAu:WOW!“

Markus HEINGARTNER¹, Sabine PREIS², Andreas LOACH², Roland GRILLMAYER¹,
Sigrid SCHEIKL², Michaela POPPE², Brigitte RUDEL³, Susanne MUHAR²

¹Fachhochschule Wiener Neustadt, Studiengang Informatik, Fachbereich Geoinformatik, Wiener
Neustadt · 77908@fhwn.ac.at

²Universität für Bodenkultur, Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Wien

³Fachhochschule Wiener Neustadt, Studiengang Informatik, Wiener Neustadt

Zusammenfassung

Im Rahmen des Sparkling Science Projektes „FlussAu:WOW!“ sollen wichtige Funktionen und Prozesse von Flusslandschaften unter besonderer Berücksichtigung des Fluss-Auenniveaus durch integrative biologische, abiotische und/oder räumliche Indikatoren erfasst und bewertet werden. Zentrale Datenbasis für die Analysen bilden die sogenannten LiSA-Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten („LiSA“ – Landinformationssystem Austria), welche im Rahmen der EU-Aktionslinie GMES (Global Monitoring for Environment and Security) durch FFG und BMVIT gefördert wurden (vgl. WEICHSELBAUM et al. 2009, GRILLMAYER et al. 2010, BANKO et al. 2012).

Die Entwicklung eines Algorithmus für die Segmentierung der untersuchten Flusslandschaften in räumlich vergleichbare Subeinheiten stellt eine wichtige Grundlage für die o. g. Forschungsarbeiten dar. Der Segmentierungsalgorithmus wurde vom Fachbereich Geoinformatik der Fachhochschule Wiener Neustadt in den sogenannten *TalbodenTools* umgesetzt. Aufbauend auf den im Rahmen des Projektes abgeleiteten Talbodenpolygonen (vgl. POPPE et al. in präp.) werden in einem ersten Arbeitsschritt die Talachsen abgeleitet und in weiterer Folge die Talböden in vergleichbare Subeinheiten segmentiert. Im Rahmen der vorliegenden Publikation werden die entwickelten Algorithmen, die Ableitung der Talbodenpolygone sowie die Implementierung der Algorithmen beschrieben.

1 Ausgangslage und Fragestellung

Im Rahmen von Sparkling Science, einem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung zur wissenschaftlichen Nachwuchsförderung, wird im Zeitraum von September 2012 bis Dezember 2014 vom Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) der Universität für Bodenkultur in Zusammenarbeit mit dem Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL, BOKU Wien) sowie der Fachhochschule Wiener Neustadt, Fachbereich Geoinformatik, das Projekt „*FlussAu:WOW! – Erfassen und Verstehen von Prozessen in Flusslandschaften mittels innovativer Geodaten*“ erarbeitet. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es, wichtige Funktionen und Prozesse von Flusslandschaften unter besonderer Berücksichtigung des Fluss-

Auenniveaus durch integrative biologische, abiotische und/oder räumliche Indikatoren zu erfassen und zu bewerten. Dabei soll beispielsweise beantwortet werden, wie Flusslandschaften sowohl qualitativ als auch quantitativ ausgestattet sein müssen, um alle wesentlichen Funktionen erfüllen zu können. Das Forschungsprojekt greift somit u. a. Vorgaben der EU-WRRL (2000) auf, welche die ökologische Bedeutung funktionsfähiger Flusslandschaften für die Erreichung ihrer Umweltziele betont, jedoch in der praktischen Umsetzung in Bezug auf das flussgeprägte Umland viele Antworten schuldig bleibt (vgl. CIS-ARBEITSGRUPPE 2003, FUCHS et al. 2010, KORN et al. 2005).

Zentrale Datenbasis für die Analysen bilden die sogenannten LiSA-Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten („LiSA“ – Landinformationssystem Austria), welche aktuell für 48 über Österreich verteilte Gebiete mit einer Gesamtfläche von über 1.500 km² vorliegen (vgl. STEINNOCHER et al. 2011). Das LiSA Projekt wurde im Rahmen der EU-Aktionslinie GMES (Global Monitoring for Environment and Security) durch FFG und BMVIT gefördert und hat das Ziel, auf Basis der vielfältigen Nutzeranforderungen einen fachübergreifenden Konsens für ein bedarfsgerechtes Informations- und Monitoringsystem zu etablieren und eine digitale, homogene und qualitätskontrollierte Landbedeckungs-/Landnutzungs-Datenbank bereit zu stellen (vgl. WEICHSELBAUM et al. 2009, GRILLMAYER et al. 2010, BANKO et al. 2012). Im Rahmen des LiSA Projektes wurden somit die technischen Grundlagen für detaillierte und österreichweit konsistente Geodaten zur Landbedeckung und Landnutzung geschaffen.

Die Segmentierung der untersuchten Flusslandschaften in räumlich vergleichbare Subeinheiten stellt eine wichtige Grundlage für die o. g. Forschungsarbeiten dar. Der entwickelte Segmentierungsalgorithmus wurde im Rahmen einer Master Thesis an der Fachhochschule Wiener Neustadt in den sogenannten *TalbodenTools* umgesetzt, welche aufbauend auf den im Rahmen des Projektes abgeleiteten Talbodenpolygonen (vgl. POPPE et al. in präp.) Talachsen ableiten und mittels dieser die Talböden in vergleichbare Subeinheiten segmentieren.

In weiterer Folge werden der entwickelte Algorithmus und dessen Umsetzung skizziert sowie die Ergebnisse der Talbodensegmentierung diskutiert.

2 Datengrundlage: Ausweisung des Fluss-Auensystems (Talböden)

Ein entscheidender methodischer Aspekt im Hinblick auf die im „FlussAu:WOW!“ Projekt durchgeführten Bewertungen der Funktionen und Prozesse von Flusslandschaften ist die räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgebietes. Die Flusslandschaft wird dabei im Sinne der ökologischen Einheit „Fluss-Auensystem“ verstanden, in welcher unter natürlichen Bedingungen alle wesentlichen gewässertypischen Habitate vorliegen und alle charakteristischen Prozesse ablaufen (vgl. MUHAR et al. 2000). Die räumliche Abgrenzung der Fluss-Auenzone folgt dabei sowohl hydrologischen (Beeinflussung durch Überschwemmung und Grundwasser) als auch geomorphologischen Aspekten (Eingrenzung auf Talböden und Niederungen) sowie geomorphologischen Prozessen (nacheiszeitliche (holozäne) Flussablagerungen, alluviale Ablagerungen, etc.) und entspricht gängiger wissenschaftlicher Praxis (vgl. MEHL et al. 2009, BRUNOTTE et al. 2009, KOENZEN 2005, KOENZEN & GÜNTHER-DIRINGER 2009). Wesentlich dabei ist, dass sie jenen flussbegleitenden Bereich

umfasst, der natürlicherweise von mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrenden Überflutungen geprägt wurde und heute von einem Hochwasser theoretisch erreichbar wäre, wenn keine Maßnahmen zum Hochwasserschutz, wie z. B. Deiche, existieren würden (BRUNOTTE et al. 2009).

Auf Grund der großen Anzahl an Gewässern – insgesamt liegen 170 km Fließgewässer in den 17 untersuchten LiSA-Testgebieten – wurde bei der Abgrenzung der Fluss-Auensysteme vorwiegend auf bestehende digitale Grundlagedaten zugegriffen:

- *Geologische Karten* (Webservice der Geologische Bundesanstalt) im Maßstab 1:50.000, 1:75.000 und 1:100.000 bis 200.000 als Basis für die Abgrenzung der alluvialen Ablagerungen
- *HORA HQ-Abflussbereiche* (HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{200}) (BMLFUW / LFRZ)
- *ASTER DEM (Auflösung 30 m Grid)* (Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan and the United States National Aeronautics and Space Administration (NASA))
- *ÖK50 - AMapFly 5.0* (BEV, EADS)
- *Orthofoto* (Webservice des BMLFUW)

Grundsätzlich erfolgte die Abgrenzung der Fluss-Auenzone anhand der nacheiszeitlichen Ablagerungen bzw. des Alluviums über die geologischen Karten. Vor allem in alpinen Bereichen konnten zusätzlich mittels des digitalen Geländemodells (ASTER DEM) markante Tal- oder Terrassenkanten für die Identifikation des Übergangs vom Talboden zur Talflanke herangezogen werden.

In reliefsschwachen Gebieten (Beckenlandschaften, hügelige Gebiete, etc.) erfolgte die Abgrenzung auf Grund fehlender markanter Geländestufen vermehrt mittels Geländedaten und Landnutzungen (ÖK50, Orthofotos). HQ-Abflussbereiche aus den HORA-Daten wurden hierbei nur unterstützend eingesetzt, da sie vielerorts auf Grund anthropogener Veränderungen durch z. B. Hochwasserschutzmaßnahmen nur bedingt aussagekräftig sind.

Abbildung 1 (a) bis (c) zeigt am Beispiel der Salzach im Testgebiet Mittersill die wesentlichen zur Ausweisung eines alpinen Talbodens herangezogenen Geodaten. Das Talbodenergebnis findet sich in Abbildung 1 (d).

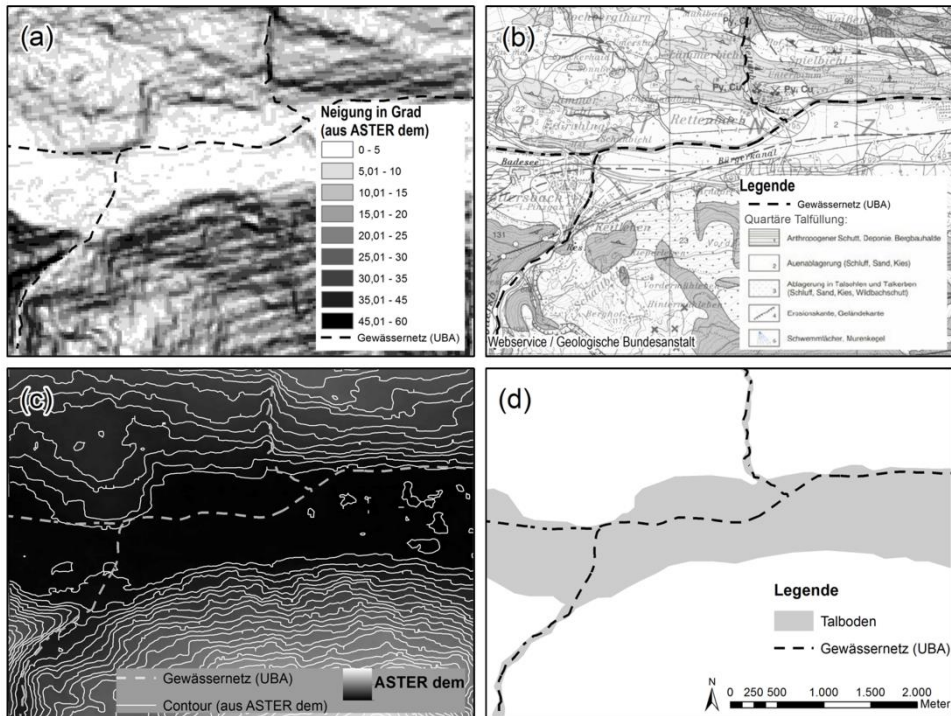


Abb. 1: Ausweisung des Talbodens im alpinen Bereich anhand des Beispiels Salzach im Testgebiet Mittersill ((a) Neigungskarte, (b) Geologische Karte 122, Kitzbühel, (c) Höhengichtlinien & ASTERdem, (d) Talboden).

3 Methodik

3.1 Ableitung der Talachsen

Die Ableitung von Mittelachsen gegebener Geometrien stellt sowohl in der Geoinformatik als auch in anderen mit Formen befassten Disziplinen ein immer wiederkehrendes Problem dar. Bereits in den späten 1960er Jahren legte Blum mit seiner Mittelachsentransformation (kurz MAT; vgl. BLUM 1967) den Grundstein für einen gangbaren Weg zur Ableitung der Mittelachse von 2-D Objekten.

KATZ et al. beschreiben, dass die MAT zwar verblüffend auf der einen Seite, gleichzeitig aber schwierig robust und stabil anzuwenden auf der anderen Seite ist (vgl. KATZ & PIZER 2003). Außerdem führen bereits kleinste Änderungen der Eingangsgeometrie zu großen Veränderungen der Mittelachse. Aufgrund der unzureichenden Robustheit und Stabilität sowie der schwierigen Implementierbarkeit konnte die MAT im vorliegenden Projekt nicht zur Ableitung der Talbodenachsen herangezogen werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Ableitung von Mittelachsen stellt die Nutzung von Voronoi- oder Thiessenpolygonen dar. OGNIWICZ (1992) beschreibt die Mittelachse intuitiv als Reduktion eines zweidimensionalen Objektes auf einen Graphen (vgl. OGNIWICZ 1992).

Ungünstiger Weise führt jede konvexe Ausbuchtung der Eingangsgeometrie bei der Verwendung von Voronoipolygonen zur Entstehung von zusätzlichen Achsen (skeleton branches), welche im Anschluss aufwendig interpretiert und wieder aus der Mittelachse entfernt werden müssen (vgl. OGNIWICZ & ILG 1992). Derartige konvexe Ausbuchtungen treten entlang der gegebenen Talböden des vorliegenden Projektes häufig auf, was die Anwendung von Voronoipolygonen zur Mittelachsenableitung als wenig zielführend erscheinen lässt.

Aus diesen Gründen wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, der den Anforderungen des vorliegenden Projektes bestmöglich entspricht. Dieser Algorithmus beruht auf der Suche nach dem nächstliegenden Stützpunkt der Randlinie R_2 (SP_{R2}) für jeden Stützpunkt der Randlinie R_1 (SP_{R1}) und umgekehrt. Unter Anwendung dieses simplen Prinzips kann in wenigen Schritten die Mittelachse M ermittelt werden.

Der genaue Ablauf des Algorithmus wird nachfolgend erläutert, die Abbildungen (Abbildung 2 bis Abbildung 4) beschreiben den Ablauf anhand eines Beispiels.

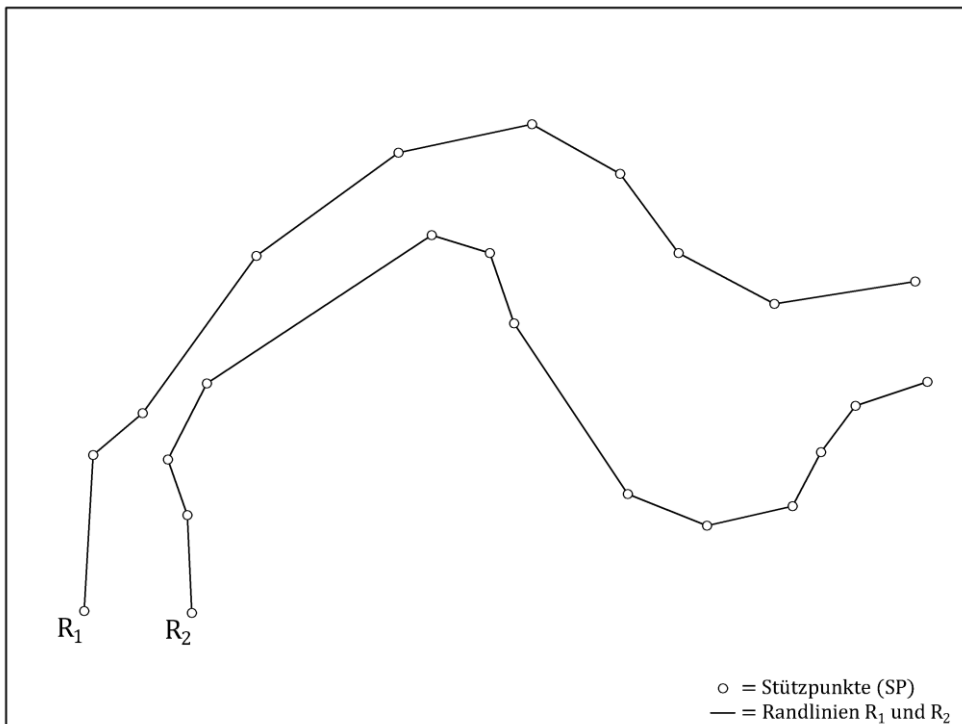


Abb. 2: Ausgangsdaten für die Ableitung der Mittellinie M . R_1 und R_2 stellen die Talbodenbegrenzenden dar.

Zunächst werden R_1 , die Randlinie links der gesuchten Mittelachse, und R_2 , die Randlinie rechts der gesuchten Mittelachse, derart bearbeitet, dass der Abstand zweier aufeinanderfolgender Stützpunkte zueinander nicht größer ist als der durchschnittliche Abstand aller aufeinanderfolgender Stützpunkte beider Randlinien (siehe Abbildung 3 (a) und (b)). Dies

darf nur durch Hinzufügen zusätzlicher Stützpunkte geschehen, nicht aber durch Entfernen bereits bestehender. Das Hinzufügen hat derart zu geschehen, dass bestehende Linienabschnitte in beliebig viele, gleich große Abschnitte geteilt werden, die alle kürzer sind als die Durchschnittslänge. Es gilt also folgende Bedingung:

$$\text{für alle } i \text{ gilt } |SP_i SP_{i+1}| \leq \frac{\sum_{i=1}^{n-1} |SP_i SP_{i+1}|}{n}, i = 1 \text{ bis } n - 1$$

Anschließend werden für alle Stützpunkte von R_1 die nächstliegenden Nachbarstützpunkte von R_2 ermittelt. Der nächstliegende Nachbarstützpunkt auf R_2 ist nur dann gültig, wenn die gedachte Linie vom Stützpunkt der Randlinie R_1 zum Stützpunkt der Randlinie R_2 zwischen den Randlinien verläuft, ohne den Bereich zwischen den Randlinien zu verlassen. Ist ein Stützpunkt nicht gültig, so muss weiter nach dem nächstliegenden gültigen Stützpunkt gesucht werden.

Ist der jeweils nächstliegende Nachbarstützpunkt gefunden, wird der Mittelpunkt der gedachten Verbindungslinie (A_{1i} oder A_{2i}) markiert. Wurde ein Mittelpunkt für alle Stützpunkte von R_1 bestimmt, können diese Mittelpunkte verbunden werden und ergeben so die erste abgeleitete Linie A_1 . Das Verfahren wird in weiterer Folge auch für alle Stützpunkte von R_2 durchgeführt, um die abgeleitete Linie A_2 zu erhalten (siehe Abbildung 3 (c) und (d)).

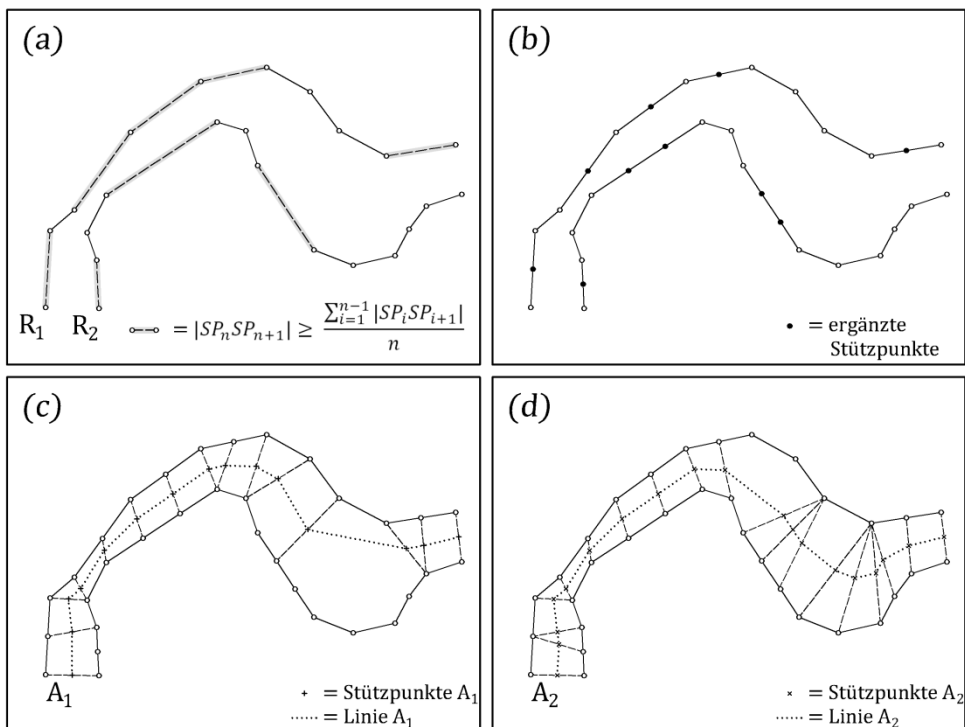


Abb. 3: Schritte zur Ermittlung der abgeleiteten Linien A_1 und A_2 .

Um A_1 und A_2 zu M zu vereinen, werden zunächst alle lagegleichen Stützpunkte ($A_{1i} = A_{2i}$) als Stützpunkte für M übernommen. Linienabschnitte zwischen zwei übernommenen Stützpunkten werden in Bereichen, in denen die zu erzeugende Mittellinie nach rechts schwenkt, von A_1 und in Bereichen, in denen die zu erzeugende Mittellinie nach links schwenkt, von A_2 übernommen (siehe Abbildung 4).

Das Ergebnis der Ableitung der Talbodenachse ist in Abbildung 4 dargestellt.

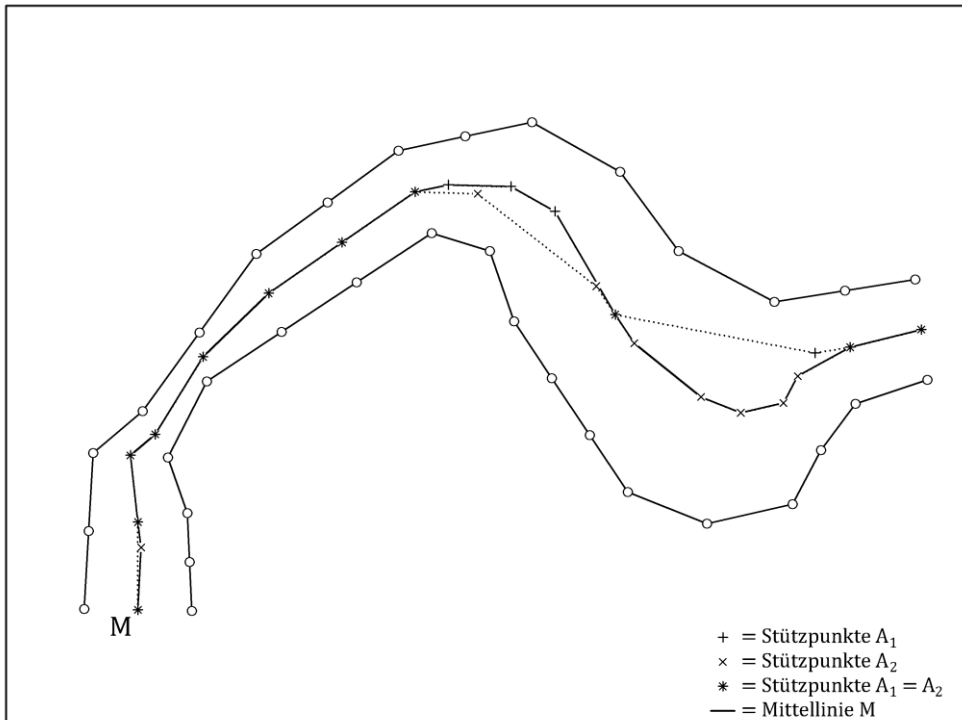


Abb. 4: Vereinigung der abgeleiteten Linien A_1 und A_2 zur Mittellinie M .

3.2 Ableitung der Talbodensegmente

Anders als bei der Ableitung der Talachsen wurde für die Ableitung der Talbodensegmente nicht versucht, auf bereits bestehende Lösungen aufzubauen. Stattdessen wurde ein Segmentierungsalgorithmus entwickelt, der nachfolgend beschrieben wird.

Die Ausgangsdaten für die Talbodensegmentierung sind durch die Randlinien R_1 und R_2 , die abgeleitete Mittelachse M sowie die Gerinne-Achse G gegeben. Die Gerinne-Achse selbst kann wiederum in n Segmente – sogenannte Gerinne-Achsensegmente – unterteilt werden. Jedes dieser Segmente verfügt über eine eindeutige ID, die in weiterer Folge auch als ID für die gesuchten Talbodensegmente übernommen wird.

Anhand der Anfangs- und Endpunkte der Gerinne-Achsensegmente (siehe Abbildung 5 (a)) wird zunächst versucht, jenen Punkt auf der Talbodenachse zu finden, bei dem ein vom Gerinne-Achsensegmentpunkt ausgehender Strahl die möglichst gleichgroßen Winkel α

und β auf die Talbodenachse erzeugt (siehe Abbildung 5 (b)). Der gefundene Punkt liegt auf der Grenze zwischen zwei Talbodensegmenten.

Durch Verbinden des Gerinne-Achsensegmentpunktes und des gefundenen Punktes sowie anschließendem Verlängern der Verbindungslinie bis an die Randlinien R_1 und R_2 wird im nächsten Schritt die Talbodensegmentgrenze erzeugt (siehe Abbildung 5 (c)).

Nach Erzeugen aller Talbodensegmentgrenzen kann die Indizierung von den Gerinne-Achsensegmenten übernommen werden. Das Ergebnis der Segmentierung ist in Abbildung 5 (d) zu sehen.

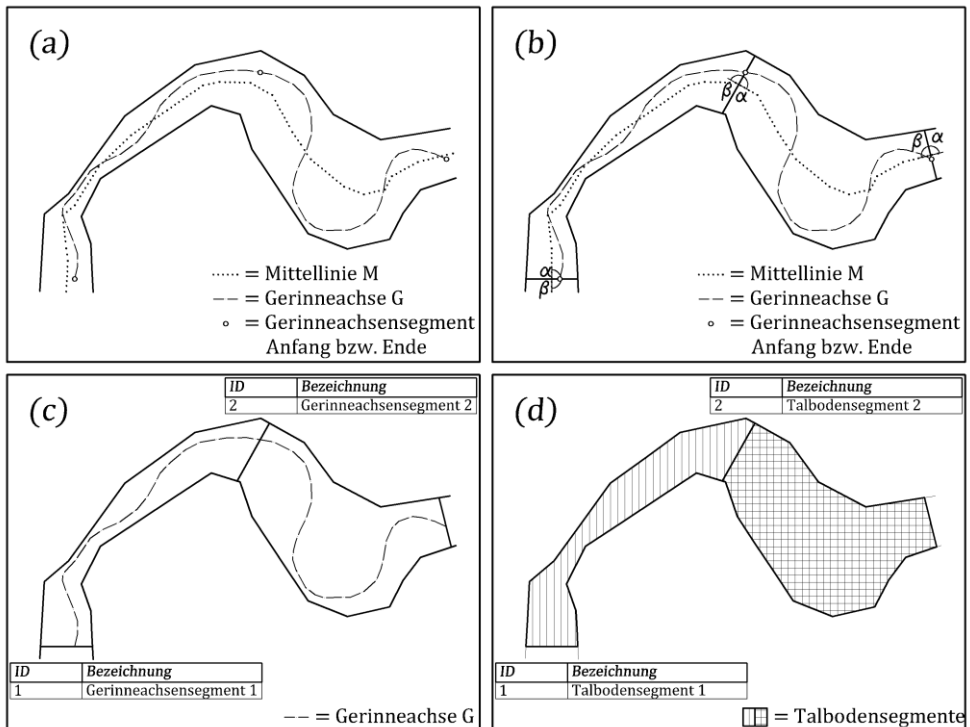


Abb. 5: Schritte zur Ableitung der indizierten Talbodensegmente.

3.3 Implementierung der „TalbodenTools“

Die Implementierung der oben beschriebenen Algorithmen wurde unter Nutzung des Microsoft .NET Frameworks unter der Windows Presentation Foundation (WPF) im Programm *TalbodenTools* durchgeführt.

TalbodenTools ermöglicht dem Nutzer die automatisierte Ableitung von Talbodenachsen und -segmenten. Als Dateiformat kommen ESRI Shapefiles (Linien - und Polygon - Shapefiles) zur Anwendung.

Um die Lese- und Schreibfunktionalität von Shapefiles herzustellen, wurde auf Bibliotheken des durch die LGPL Lizenz geschützten Projektes dotSpatial zurückgegriffen.

Abbildung 6 zeigt einen Screenshot des Programms *TalbodenTools*.

Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus für die Abgrenzung von vergleichbaren Talbodensegmenten im Rahmen des Sparkling Science Projektes „Fluss Au:WOW!“

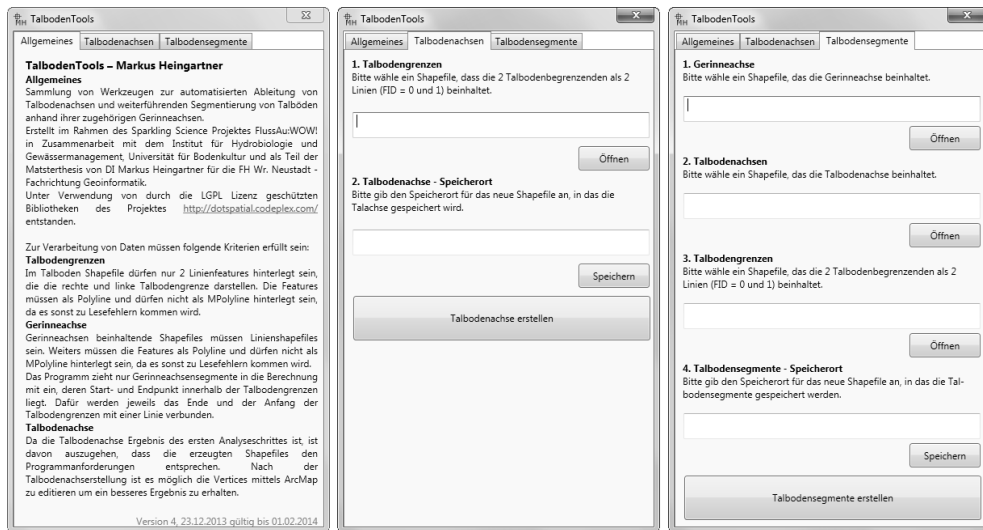


Abb. 6: Screenshot der *TalbodenTools* in der Version 4.

Literatur

- BANKO, G., MANSBERGER, R., GALLAUN, H., GRILLMAYER, R., PRÜLLER, R., RIEDL, M., STEMBERGER, W., STEINNOCHER K. & WALLI, A. (2012), Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future. Examples from national approaches: LISA – the Austrian approach. To be published in: Springer-Verlag, “Land Use & land cover mapping in Europe: Current practice, trends and future”. Editors: Dr. Matthias Braun and Dr. Ioannis Manakos, Annual Book Series „Remote Sensing and Digital Image Processing“.
- BLUM, H. (1967), A Transformation for Extracting New Descriptors of Shape. In W. Wathen-Dunn, Models for the Perception of Speech and Visual Form (S. 362–380). Cambridge.
- BRUNOTTE, E., DISTER, E., GÜNTHER-DIRINGER, D., KOENZEN, U. & MEHL, D. (2009), Flußauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Bd. 87, 141 pp. + 102 pp. Ang. + Kartenband, BfN, Bonn-Bad-Godesberg
- KOENZEN, U. (2005), Fluss- und Stromauen in Deutschland – Typologie und Leitbilder. Angewandte Landschaftsökologie 65: 1 - 327 S.
- CIS-ARBEITSGRUPPE (2003), Übergreifender Leitfaden zur Bedeutung der Feuchtgebiete im Zusammenhang mit der Wasserrahmenrichtlinie (Nr. 12). – 83 S.
- FUCHS, M., PREIS, S., WIRTH, V., BINZENHÖFER, B., PRÖBSTL, U., POHL, G., MUHAR, S. & JUNGWIRTH, M. (2010), Wasserrahmenrichtlinie und Natura 2000. Gemeinsame Umsetzung in Deutschland und Österreich am Beispiel der Grenzflüsse Salzach und Inn. BfN Bonn, Naturschutz und Biologische Vielfalt Heft 85: 318 S.

- GALLANT, J. C., & DOWLING, T. I. (2003), A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resource Research*, Vol. 39, No. 12.
- GRILLMAYER, R., BANKO, G., SCHOLZ, J., PERGER, C., STEINNOCHER, K., WALLI A. & WEICHSELBAUM, J. (2010), Land Information System Austria (LISA): Objektorientiertes Datenmodell zur Abbildung der Landbedeckung und Landnutzung. In J. Strobl, T. Blaschke und G. Griesebner (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2010*, Beiträge zum 22. AGIT-Symposium, pp. 616-621.
- KATZ, R. A. & PIZER, S. M. (2003), Untangling the Blum Medial Axis Transform. *International Journal of Computer Vision* (55), S. 139-153.
- KOENZEN, U. & GÜNTHER-DIRINGER, D. (2009), Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) & Bundesamt für Naturschutz (BfN).
- KORN, N., JESSEL, B., HASCH, B. & MÜHLINGHAUS, R. (2005), Flussauen und Wasserrahmenrichtlinie. Bedeutung der Flussauen für die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie – Handlungsempfehlungen für Naturschutz und Wasserwirtschaft. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 27: 253 S.
- MEHL, D., HOFFMANN, T. G. & HELBIG, H. (2009): Bestimmung der morphologischen Auen in Sachsen-Anhalt mithilfe eines Fuzzylogik-Ansatzes. *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 21, 659-665
- MUHAR, S., EGGER, G., ZAUNER, G., MICHOR, K., ANGERMANN, K., PINKA, P., UNFER, G., SCHMUTZ, S., PREIS, S. & JUNGWIRTH, M. (2000), Beurteilung flussbaulicher Maßnahmen an der Oberen Drau in Hinblick auf die Verbesserung der ökologischen Funktionsfähigkeit. Studie i. A. des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- OGNIEWICZ, R. L. (1992), *Discrete Voronoi Skeletons*. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology.
- OGNIEWICZ, R. & ILG, M. (1992), Voronoi Skeletons: Theory and Applications. *Proceedings CVPR '92.*, 1992 IEEE Computer Society Conference, (S. 63-69). Illinois.
- POPPE, M. et a. (in präp.), Endbericht zum Sparkling Science Projekt „FlussAU:WOW! – Erfassen und Verstehen von Prozessen in Flusslandschaften mittels innovativer Geodaten“. I. A. des BM für Wissenschaft und Forschung.
- RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- STEINNOCHER, K., BANKO, G. & WEICHSELBAUM, J. (2011), Planungsrelevante Datengrundlagen für Österreich: LISA – Land Information System Austria. In: Schrenk M., Popovich V., Zeile P. (Eds.): *REAL CORP 2011. Change for Stability – Lifecycles of Cities and Regions. The Role and Possibilities of Foresighted Planning in Transformation Processes*. *Proceedings of 16th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society*, pp. 707-714.
- WEICHSELBAUM, J., BANKO, G., HOFFMANN, C., RIEDL, M., SCHARDT, M., STEINNOCHER, K., WAGNER, W. & WALLI, A. (2009), Land Information System Austria (LISA): Bedarfsgerechte Landnutzungsinformationen für die öffentliche Verwaltung. In: *Conference and Exhibition on Applied Geoinformatics (AGIT) 2009*, Salzburg.