

Erfassung von Veränderungen der Sedimentkörper eines Wildbaches (Krumeggerbach, Wölzer Tauern) mittels unbemanntem Luftfahrzeug

GERNOT SEIER^{1,2}, MATTHIAS WECHT² & WOLFGANG SULZER²

Zusammenfassung: Unbemannte Luftfahrzeuge (uLFZ) werden derzeit in vielerlei Zusammenhang thematisiert. Ja es scheint zuweilen so, als ermöglichten diese Geräte für viele Themenbereiche eine detailliertere Sichtweise oder aber einen gänzlich neuen Lösungsweg. In diesem Beitrag wird u. a. der Frage nachgegangen, wie sich uLFZ zur Erfassung und Quantifizierung von Veränderungen der Erdoberfläche einsetzen lassen; und zwar ergänzend oder als Alternative zu bestehenden Herangehensweisen. Am Beispiel des Krumeggerbaches wird aufgezeigt, dass uLFZ für die Quantifizierung der Veränderungen eines Wildbaches geeignet sind. Darüber hinaus werden einige Details der Qualitätsbeurteilung diskutiert und dies verdeutlicht, dass dies auch die zur Interpretation herangezogenen Ergebnisse beeinflussen kann.

1 Einleitung

Im Juli 2011 kam es als Folge von Starkniederschlägen mit räumlichem Schwerpunkt über den Wölzer Tauern zu einer Hochwassersituation im Bereich des Schöttlbaches und des Wölzertales wodurch u. a. in direkter Umgebung der Stadt Oberwölz (47°12' N, 14°17' E) starke Schäden verursacht wurden. Immer wieder ist dieses Gebiet von Unwettern und Hochwasserschäden betroffen, zuletzt etwa im September 2018 (WOCHE STEIERMARK 2018) oder auch Anfang August 2017 (ORF 2017, DIE PRESSE 2017). Abseits des Starkniederschlagsereignisses sind die leicht erodierbaren Sedimentkörper der Wildbäche Schöttl- und Krumeggerbach als ein weiterer Faktor für diese Situation zu betrachten. Zur Quantifizierung der Veränderungen der Sedimentkörper wurden neben einer Reihe unterschiedlicher Verfahren (i. W. Sedimenttransport-, Bewegungs-, Niederschlags- und Abflussmessungen, vgl. SASS et al. 2015) Aufnahmen mithilfe eines unbemannten Luftfahrzeuges (uLFZ) durchgeführt. Die wesentlichen Sedimentquellgebiete wurden von STANGL et al. (2016) dokumentiert und wurden als postglaziale Sedimentkörper identifiziert, die in beiden Fällen (Schöttlbach, Krumeggerbach) unmittelbar an das Gerinne angrenzen. Durch Befliegungen mithilfe unbemannter Luftfahrzeuge konnten räumlich hochauflösende Datengrundlagen wie digitale Höhenmodelle (DHM) und Orthophotos für mehrere Zeitpunkte (November 2014 und Juni 2015) erfasst werden (SEIER et al. 2017a,b). Der vorliegende Beitrag präsentiert Ergebnisse unter Berücksichtigung einer weiteren Befliegung zum Zeitpunkt Mai 2017.

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung, Peter-Jordan-Straße 65, A-1180 Wien, E-Mail: gernot.seier@boku.ac.at

² Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz, E-Mail: [Gernot.Seier, Matthias.Weicht, Wolfgang.Sulzer]@uni-graz.at

Der Großteil der Abschnitte entlang der ufernahen Bereiche wurde in bisherigen Studien allerdings als entweder Transportgebiet für Sedimentfracht oder aber als nicht-signifikante Änderungen ausweisendes Areal charakterisiert. Diese Charakterisierung ist z. T. jedoch fraglich und der vorliegende Beitrag zielt daher unter Fokussierung auf das Teileinzugsgebiet Krumeggerbach darauf ab, zu zeigen, ob und wie (a) die Auswahl der zur Qualitätsbeurteilung der DHM herangezogenen Kontrollpunkte relevant ist, (b) wie eine Qualitätsbeurteilung des Lagefehlers direkt anhand der Orthophotos erfolgen kann und (c) wie sich eine Änderung des Schwellenwertes, der markante von nicht markanten vertikalen Änderungen unterscheidet, auf die Ergebnisse auswirkt.

2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Einzugsgebiet des Schöttlbaches und befindet sich in den Wölzer Tauern als Teil der Niederen Tauern (Abb. 1). In räumlicher Hinsicht fokussiert wird dabei auf einen Abschnitt des Mittellaufes des Krumeggerbaches, der als Nebengewässer des Schöttlbaches zum Sedimenteintrag beiträgt. Die Sedimentverfrachtung im Krumeggerbach ist insbesondere dadurch von Interesse, da Sedimenttransport hier in größerem Ausmaß stattfindet als im Bereich des Schöttlbaches (SASS et al. 2015). Das beobachtete Mittelwasser bei Oberwölz (am Auslass des Einzugsgebietes) lag von 2012-2015 bei $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$, das 30-jährliche Hochwasser bei $80 \text{ m}^3/\text{s}$ und das 100-jährliche Hochwasser bei $128 \text{ m}^3/\text{s}$ (SCHNEIDER et al. 2016). Beim Hochwasserereignis 2011 stieg der Abfluss binnen kurzer Zeit auf etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ an und verursachte massiven Geschiebetransport und u. a. dadurch kam es zu Überflutungen (SCHNEIDER et al. 2016). In Abb. 2 sind die zentral gelegenen Bereiche im Untersuchungsgebiet dargestellt, die ein tief eingeschnittenes Bachbett und daran anschließende und z. T. durch Erosion geprägte Hangbereiche umfassen. Das Befliegungsgebiet ist etwa 40 ha groß, wobei die Größe des zentralen und im Mittelpunkt der eigentlichen Auswertung stehenden Bereiches etwa 3,1 ha beträgt.

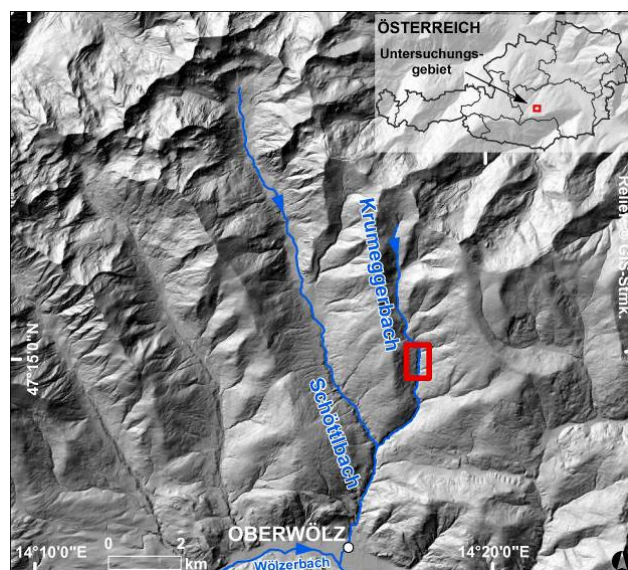


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet ist ein Teilabschnitt im Mittellauf des Krumeggerbaches (rot umrandet) und befindet sich unweit von Oberwölz in der Obersteiermark.



Abb. 2: Der zentrale Bereich des Untersuchungsgebietes Krumeggerbach, Blickrichtung Süd-Ost (aufgenommen am 17.05.2017). Die mittels uLFZ-Befliegungen dokumentierbaren Änderungen umfassen i. W. die Areale entlang des Gerinnes und eines seitlichen Erosionshanges.

3 Methoden

3.1 Befliegung mittels unbemanntem Luftfahrzeug

Im Bereich des Mittellaufes des Krumeggerbaches wurden mithilfe eines als Nurflügler konzipierten uLFZ (Quest UAV, Spannweite von knapp unter 2 m, Abfluggewicht knapp unter 5 kg) Aufnahmen des Untersuchungsgebietes unter Verwendung einer handelsüblichen Systemkamera (Sony α 6000, Objektiv Sony E 16 mm F2.8) bei einer Flughöhe von etwa 140 m ü. Gr. akquiriert (Fluggeschwindigkeit etwa 65 km/h, Flugdauer etwa 10 min, Längsüberlappung etwa 80 % bzw. Querüberlappung etwa 60 %, Basis-/Höhenverhältnis etwa 1:2,2, Bildmaßstab etwa 1:8750). In Abb. 3 ist das Aufnahmesetting (Start- und Landeareal, Flugrouten, Pass- und Kontrollpunkte) dargestellt.

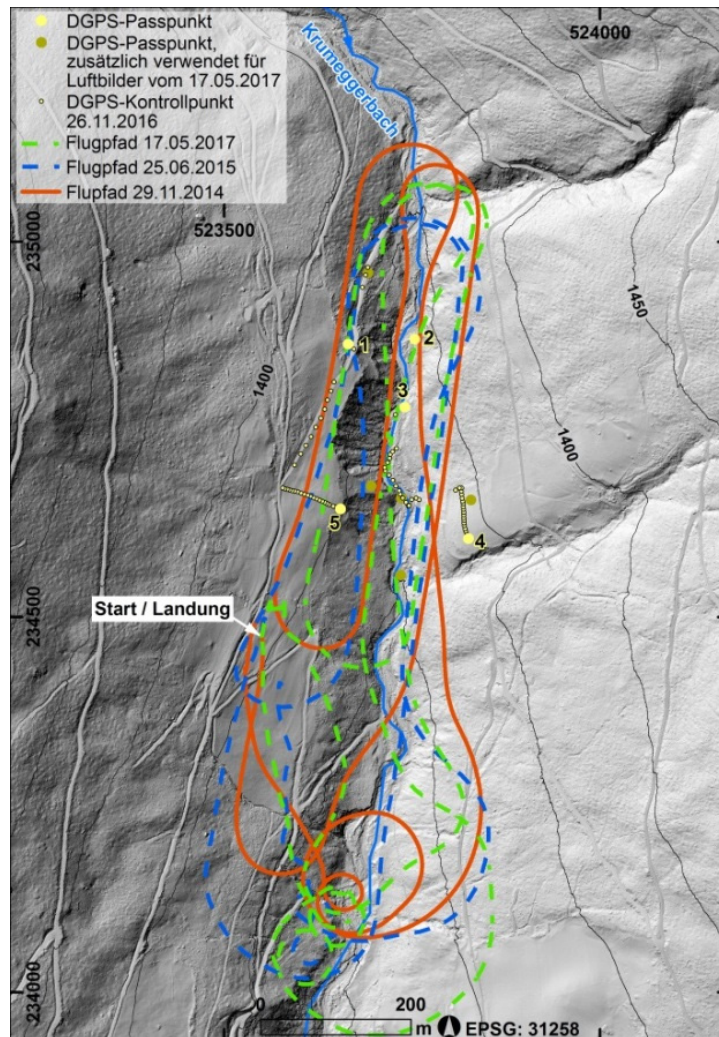


Abb. 3: Die zurückgelegten Flugrouten der drei uLFZ-Befliegungen sowie Kontrollpunkte bzw. Passpunkte (1-5 und vier zusätzliche), letztgenannte umgrenzen das eigentliche Interessensgebiet, den anhand der Schummerung dunkel erscheinenden und deutlich abzugrenzenden Erosionshang und daran anschließenden Bachbereich.

3.2 Auswertung der Luftbildaufnahmen

Die mittels uLFZ erfassten Luftbildaufnahmen (65 Aufnahmen am 29.11.2014, 98 Aufnahmen am 25.06.2015, 61 Aufnahmen am 17.05.2017) wurden photogrammetrisch (unter Anwendung des Structure-from-Motion (SfM)-Ansatzes) zu einem DHM und Orthophoto mit einer Bodenauflösung von 0,04 m verarbeitet. Das SfM-Verfahren basiert auf photographischen Aufnahmen aus unterschiedlichen Blickwinkeln mit der Besonderheit, dass die Bilder unter Verwendung von Matching-Verfahren automatisch verknüpft und Punktwolken generiert werden, wobei simultan auch die äußere und z. T. auch innere Kameraorientierung berechnet bzw. abgeschätzt werden können (ULLMAN 1979, BROWN & LOWE 2005, SNAVELY et al. 2008, WESTOBY et al. 2012). Im vorliegenden Fall wurde das mithilfe der Software Agisoft PhotoScan Professional (v. 1.2.6 2834) umgesetzt. Zur indirekten Georeferenzierung der Luftbildaufnahmen

wurden fünf (November 2014, Juni 2015) bzw. vier zusätzliche (Mai 2017) Passpunkte unter Verwendung eines Differentiellen Globalen Positionierungssystems (DGPS) mittels Echtzeit-Korrekturverfahren (EPOSA 2017) geodätisch vermessen. Die vertikalen Änderungen der Erdoberfläche wurden durch direkten Vergleich der DHM, d.h. Differenz der Höhenmodelle, berechnet. Durch den Abgleich der Orthophotos mittels normierter Kreuzkorrelation (Normalized Cross Correlation, NCC) können oberflächenbedingte Änderungen quantifiziert werden und dies basiert auf den Grauwerten der Bilder und ausreichendem Bildkontrast (KÄÄB & VOLLMER 2000, KAUFMANN & LADSTÄDTER 2002). Zur Umsetzung wurde die Software CIAS (CIAS 2013) verwendet, die es wie in NCC-Verfahren i. A. erlaubt, eine Mustermatrix in einer Suchmatrix unter definiertem Punktabstand abzugleichen.

4 Ergebnisse

4.1 Qualitätsbeurteilung

Die Qualitätsbeurteilung der DHM erfolgte unter Verwendung von unabhängigen, d. h. zur Georeferenzierung nicht verwendeten DGPS-Kontrollpunkten ($n = 89$) durch direkten Vergleich der geodätisch bzw. photogrammetrisch ermittelten Höhenwerte. Die Standardabweichung (SD) dieser Höhenwertdifferenzen liegt in allen Fällen zwischen $\pm 0,17$ m und $\pm 0,23$ m bei maximalen Differenzen die zumeist in einem Wertebereich von etwa $\pm 0,5$ m bzw. z. T. auch deutlich darunter liegen (im Mittel 0,01 m bis 0,08 m, vgl. Abb. 4a-c). Werden allerdings von den 89 unabhängigen Kontrollpunkten nur jene 14 herangezogen, die im zentralen Bereich des Untersuchungs- und damit tatsächlichen Interessensgebietes liegen, dann können große Höhenwertdifferenzen die mangels Bildüberlappung am Rande des photogrammetrisch basierten Modells liegen als modellbedingt und nicht die Qualität im untersuchten Zentralbereich beschreibend angesehen werden. Die auf diese ausgewählten Kontrollpunkte bezogenen maximalen Differenzen sind deutlich geringer, während die mittleren Differenzen in ähnlicher Größenordnung liegen und die Standardabweichung zwischen $\pm 0,04$ m und $\pm 0,12$ m liegt (Abb. 4d-f).

Die relative Lagegenauigkeit der Orthophotos wird im vorliegenden Beispiel anhand NCC beurteilt. Gegenüber üblichen Anwendungen dieses Verfahrens sollen hier nicht jene Differenzen der Bildinhalte, die durch Änderungen der Erdoberfläche entstanden sind, sondern jene, die durch modellbedingte Fehler im Zuge der photogrammetrischen Auswertung entstanden sind, ermittelt werden. Um diese aus unterschiedlichen Gründen (Anordnung und Anzahl der Passpunkte, Aufnahmekonfiguration und -geometrie, Qualität der Aufnahmen etc.) auftretenden Fehler zu quantifizieren wurde das NCC-Verfahren an Teilflächen im unmittelbaren ufernahen Bereich, für die durch visuellen Vergleich der Orthophotos unveränderte Oberflächensituationen anzunehmen waren, angewendet. Die ermittelten Lagedifferenzen der drei Orthophotos liegen dabei im Mittel zwischen 0,06 m und 0,10 m bei einer Standardabweichung zwischen $\pm 0,02$ m bis $\pm 0,04$ m (Abb. 5).

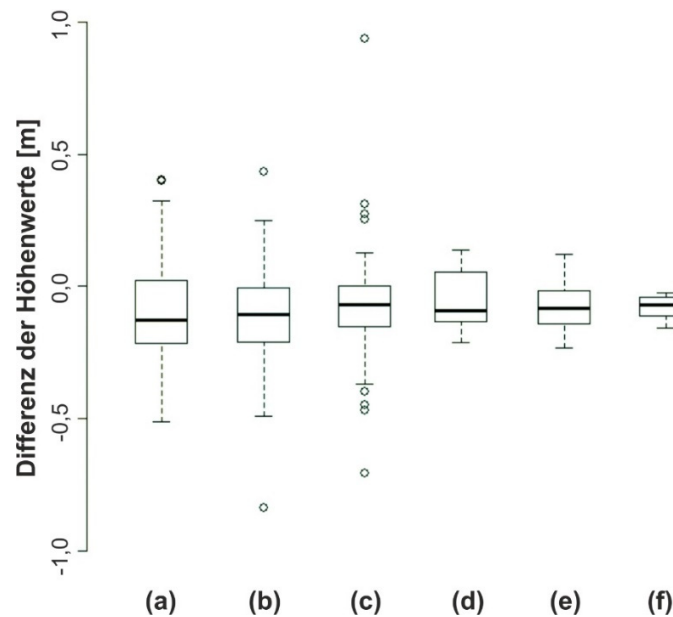


Abb. 4: Höhenwertdifferenzen (m) der DGPS-Messungen ($n = 89$) vom 26.11.2016: (a) DGPS vs. uLFZ-DHM November 2014, (b) DGPS vs. uLFZ-DHM Juni 2015, (c) DGPS vs. uLFZ-DHM Mai 2017, (d)-(f): in derselben Reihenfolge angeführte Höhenwertdifferenzen mit reduzierter Anzahl von Kontrollpunkten ($n = 14$), die im zentralen Bereich liegen.

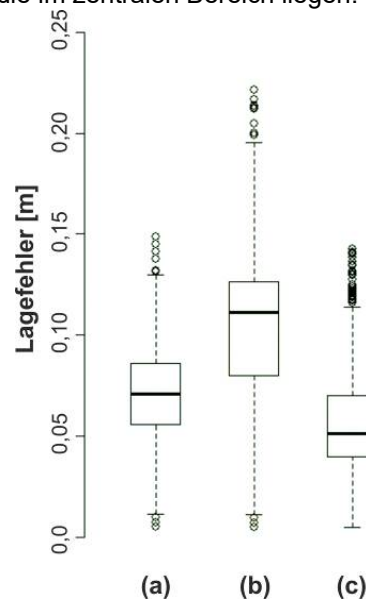


Abb. 5: Lagefehler der Orthophotos an zu erwartenden lagestabilen Punkten ($n = 718$) des zentralen Bachbereiches, berechnet mittels NCC: (a) uLFZ-Orthophotos November 2014 vs. Juni 2015, (b) uLFZ-Orthophotos November 2014 vs. Mai 2017, (c) uLFZ-Orthophotos Juni 2015 vs. Mai 2017.

4.2 Höhendifferenzen

Das in Abb. 6 dargestellte Querprofil A-B zeigt für den zentralen Untersuchungsbereich (BMN M31-Koordinaten des Punktes A: Rechtswert 523746, Hochwert 234692,6; Koordinaten des Punktes B: Rechtswert 523687,7, Hochwert 234666,1), dass im Zeitraum zwischen November

2014 und Juni 2015 kaum Unterschiede festzustellen sind. Anders verhält es sich im längeren Zeitabschnitt zwischen Juni 2015 und Mai 2017: die steilsten Bereiche des seitlich an den Bach angrenzenden Hanges wurden abgetragen und im flacheren Hangfußbereich abgelagert, wobei die Mächtigkeit des erodierten Bereichs bis zu etwa 2 m beträgt. Weiters sind ein verlagertes Bachbett, ein kurzer Abschnitt eines unveränderten ufernahen Bereiches und vegetationsbedingte Höhenunterschiede festzustellen.

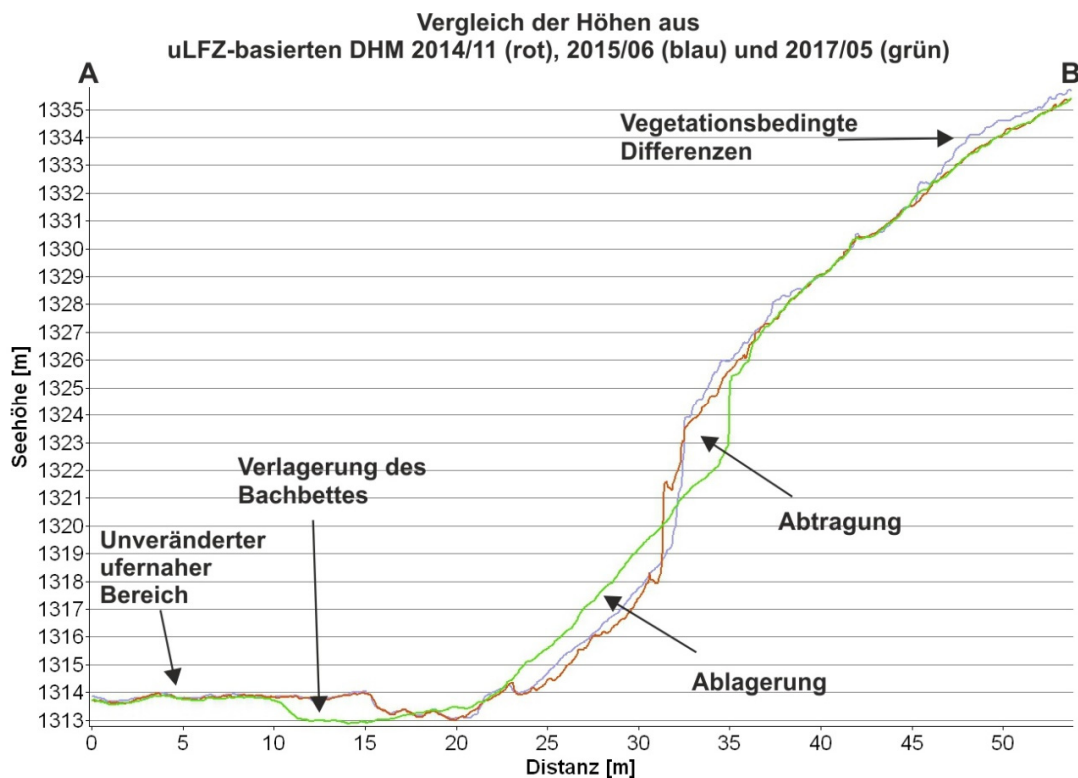


Abb. 6: Querprofil A-B (vertikale Überhöhung 1,5:1): Höhenwerte der uLFZ-DHM November 2014 (rot), Juni 2015 (blau) und Mai 2017 (grün).

Die Höhenwertdifferenzen der jeweiligen DHM zeigen in kartographischer Betrachtung (Abb. 7), dass der Großteil durch nicht markante Veränderungen oder aber durch als Transportareal dienende Bereiche gekennzeichnet ist. Dies trifft zumindest für den Zeitraum November 2014 bis Juni 2015 zu (Abb. 7a), während unter Einbeziehung der jüngsten Aufnahme von Mai 2017 durchaus kleinere Abtragungsstrukturen zum Vorschein kommen (Abb. 7c,e). Weitere Beispiele für kleinräumigere Ausnahmen sind jene in Abb. 7b,d,f, die größere Höhenunterschiede zeigen und den in Abb. 6 gezeigten Ablagerungsbereich und auch das veränderte Bachbett flächenhaft nachvollziehbar machen. In Abb. 8 wurde ähnlich mit den DHM und der graphischen Darstellung der Höhendifferenzen verfahren, mit dem wesentlichen Unterschied, dass die zur Unterscheidung von modellbedingten bzw. tatsächlichen (d. h. oberflächenbedingten) Höhendifferenzen herangezogene SD hier nicht mit 0,2 m sondern 0,1 m definiert wurde (vgl. Kapitel 4.1). Wie hier zu sehen ist, wird die Aussage für den bisher diskutierten Detailausschnitt (Abb. 8b,d,f) dadurch kaum verändert, während in den restlichen Bereichen nun Abtragungs- und Ablagerungsbereiche

zutage treten, die vorher nicht als solche zu interpretieren waren. In beiden Fällen sind weite Teile des Untersuchungsgebietes abgesehen von kleinräumigeren Ausnahmen durch Höhendifferenzen gekennzeichnet, die innerhalb der einfachen SD liegen und daher entweder modellbedingt sein können oder aber Bereiche des Sedimenttransportes sind.

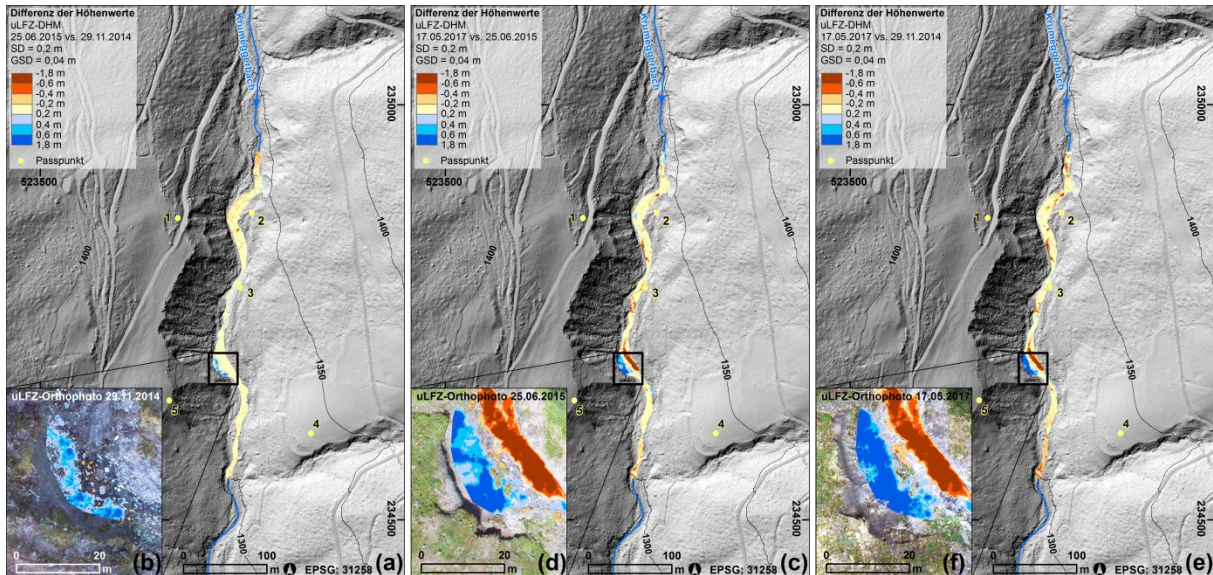


Abb. 7: Höhenwertdifferenzen der (a) uLFZ-DHM November 2014 und Juni 2015, (c) uLFZ-DHM Juni 2015 und Mai 2017 und (e) uLFZ-DHM November 2014 und Mai 2017, farbskaliert nach Vielfachen der einfachen SD (0,2 m, gelb) mit Ausnahme der jeweils letzten Kategorie (Werte größer der dreifachen SD), die sehr wahrscheinlich markante Oberflächenänderungen zeigen, bspw. Abtragungs- und Ablagerungsbereich in den Detaildarstellungen (b,d,f).

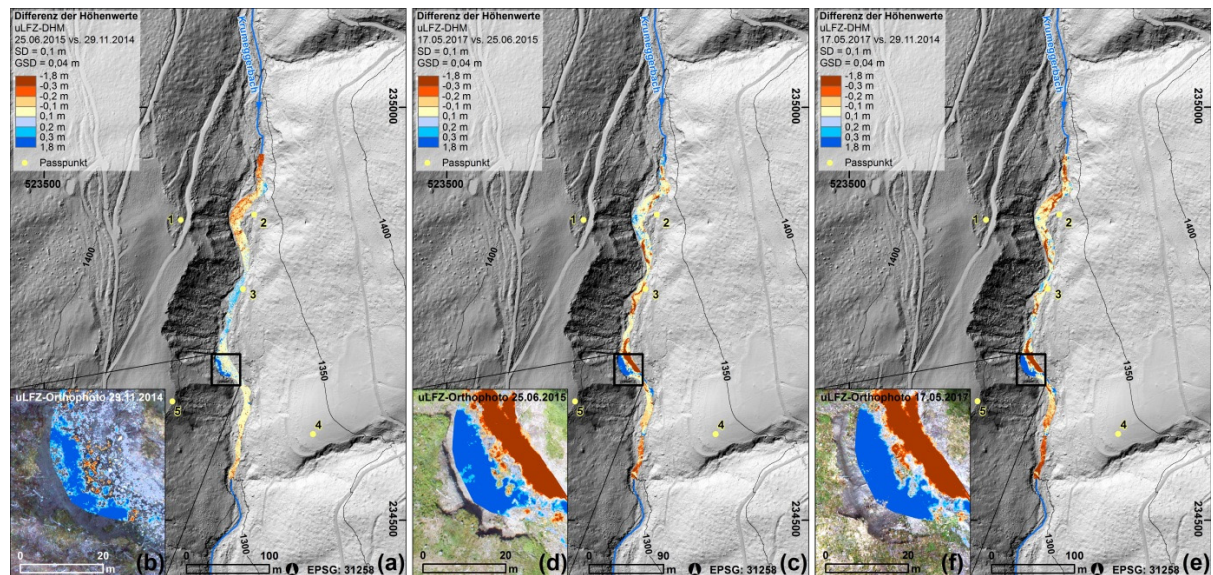


Abb. 8: Höhenwertdifferenzen der (a) uLFZ-DHM November 2014 und Juni 2015, (c) uLFZ-DHM Juni 2015 und Mai 2017 und (e) uLFZ-DHM November 2014 und Mai 2017, farbskaliert nach Vielfachen der einfachen SD (0,1 m, gelb) sowie Detaildarstellungen (b,d,f).

5 Fazit

Dieser Beitrag zeigt, dass (a) es bei der Auswahl der zur Qualitätsbeurteilung der DHM herangezogenen Kontrollpunkte wesentlich ist, ob Punkte an den Rändern der Modelle mitberücksichtigt werden oder ob nur auf jene im zentralen und für die Fragestellung relevanten Bereich Bezug genommen wird, dass (b) ein möglicher Lagefehler der Orthophotos an Bereichen in unmittelbarer Ufernähe, die keine Änderungen erwarten ließen, mittels NCC quantifiziert werden konnten. Aussagekräftige Ergebnisse sind somit ab horizontalen Differenzen von etwa $> 0,1$ m zu erwarten. (c) Durch eine veränderte Beurteilung der Größe des Schwellenwertes, der markante von nicht markanten vertikalen Änderungen unterscheidet (bei Verwendung aller Kontrollpunkte liegt dieser Wert bei etwa 0,5-0,6 m, bei reduzierter Kontrollpunktzahl hingegen bei etwa 0,1-0,2 m), treten Strukturen hervor, die bisher als Transportareale bzw. modellbedingte Änderungen angesehen wurden und durch diese andersgeartete Beurteilung sind diese Strukturen als mögliche Erosions- und Sedimentationsareale zu bezeichnen. Eine zweifelsfreie Identifikation von Abtragungs- und Ablagerungsgebieten konnte durch Berücksichtigung der jüngsten Aufnahme in nennenswertem Ausmaß festgestellt werden.

6 Literaturverzeichnis

- BROWN, M. & LOWE, D.G., 2005: Unsupervised 3D Object Recognition and Reconstruction in Unordered Datasets. 5th International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, IEEE Comput. Soc. (Hrsg.), Ottawa, Ontario, Canada, 13.-16. Juni 2005, 1-8.
- CIAS, 2013: Image Correlation Software. <http://www.mn.uio.no/geo/english/research/projects/icemass/cias>, letzter Zugriff 18.12.2016.
- DIE PRESSE, 2017: Jugendlicher stirbt bei Unwetter in der Obersteiermark. <http://diepresse.com/home/panorama/oesterreich/5264268/Jugendlicher-stirbt-bei-Unwetter-in-der-Obersteiermark>, letzter Zugriff am 28.08.2017.
- EPOSA, 2017: EPOSA Echtzeitpositionierung Austria. <http://www.eposa.at>, letzter Zugriff 28.08.2017.
- KÄÄB, A. & VOLLMER, M., 2000: Surface Geometry, Thickness Changes and Flow Fields on Creeping Mountain Permafrost: Automatic Extraction by Digital Image Analysis. *Permafrost and Periglacial Processes*, **11**, 315-326.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2002: Spatio-temporal analysis of the dynamic behaviour of the Hohebenkar rock glaciers (Oetztal Alps, Austria) by means of digital photogrammetric methods. *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, **37**, 119-140.
- ORF – Österreichischer Rundfunk, 2017: Oberwölz: Aufräumen nach dem Unwetter. <http://steiermark.orf.at/news/stories/2858904/>, letzter Zugriff 28.08.2017.
- SASS, O., HARB, G., TRUHETZ, H., STANGL, J. & SCHNEIDER, J., 2015: Abschlussbericht Projekt Climcatch. Klima und Energiefonds Projekt B175084. https://static.uni-graz.at/fileadmin/urbi-institute/Geographie/pictures/misc/climcatch/Sass-etal_ACRP4-ClimCatch_Endbericht.pdf, letzter Zugriff 26.09.2016.

- SCHNEIDER, J., STANGL, J., TRUHETZ, H., FIEGER, S., HARB, G. & SASS, O., 2016: Monitoring of Erosion and of Sediment Transport in the River Schöttlbach (Styria) with respect to Climate Change. *Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering*, **177**, 60-72.
- SEIER, G., STANGL, J., SCHÖTTL, S., SULZER, W. & SASS, O., 2017a: UAV and TLS for monitoring a creek in an alpine environment, Styria, Austria. *International Journal of Remote Sensing*, **38**, 2903-2920.
- SEIER, G., SULZER, W., WECHT, M., SCHÖTTL S. & SASS, O., 2017b: Veränderungsdetektion eines Wildbaches mittels unbemanntem Luftfahrzeug. *AGIT Journal für Angewandte Geoinformatik*, **3**, 332-342.
- SNAVELY, N., SEITZ, S.M., & SZELISKI, R., 2008: Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision*, **80**, 189-210.
- STANGL, J., RASCHER E. & SASS O., 2016: Comparative analysis of sediment routing in two different alpine catchments. *Source-to-Sink Fluxes in Undisturbed Cold Environments*, BEYLICH, A.A., DIXON, J.C. & ZWOLIŃSKI, Z. (Hrsg.), Cambridge University Press, Cambridge, 364-377.
- ULLMAN, S., 1979: The interpretation of Structure from Motion. *Proc. R. Soc. London*, **203** (Ser. B), 405-426.
- WESTOBY, M.J., BRASINGTON, J., GLASSER, N.F., HAMBREY, M.J. & REYNOLDS J.M., 2012: 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, **179**, 300-314.
- WOCHE STEIERMARK, 2018: Unwetter: "Es ist zermürend". https://www.meinbezirk.at/murtal/c-lokales/unwetter-es-ist-zermuerbend_a2884067, letzter Zugriff 28.12.2018.