



Herzog Ingenieure AG

Wasserbau Tiefbau Grundbau

buero@herzog-ingenieure.ch
www.herzog-ingenieure.ch
MwSt.-Nr. 698.844

Promenade 75
7270 Davos Platz
Tel. 0848 415 000

Dorfstrasse 10
3073 Gümligen
Tel. 0848 415 000

Hochwasserschutz unteres Gürbetal

Aktennotiz Nr. 1010-24

Projekt Nr. 1010

Art der Besprechung

- Begehung
- Telefonisch
- Sitzung
- Dokumentation

Thema

Höhendifferenzen im DTM
Überprüfung
Konsequenzen auf Plangenehmigung
Konsequenzen Bereich Madbrücke (Objektschutz)

Datum

12. September 2012

Verteiler

H. Wildberger, WGM
A. Fahrni, OIK II

Beilage



1. Grundlagen

Die Planungsarbeiten (hydraulische Modellierung und Massnahmenplanung) des Projektes "Hochwasserschutz unteres Gürbetal" sind einerseits auf den Plänen der amtlichen Vermessung für die Lagen und andererseits auf einem digitalen Terrainmodell (DTM) der Firma Perrinjaquet für die Höhen durchgeführt worden.

Das DTM wurde photogrammetrisch aus Flugaufnahmen aus dem Jahr 1996 erstellt. Die Planer haben das DTM bei Beginn der Planungsarbeiten im Jahr 2004 als aktuelle Grundlage zur Verfügung gestellt erhalten. Die Höhengenaugigkeit des DTM ist uns nicht genau bekannt (abhängig von Flughöhe und Kamera-Brennweite), dürfte aber erfahrungsgemäss ca. ± 25 cm (mittlerer Fehler, d.h. Abweichung gleichmässig auf beide Seiten) betragen.

Das DTM wurde von den Planern beim Projektstart und im Rahmen des Teilprojektes 1 (Gefahrenkarte) auf drei Arten überprüft:

1. Übersichtsbegehung des ganzen Projektperimeters nach Auftragsvergabe (R. Kolb), visueller Vergleich von Höhenkurven und Bruchkanten (z.B. Mauern) mit der Realität. Kontrolle, ob die wichtigen Höhenelemente enthalten sind.
2. Vergleich der Überflutungsmodellierung mit den Ereignissen 2005 und 2007 (Flächen und Wassertiefen) im Feld, mit dem Ereigniskataster und durch lokale Sachverständige (Gemeindevertreter, Arbeitsgruppe des Vorstandes).
3. Generieren von Schnitten durchs Gelände, visuelle Kontrolle, ob das Gelände gut abgebildet werden (Senken, Erhebungen, Mauern, Gürbegerinne, Hagikanal, etc.).

Diese Überprüfungen zeigten ein gutes Bild. Auch während der Projektierung (Konstruktion des Projektes im CAD) zeigten sich die Daten plausibel und vollständig. Ein systematischer Versatz (Abweichung in der absoluten Höhenlage) wäre dabei natürlich nicht erkennbar.

Für die Konstruktion der Sohlenhöhen im Gerinne der Gürbe wurden die terrestrischen Vermessungsdaten des BAFU (letzte Nachführung 1988) verwendet, da die Gerinnesohle photogrammetrisch i.d.R. schlecht erfasst wird (Wasser).

In Mühlethurnen wurden terrestrische Aufnahmen in der Gürbe gemacht, da dort die Sohle seit den BAFU-Aufnahmen erhöht wurde (Blockteppich).

Weitere Aufnahmen wurden während der Projektierungsphase nicht angeordnet. Das gesamte Projekt stützt sich damit im wesentlichen auf das photogrammetrische DTM.

2. Festgestellte Differenzen

Vor der Planaufgabe wurden im ganzen Perimeter über 500 Punkte abgesteckt/verpflockt. Für Punkte über Terrain wurden dem Geometer dazu die absoluten Koten angegeben.

Ein betroffener Grundeigentümer in Mühlethurnen (Prz. 360) hat darauf hingewiesen, dass die im Plan vermasste Höhe ab Terrain der projektierten Mauer an seiner Grundstücksgrenze nicht



mit der Höhe des während der Planaufnahme abgesteckten Profils an dieser Stelle übereinstimmen (vgl. Einsprache Stettler, Mühlethurnen).

Im März 2012 wurden daher im Bereich dieses Grundstücks einige terrestrische Höhenaufnahmen mittels Tachymeter vorgenommen. Der Vergleich der Aufnahmen mit dem DTM hat gezeigt, dass in diesem Bereich ein systematischer Versatz von ca. 25-30 cm festgestellt werden kann. Das heisst, dass das DTM in diesem Bereich generell höher liegt als das effektive Terrain.

Insbesondere am gürbeseitigen (östlichen) Mauerende bei der Parzelle Nr. 360 taucht das Terrain effektiv (terrestrische Aufnahme) gegenüber dem DTM noch mehr ab. Die Differenz beträgt dort bis zu 50 cm. Wir vermuten, dass hier wegen des lokal vorhandenen Bewuchses (Baum, Sträucher) die Auswertung der photogrammetrischen Bilder nicht so engmaschig und damit auch nicht so genau war.

Das andere (westliche) Mauerende sollte nach Projekt terrainbündig sein. Die Mauerkrone wurde dem Geometer auch hier in absoluter Kote angegeben. Das abgesteckte Profil an dieser Stelle zeigt eine Höhe von 25 cm ab Boden an, was wiederum den oben beschriebenen Höhenversatz des DTM bestätigt.

Aufgrund dieser Aufnahmen wurde vermutet, dass im photogrammetrischen DTM ein systematischer Versatz vorhanden sein könnte. Ein solcher hätte Konsequenzen auf die Plangenehmigung (vgl. Pkt. 5). Der festgestellte generelle Höhenversatz des DTM im Bereich der Madbrücke in Mühlethurnen warf aber auch die Frage auf, ob sich dieser über den ganzen Projektperimeter erstreckt. Die Höhenreferenzierung der Flugaufnahmen dürfte an verschiedenen Punkten über das Gürbetal 'aufgehängt' sein, so dass dies nicht unbedingt der Fall sein muss.

Da besonders im oberen Gürbetal die amtliche Vermessung noch nicht sehr weit fortgeschritten ist (teilweise noch gescannte Grundbuchpläne oder provisorische Nummerisierung PN), ist es auch möglich, dass verschiedene Höhenangaben widersprüchlich sind (Polygonhöhen vs. Höhen der Landesvermessung)

3. Methodik Überprüfung DTM

Nicht überall sind Höhendifferenzen gleich kritisch. Es wurde daher zuerst eine Triage vorgenommen.

Innerhalb der Bauzonen von Toffen und Mühlethurnen sind die Höhenangaben in den Genehmigungsplänen deswegen heikel, weil die möglichen Abweichung von den genehmigten Plänen gemäss Wasserbaugesetz nur in geringem Mass möglich sind. An anderen Orten spielt hingegen nur die relative Uferdifferenz eine Rolle.

Die Arbeiten wurden bisher für die Gemeinde Toffen (Ausleitung bis Talguet) und Mühlethurnen (Schürmatt bis Siedlung Regenbogen) durchgeführt. Je nach Entscheid in Bezug auf die Konsequenzen können die BAFU-Aufnahmen auch für die Ausleitung Lohnstorf noch ausgewertet werden (vgl. Kap. 7)¹.

¹ In diesem Bereich ist allerdings keine Einsprache hängig und im Rahmen des Ausführungsprojektes müssen die Höhen ohnehin terrestrisch überprüft werden. Auch befindet sich das Objekt in der Landwirtschaftszone.



Das Vorgehen zur Überprüfung wurde mit dem OIK II und der Arbeitsgruppe des Vorstandes im Mai 2012 festgelegt. Es wurde entschieden, Höhen aus anderen Datenquellen zu beschaffen und mit dem DTM zu vergleichen. Damit soll sich die Bauherrschaft ein Bild über die Genauigkeit des DTM und nötige Korrekturmassnahmen verschaffen können.

Ausgeführte Arbeiten und Vorgehen:

1. Es wurden vorhandene Höhen soweit verfügbar beschafft. Dies waren v.a. Schachtdeckelhöhen aus den Leitungskatastern von Toffen und Mühlethurnen. Auch aus den BAFU-Profilen konnten etliche Punkte generiert werden.
2. Aufbereiten der Einzelpunkte mit x-, y-, z-Koordinaten
3. Kontrollieren und Einlesen der Daten, Systematischer Abgleich mit DTM
4. Untersuchung von Ausreissern
5. Statistische Auswertung (Mittlerer Fehler, Standardabweichung, Trends)

Bearbeitung der Daten

Die Schachthöhen aus dem Leitungskataster Toffen wurden gem. der Beschriftung (D=) generiert, da sie über keine z-Koordinate verfügten. Hier hatte es rel. viele Fehler (insbesondere waren z.B. überdeckte KS auch mit Höhen beschriftet, zum Glück aber mit 'überdeckt' angeschrieben. Es brauchte also eine visuelle Vorausscheidung. Von 159 Kanalisationsschächten mussten so 39 gelöscht werden. Total konnten 177 Höhenangaben gewonnen werden.

In Mühlethurnen wurden die Punkthöhen aus den z-Koordinaten generiert. Alle Höhen wurden visuell mit den angeschriebenen Höhen verglichen, wobei einige fehlerhaft waren und gelöscht werden mussten. Es wurden total 86 auswertbare Höhenpunkte generiert.

Die Höhen aus den BAFU Aufnahmen konnten gut verwendet werden. Da das BAFU in seinen Pflichtenheften für die Aufnahmen auch einen Anschluss an das Landesnivellement verlangt (nicht nur Polygonhöhen), erachten wir diese Daten von der Höhe her als sehr zuverlässig. Die Lage ist nicht sehr genau, da die Daten händisch aufgrund der alten, handgezeichneten Pläne nachträglich georeferenziert wurden. Dafür liegen sehr viele Daten vor, was für die Zuverlässigkeit des Vergleichs wichtig ist.

Die Versicherungspunkte und Brückenpunkte mussten aus den BAFU-Daten heraus gefiltert werden, da sie nicht auf Terrain liegen. Dann wurden die Gerinneböschungen und –sohle aus den Punkte ausgeschnitten. Im Böschungsbereich sind die erwarteten Fehler zu gross, einerseits wegen dem Bewuchs, andererseits wegen der grossen Auswirkung von Lagefehlern im Steilbereich.

Dazu kamen noch die von uns terrestrisch aufgenommen Punkte.

Insgesamt konnten rund 800 Punkte in Toffen und 400 in Mühlethurnen überprüft werden.

Vergleich

Die Daten wurden als x-,y-, z-Werte im CAD eingelesen und mit den DTM verglichen. Die Differenzen wurden heraus geschrieben und konnten so im Excel weiterverarbeitet werden. Zuerst wurde die Standardabweichung berechnet (mittlerer Fehler mit Vertrauensintervall 68%). Da keine Punkte mehr als die dreifache Standardabweichung aufweisen sollten, wurden Punkte mit einer Höhenabweichung von mehr als 0.8 m als 'Ausreisser' bezeichnet und manuell untersucht. Die Punkte wurden im Geometerplan mit eingelesenen Höhenkurven aufgesucht und Überlegungen zur möglichen Abweichung gemacht. Lag ein offensichtlicher Grund für eine Fehlangebe vor (unmögliche Schachthöhe, Punkt neben Brücke aufgenommen, Vergleichspunkt



auf Brücke, etc.) oder waren es Punkte innerhalb des Gürbegerinnes, so wurden die Punkte manuell gelöscht. Konnte kein solcher Grund ausgemacht werden, wurden sie drin belassen. Dies auch dort, wo die Differenz mutmasslich auf Bewuchs (keine oder schlechte Messung im DTM) zurück zu führen ist, da diese Differenzen in die Natur des DTM gehören und sonst eine scheinbare Genauigkeit vorgetäuscht würde.

Die verbleibenden Punkte wurden anschliessend neu ausgewertet. Dabei wurde auch untersucht, wie der Fehler über den Projektperimeter verteilt ist.

4. Resultate

Toffen

Die Auswertung in Toffen zeigt einen Mittelwert der Differenz DTM / terrestrische Aufnahmen von 0.01 m, resp. -0.05 m (Schachthöhen). Das effektive Terrain liegt also im Mittel 1 cm höher wie die rund 700 terrestrisch aufgenommenen Kontrollpunkte. Dies kann als sehr guter Wert bezeichnet werden. Es ist kein systematischer Versatz festzustellen. Der Mittelwert liegt im Süden ganz leicht höher als im Norden, dies ist jedoch nicht signifikant. Der mittlere Fehler (Standardabweichung) liegt bei 19 cm. Für die Schachthöhen liegt er sogar nur bei 15 cm.

Aufgrund dieser Werte kann das DTM den Möglichkeiten der Photogrammetrie entsprechend als gut bezeichnet werden. Es gibt keinen Grund, an den Höhen generell zu zweifeln. Da die Abweichungen lokal das 2 bis 3 fache des mittleren Fehlers betragen können (95% bis 99% Vertrauensintervall), ist in Erwägung zu ziehen, ob in den Genehmigungsplänen dennoch besser relative Höhen angegeben werden sollten (vgl. Pkt. 6).

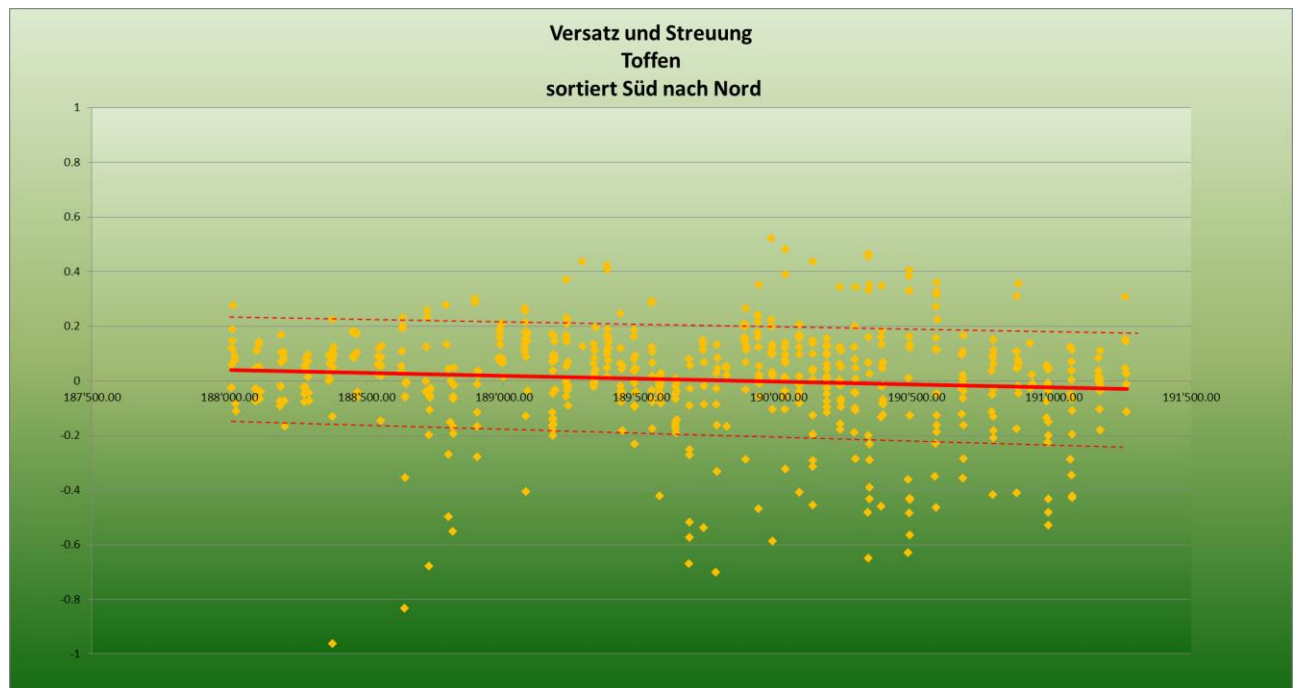


Abb. 1: TOFFEN Abweichung des effektiven Terrains von den überprüften DTM-Punkten (gelb), Trend (rote Linie) und Standardabweichung (rot gestrichelte Linien). Links: Süden, rechts: Norden. Der Sollwert beträgt null.



Mühlethurnen

Die Auswertung für Mühlethurnen zeigt dasselbe Bild wie im April 2012 bereits vermutet wurde:

Das DTM weist einen vergleichbaren mittleren Fehler auf wie dasjenige von Toffen (+/- 21 cm). Es hat jedoch einen absoluten Fehler: Das DTM liegt im Mittel durchgehend ca. 20 cm zu hoch. Noch schlimmer: dieser Versatz ist nicht gleichmässig, sondern nimmt gegen Norden hin ab und ist in am Südrand des überprüften Perimeters am grössten, nämlich fast 30 cm.

Das DTM liegt auch in West-Ost-Richtung schief. Räumlich gesehen liegt also die Südostecke am tiefsten, die nordwestliche am höchsten.

Einzel betrachtet zeigt die Auswertung der Schachthöhen en gleichen systematischen Versatz (Wert noch etwas höher) wie die Geländeaufnahmen. Aufgrund der beiden unabhängigen Datenquellen kann der Versatz als gesichert betrachtet werden.

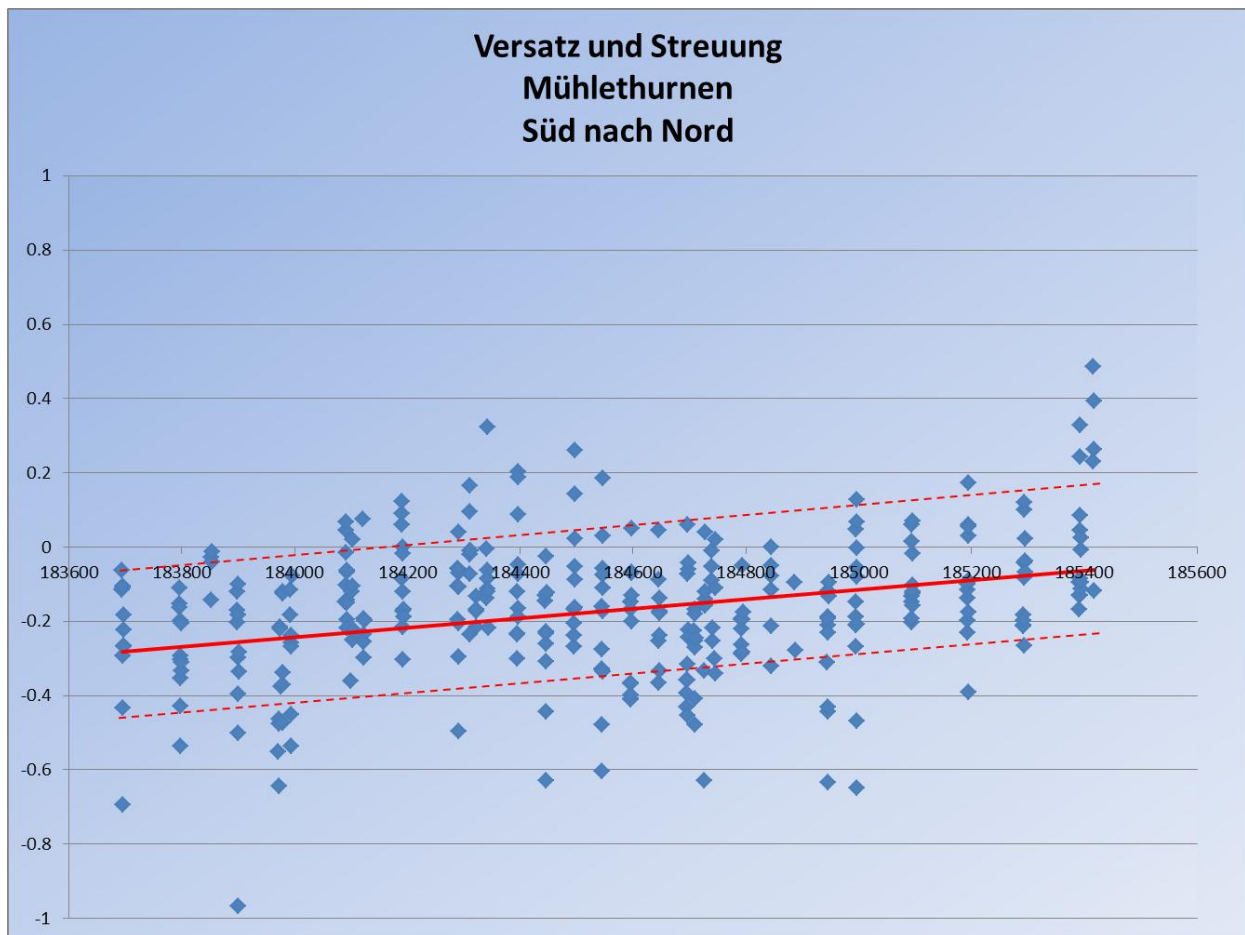


Abb. 2: MÜHLETHURNEN Abweichung des effektiven Terrains von den überprüften DTM-Punkten (blau), Trend des Mittelwertes (rote Linie) und Standardabweichung (rot gestrichelte Linien). Links: Süden, rechts: Norden. Der Sollwert beträgt null.

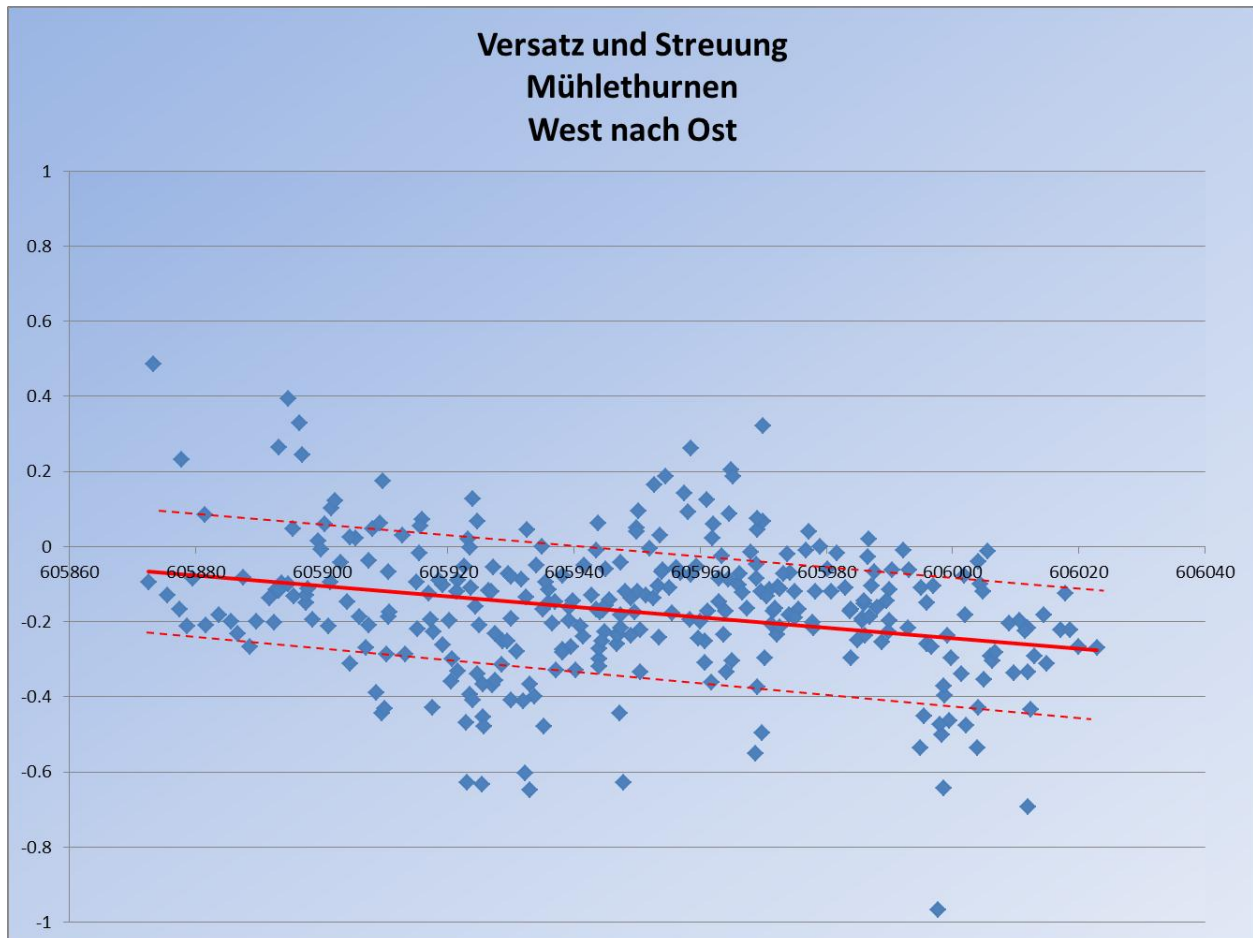


Abb. 3, dito Abb. 2, sortiert West nach Ost

Die Erfahrung mit dem DTM während der Konstruktion des Projektes, dass dieses in sich selber gut stimmt (Gefällsverhältnisse, Objekthöhen über Terrain), kann bestätigt werden. Damit können die Überflutungsmodellierungen und die Projekthöhen ab Terrain im Rahmen der Genauigkeit des DTM (ca. +/- 25 cm) bestätigt werden². Diese Aussage kann auf den mittleren Fehler von 15 – 19 cm in Toffen und 13-21 cm in Mühlethurnen gestützt werden. Der mittlere Fehler liegt tiefer als erwartet werden konnte.

² Dabei ist zu beachten, dass für die Bauausführung ohnehin mit terrestrischen Aufnahmen projiziert werden muss (Strassenanschlüsse, Brücken, Zufahrten, etc.), die Angaben aus der hydraulischen Modellierung sind dann evtl. lokal neu umzusetzen.



5. Auswirkungen auf das Hochwasserschutzprojekt

Das aufgelegte Hochwasserschutzprojekt weist aufgrund der Untersuchungen die erwartete Genauigkeit von +/- 20 cm auf. Dies bedeutet, dass 68% der Punkte in diesem Bereich liegen. Das Vertrauensintervall für 95% der Punkte beträgt +/- 40 cm. Eine grössere Genauigkeit kann von photogrammetrischen Modellen nicht erwartet werden. Die grossräumig berechneten Fliesstiefen und die entsprechenden Massnahmenhöhen über das ganze Tal können als zuverlässig betrachtet werden, da das Modell in sich stimmt. In Toffen ist die Genauigkeit besser als in Mühlethurnen.

Beim geplanten Objektschutz in Mühlethurnen sind aufgrund der Betroffenheit der privaten Grundeigentümer bereits heute genauere Angaben erforderlich, als das DTM zulässt. Auch ist für die genaue sehr lokale Modellierung des Nah-Bereiches der Madbrücke das vorhandene, schiefe DTM unbefriedigend. Insbesondere die absoluten Höhen zeigen einen grossen Fehler. Daraus erklären sich auch die festgestellten Abweichungen bei der Verpflockung im Gelände.

Daher empfehlen wir, den Bereich Madbrücke lokal neu aufzunehmen und neu zu modellieren. Die übrigen Massnahmen in Mühlethurnen sind weniger anfällig auf Höhenfehler (vor allem Verbreiterungen). Die Gefahrenkarte (wo ufert es aus) dürfte nicht betroffen sein, da durchgehend eine Uferdifferenz gebaut wird (betrifft v.a. Allmend Toffen bis Siedlung Regenbogen). Die Uferhöhen ergeben sich aus der Verbreiterungen und sind nur im Längenprofil (Plan Nr. 271) kotiert. Wir würden aber empfehlen, in den Genehmigungsplänen (LP und QP) die Uferdifferenz durchgehend relativ zu vermessen und mit 'minimal' anzuschreiben.

6. Empfehlung

Wir empfehlen aufgrund der Untersuchungen – v.a. im Hinblick auf zielführende Einspracheverhandlungen - folgendes Vorgehen:

- a) Detailliertere Aufnahmen Bereich Madbrücke, Neumodellierung der Überflutung und Definition Objektschutz in Absprache mit den Grundeigentümer.
- b) Generelles Ersetzen der absoluten Höhenkoten in den QP und LP durch relative Masse (Höhe ab Terrain) im ganzen Projekt. Dies vermeidet beim Bau Diskussionen um die absoluten Koten. Die Pläne müssen systematisch durchgekämmt und neu angeschrieben werden.

Die Perimeter der Ausleitung Lohnstorf wurde bisher nicht überprüft. Falls entschieden wird, generell die relativen Höhen anzugeben, ist dies aus unserer Sicht nicht nötig³.

³ Für die Bauausführung sind auch hier ohnehin mit terrestrischen Aufnahmen nötig, die Angaben aus der hydraulischen Modellierung sind dann evtl. neu umzusetzen.