

Kurzbericht

Gegenüberstellung verschiedener Vermessungsmethoden am Dammbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Wolterdingen

I Anlass

Für die Hochwassergefahrenkarte Baden-Württemberg wurden Hochwasserspiegellagen an mehr als 11.000 km Fließgewässern ermittelt. Die für die hydraulischen Berechnungen maßgeblichen Geländemodelle wurden unter Verwendung von Gewässerquerprofilaufnahmen in Verbindung mit dem landesweiten digitalen Geländemodell der Landesvermessung erstellt.

Die Wasserspiegellagen der Hochwassergefahrenkarte stehen in einer Rasterweite von 1 m und einer Auflösung im Zentimeter für die Höhe für die gesamte betrachtete Strecke zur Verfügung. Die Hochwassergefahrenkarte wird im Internet veröffentlicht.

Für die mehr als 1.000 km landeseigenen Flussdeiche stehen geometrische Informationen bisher über die Lageerfassung auf dem Luftbild sowie über Normprofile, vereinzelte Querprofilaufnahmen und die Höhenlage der Deichkilometersteine zur Verfügung.

Um für die Höhenlage der Deichkrone einen zur Hochwassergefahrenkarte vergleichbar hochaufgelösten Datensatz zur Verfügung stellen zu können, werden am Dammbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Wolterdingen beispielhaft verschiedene Vermessungsmethoden gegenübergestellt.

Hierbei sind folgende Punkte zu beachten:

- schnelle und günstige Datenerhebung entsprechend den Vorgaben
- automatisierter Datenfluss
- Weiterverarbeitung mit eigenen Anwendungen
- Nutzbarkeit der neuen Daten in bestehenden Fachsystemen
- Datenkompatibilität und –austauschmöglichkeit zur Landesvermessung

II Situation vor Ort - das Hochwasserrückhaltebecken Wolterdingen

Das Hochwasserrückhaltebecken Wolterdingen dient der Reduzierung des Hochwassereinflusses der Breg auf die Donau. Das Rückhaltevolumen von 4,7 Millionen m³ wurde so gewählt, dass bis Ulm eine signifikante Minderung des Scheitelabflusses der Donau erreicht werden kann.

Das Dammbauwerk hat eine Länge von 460 m bei 110 m Breite und 18 m Höhe.

Die gesamte Baumaßnahme wurde mit einem Mitteleinsatz von 22 Millionen € in den Jahren 2006 bis 2012 durchgeführt.

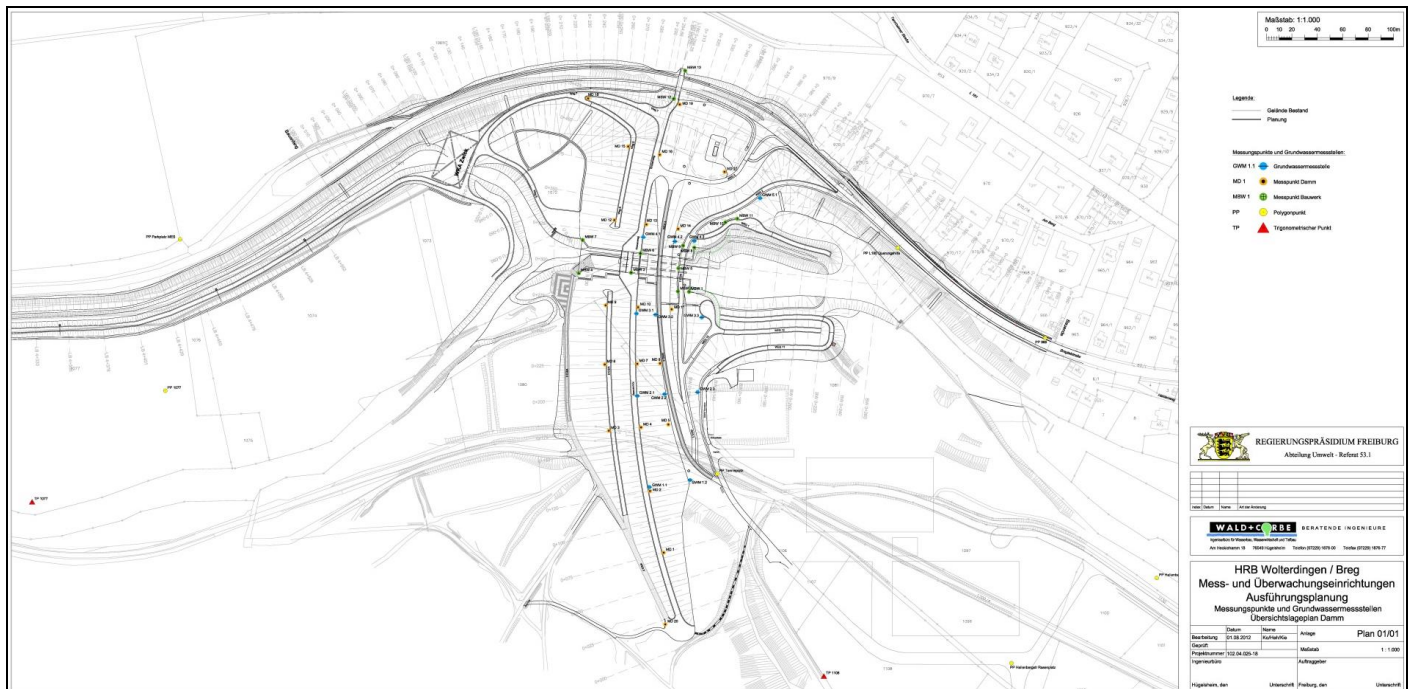


Abbildung 1: Lageplan Dammbauwerk

Die LUBW wurde vom Regierungspräsidium Freiburg zur Verteilung und Gestaltung der für ein solches Bauwerk zwingend notwendigen dauerhaften Vermessungspunkte, die der Kontrolle des Bauwerks dienen, angefragt. In Kooperation mit dem Landesamt für Geodäsie und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) wurden diese Fixpunkte in 9 Querprofilreihen eingemessen.

Diese Punkte werden mit weiteren hochgenau eingemessene Kontrollflächen zur Georeferenzierung von Vermessungsaufnahmen vor Ort genutzt. Durch die einheitliche Verwendung dieser Referenzpunkte und -flächen ist sichergestellt, dass bei Vergleichen verschiedener Aufnahmen und Methoden ausschließlich systembedingte Unterschiede in den Ergebnissen auftreten können.

Da sich die Anlage im Landeseigentum befindet, ist sowohl die Zugänglichkeit als auch die Aufrechterhaltung vergleichbarer Zustände vor Ort für verschiedene Messkampagnen gesichert.

III Vermessungsmethoden

Die terrestrische Aufnahme von Querprofilen ist die klassische Vermessungsmethode, die nicht nur im Wasserbau verbreitet Anwendung findet. Hier stellen Querprofilaufnahmen im Verlauf der Fixpunktprofile die „Solllage“ des Geländes dar.

Ebenfalls als terrestrische Aufnahme wurde ein terrestrischer Laserscan der Anlage durch das LGL in den Vergleich mit einbezogen. Laserscanner tasten das Gelände mit einem Laserimpuls ab, bei dem die Richtung und über die Laufzeit des Lasersignals die Strecke zum gemessenen Objekt bestimmt wird. Ist die Koordinate des Laserscanners zum Zeitpunkt der Messung zum Beispiel über eine GPS-Positionierung bekannt, können über diese Werte die Koordinaten des Objekts berechnet werden.

Der terrestrische Laserscan wurde jedoch von Anfang an als ungeeignet für die definierte Aufgabenstellung angesehen. Durch den Aufwand vieler notwendiger Instrumentenstandorte und die durch die Höhe des Bauwerks nachteilige Aufnahmesituation kann der terrestrische Laserscan in dieser Situation kein gutes Ergebnis erbringen.

Bei der fotogrammetrischen Bildauswertung werden aufeinanderfolgende Bildern über gemeinsame Punkte zu einem fortlaufenden Bildverband zusammengefügt. Je mehr gemeinsame Punkte bei aufeinanderfolgenden Bildern identifiziert werden können, umso genauer können die einzelnen Bilder aneinander angepasst werden.

Für sämtliche Bildpunkte können die Koordinaten berechnet werden wenn:

- auf den Bildern ausreichend identifizierbare Objekte mit ihren Koordinaten bekannt sind
- oder die Kamerakoordinaten zum Aufnahmezeitpunkt sowie weitere Kamerawerte wie zum Beispiel Ausrichtung oder Brennweite bekannt sind.

Automatisierte Auswerteverfahren der Fotogrammetrie werden aktuell häufig bei Luftbildbefliegungen durch UAV / UAS (Unmanned Arial Vehicles oder Unmanned Arial Systems, deutsch unbemannte Luftfahrzeuge) eingesetzt.

UAV dürfen in Deutschland kommerziell bis zu einer Höhe von 100m über Grund eingesetzt werden, dabei stellen die UAV selbst nur den Träger für verschiedene Sensoren dar. Die Leistungsfähigkeit der UAV nimmt in kurzen Zeitabständen dank der fortschreitenden Entwicklung der Akkutechnik stark zu. Damit nimmt durch die Möglichkeit bessere oder mehr Sensoren zu transportieren auch die messtechnische Leistungsfähigkeit zu.

Bei der Fotobefliegung mit UAV wird eine große Menge an Bildern erzeugt, die viele gemeinsame Punkte enthalten und somit sehr gut automatisiert bearbeitet werden können. Deshalb genügt es hier relativ einfach aufgebaute Kameras zu benutzen, im Gegensatz zur klassischen

Luftbildfotogrammetrie, bei der wegen geringerer gegenseitiger Überdeckung der Bilder sehr hochwertige und genau eingemessene Kamerasysteme zum Einsatz kommen müssen.

Eine weitere Aufnahmemöglichkeit unter Zuhilfenahme von UAV ergibt sich, wenn mit dem UAV ein Laserscanner transportiert werden kann. Durch die genaue Steuerbarkeit und der sich daraus ergebenden hohen Wendigkeit der UAV können mit einem Laserscanner Aufnahmen mit sehr hoher Punktdichte erzielt werden. Da jedoch Laserscanner erheblich schwerer als Kameras sind, müssen die zum Einsatz kommenden UAV entsprechend größer und leistungsfähiger sein. Momentan sind verschiedene Laserscanner-UAV in der Entwicklung und im Ersteinsatz, bei denen der Scanner mittragendes Element des UAV und somit bestens in das Gesamtkonzept des UAV integriert ist.

Ein weiterer Laserscanner wurde aus einem niedrig fliegenden bemannten Kleinflugzeug durch die Firma AHM (<http://ahm.co.at/>) eingesetzt. Im Gegensatz zu den UAV fliegt das Kleinflugzeug höher, so dass bei Einsatz eines vergleichbaren Sensors größere Punktabstände am Boden aufgenommen werden. Dafür ist das Kleinflugzeug schneller und mit einer größeren Reichweite unterwegs, so dass erheblich größere Gebiete in einer Vermessungsaktion aufgenommen werden können.

Das LGL konnte für den Vergleich zusätzlich die Auswertung eines klassischen fotogrammetrischen Bildfluges aus einem hoch fliegenden bemannten Flugzeug zur Verfügung stellen. Dieser Bildflug wurde in unbelaubtem Zustand, also vor dem ersten Blattaustrieb der Bäume, mit einer Bodenauflösung von 10 cm durchgeführt. Bildflüge in dieser Spezifikation werden vom LGL auch herangezogen um das landesweite digitale Geländemodell fortzuführen.

IV eingesetzte UAV

Hauptaugenmerk wurde bei der Gegenüberstellung auf die Nutzung der UAV gelegt. Diese Technologie ist relativ neu am Markt, verspricht jedoch sehr gute Ergebnisse. Deshalb musste hier geprüft werden, welche Trägersysteme für die Aufgabe Deichvermessung besonders geeignet sind und welche Messsensoren Verwendung finden können.

Zuerst wurde die Firma MAVinci GmbH (<http://www.mavinci.de/>) mit einer Befliegung mit dem System SIRIUS und dem System SIRIUS PRO beauftragt. Beide Systeme werden von einem sehr leichten Modellflugzeug getragen. Beim SIRIUS PRO ist durch den Einsatz eines höherwertigeren GPS / GLONASS RTK Empfängers eine bessere Lagebestimmung des UAV möglich, was sich direkt in der Genauigkeit der berechneten Geländemodelle niederschlägt. Nach Angaben von

MAVinci ist damit eine Modellgenauigkeit von besser 5 cm ohne weitere Passpunktbestimmung möglich.



Abbildung 2: Trägersystem MAVinci SIRIUS PRO

Um dem Modellflugzeug von MAVinci eine andere Trägerplattform in Form eines Oktokopters gegenüberzustellen, wurde die Firma 4D-IT (<http://www.4d-it.com/>) mit der Befliegung mit einem Foto-UAV und einem Laserscan-UAV beauftragt.



Abbildung 3: Foto-UAV 4D-IT beim Einsatz in Wolterdingen

Das Laserscan-UAV Scancopter von 4D-IT ist zur Zeit noch nicht einsatzfähig. Im Vergleich zum Einsatz der fotogrammetrischen Auswertung ist jedoch im Ergebnis mit einer noch höheren Punktdichte und einer daraus resultierenden noch besseren Geländemodellierung zu rechnen. Für den Einsatzbereich Flussdeichvermessung ist dieses Ergebnis dann sicherlich zu detailliert, aber zum Beispiel bei der Bauwerkskontrolle von Talsperren ist ein zukünftiger Einsatz denkbar.

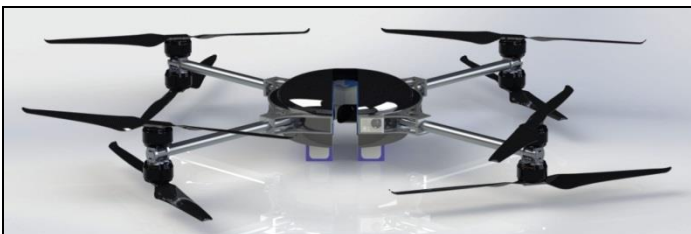


Abbildung 4: Scancopter 4D-IT

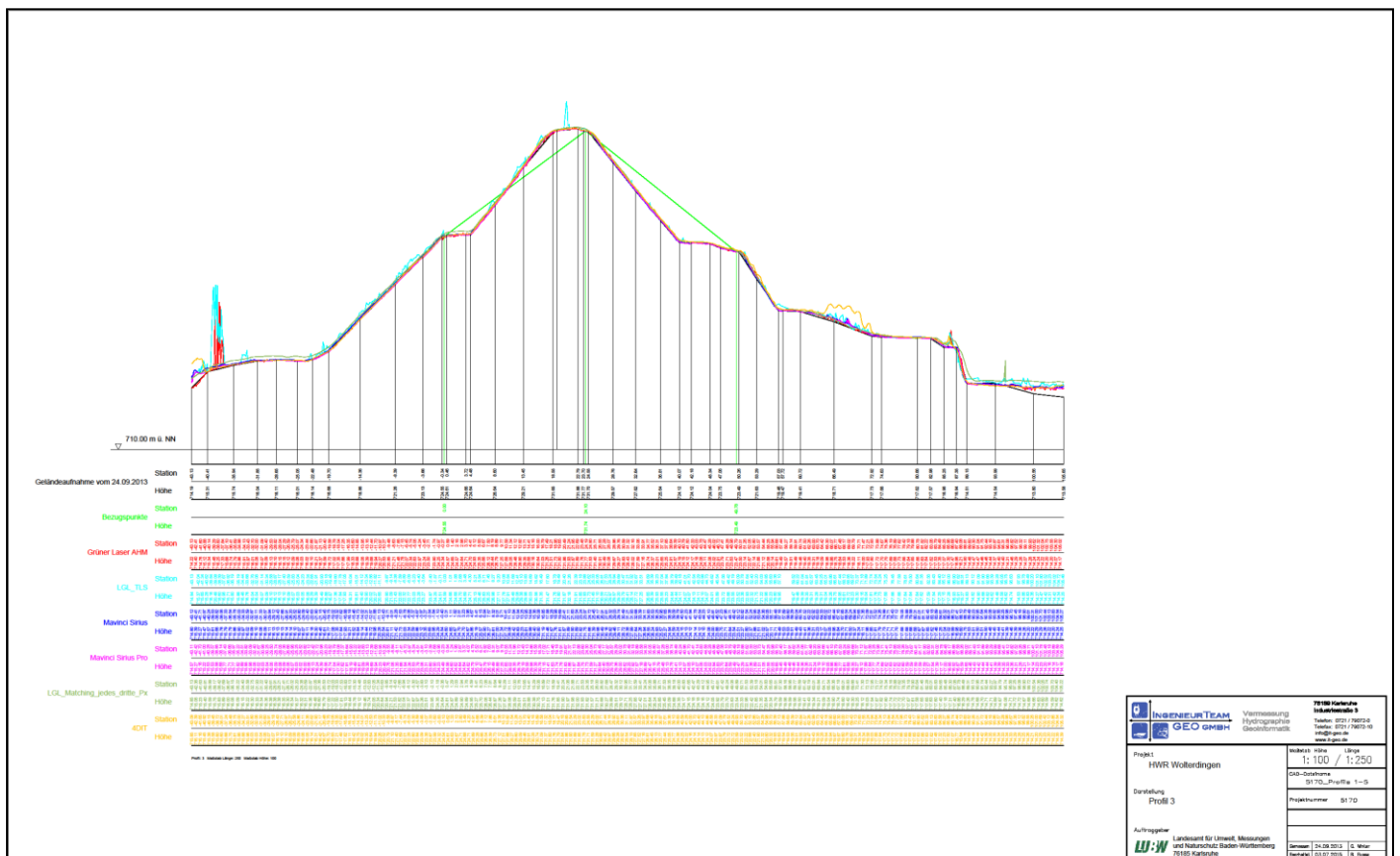
V Vergleich

Für den Methodenvergleich wurden aus allen Vermessungen Profile bezogen auf die terrestrischen Querprofile extrahiert und visualisiert.

In den Darstellungen wurden für die Profillinien folgende Farben vergeben:

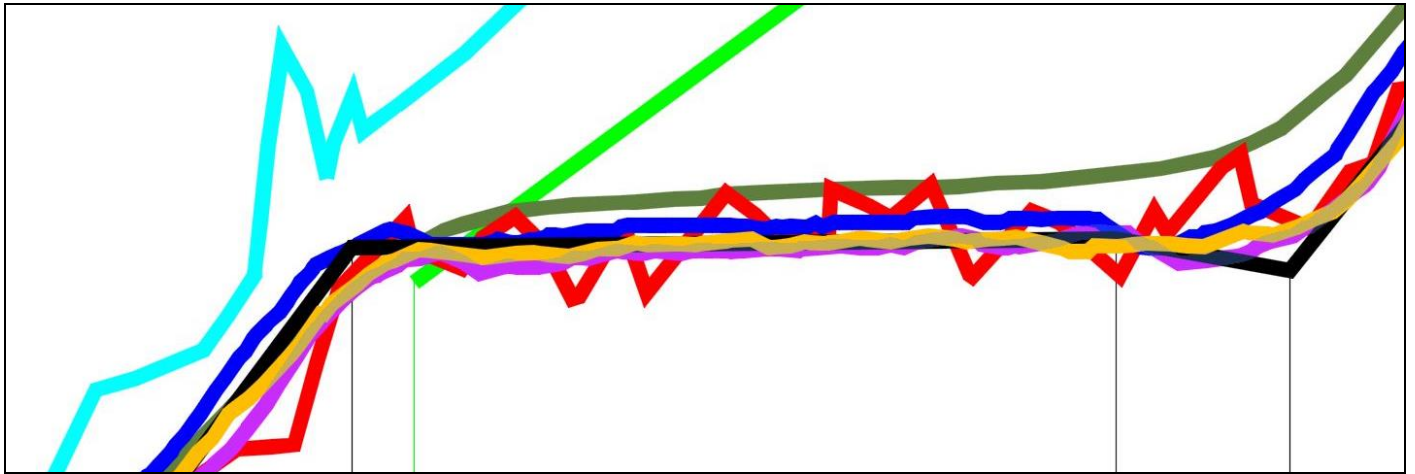
- schwarz - terrestrische Profilaufnahme
- hellgrün - Verbindungslinie der vermarkten Fixpunkte. Diese Linie stellt nicht den Geländeverlauf dar und darf nicht in den Vergleich mit einbezogen werden.
- rot - Laserscan AHM
- türkis - terrestrischer Laserscan LGL
- blau - Fotobefliegung MAVinci SIRIUS
- magenta - Fotobefliegung MAVinci SIRIUS PRO
- dunkelgrün - Luftbildauswertung LGL
- gelb - Fotobefliegung 4D-IT

In den Profilen ergeben sich trotz überhöhter Darstellung nur wenige sichtbare Abweichungen zwischen den verschiedenen Aufnahmemethoden, da die Ergebnisse der verschiedenen Vermessungen sehr nah zusammenliegen.



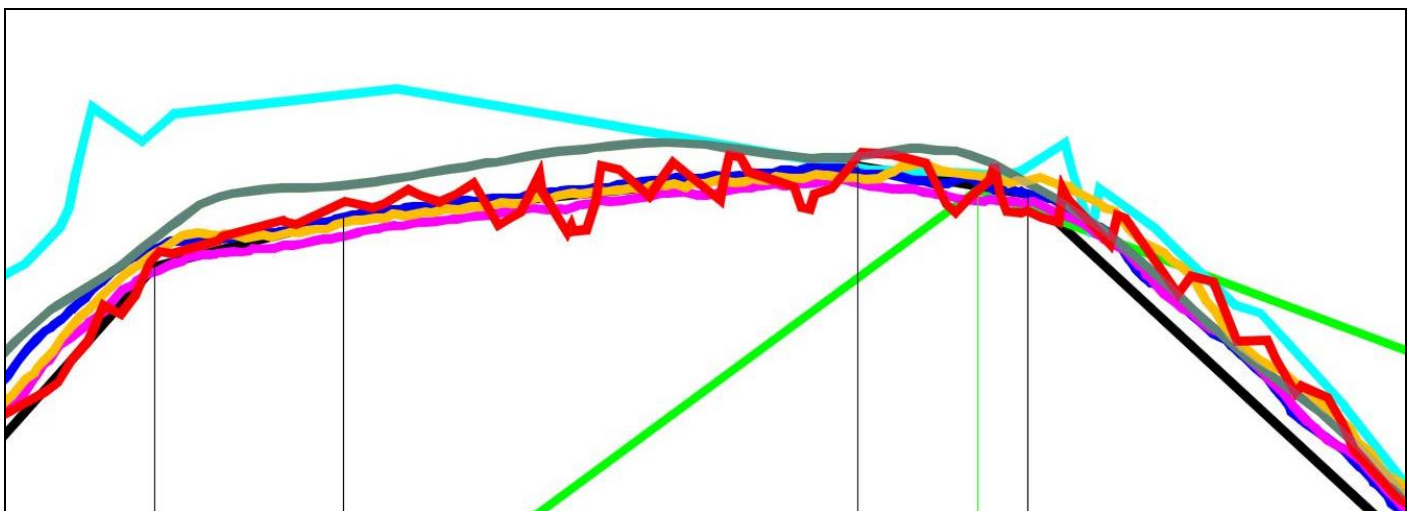
Diskussion der Ergebnisse im Detail:

1. UAV-Befliegungen - Dammflanke mit geschottertem Bermenweg:



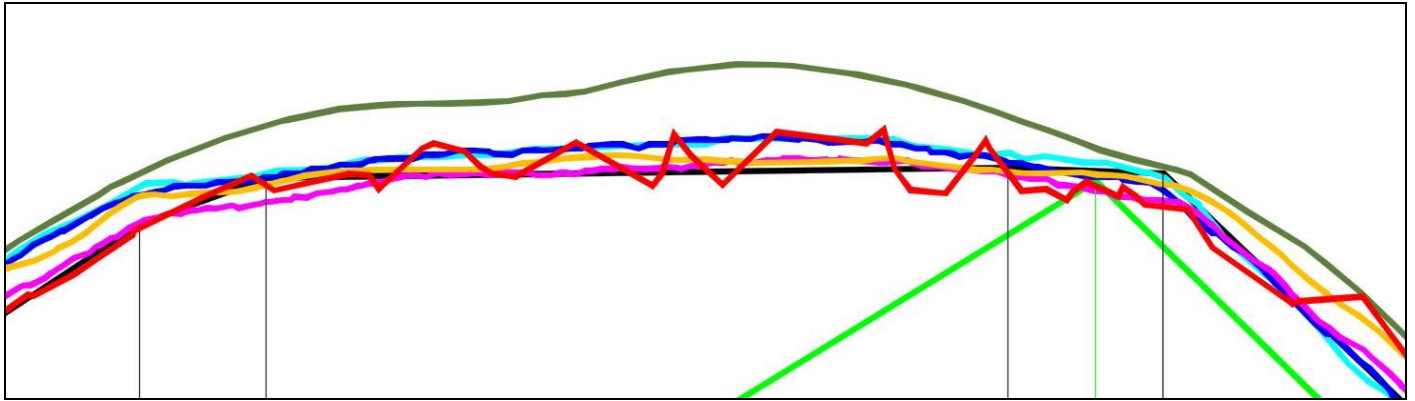
Die Geländedarstellung aus der Fotobefliegung 4D-IT (gelb) liegt immer zwischen den Geländedarstellungen aus den Fotobefliegungen von MAVinci mit SIRIUS (blau) und SIRIUS PRO (magenta). Es ist hier zu beachten, dass die Strichstärke in der Darstellung etwa 1 cm entspricht.

2. airborn Laserscanning - Dammkrone mit geschottertem Kronenweg:



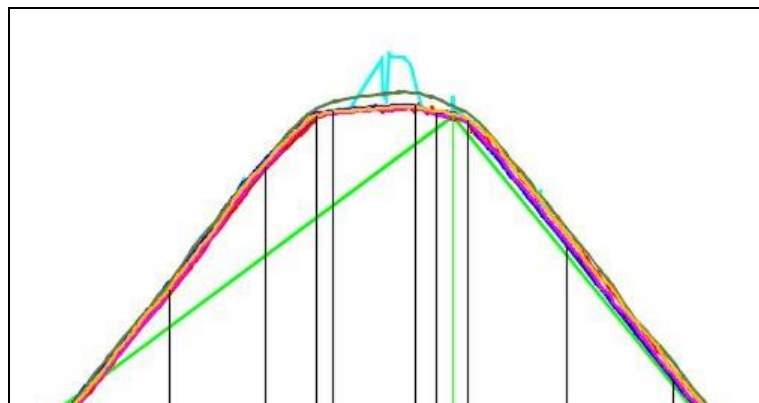
Auffällig ist der unruhige Verlauf aus der Laserscanbefliegung durch AHM (rot). Dabei liegen Punkte aus dem Laserscan auch unterhalb der Geländeoberfläche. Ob diese Effekte durch Fehlreflexionen im Schotterbereich des Kronenweges bedingt sein können, ist noch zu diskutieren.

3. Luftbildauswertung LGL - Dammkrone:



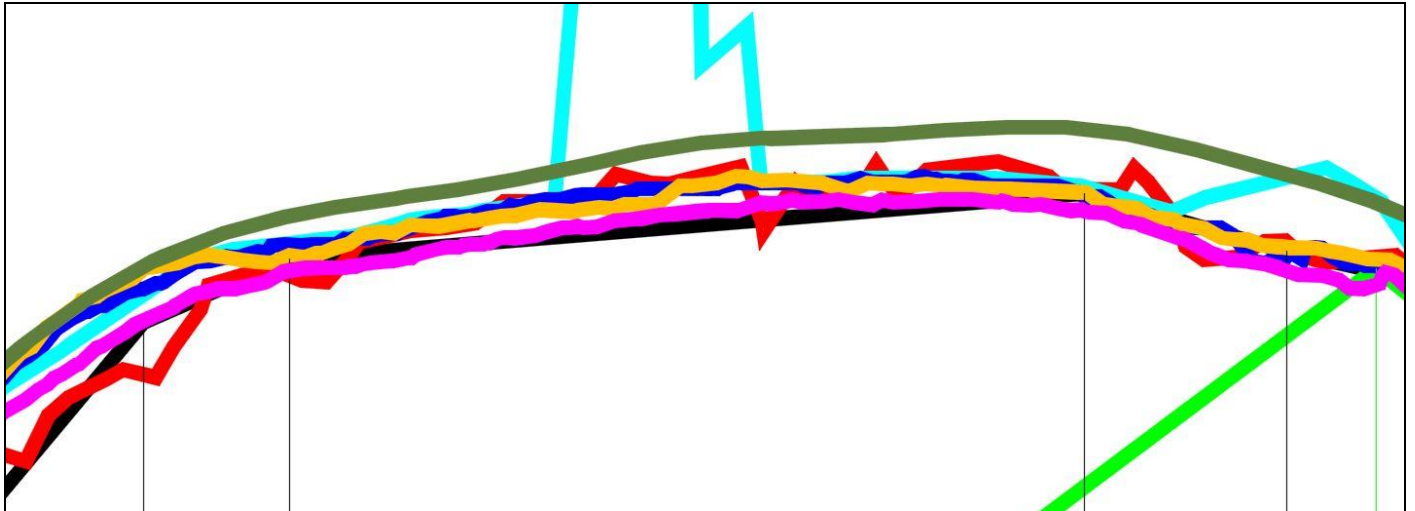
Die Geländedarstellung aus der Luftbildauswertung des LGL (dunkelgrün) liegt immer zu hoch. Dies kann durch den Auswertelogarithmus des LGL bedingt sein, der Kanten stark unterdrückt und Fehlbereiche ausrundet.

4. terrestrischer Laserscan - Dammkrone:



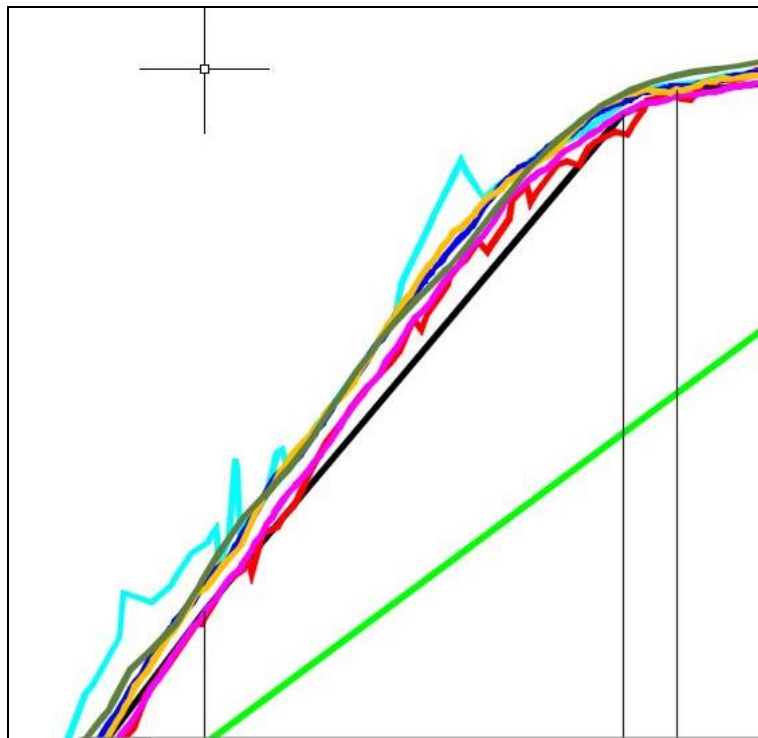
Wie erwartet zeigt der terrestrische Laserscan des LGL (türkis) häufig Fehler im Bereich der Dammkrone (Peaks). Dies ist bedingt durch die Sicht von den Standpunkten im Talraum. Im Frontalblick auf die Dammfleanke sind die Ergebnisse des terrestrischen Laserscans im selben Genauigkeitsbereich wie die der anderen Vermessungen; die Fehler auf der Krone werden durch den schleifenden Schnitt der Messung zur Krone erzeugt. Daraus folgt, dass eine Anlage in dieser Dimension mit terrestrischem Laserscan nur durch unverhältnismäßig viele Standpunkte auf Höhe des Dammfußes und auf der Krone aufzunehmen ist.

5. MAVinci SIRIUS PRO - Dammkrone:



Die Auswertung der Fotobefliegung MAVinci SIRIUS PRO (magenta) bildet von den 3 Fotobefliegungen jeweils das Gelände am niedrigsten ab. Im rechten Bereich des Beispiels sogar unterhalb der terrestrischen Querprofilaufnahme.

6. terrestrische Profilaufnahme - Übergang Dammsflanke zur -krone:



Die terrestrisch aufgenommenen Querprofile weichen durch Modellierung scharfer Geländeknicke wegen der wenigen aufgenommenen Punkte von den weiteren Aufnahmen mit je nach Punktdichte mehr oder minder sanft dargestellte Übergänge ab. Die anderen Messmethoden belegen, dass scharfe Geländeknicke so in der Natur nicht existieren.

In Grundrissdarstellungen werden bei terrestrischen Aufnahmen direkt Bruchkantendarstellungen erzeugt, die bei hochaufgelösten Aufnahmen erst aufwendig erstellt werden müssen.

7. Zusammenstellung Vergleich und Besonderheiten bei der Datenverarbeitung

Gegenüberstellung Datenerhebung Wolterdingen

Aufwand: Punktwolke komplett, DGM und Profile nur 5 Profilbereiche

Erfassungsart	Auffälligkeiten	Schritt	Dauer [m]	Abstürze	Zeitverlust [m]
LGL Luftbild jedes 3. PX	Tendenziell deutlich zu hoch (ca. 30 cm) Kanten sichtbar abgerundet	Punktwolke vorbereiten	15		
		Punktwolke einlesen	10		
		DGM-Erstellung	100		
		Profile erstellen	90		
LGL TLS	Fehler in Dammkrone	Punktwolke vorbereiten	25		
		Punktwolke einlesen	10	2	30
		DGM-Erstellung	100		
		Profile erstellen	120		
AHM Grüner Laser	Unregelmäßiges DGM auch Fehlwerte nach unten	Punktwolke vorbereiten	15		
		Punktwolke einlesen	10		
		DGM-Erstellung	120	1	20
		Profile erstellen	100		
Mavinci SIRIUS	ähnlich Sirius Pro jedoch höher	Punktwolke vorbereiten	40		
		Punktwolke einlesen	10		
		DGM-Erstellung	180	5	120
		Profile erstellen	120		
Mavinci SIRIUS PRO	Oft geringste Höhen, niedrigstes Profil	Punktwolke vorbereiten	35		
		Punktwolke einlesen	10		
		DGM-Erstellung	180	5	120
		Profile erstellen	110		
4D-IT	allg. Höhenlage ohne Auffälligkeiten	Punktwolke vorbereiten	15		
		Punktwolke einlesen	10	1	30
	mittlere Profillage	DGM-Erstellung	130		
		Profile erstellen	120		
	Negativer Fehlwert bei starkem Bewuchs				

In der Gegenüberstellung sind zusätzlich zu den Auffälligkeiten der verschiedenen Messmethoden auch der Zeitaufwand für das Einlesen der Daten, das Zuschneiden der Punktwolken auf die 5 betrachteten Profilbereiche, das Erstellen eines DGM (unregelmäßiges Dreiecksnetz) und daraus die Erstellung der Profile aufgeführt.

Da bei der LUBW selbst im Informationstechnischen Zentrum ITZ keine geeignete Hard- / Software vorhanden ist, um diese großen Datenmengen zu verarbeiten, wurde diese Aufgabe an ein Vermessungsbüro, das selbst mit einer Fotodrohne fliegt, vergeben. Trotz spezialisierter Software und HighEnd-Hardware kam es bei den hochauflösenden Daten immer wieder zu Systemabstürzen.

VII Fazit

Am Dammbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Wolterdingen hat jede eingesetzte Messmethode die Anforderungen erfüllt. Im Detail hat es sich gezeigt, dass einige Methoden schlechter geeignet sind eine durch Bruchkanten definierte Struktur im Gelände wiederzugeben.

Das Ergebnis eines terrestrischen Laserscans hängt stark davon ab, wie der Laserscanner zum Objekt aufgestellt werden kann. Ist es nicht möglich, den Laserscanner höher zu platzieren als das Objekt selbst, muss wie im Beispiel die Dammkrone separat aufgenommen werden. Als Folge müssen die verschiedenen dabei erzeugten Punktwolken zusammengesetzt werden.

Die klassische Fernerkundung zeigt, dass durch (zu) große Punktabstände und eher ausgleichende Algorithmen Bruchkanten nicht erkannt und dementsprechend auch im Modell nicht wiedergegeben werden.

Erstaunlicherweise bringen alle drei bisher vor Ort eingesetzten Vermessungsmethoden mit UAV hervorragende Ergebnisse. Durch die extrem hohe Punktdichte wird das Gelände selbst im kleinen Detail wiedergegeben.



Abbildung 6 & 7: in der Schummerungsdarstellung der Punktwolke sind selbst die den Straßenbereich begrenzenden Steine eindeutig erkennbar.

Es bleibt zu untersuchen inwieweit die geringen Differenzen der UAV-Ergebnisse durch das Messsystem oder durch die Auswertung beeinflusst werden.

Die Vermessung von langgestreckten Objekten wie Flussdeichen ist ohne Passpunkte noch nicht denkbar. Auch kleinste Abweichungen in den Modellen können dazu führen, dass beim Aneinanderfügen von Modellen Kippungen oder Verschwenkungen zu einem Höhen- oder Lageversatz führen, die nur über gemeinsame Passpunkte ausgeglichen werden können. Diese Fehler müssen nicht durch das Messsystem oder die Genauigkeit GPS-Erfassung verursacht sein, es genügt zum Beispiel schon, dass das GPS-Signal für einen kleinen Zeitraum nicht zur Verfügung steht.

Solche Fehler können im Feld nicht erkannt werden. Werden diese dann bei der Auswertung erkannt, so ist eine Wiederholung der Messung vor Ort unverhältnismäßig aufwändiger als die Vermarkung und Einmessung weniger Passpunkte.

Zudem ist es für Wiederholungsmessungen unabdingbar auf vermarkte Passpunkte zugreifen zu können.

VIII Ausblick

Die Situation am Hochwasserrückhaltebecken Wolterdingen eignet sich hervorragend dazu weitere Vermessungsmethoden zu testen, um künftige Entwicklungen in den Vergleich mitaufnehmen zu können.

Neben dem zu erwartenden Einsatz der Scandrohne von 4D-IT ist angedacht, die Anlage auch mit der Laserscandrohne RICOPTER der Firma Riegl (<http://www.riegl.com/products/uas/uav-scanning/riegl-ricopter/>) befliegen und einmessen zu lassen.

Auch weitere Messsysteme wie z. B. kinematischer Laserscanner, eine Messmethode, die aus dem Bereich der Straßenraumkatastererfassung kommt, scheinen für die Einmessung von Flussdeichen geeignet.

Die vorliegenden Daten wurden nur oberflächlich ausgewertet; sie müssen noch im Detail gegenübergestellt werden, um die Ursache der Differenzen in der Geländemodellierung herausarbeiten zu können.

Aus den Erkenntnissen der Gegenüberstellung können aber Empfehlungen für verschiedene Anwendungsfälle abgeleitet werden.

In den bestehenden Anwendungen können nur Bruchkanten keine Geländemodelle verwendet werden. Deshalb ist es notwendig, eine Markterhebung der Anbieter der Vermessungssysteme und der Anbieter der entsprechenden Auswertungen zu erstellen. Idealerweise wird dies von einem Anbieter übernommen um einen konsequenten Datenfluss sicherzustellen. Ob dies von allzu vielen Anbietern erfüllt werden kann, muss sich jedoch noch zeigen. Zudem muss eine entsprechende Erhebung dauerhaft aktuell gehalten werden, da dieser „Markt“ ständig in Bewegung ist.

Die Verarbeitung großer Punktmengen, gleich ob aus Fotoauswertungen oder aus Laserscanaufnahmen, mit gängiger GIS-Software scheint in absehbarer Zeit nicht realisiert werden zu können. Zu groß sind die Beschränkungen in der maximal verarbeitbaren Punktmenge und zu lange sind die Bearbeitungs- / Rechenzeiten.

Softwarelösungen, mit denen aus Punktwolken automatisiert Bruchkanten erstellt werden können, sind bereits seit einigen Jahren in der Entwicklung, eine marktreife Lösung zeichnet sich jedoch nicht ab. Die automatisierte Bruchkantendetektion wäre für die bestehenden Anwendungen die Ideallösung im Umgang mit Punktwolken. Deshalb sollte eine entsprechende Softwareentwicklung gefördert werden, als Werkzeug im bestehenden GIS integriert oder als eigenständige Anwendung mit normierten Schnittstellen zur Weitergabe der Ergebnisse in das GIS.

Zurzeit ist der limitierende Faktor bei der Anwendung hochauflösender Vermessungen nicht die möglichen Anforderungen oder die Leistungsfähigkeit der zur Verfügung stehenden Messsysteme. Es sind die vorhandene EDV-Ausstattung und die bestehenden Anwendungen, die nicht für hochaufgelöste digitale Geländemodelle geeignet sind.

Infolgedessen müssen Vermessungsergebnisse leider passend zur vorhandenen „Peripherie“ ausgeschrieben werden. Die Möglichkeiten der aktuellen Aufnahmemethoden werden damit vergeben oder es muss sowohl für zukünftige Auswertungen der hochaufgelöste Datensatz als auch für die aktuelle Aufgabenstellung eine passende Auswertung beauftragt werden.

Frank Rastetter

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Referat Gewässerschutz