

# Photogrammetrische Vermessung im Katastrophengebiet Ahr<sup>1</sup>

## Photogrammetric Survey in the Disaster Area Ahr

Martin Petry, Thomas Becker

Durch den Klimawandel bedingte Naturkatastrophen haben in den letzten Jahren weltweit zugenommen. Im Sommer 2021 wurde das Ahrtal in den Bundesländern Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz durch eine verheerende Flutkatastrophe zerstört. Zur Dokumentation und zum Wiederaufbau der immensen Schäden an Natur und Infrastruktur wurden neben den Aufräumarbeiten photogrammetrische Vermessungen und anschließende Datenauswertungen durchgeführt. In diesem Beitrag werden die Bedingungen, unter denen die Vermessungen im Katastrophengebiet durchgeführt wurden, dargestellt und das verwendete Instrumentarium vorgestellt. Anhand von Brückenvermessungen wird beispielhaft erläutert, weshalb sich die Photogrammetrie sukzessive als das effizienteste Messverfahren im Katastrophengebiet gegenüber bodengestützten Messungen etablierte. Die Kriterien, nach denen die Daten ausgewertet wurden, werden vorgestellt, wobei die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse der photogrammetrischen Vermessungen ausführlich diskutiert werden. Obwohl die Datenauswertung der Vermessungsdaten durch die stark deformierte Topographie eine große Herausforderung darstellte, konnten die gewünschten Ergebnisse gemäß den Anforderungen der verschiedenen Ingenieurdisziplinen, die mit Arbeiten im Ahrtal beauftragt waren, geliefert werden. Abschließend werden die Erkenntnisse aus den photogrammetrischen Arbeiten im zerstörten Ahrtal zusammengefasst.

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, Naturkatastrophe, Ahr, Brückenvermessung, Scanner, Photogrammetrie, Orthofoto, Längsprofil, Querprofil, terrestrische Photogrammetrie, DOM, DGM, Punktwolke, Berechnung von Kubaturen, Hydraulische Nachweise

*Natural disasters caused by climate change have increased worldwide in recent years. In the summer of 2021, the Ahr Valley in the German states of North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate was destroyed by a devastating flood. In order to document and reconstruct the immense damage to nature and infrastructure, photogrammetric surveys and subsequent data analysis were carried out in addition to the clean-up work. This article describes the conditions under which the surveys were carried out in the disaster area and presents the instruments used. Using bridge surveys as examples, it is explained why photogrammetry successively established itself as the most efficient measurement method in the disaster area compared to ground-based measurements. The criteria by which the data were evaluated are presented, and the accuracy and reliability of the photogrammetric survey results are discussed in detail. Although the data evaluation of the survey data was very challenging due to the highly deformed topography, the desired results could be delivered according to the requirements of the different engineering disciplines that were assigned to work in the Ahr valley. Finally, the findings from the photogrammetric work in the destroyed Ahr valley are summarized.*

**Keywords:** Climate change, natural catastrophe, Ahr river, bridge survey, scanner, photogrammetry, orthophoto, cross sections, longitudinal profile, transverse profile, terrestrial photogrammetry, DSM, DTM, point cloud, calculation of cubatures, hydraulic proofs.

<sup>1</sup> Überarbeiteter und erweiterter Beitrag der Oldenburger 3D-Tage 2022.

## 1 EINLEITUNG

Am Mittwoch, dem 14. Juli 2021, warnte der Deutsche Wetterdienst (DWD) wiederholt vor extremem Unwetter mit Dauer- und Starkregen in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Das Landesumweltamt rief über die Katwarn-App (<https://www.katwarn.de/anmeldung-app.php>) die höchste Warnstufe aus. Am Mittwoch und in der Nacht auf Donnerstag erreichten die Pegel an der Ahr mit Scheitelhöhen von über 10 m beispielsweise für den Pegel in Altenahr bisher nie dagewesene Rekordstände /Schäfer et al. 2021/. Hier liegt der Pegel normalerweise bei unter 1 m.

Durch dieses extreme Hochwasser wurde eine Flutwelle ausgelöst, die die Infrastruktur im Ahrtal großräumig zerstörte und dabei viele Menschenleben kostete /Hagen et al. 2021/, /Spiegel 2021/. Besonders betroffen waren folgende Bereiche:

- Brücken/Verkehr: alle Brücken entlang der Ahr bis auf wenige Ausnahmen waren zerstört;
- Stromnetz: völlig ausgefallen;
- Gasnetz: völlig zerstört;
- Wasser: völliger Zusammenbruch des Wassernetzes;
- Abwasser: Ausfall von zwei Kläranlagen, Ausfall einer Gruppenkläranlage;
- Müll: Anfall statt 7 000 t/Jahr 200 000t/Jahr, 10 000 Fahrzeuge, Öl und Gasheizungen.

Neben der zerstörten Infrastruktur wurden durch die Heftigkeit des Hochwassers und der dadurch ausgelösten Flutwelle die Topographie des Flussbetts und seiner Umgebung teilweise stark verändert. Am Donnerstag, dem 15.07.2021, wurde durch das Technische Hilfswerk (THW) die Großschadenslage für Teile von Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen ausgerufen. Erstes Ziel war es, einen Überblick über die Schadenslage zu gewinnen und schnellstmöglich mit dem behelfsmäßigen Wiederaufbau der Infrastruktur zu begin-

nen, um die betroffenen Menschen mit dem Nötigsten versorgen zu können.

Sowohl zur Schadensaufnahme als auch zur Planung wurden dringend aktuelle Vermessungsdaten benötigt. Aufgrund der Schadenslage war ersichtlich, dass die klassische Vermessung mit Totalstationen wegen folgender Aspekte nicht die optimale Lösung hierfür darstellte:

- Die Gebiete waren nicht zugänglich.
- Infrastruktur war weggeschwemmt oder verschüttet.
- Der Einsatz von Baumaschinen hatte Priorität und durfte nicht behindert werden.
- Wegen Lebensgefahr musste Abstand zu zerstörten Bauwerken gehalten werden.

Die Situation vor Ort wird beispielhaft durch *Abb. 1* verdeutlicht.

Dennoch wurde eine schnelle vermessungstechnische Grundlagenermittlung mit gleichzeitig adäquater Genauigkeit, ohne die aktuellen Hilfs- und Aufräumarbeiten zu behindern, gefordert. Hierfür bietet sich die Unmanned-Aerial-Vehicle-(UAV)-gestützte Photogrammetrie an, da diese Methode es ermöglicht, auch durch Menschen nicht erreichbare Messgebiete zu erfassen. Wegen der zerstörten Infrastruktur waren nicht alle für eine optimale Passpunktverteilung notwendigen Orte erreichbar. Dieser Nachteil wurde durch eine höhere Passpunktdichte in erreichbaren Gebieten kompensiert. Welche Vorteile die UAV-gestützte Photogrammetrie für die Schadensdokumentation von Erdbebengebieten bieten können, beschreiben /Dominici et al. 2017/ am Beispiel von der Stadt L'Aquila, die Hauptstadt der Region Abruzzen und der Provinz L'Aquila in Italien. Solche UAV eignen sich generell für das Monitoring und Management von Naturkatastrophen /Giordan et al. 2018/. Hilfreich waren für solche Naturkatastrophen Echtzeit-Lagekarten zur aktuellen Unterstützung der Katastrophenhilfe /Kraft et al. 2018/.



Abb. 1 | Zufahrtssituation zu der Ahr in Bad Neuenahr, jeweils von der Ahrpromenade aus gesehen /Bild: M. Petry/



Abb. 2 | Eingesetztes Instrumentarium /Bild: M. Petry/

Der Einsatz der Photogrammetrie wird zunächst am Beispiel von Brückenvermessungen dargestellt. Zuerst wird die Vermessung der Landgrafenbrücke in Bad Neuenahr-Ahrweiler beschrieben, weil hierbei als Erstes die Einschränkungen bei den klassischen „boden-gestützten“ Vermessungsmethoden dargestellt werden. Die aus diesen Vermessungsarbeiten gewonnenen Erkenntnisse wurden bei den Arbeiten der nächsten vier Brücken umgesetzt und optimiert; exemplarisch steht hierfür die Vermessung der Brücke am Dahlienweg in Bad Neuenahr-Ahrweiler. Als Beispiel aller für die Anwendung gewonnenen Erkenntnisse wird die Vermessung des Engelslay-Tunnels bei Altenahr besprochen, bei dem nicht nur die Infrastruktur zerstört worden ist, sondern auch die Topographie massiv verändert wurde.

## 2 EINGESETZTES INSTRUMENTARIUM UND SOFTWARE

In diesem Kapitel wird das verwendete Instrumentarium vorgestellt (Abb. 2). Für die Vermessung der Brücken war ursprünglich ein Scanner-Tachymeter Trimble SX 10 vorgesehen. Hiermit sollte die Brücke und die nähere Umgebung georeferenziert gescannt werden. Da die oben genannten Schwierigkeiten bekannt waren, wurde entschieden, folgendes umfangreiches Instrumentarium mitzuführen, um auf alle Eventualitäten vorbereitet zu sein:

- GNSS-Empfänger Trimble SX10, TSC 7 und R12i;
- GNSS-Empfänger Stonex S900A NEW;
- FARO Focus S70;

- UAV (Drohne) DJI Phantom 4 Pro;

Zur Auswertung der Messdaten wurde die folgende Software verwendet:

- Pix4Dmapper (Firma Pix4D): Luftbilddauswertung zur Generierung der Produkte;
- RealityCapture (Firma CaptureReality): hybride Auswertungen von Luftbildern und Scans;
- FARO Scene (Firma FARO): Auswertung der Scans;
- TrimbleBusinessCenter TBC (Firma Trimble): Zusammenführen von geodätischen Daten aus verschiedensten Quellen;
- GEOgraf (Firma HHK): Erstellung von Längs- und Querprofilen sowie Lageplänen in jeglicher Form;
- QGIS, ein freies Open-Source-Geoinformationssystem zur Darstellung aller generierten Daten in einem einheitlichen Koordinatensystem.

Neben den selbst gemessenen Daten wurden zudem Orthofotos und LiDAR-Daten vom Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation in Rheinland-Pfalz (LVermGeo RLP) herangezogen.

Da Kanaldeckel im ganzen Überschwemmungsgebiet wegen der Verdeckung durch Schlamm nicht als Passpunkte herangezogen werden konnten, wurden die in Abb. 3 dargestellten Zielmarken eingesetzt. Zusätzlich wurden Passpunkte mit weißer Sprühfarbe (Größe ca. 20–30 cm) und mit schwarzem Rand zur besseren Sichtbarkeit aufgebracht. Für die Bildpunktmessungen während der Auswertung haben sich einerseits die gesprühten Punkte, andererseits auch die Zielmarken des Rothbucher-Systems bestens geeignet, da bei diesen Markierungen der weiße Anteil weniger überstrahlt war als bei den anderen Zielmarken.

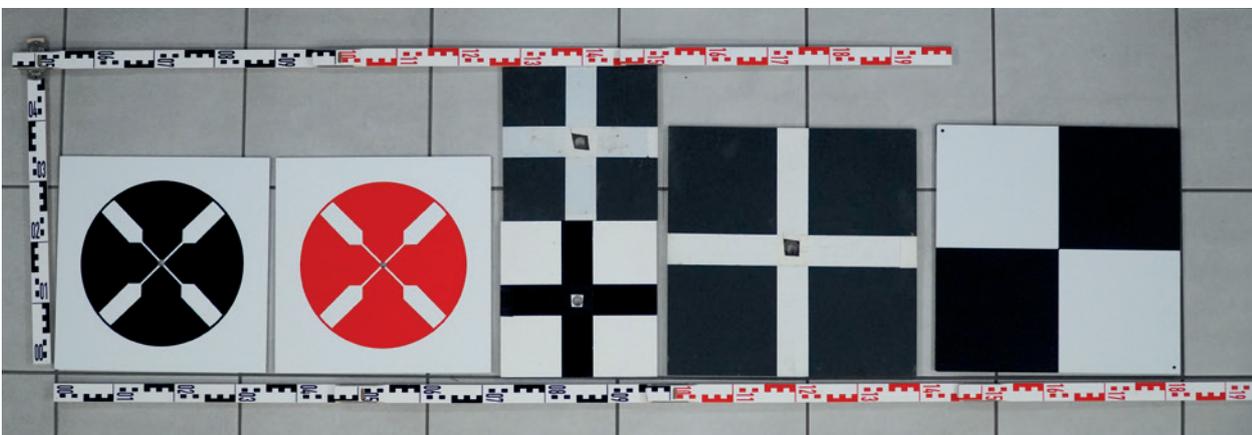


Abb. 3 | Runde Zielmarken (links, Rothbucher RSL532 mit 35 × 35 cm); kreuzförmige Zielmarken (Mitte) als Eigenbau aus Resopal-Platten (25 × 25 cm bzw. 40 × 40 cm) und Standard-Luftbildzielmarken (rechts) im Schachbrettmuster (40 × 40 cm) /Bild: M. Petry/

### 3 BRÜCKENVERMESSUNG

Von der Ahrmündung bis Müsch ahraufwärts wurden die folgenden in *Abb. 4* mit roten und blauen Pfeilen gekennzeichneten Messstellen aufgenommen:

- Kripp: Ahrmündungsbrücke, Bereich der Ahrmündungsschleife;
- Sinzig: Brücke am Grünen Weg, Brücke an der Hohenstaufenstraße;
- Bad Neuenahr-Ahrweiler: Heimersheim Bahnhofsgelände, Brücke Heppinger Straße, Landgrafenbrücke, Brücke am Dahlienweg, Casinobrücke, Bachemer Brücke, Ahrtorbrücke;
- Rech: Nepomuk-Brücke (eine der ältesten Steinbrücken in Deutschland);
- Mayschoß: Brücke zum Sportplatz, Brücke in Laach, Radbrücke Reimerzhoven;
- Altenahr: Tunnel der B 267, Altenahr Jugendherberge;
- Altenburg: Brücke zum Campingplatz;
- Ahrbrück: Brücke Linder Straße, Alte Bahnbrücke über die Ahr, Bereich zwischen der B 257 und der Ortslage Brück;
- Liers: Brücke Josef-Emmerich-Straße;
- Dümpelfeld: Brücke am Adenauer Bach;
- Insul: Brückenstraße;
- Schuld: Brücke an der Domhofstraße sowie Brücke in der Feldlage;
- Fuchshofen: Brücke in der Feldlage;
- Antweiler: Brücke am Schullandheim;
- Müsch: Brücke Ahrstraße;
- Armuthstal: zwei Brücken in der Feldlage (wegen der Bewaldung nur durch terrestrischen Scan messbar).

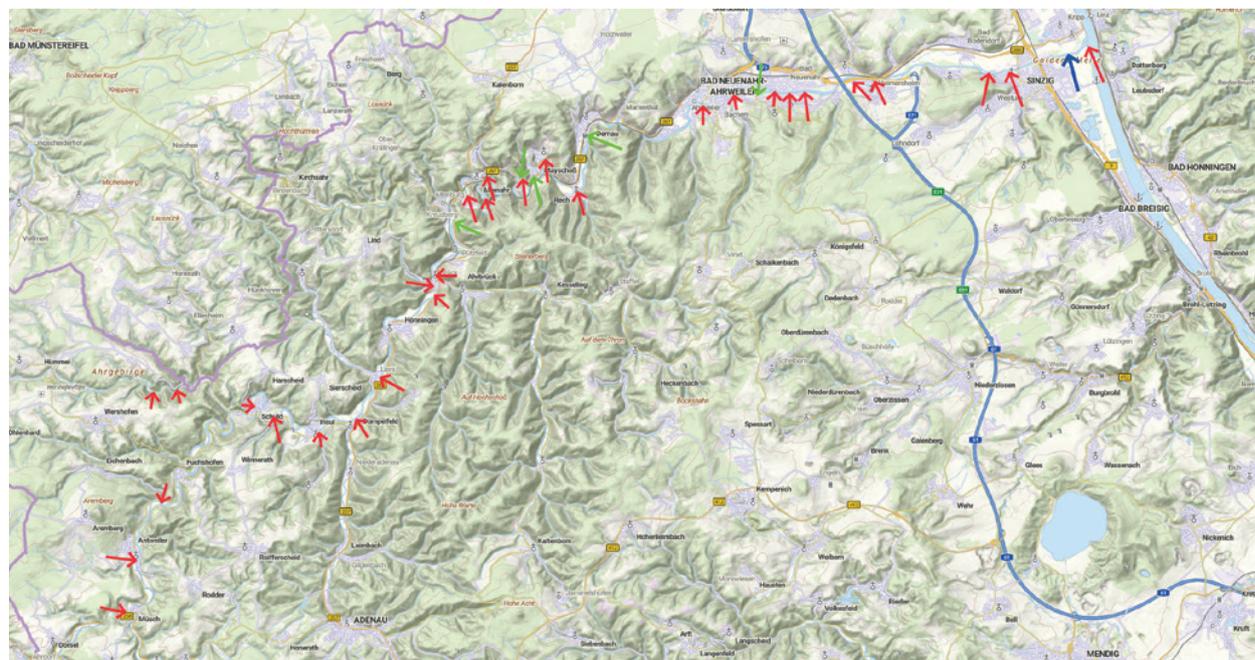
Die erfassten und kartierten Flächen variierten zwischen 5 und 36 Hektar, die Anzahl aufgenommener Bilder betrug zwischen 800

und 2 500 Bilder pro Einsatzort. Die ursprünglichen Bildpositionen der von der Drohne aufgenommenen Fotos liegen stets im System WGS84 (EPSG 4326) vor. Die Koordinaten der Passpunkte liegen im Landes-Koordinatensystem ETRS89/UTM-Zone 32 (EPSG 25832) vor, das Höhensystem im DHHN2016 (EPSG 7837). Die Koordinaten der Passpunkte wurden durch GNSS-Messungen mit dem SAPOS-Korrekturdienst gemessen und bestimmt.

#### 3.1 Landgrafenbrücke

Der erste Einsatzort war die Landgrafenbrücke in Bad Neuenahr. Hier war der Einsatz des Trimble SX10 geplant, die Georeferenzierung sollte über die GNSS-Empfänger realisiert werden. Wegen der eingesetzten Baumaschinen war das Horizontieren des SX10-Scanners nicht möglich. Es wurde mit dem FARO Focus weitergearbeitet, auch hier war es schwierig, die Horizontierung über einen Scan mit einer Dauer von ca. 12 min (Farbe eingeschaltet) zu halten, ohne die priorisierten Aufräumarbeiten zu behindern. Bei ausgeschalteter Farbe wurde eine Scandauer von unter 4 min ermöglicht, was in das vorgegebene Zeitfenster passte. Die Auswertung der Daten für den Scanner erfolgte mit FARO SCENE. *Abb. 5* zeigt die Scanauswertung (Normalen-Darstellung).

Da die Scans vor Ort nicht registriert und die Qualität der erfassten Daten nicht überprüft werden konnte, wurde entschieden, die Situation an der Landgrafenbrücke auch photogrammetrisch zu erfassen. Zu diesem Zeitpunkt war die photogrammetrische Erfassung als Back-up der Scans gedacht. Ferner sollte überprüft werden, ob eine photogrammetrische Aufnahme ohne Beeinträchtigung der Aufräumarbeiten und mit geringerem Zeitaufwand bei hoher Qualität durchgeführt werden könnte. Die photogrammetrische



**Abb. 4** | Darstellung der Messgebiete im Ahrtal – Vermessungen für Ersatzbrücken (rote Pfeile), Vermessung für hydrologisches Gutachten (blauer Pfeil) und Auswertung von Befliegungen zur Kartierung der Müllzwischenlagerplätze (grüne Pfeile) /Bild: ADV Smart Mapping (<https://adv-smart.de/raster.html>) Bearbeitung: M. Petry/

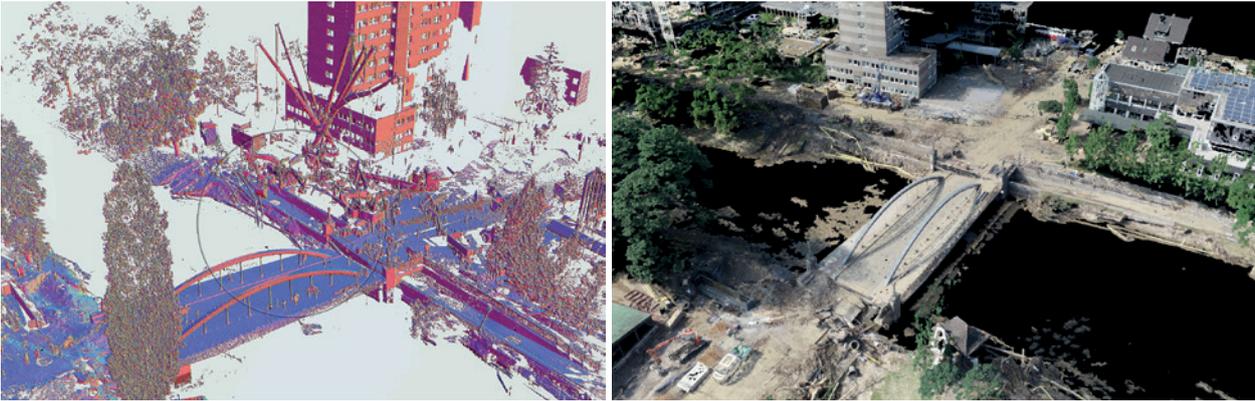


Abb. 5 | Ergebnis des FARO-Schwarz-Weiss-Scans mit farbiger Darstellung der Normalen sowie als Auszug aus der Punktwolke aus der eigenen Befliegung. Im Vordergrund die zerstörte Landgrafenbrücke /Bild: M. Petry/

Auswertung wurde mit Pix4Dmapper vorgenommen. Weiter wurden die registrierten Scans im Format E57 ausgegeben und zusammen mit den Bildern des UAV in dem Programm RealityCapture ausgewertet.

Da es sich um einen Flug in dem „Katastrophengebiet Ahr“ handelte und ein absolutes Aufstiegsverbot für UAV galt, wurde die Aufstiegs Genehmigung durch das THW kurzfristig mündlich erteilt. Eine dauerhafte Aufstiegserlaubnis wurde im Nachgang von dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Referat 17 (Flugsicherung) erteilt.

Die Befliegung wurde in drei Höhen ausgeführt: Nadir in 80 m und 65 m über Grund um 90 Grad gegeneinander verdreht sowie eine Oblique-Kreuzbefliegung in ca. 50 m Höhe über Grund mit einer Kameraneigung von 70° (Abb. 11, weiter unten).

Die georeferenzierte Punktwolke und das Orthofoto wurden dann mit der Software TrimbleBusinessCenter und HHK GEOgraf weiterverarbeitet.

Die ausgewerteten Daten wurden dem THW und den beteiligten Ingenieurbüros zur Verfügung gestellt. Das waren das geplottete digitale Orthofoto (Abb 6, Auszug) und die Punktwolke in verschiedenen



Abb. 6 | Orthofoto der Landgrafenbrücke mit hinterlegtem Kataster. Deutlich zu erkennen sind Einzelheiten, z.B. die freigelegte Gasleitung (gelb) oder die Lagerung der Bauteile für die Ersatzbrücke (roter Pfeil) /Bild: M. Petry/

Dateiformaten. In dem Lagezentrum des THW wurde erkannt, dass für das Koordinieren der örtlichen Arbeiten die aktuellen Orthofotos eine sehr wichtige Grundlage darstellten. Für die Ingenieurbüros waren die wichtigen Daten neben dem Orthofoto die Punktwolke bzw. Längs- und Querprofile, welche aus der Punktwolke abgeleitet werden können.

### Erkenntnisse aus den Messungen an der Landgrafenbrücke

Die eigene Beurteilung des ersten Einsatzes ergab, dass das Scannen mit dem Trimble SX10 wegen des starken „Baustellenverkehrs“ nur sehr eingeschränkt möglich war. Dies galt in gleicher Weise auch für den FARO Focus im Farb- oder HDR-Modus. Die photogrammetrischen Vermessungen mit der Drohne konnten hingegen viel schneller und ohne Gefährdung des Messtrupps bei gleichzeitig hoher Qualität durchgeführt werden.

Die Auswertung der photogrammetrisch erfassten Daten (mit Passpunkten per GNSS gemessen) zeigte, dass die Genauigkeit (DIN 18710-2, dort Tabellen 1 bis 3) ausreicht und letztlich durch die GNSS-Messung limitiert wurde (Tab. 1). In Tab. 1 beschreibt „Mean“ die durchschnittliche Abweichung und „Sigma“ die Standardabweichung in jeder Richtung (X, Y, Z) zu den Passpunktkoordinaten (was hier identisch mit dem „RMS“ ist). Hieraus ergibt sich für das weitere Vorgehen: die Messungen des SX10 bzw. des FARO Focus können durch die terrestrische Photogrammetrie ersetzt werden. Die durchschnittliche Auflösung eines Bodenpixels (GSD) beträgt ca. 1,5 cm.

	Error X	Error Y	Error Z
Mean	0.000010 m	-0.000000 m	0.000005 m
Sigma	0.009042 m	0.009261 m	0.004483 m
RMS Error	0.009042 m	0.009261 m	0.004483 m

Tab. 1 | Genauigkeit der Passpunkte

Da ursprünglich nur eine terrestrische Vermessung geplant war, ist zu erkennen, dass die Verteilung der Passpunkte nicht optimal gestaltet wurde. Diese lagen alle im Zentrum der Befliegung in unmittelbarer Nähe der zerstörten Brücke, Passpunkte am Rand der Befliegungszone fehlten. In diesem Fall ist es jedoch für das Ergebnis nicht von Relevanz, da die Lage der Ersatzbrücke schon festgelegt war. Eine bessere Passpunktverteilung sollte bei den künftigen Messungen beachtet werden.

### 3.2 Brücke am Dahlienweg

Diese gewonnenen Erkenntnisse wurden bei der Vermessung der Brücke am Dahlienweg berücksichtigt. Hier sollten die gewünschten Daten, also Orthofoto und Punktwolke, allein aus der Photogrammetrie abgeleitet werden. Um eine gewisse Redundanz zu erlangen, wurden dennoch die Vermessungsarbeiten auf eine hybride Erfassung der Daten ausgelegt. In diesem Fall waren die terrestrisch mit Scanner ermittelten Daten das Back-up der Luftbildmessung. Zum

Einsatz kamen der Scanner FARO Focus und die Drohne DJI Phantom 4 Pro sowie ein GNSS-Empfänger für die Georeferenzierung.

### Erkenntnisse aus den Messungen am Dahlienweg

Wie erwartet, zeigte die Auswertung (Vergleich der Profile aus der Scannermessung einerseits und der Profile aus der Befliegung andererseits) der Messung am Dahlienweg, dass es möglich ist, gänzlich auf einen Scanner bei der Messung zu verzichten. Um die beiden Uferseiten zu erfassen, ist es nötig – ähnlich wie bei der photogrammetrischen Erfassung von Gebäudefronten, bei der die Fotos „in die Mitte“ hinein aufgenommen werden – „aus der Mitte“ heraus zu fotografieren, um beide Uferseiten zu erfassen. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die einzelnen Fotos der Drohne einerseits georeferenziert sind und der Bereich zwischen dem Boden bis zu der Ebene des Nadir-Flugs mit mehreren Streifen pro Ufer abgebildet wird.

Dieses Vorgehen wurde an den beiden nächsten Brücken, Brücke „Am Ahrtor“ in Ahrweiler und bei der Vermessung der Bachemer Brücke weiter ausgebaut und verfeinert, sodass ab der fünften Brücke gänzlich auf die Scanner verzichtet wurde. Ferner wurden bis dato bei der Fusion von terrestrischem Laserscanning und bildgestützten Punktwolken die Punktwolken aus dem terrestrischen Scan als fest angesehen. Nunmehr wurde dieser Sachverhalt umgekehrt, da die Lagepasspunkte der Befliegung eine bessere Basis bildeten.

## 4 AUSWERTUNG DER DATEN

Ebenso wie die Erfassung der Daten an die Gegebenheiten vor Ort angepasst wurden, entwickelte sich auch die Auswertung der Daten im Büro weiter. Da nach den ersten vier befliegenen Brücken klar war, welche Daten die Ingenieurbüros, das THW, die Planungsabteilungen der Verwaltung etc. benötigten, konnten jetzt zielgerichtete Ergebnisse produziert werden. Dies waren in erster Linie:

- Das Orthofoto mit einkartierter Katastersituation war wichtig für die Positionierung der Lage der Ersatzbrücken: Durch den hohen Detailgrad des Orthofotos konnte die Lage der Ersatzbrücke genau bestimmt werden.
- Längs- und Querprofile, digitale Geländemodelle, Darstellungen von Oberflächen, einfache Schnitte (Cross Sections) etc. wurden von den Ingenieurbüros benötigt, welche die neuen Widerlager der Ersatzbrücken planten.
- Die KLM-Files waren wichtig, da hier eine Darstellung der Ist-Situation den Beteiligten Web-basiert (Google Earth) zur Verfügung gestellt werden konnte.

Alle Daten wurden nach Lage und Höhe im amtlichen Koordinatenreferenzsystem weitergegeben, also im Koordinatensystem ETRS89/UTM-Zone 32 (EPSG 25832) sowie in das Höhen-System im DHHN2016 (EPSG 7837).



a)



b)

Abb. 7 | Situation an dem Engelslay-Tunnel vor dem Hochwasser. Bildquelle: DOP20 (LVerGeo RLP) und Situation an dem Engelslay-Tunnel nach dem Hochwasser, eigene Befliegung vom 07. September 2021 /Bild: M. Petry/

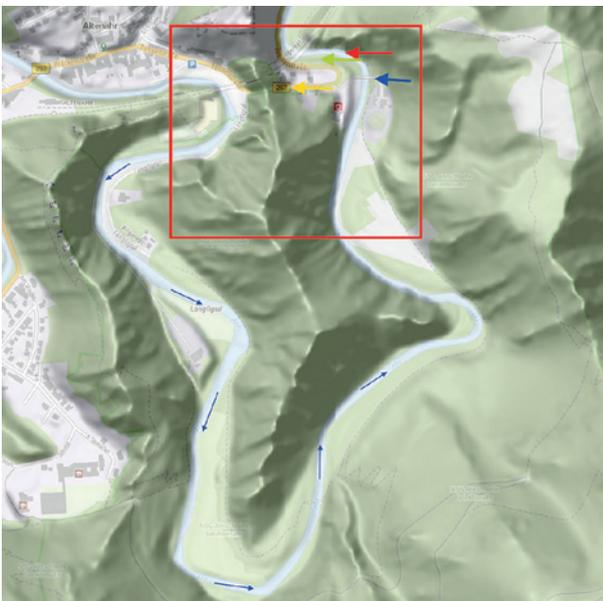


Abb. 8 | Übersicht der Topographie im Bereich Altenahr in Richtung Mayschoß. Die Ahr fließt von Altenburg Richtung Laach (dünne blaue Pfeile). Der rot umrandete Bereich zeigt die Lage der Abb. 8. Der Bereich hinter der Kläranlage stellt den Prallhang und die gegenüberliegende Seite bei der Feuerwehr und B 267 den Streichhang für die Ahr dar. /Bild: M. Petry/AdV Smart Mapping/

## 5 PHOTOGRAMMETRIE BEI STARK VERÄNDERTER TOPOGRAPHIE

Im Folgenden werden beispielhaft die Bildflüge für die Vermessung des Engelslay-Straßentunnels Altenahr (B 267) und die Auswertung der gewonnenen Daten dargestellt. Diese wird ausführlich beschrieben, da hier neben der zerstörten Infrastruktur, großen Mengen an Treibgut, laufenden Aufräumarbeiten auch eine massiv veränderte Topographie vorlag. Ferner erzeugten Um- und Unterspülungen durch das Hochwasser neue topographische Strukturen, die vom Boden aus nicht einsehbar waren.

### Altenahrer Tunnel (B 267): Situation vor Ort

Abb. 7a ist ein digitales Orthofoto mit einer Bodenauflösung von 20 cm/pix (DOP20, LVerGeo RLP) des Altenahrer Tunnels vor der Flutkatastrophe. Derselbe Bildausschnitt ist in Abb. 7b nach der Flutkatastrophe in einem durch die Befliegung gewonnen Orthofoto mit einer Bodenauflösung von 1,6 cm/pix dargestellt.

Bei dem Altenahrer Tunnel standen die zerstörten Zufahrtsbrücken zu der Kläranlage (blauer Pfeil) und die Radbrücke (roter Pfeil) im Vordergrund. Ferner sind die Schäden an der B 256 (grüner Pfeil), vor dem Tunnel (gelber Pfeil) sowie die Bahn- und die Radbrücke zu erkennen.



Abb. 9 | Situation an der Tunneleinfahrt mit Blick in Richtung Altenahr am 21. August 2021. Die „Straße“ im Vordergrund (Bild links) ist schon um mehrere Meter mit Erdschutt aufgefüllt, die Gebäude und Stützmauern sind gesichert /Bild: M. Petry/



Abb. 10 | Zur Beachtung im linken Bild: die Stützmauer ist auf ca. 70 m hinter- und unterspült, was aus der Luftaufnahme ersichtlich wird /Bild: M. Petry/

Abb. 8 gibt einen Gesamtüberblick über die Topographie an dem Tunnel: Das Hochwasser suchte sich seinen Weg nicht nur entlang der Ahrschleife, sondern drängte auch durch die drei Tunnel auf die andere Seite des Bergkamms. Hier wird der Abfluss einerseits durch die Enge des Tals sowie die beiden Brückenbauwerke, Rad- und Bahnbrücke behindert. Die Kläranlage stand komplett unter Wasser, von der Feuerwehr ist nur noch das Dach erkennbar. An dem Tunnel der B 267 treffen die Wasserströme aus dem Straßentunnel und der Ahr wieder aufeinander. Dadurch entstand ein Wasserwirbel unmittelbar vor dem Tunnel, der die Topographie maßgeblich veränderte (Abb. 9).

Im Abb. 10 wird eine Besonderheit im zerstörten Bereich dargestellt. Links im Bild ist eine Stützmauer dargestellt. Was aus dieser Perspektive schwer ersichtlich ist: Diese Mauer wurde unterspült und die Befüllung dahinter weggespült. Das Ausmaß ist erst aus der Luft erkennbar, was ein Argument für eine UAV-gestützte Vermessung darstellt. Vom Boden aus ist dieser Bereich nur schwer erreichbar.

### Bildflugplanung und Befliegung

Da die Einsatzorte bekannt waren, wurde die Flugplanung mit der Software Pix4DCapture vorbereitet, im Feld nachjustiert und schließlich durchgeführt.

Die sich anschließenden Befliegungen wurden so ausgeführt, dass neben zwei Nadirflügen noch fünf weitere Flüge durchgeführt wurden: Zwei Flüge mit geneigter Kamera mit  $70^\circ$  bzw.  $60^\circ$  (jeweils zwei Flüge für jede Neigung der Kamera) sowie ein freihändiger Flug, um die Bahn- und Radbrücke, den weggeschwemmten Einfahrtsbereich zum Tunnel sowie die Hänge des Tals zu erfassen. Die Flüge wurden so angelegt, dass bei dem Nadir und den Obliqueflügen die Flugrichtung jeweils um ca.  $90^\circ$  horizontal verdreht wurden. Zudem wurden diese drei Flüge: Nadir, Oblique  $60^\circ$  und Oblique  $70^\circ$  jeweils gesamt um  $60^\circ$  gegeneinander verdreht. Insgesamt fanden also sechs Aufstiege der Drohne plus einen Aufstieg für den freihändigen Flug statt. Der Nadir-, Oblique- und der freihändige Flug werden im Folgenden auch als Komponenten bezeichnet. Die Veröffentlichungen von Th. Kersten und H.-J. Przybilla

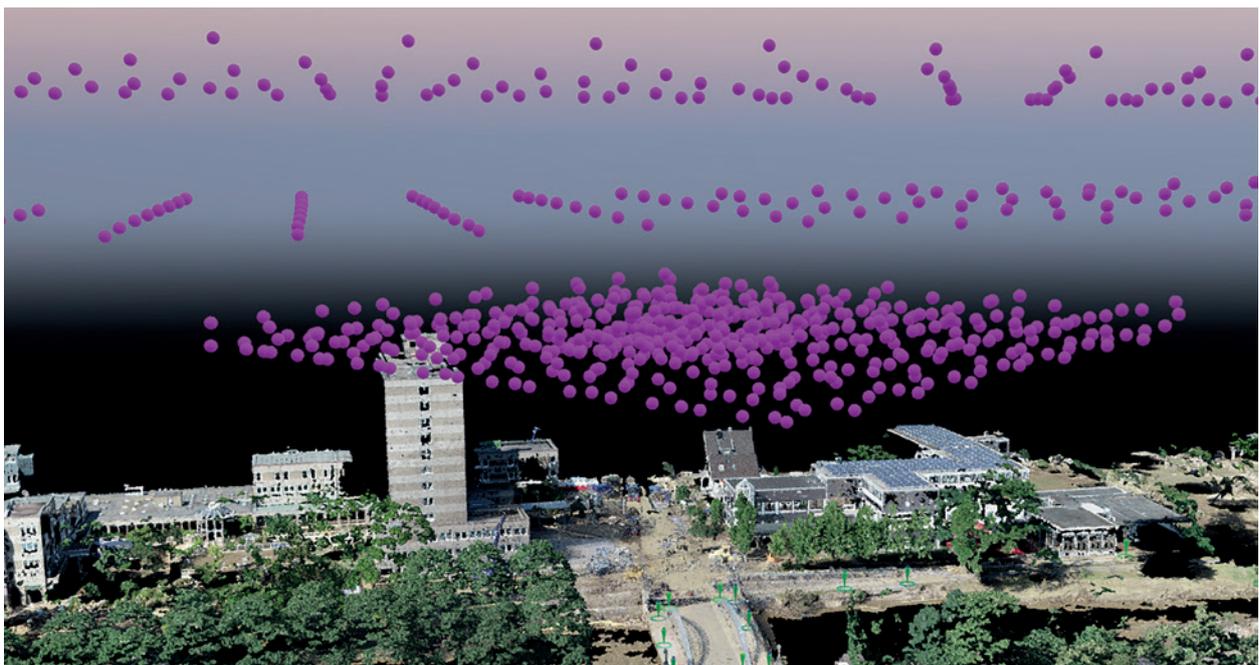


Abb. 11 | Staffelung der Flughöhen zwischen 50 m und 80 m über Grund /Bild: M. Petry/

/Kersten et al. 2016, 2020, 2022/, /Przybilla et al. 2019, 2020/ fanden bei der Flugplanung eine starke Beachtung. *Abb. 11* zeigt die prinzipielle Staffelung der Flughöhen bei der ersten Befliegung an der Landgrafenbrücke.

Die Flüge mit 70° und 60° geneigter Kamera wurden ausgeführt, um eine gute dreidimensionale Abbildung des Geländes zu erhalten; der freihändige Flug war nötig, um den Scanner zu ersetzen, also einen seitlichen Einblick in das Gelände zu erhalten. Dies war wichtig, um in Uferbereichen, die bewaldet waren, die Baumstämme abzubilden und automatisiert erkennen zu können.

Die Flugzeiten für einen Flug dauerten mit Akkuwechsel ca. 20–40 min. Die Höhe der Flüge betrug 60 m bzw. 70 m. Bei dem Nadirflug wurde darauf geachtet, dass sich die beiden Flüge um ca. 10 % in der Flughöhe unterschieden. Die Oblique-Flüge lagen zwischen diesen Höhen. Der freihändige Flug lag in einer Höhe zwischen ca. 1 m und 70 m. Die Längs- und Querüberdeckung wurde auf jeweils mindestens 80 % gesetzt, für die Aufnahme der einzelnen Bilder wurde die Drohne nicht gehoovert, sondern es wurden die Bilder im langsamen mäandrierenden Flug aufgenommen; die Kamera wurde in den Automatikmodus geschaltet.

Als Passpunkte und Kontrollpunkte wurden insgesamt 33 Bodenpunkte signalisiert und mit GNSS aufgenommen. Vor Ort wurden 2 442 Bilder aufgenommen, davon 590 als Nadir-Aufnahmen, 588 mit 60° und 567 mit 70° als Schrägaufnahme. Dazu wurden noch 697 „terrestrische“ Bilder in freihändigem Flug mit der Drohne aufgenommen. Die kartierte Fläche hat eine Größe von ca. 9,8 ha.

### Auswertung

Die Bilder wurden nach einer Vorauswertung in einem zweiten Rechenlauf ausgewertet. Von den 2 442 Bildern wurden 2 411 Bilder kalibriert. Die nicht kalibrierten Bilder entstammen größtenteils dem terrestrischen freihändigen Flug.

Bei der Vorauswertung wurden nicht alle Parameter der inneren Orientierung bestimmt, aber die äußere Orientierung war anschließend näherungsweise gegeben. Dann konnten die Passpunkte händisch angemessen werden. Hierbei wurden zunächst mindestens 20 Punkte händisch angemessen, danach wurde dann die automatische Markierung durchgeführt. Das händische Markieren

mit anschließendem automatischen Durchlauf benötigte einen Zeitaufwand für 33 Passpunkte von ca. 4–5 Stunden, die Vorauswertung ca. 2 Stunden. Die Berechnungen wurden auf einem Intel-Prozessor i9 9980 CPU@3,00Hz, 128 GB RAM und zwei NVIDIA-Grafikkarten GeForce RTX2080 Ti durchgeführt. Die Rechenzeit für die Kalibrierung betrug ca. 4¼ Stunden. Das Berechnen der verdichteten Punktwolke mit Klassifikation und texturiertem Mesh dauerte 4½ Stunden, das Berechnen des Orthofotos mit Erstellung des DSM, DTM und Grid-DSM (Gitterweite 1 m) dauerte noch einmal ca. 5 Stunden.

Der durchschnittliche Abstand der Pixel am Boden beträgt ca. 1,6 cm. Die Berechnungen wurden in den Nachtstunden durchgeführt, sodass die Daten der photogrammetrischen Auswertung am Folgetag vorlagen.

## 6 DARSTELLUNG DER AUS DEN PHOTOGRAMMETRISCHEN DATEN ERHALTENEN ERGEBNISSE

Für die Ingenieurbüros, die mit den Vermessungsdaten weiterarbeiten sollten, wurden sowohl Orthofotos als auch Kacheln, mit und ohne hinterlegte Kataster, Eintragung eines Rasters mit Höhenangaben (2-m-Raster) sowie die Längs- und Querprofile erstellt. Im Folgenden werden einige Beispiele der Auswertung gezeigt.

Die wichtigsten Daten waren das Orthofoto, die Punktwolke sowie das DOM und DGM. In *Abb. 12* links ist ein Orthofoto dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine verzerrungsfreie und maßstabgetreue Abbildung der Erdoberfläche. Ein Orthofoto-Luftbild ist flächentreu und winkeltreu wie Karten im Planmaßstab. Somit eignet sich dies als Planungsgrundlage.

Ein Digitales Oberflächenmodell (DOM, *Abb. 12* Mitte) repräsentiert die Erdoberfläche samt allen darauf befindlichen Objekten (Bebauung, Straßen, Bewuchs, Gewässer usw.). Das Digitale Geländemodell (DGM, *Abb. 12* rechts) entspricht dem DOM, ohne den sich darauf befindlichen Objekten.

Im DOM und DGM sind verschiedenen Höhenniveaus zur besseren Erkennbarkeit mit unterschiedlichen Farben dargestellt.

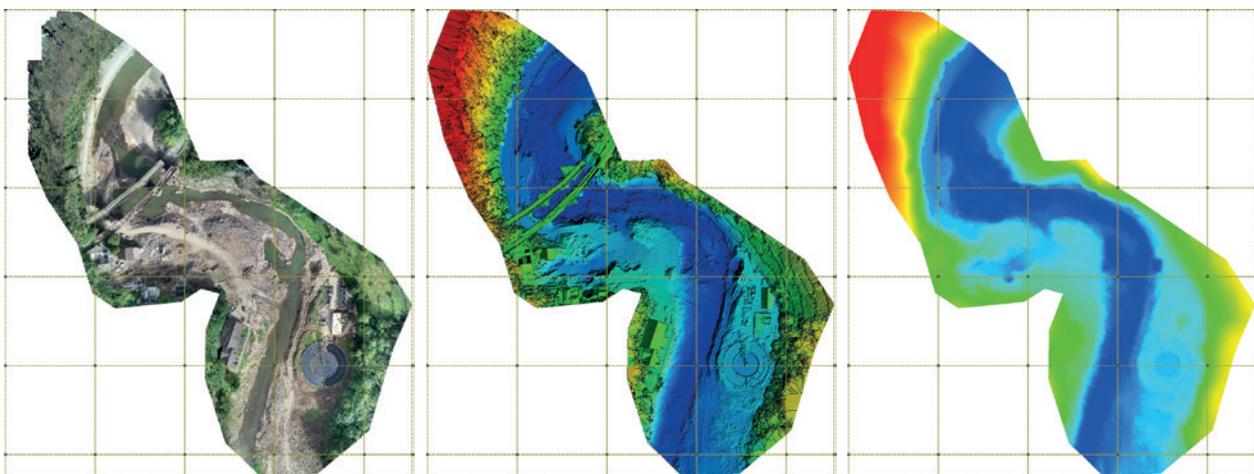


Abb. 12 | Primäre Ergebnisse aus der Auswertung in gekachelter Form /Bild: M. Petry/



Abb. 13 | Einfahrtsbereich zum Tunnel /Bild: M. Petry/

Abb. 13 und Abb. 14 zeigen die Auswertung des Bildflugs am Tunnel in Altenahr im Pix4Dmapper. Mit diesen Bildern soll der Mehrwert der mit photogrammetrischen Verfahren gewonnenen Daten dargestellt werden. Sicherlich ist es möglich, ähnliche Darstellungen mit terrestrischen Scannern zu erhalten, dies wäre jedoch nur mit einem wesentlich höheren Zeitaufwand zu erreichen und die Punktdichte wäre in diesem Fall vermutlich nicht so hoch gewesen.

In Abb. 13 ist der Einfahrtsbereich zum Tunnel dargestellt. Zu erkennen sind die Big-Packs, mit denen der Tunnel und die Stützwand links neben dem Tunnel gesichert wurden. Die Stützwand wurde durch das Hochwasser auf einer Länge von ca. 70 m unter- und hinterspült. Die Wand lag im Bereich des Tunnels

und im Bereich des Hauses vor der Wand auf Felsen auf und war zwischen diesen Bereichen frei schwebend (siehe Abb. 13 unten). Die Zufahrt zum Tunnel befindet sich schon wieder in einem „guten Zustand“, d. h. das „Loch“ (rot umrandet) vor dem Tunnel wurde mit Erdreich aufgefüllt. Die gemauerte Brüstung (roter Pfeil) der Bahnbrücke ist über dem ersten Pfeiler von links durch das Hochwasser zerstört.

Abb. 14 zeigt eine Kombination von LiDAR-Daten und eigener Punktwolke. Die LiDAR-Daten sind der Höhe nach eingefärbt. Dies dokumentiert die stark veränderte Topographie. Daten unterhalb der blau gekennzeichneten Oberfläche zeigen Abschwemmungen durch die Flut (Querschnitt).

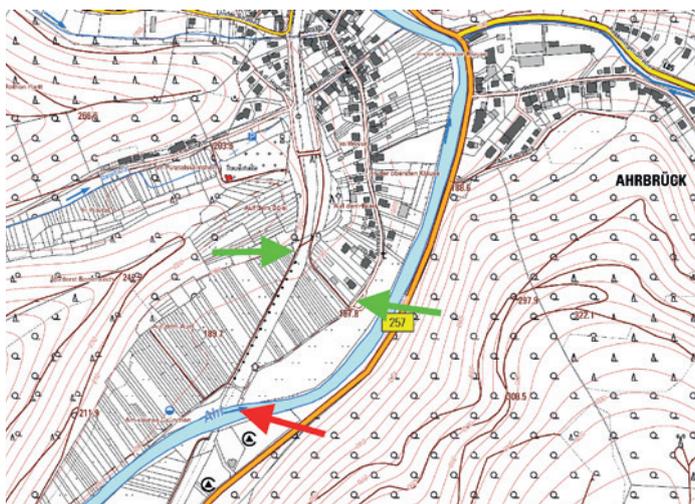


Abb. 14 | Durchdringung der eigenen Punktwolke nach der Flut mit LiDAR-Grunddaten des LVerGeo RLP (blau) aus dem Jahr 2018 /Bild: M. Petry/

Dort, wo die eigene Punktwolke oberhalb dieser Fläche liegt, wurde Erdreich aufgeschwemmt. In *Abb. 14* links ist die hinter- und unterspülte Stützmauer vor der Steilwand zu erkennen (roter Pfeil). Der ausgespülte Bereich hinter der Stützmauer sowie der unterspülte Bereich unter der Mauer sind mit photogrammetrischen Mitteln mess- und auswertbar.

## 7 Zuarbeit für andere Ingenieurdisziplinen

Nachdem die Behörden und Einsatzkräfte einen Überblick über die Auswirkung der Katastrophe gewonnen hatten, wurde klar, welches Ausmaß der Zerstörung das Hochwasser insgesamt angerichtet hatte. Die Prioritäten lagen in den ersten Tagen und Wochen bei der Wiederherstellung der Infrastruktur, insbesondere der Brücken und der Wiederertüchtigung der Ahrtalstraße B 267, des Stromnetzes, der Kommunikationsanlage, der Wasserversorgung, der Abwasserbeseitigung und der Beseitigung des Mülls.



**Abb. 15** | Lage der alten Bahnbrücke und die ungefähre Position der neuen Ersatzbrücke (rot) sowie zwei Zuwegungsalternativen für die Anschließung des Orts (grün) /Bild: LVermGeo Rheinland-Pfalz, Digitale Topografische Karte 1:5000 (open Data) <https://lvermgeo.rlp.de/de/geodaten-geoshop/opendata//>

Für die Arbeiten verschiedener Ingenieurdisziplinen stellten die photogrammetrisch gewonnenen Daten eine wichtige Planungsgrundlage dar. Neben der Vermessung der zerstörten Infrastruktur wurden verschiedene Mülllagerstellen photogrammetrisch erfasst. Hier wurden in Zusammenarbeit mit dem Vermessungsbüro Rader aus Bad Neuenahr Massenermittlungen durchgeführt. Für die Modellierung des Ahrzuflusses in den Rhein wurde eine eigene Befliegung vorgenommen, die für wasserbauliche/hydrologische Expertisen benötigt wird.

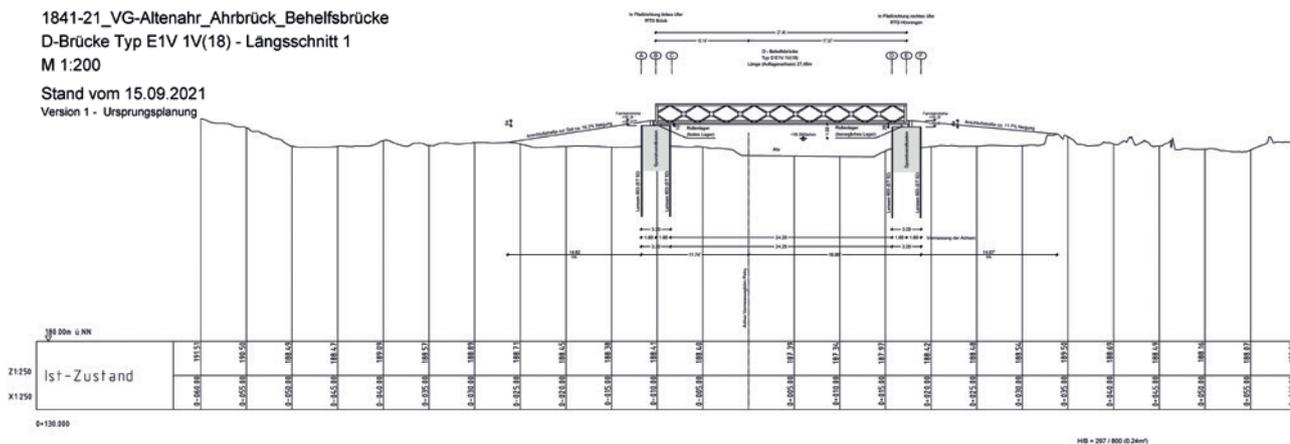
Im Folgenden wird der Einsatz der Photogrammetrie als Planungsgrundlage der Wiederherstellung der Brücken, der Infrastruktur, der Müllbeseitigung sowie dem Verlegen des Ahr-Betts an der Mündung der Ahr in den Rhein gezeigt.

### Zuarbeit für den Brückenbau

In Brück blieb die Brücke der Ahrstraße intakt, wurde jedoch stark in Mitleidenschaft gezogen und daher nur für den einspurigen Verkehr freigegeben. Die Bahnlinie der Ahrtalbahn endet in Ahrbrück. Ca.

850 m ahraufwärts befand sich die alte Bahnbrücke des von der Bahn nicht mehr betriebenen Teilstücks der Bahn Richtung Prüm. In diesem Bereich wurde einerseits eine neue Brücke für die Verkehrsanbindung des Ortsteils Brück geplant sowie mittels der photogrammetrischen Daten eine Alternative, die zu einer neuen Erschließung des Ortsteils Brück führte, gesucht und gefunden. Im Bereich der alten Bahnbrücke wurde der neue Standort der Ersatzbrücke durch das THW festgelegt und geplant (*Abb. 15*). Über diese Brücke (roter Pfeil) sollte der zukünftige verkehrstechnische Anschluss von Brück erfolgen. Bei der Erschließung des Orts wurden zwei Alternativen (grüne Pfeile) untersucht: die Erschließung über die stillgelegte Bahntrassen bzw. parallel zur Ahr.

Die Befliegung hierfür fand am 16. August statt. Als Ergebnis wurden das Orthofoto, die eingeblendete Katastersituation, ein 2-m-Raster mit Höheneintrag in das Orthofoto sowie die Längs- und Querprofile weitergeben. In der *Abb. 16* und der *Abb. 17* sind Planungen des THW dargestellt. Das Profil (*Abb. 16*) wurde aus den photogrammetrisch gewonnenen Daten erstellt.



**Abb. 16** | Querprofil aus Bild mit Projekteintragung des THW /Bild: M. Wiencke, THW OV Mülheim, Fachgruppe Brückenbau/

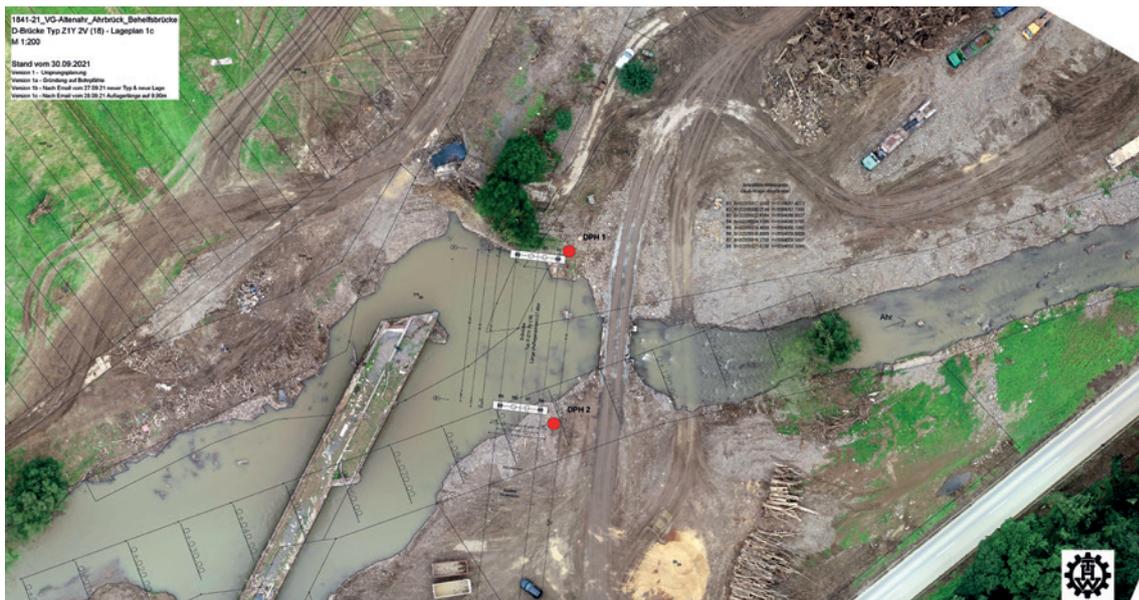


Abb. 17 | Projekteintragung in das Orthofoto /Bild: M. Wiencke, THW OV Müllheim, Fachgruppe Brückenbau/

Die Brückenplanung wurde von dem Ing.-Büro Becker im Rahmen der Amtshilfe für das THW gefertigt. Die Planungsdaten wurden in das Orthofoto (Abb. 17) eingetragen.

### Berechnung der Kubatur der Müllzwischenlagerung

Die Berechnung der Kubatur der Müllzwischenlagerung wurde in Zusammenarbeit mit dem Vermessungsbüro (VMB) Rader durchgeführt. Die Befliegung wurde von dem VMB Rader vorgenommen. Eingesetzt wurde hier eine RTK-Drohne Yuneec H520-RTK mit einer E90-Kamera. Die photogrammetrische Auswertung wurde durch das VMB Petry, das Berechnen der Kubaturen wieder vom VMB Rader ausgeführt.

Die Problematik bei der Bestimmung der Kubatur bestand darin, dass nach dem Ahrhochwasser der Bereich, in dem der durch das Hochwasser entstandene Müll gelagert wurde, Schlick- und Schotterablagerungen in nicht unerheblichen Maßen vorhanden waren. Diese Ablagerungen mussten hierbei berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Horizonte mussten deshalb Daten aus drei Epochen verschnitten werden:

- Erste Epoche: Urgelände vor dem Hochwasser, hier wurden LiDAR-Daten des LVerGeo RLP von 2018 herangezogen.
  - Zweite Epoche: Gelände unmittelbar nach dem Hochwasser, auch hier wurden LiDAR-Daten des LVerGeo RLP herangezogen, die unmittelbar nach dem Hochwasser gemessen wurden.
  - Dritte Epoche: die Daten aus der eigenen Befliegung.
- Für Bereiche, in denen keine Daten vorlagen, wurden die Höhen empirisch geschätzt. Ein Beispiel für die Ergebnisse wird in Abb. 18 dargestellt (Details siehe Abbildungsunterschrift).

### Bereitstellung von hydraulischen Nachweisen

In Abb. 19 ist die Ahrmündung in den Rhein mit dem „Ahr-Delta“ dargestellt.

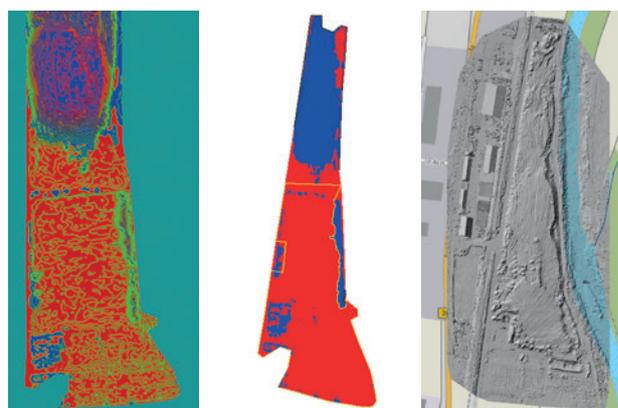


Abb. 18 | Links: Differenz zwischen der Oberfläche vor und nach der Flut mit Isolinen gleichen Auf-/Abtrags in Grün, Auftragsfläche in Blau, Abtragsfläche in Rot; verwendeter Bereich für die Ermittlung des mittleren Abtrags durch die Flut ist gelb umrandet (Mitte); schattierte Darstellung des Digitalen Oberflächenmodells (rechts) /Bilder: Links und Mitte ÖbVI Erich Rader und Karsten Risse/

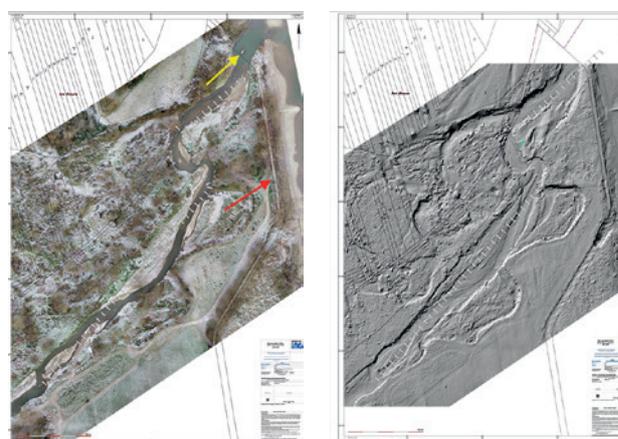


Abb. 19 | In den Bildern ist die Stelle eingezeichnet, bei der möglicherweise bei einem nächsten Hochwasser ein neuer Durchbruch der Ahr in den Rhein entstehen könnte /Bild: M. Petry/

# RIEGL MOBILE MAPPING SYSTEME

Bei dem Ahrmündungsbereich handelt es sich ursprünglich um ein Renaturierungsprojekt. Der Standort für den Wiederaufbau der zerstörten Brücke (Abb. 19, gelber Pfeil) muss neu geprüft werden, da sich die Ahr ein neues Bett gesucht hat und der neu entstandene Ahrbogen an anderer – vom jetzigen Brückenstandort entfernten – Stelle (Abb. 19, roter Pfeil) durchbrechen könnte. Daher wird befürchtet, dass sich die Ahrmündung rheinaufwärts verlegen könnte.

Derzeit finden genauere Untersuchungen statt, um ggf. einen neuen Standort der Brücke festzulegen. Grundsätzlich gehen mit dem Bau einer neuen Brücke mit einer Spannweite von ca. 40 m und ohne Mittelpfeiler hydraulische Verbesserungen einher. Die zerstörte Brücke hatte einen Mittelpfeiler. Um eine wasserrechtliche Erlaubnis für den Neubau zu erhalten, sind umfangreiche wasserbauliche Untersuchungen nötig.

Auch hier werden die aus der Photogrammetrie herangezogenen Daten verwendet. Neben dem Orthofoto, das die aktuelle Lage der Ahr darstellt, wurden ein Punkteraster, diesmal engmaschiger, im 1-m-Raster, zur Verfügung gestellt.

## 8 FAZIT UND AUSBLICK

Für Planungsarbeiten zur Wiederertüchtigung der Infrastruktur im Katastrophengebiet Ahrtal wurden umfangreiche Vermessungsarbeiten durchgeführt, bei denen sich zeigte, dass die Photogrammetrie gegenüber anderen Messmethoden große Vorteile bietet:

- Es ist möglich, in unzugänglichen Katastrophengebieten nicht nur schnelle, sondern auch genaue Vermessungen durchzuführen, die für die akute Hilfe dringend benötigt werden.
- Einsätze durch Hilfskräfte werden durch die Vermessung nicht beeinträchtigt.
- Die Situation vor Ort wird bildhaft dokumentiert.
- Die Bilder haben einen hohen Informationsgehalt.
- Die Verweildauer von Vermessungsteams vor Ort ist sehr kurz.
- Die Erfassung und Vermessung von Objekten geschieht auf Grundlage von fotografischen Bildern, wobei die Messungen nicht an dem Objekt selbst vorgenommen werden, sondern in einer nachgelagerten Bearbeitung aus den Bilddaten erstellt werden.
- Die Orthofotos können von unterschiedlichen Ingenieurdisziplinen mit für deren Bedürfnisse erforderlichen Informationen hinterlegt werden.
- Die Generierung von 3D-Punktwolken ermöglicht die Anwendung vielfältiger Auswertemethoden.
- Ansichten der 3D-Punktwolken ist aus verschiedenen Blickwinkeln und Schnitten möglich.
- In der 3D-Darstellung ist eine Auswertung durch Verschneidung mit anderen Daten möglich, was sowohl als Ergänzung der Messungen als auch zum Vergleich mit anderen Daten, z. B. vorher/nachher, verwendet werden kann.
- Mit photogrammetrischer Software ist es möglich, zeichnungs-freie Bilder zu generieren. Mit bekannter äußerer Orientierung können absolut orientierte 3D-Modelle generiert werden.
- Die Genauigkeit entspricht in vielen Fällen der topographischen Vermessung mit klassischen Methoden.

M. Petry, Th. Becker – Photogrammetrische Vermessung im Katastrophengebiet Ahr



## RIEGL WAVEFORM-LIDAR TECHNOLOGIE für Kartierungsergebnisse, die Ihre Kunden überzeugen!



### VMX-2HA

High Speed High Performance  
Dual Scanner Mobile Mapping System

- 500 Scanlinien/Sek.  
3,6 MHz eff. Messrate
- bis zu 9 Kameras  
(inkl. sphärische Kamera)
- gleichzeitige Aufnahme von sphärischen und direktionalen Bildern mit einer Gesamtauflösung von bis zu 1.370 MP/Sek.
- typ. 6.400 Punkte/m<sup>2</sup> auf der Fahrbahnoberfläche bei 80 km/h



### VMQ-1HA

High Speed Single Scanner  
Mobile Mapping System

- 250 Scanlinien/Sek.  
1,8 MHz eff. Messrate
- bis zu 4 Kameras  
(inkl. sphärische Kamera)
- schwenkbarer Messkopf für ein optimiertes Scanmuster bei Multi-Pass-Fahrten
- typ. 3.200 Punkte/m<sup>2</sup> auf der Fahrbahnoberfläche bei 80 km/h

### VMY-2

Dual Scanner  
Mobile Mapping System

- 250 Scanlinien/Sek.  
600 kHz eff. Messrate
- bis zu 4 Kameras  
(inkl. sphärische Kamera)
- typ. 1.100 Punkte/m<sup>2</sup> auf der Fahrbahnoberfläche bei 80 km/h

noch bessere  
LEISTUNGSDATEN



### VMY-1

Single Scanner  
Mobile Mapping System

- 125 Scanlinien/Sek.  
300 kHz eff. Messrate
- bis zu 4 Kameras  
(inkl. sphärische Kamera)
- typ. 550 Punkte/m<sup>2</sup> auf der Fahrbahnoberfläche bei 80 km/h

noch bessere  
LEISTUNGSDATEN



■ Die Bilder stellen einen zukunftssicheren Wissensspeicher für spätere oder noch zu entwickelnde Auswertetechniken dar.

In den konkreten Projekten lagen die folgenden ersten erstellten Ergebnisse aus photogrammetrisch gewonnenen Daten in weniger als 24 Stunden vor: Orthofotos, klassifizierte und farbige 3D-Punktwolken und ausgedünnte Punktwolken, Längs- und Querschnitte, Digitale Geländemodelle (DGM) und Oberflächenmodelle (DOM). Eine durchgehende digitalisierte Datenerfassung und Verarbeitung ermöglichten unter anderem die Verteilung der Ergebnisse über das Internet. Die anschließende CAD-Bearbeitung mit der Erstellung von Lageplänen und Profilen benötigte je nach Projekt abermals 3–8 Stunden. Die kartierten Flächen hatte eine Größe von 5 ha bis 36 ha. Insgesamt wurden über 40 000 Bilder aufgenommen und ausgewertet.

Zusammenfassend war es mit den photogrammetrisch generierten Daten möglich, zeitnah eine sehr genaue gemeinsame Planungsgrundlage für unterschiedliche Ingenieurleistungen für den Wiederaufbau des zerstörten Ahrtals bereitzustellen. Eine effizientere Datenerfassung wird für weitere Projekte im Rahmen der Katastrophenhilfe durch RTK-GNSS-basierte UAV-Bildflüge möglich sein, da man die Anzahl der Passpunkte am Boden signifikant reduzieren kann /Kersten & Lindstaedt 2022/.

## DANK

Die beschriebenen Messungen fanden im Katastrophengebiet Ahr unter erschwerten, teilweise gefährlichen Bedingungen statt. Um die Messungen dennoch sicher durchführen zu können, war die schnelle und unbürokratische Hilfe von mehreren Organisationen und Behörden notwendig. Stellvertretend für alle Helfer und ohne Anspruch auf Vollständigkeit bedanken wir uns bei den Bürgerinnen und Bürgern der betroffenen Ortsgemeinden, der Bundeswehr, der Bundespolizei und der Landespolizei Rheinland-Pfalz, hier insbesondere bei der Polizeihubschrauberstaffel Rheinland-Pfalz in Winnigen/Mosel. Ein besonderer Dank gilt dem THW Ortsverband Müllheim, Fachgruppe Brückenbau.

## LITERATUR

Dominici, D.; Alicandro, M.; Massimi, V. (2017): UAV photogrammetry in the post-earthquake scenario: case studies in L'Aquila. In: *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 8(2017)1, 87–103. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2016.1176605>.

Giordan, D.; Hayakawa, Y.; Nex, F.; Remondino, F.; Tarolli, P. (2018): The use of remotely piloted aircraft systems (RPASs) for natural hazards monitoring and management. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18(2018)4, 1079–1096. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1079-2018>.

Hagen, P.; Krieger, F.; Müller-Arnold, B. (2021): Rheinland-Pfalz und NRW: Was die Flut angerichtet hat. <https://www.sueddeutsche.de/politik/hochwasser-nrw-flutkatastrophe-1.5355460> (14.02.2022).

Kersten, T.; Lindstaedt, M. (2020): Zur Qualität dichter Punktwolken aus UAV-basierten Bildflügen. In: *Schriftenreihe des DVW, Band 97 (UAV 2020 – The Sky is the Limit?)*. Wißner, Augsburg, 141–162.

Kersten, T.; Lindstaedt, M. (2022): UAV-basierte Bildflüge mit RTK-GNSS – brauchen wir da noch Passpunkte? In: *Schriftenreihe des DVW, Band 100 (UAV 2022 – Innovation und Praxis)*. Wißner, Augsburg, 39–58.

Kersten, T.; Lindstaedt, M.; Mechelke, K.; Omelanowsky, D.; Prenting, J. (2016): Low-Cost- vs. High-End-Systeme im Vergleich – 3D-Aufnahme der Ringwallanlage Lembecksburg auf der Nordseeinsel Föhr. In: *Luhmann, T.; Schumacher, C. (Hrsg.): Photogrammetrie – Laserscanning – optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2016*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 150–161.

Kersten, T.; Schlömer, F.; Przybilla, H.-J. (2020): Aerotriangulation von UAV-Bilddaten der Zeche Zollern – Die Ergebnisse verschiedener UAV-Systeme und zweier Softwarepakete im Vergleich. In: *Schriftenreihe des DVW, Band 97 (UAV 2020 – The Sky is the Limit?)*. Wißner, Augsburg, 121–140.

Kraft, T.; Bayer, S.; Hein, D.; Stebner, K.; Lesmeister, D.; Berger, R. (2018): Echtzeit-Lagekarten für die Katastrophenhilfe. In: *Schriftenreihe des DVW, Band 89 (UAV 2018 – Vermessung mit unbemannten Flugsystemen)*. Wißner, Augsburg, 123–135.

Lindstaedt, M.; Kersten, T. (2018): Zur Bedeutung von Passpunkten bei der Aerotriangulation UAV-basierter Bildflüge. In: *Schriftenreihe des DVW, Band 89 (UAV 2018 – Vermessung mit unbemannten Flugsystemen)*. Wißner, Augsburg, 81–101.

Luhmann, T. (2018): *Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen – Methoden – Beispiele*. 4. Auflage. Wichmann, Berlin/Offenbach.

Przybilla, H.-J. (2020): UAV-Befliegung – Alles klar? Über den Einfluss der Aufnahme Konfiguration. In: *Schriftenreihe des DVW, Band 97 (UAV 2020 – The Sky is the Limit?)*. Wißner, Augsburg, 61–76.

Przybilla, H.-J.; Lindstaedt, M.; Kersten, T. (2019): Untersuchungen zur Qualität bildbasierter Punktwolken aus UAV Bildflügen. In: *Luhmann, T.; Schumacher, C. (Hrsg.): Photogrammetrie – Laserscanning – optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2019*. Wichmann, Berlin/Offenbach, 236–248.

Saito, H.; Uchiyama, S.; Hayakawa, Y. S.; Obanawa, H. (2018): Landslides triggered by an earthquake and heavy rainfalls at Aso volcano, Japan, detected by UAS and SfM-MVS photogrammetry. In: *Progress in Earth and Planetary Science* 5(2018)1, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01146-2>.

Schäfer, A.; Mühr, B.; Daniell, J.; Ehret, U.; Ehmele, F.; Küpfer, K.; Brand, J.; Wisotzky, C.; Skapski, J.; Rentz, L.; Mohr, S.; Kunz, M. (2021): Hochwasser Mitteleuropa, Juli 2021 (Deutschland): 21. Juli 2021 – Bericht Nr. 1 „Nordrhein-Westfalen & Rheinland-Pfalz“. Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), Karlsruher Institut für Technologie (KIT). <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000135730>.

Spiegel (2021): NRW und Rheinland-Pfalz – Dutzende Tote bei Hochwasserkatastrophe im Westen Deutschlands. *Spiegel Panorama*, 15. Juli 2021. <https://www.spiegel.de/panorama/unwetter-in-nrw-und-rheinland-pfalz-dutzende-tote-bei-hochwasserkatastrophe-a-42c7a3a1-cf3b-41dc-8a6b-2425ef05172f> (14.02.2022).

Dipl.-Ing. Martin P. Petry

VERMESSUNGSBÜRO PETRY

Rudolf-Diesel-Straße 29-31 | 56751 Polch  
petry@vmb-petry.de



Dipl.-Ing. Thomas Becker

BECKER INGENIEURE GMBH

Carl-Bosch-Straße 14 | 53501 Grafschaft  
epost@becker-ingenieure.com

