



Mathematisch-Naturwissenschaftliche  
Fakultät

Ankit Agarwal | Berry Boessenkool | Madlen Fischer |  
Irene Hahn | Lisei Köhn | Jonas Laudan |  
Thomas Moran | Ugur Öztürk | Adrian Riemer |  
Viktor Rözer | Tobias Sieg | Kristin Vogel |  
Dadiyorto Wendi | Axel Bronstert | Annegret Thieken

## Die Sturzflut in Braunsbach, Mai 2016

Eine Bestandsaufnahme und Ereignisbeschreibung



Die Sturzflut in Braunsbach, Mai 2016





Ankit Agarwal | Berry Boessenkool | Madlen Fischer | Irene Hahn |  
Lisei Köhn | Jonas Laudan | Thomas Moran | Ugur Öztürk |  
Adrian Riemer | Viktor Rözer | Tobias Sieg | Kristin Vogel |  
Dadiyorto Wendi | Axel Bronstert | Annegret Thieken

# **Die Sturzflut in Braunsbach, Mai 2016**

Eine Bestandsaufnahme und Ereignisbeschreibung

Universität Potsdam 2017

Online veröffentlicht auf dem

Publikationsserver der Universität Potsdam:

URN urn:nbn:de:kobv:517-opus4-394881

<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-394881>

Die Sturzflut in Braunsbach, Mai 2016  
Eine Bestandsaufnahme und Ereignisbeschreibung

Taskforce im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs  
Natural Hazards and Risks in a Changing World  
an der Universität Potsdam

Kontakt: [natrisk@uni-potsdam.de](mailto:natrisk@uni-potsdam.de)

Ankit Agarwal<sup>[1/3/4]</sup>, Berry Boessenkool<sup>[1]</sup>, Madlen Fischer<sup>[2]</sup>,  
Irene Hahn<sup>[1]</sup>, Lisei Köhn<sup>[1]</sup>, Jonas Laudan<sup>[1]</sup>, Thomas Moran<sup>[2]</sup>,  
Ugur Öztürk<sup>[1/4]</sup>, Adrian Riemer<sup>[1]</sup>, Viktor Rözer<sup>[3]</sup>, Tobias Sieg<sup>[1/3]</sup>,  
Kristin Vogel<sup>[1]</sup>, Dadiyorto Wendi<sup>[1/3/4]</sup>

Unter Federführung von Axel Bronstert<sup>[1]</sup> und Annegret Thieken<sup>[1]</sup>

<sup>[1]</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften

<sup>[2]</sup>Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie

<sup>[3]</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

<sup>[4]</sup> Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

## Zusammenfassung

Im Graduiertenkolleg NatRiskChange der Universität Potsdam und anderen Forschungseinrichtungen werden beobachtete sowie zukünftig mögliche Veränderungen von Naturgefahren untersucht. Teil des strukturierten Doktorandenprogramms sind sogenannte Task-Force-Einsätze, bei denen die Promovierende zeitlich begrenzt ein aktuelles Ereignis auswerten. Im Zuge dieser Aktivität wurde die Sturzflut vom 29.05.2016 in Braunsbach (Baden-Württemberg) untersucht. In diesem Bericht werden erste Auswertungen zur Einordnung der Niederschläge, zu den hydrologischen und geomorphologischen Prozessen im Einzugsgebiet des Orlacher Bachs sowie zu den verursachten Schäden beleuchtet.

Die Region war Zentrum extremer Regenfälle in der Größenordnung von 100 mm innerhalb von 2 Stunden. Das 6 km<sup>2</sup> kleine Einzugsgebiet hat eine sehr schnelle Reaktionszeit, zumal bei vorgesättigtem Boden. Im steilen Bachtal haben mehrere kleinere und größere Hangrutschungen über 8000 m<sup>3</sup> Geröll, Schutt und Schwemmholz in das Gewässer eingetragen und möglicherweise kurzzeitige Aufstauungen und Durchbrüche verursacht. Neben den großen Wassermengen mit einer Abflussspitze in einer Größenordnung von 100 m<sup>3</sup>/s hat gerade die Geschiebefracht zu großen Schäden an den Gebäuden entlang des Bachlaufs in Braunsbach geführt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2 Einzugsgebiet</b>	<b>4</b>
<b>3 Meteorologie</b>	<b>6</b>
<b>4 Hydrologie</b>	<b>10</b>
<b>5 Erosion</b>	<b>12</b>
<b>6 Schaden</b>	<b>15</b>
<b>7 Schlussfolgerung und Ausblick</b>	<b>19</b>

# 1 Einleitung

In den Tagen vom 27.05. - 08.06.2016 kam es in weiten Teilen Deutschlands zu schweren Gewittern mit kräftigem Starkregen, Hagelschauern und heftigen Sturmböen. Die extremen Unwetter lösten vor allem in Süddeutschland Überschwemmungen, Sturzfluten und Erdrutsche aus, so dass in mehreren Gemeinden der Katastrophenalarm ausgerufen wurde. Die 2455 Einwohner zählende Gemeinde Braunsbach im Landkreis Schwäbisch Hall wurde am Abend des 29.05.2016 (ca. 21 Uhr Ortszeit) besonders heftig von einer Sturzflut getroffen, die ganze Straßenzüge verwüstete. Sturzfluten sind plötzlich eintretende Hochwasserereignisse, die häufig durch kleinräumige, konvektive Starkregenereignisse ausgelöst werden. Sie unterscheiden sich von Flusshochwassern vorrangig durch ihre kurze Reaktionszeit, d.h. die Zeit zwischen Niederschlagsbeginn und Beginn des Hochwasserabflusses. Man spricht von einer Sturzflut bei einer Reaktionszeit von weniger als sechs Stunden. Dabei kann eine geringe Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens (Infiltrationskapazität) zu einer Verstärkung des Hochwasserereignisses beitragen. Zudem begünstigen geringe Oberflächenrauigkeiten und Gebiete mit zum Teil ausgeprägtem Relief eine rasche Abflusskonzentration.

Bei einem Starkregenereignis fällt in kurzer Zeit sehr viel Niederschlag. So handelt es sich nach einem Kriterium des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ab 17,1 mm Niederschlag pro Stunde um Starkregen. Diese Ereignisse sind meteorologisch und hydrologisch schwierig zu erfassen, weil sie sehr plötzlich und kleinräumig auftreten können. Die Reaktion kleiner Einzugsgebiete unter Starkregen ist bislang entsprechend unzureichend erforscht.

Das Graduiertenkolleg 'Natural Hazards and Risks in a Changing World' (NatRiskChange) der Universität Potsdam und den Partnerinstitutionen GFZ, PIK und FU Berlin hat nach dem Ereignis in Braunsbach eine Task Force gegründet und das Ereignis in Bezug auf geomorphologische, meteorologische und hydrologische Bedingungen sowie die verursachten Schäden untersucht. Die Task Force ist Teil des strukturierten Doktorandenprogramms, bei dem Nachwuchswissenschaftler Naturgefahren und -risiken sowie sich möglicherweise verändernde Rahmenbedingungen untersuchen. In drei aufeinander folgenden Exkursionen (03.-04., 06.-09. und 21.-23. Juni) nach Braunsbach wurden die Hydrologie des Orlacher Bachs, Sedimenteinträge durch Hangrutsche und Bachbetterrosionen sowie verursachte Gebäudeschäden untersucht (Abbildung 1). Des Weiteren wurden Niederschlagsdaten sowie Pegelstände umliegender Stationen ausgewertet. In diesem Bericht werden die Aktivitäten der Task Force beschrieben sowie erste Ergebnisse vorgestellt. Die geomorphologischen und hydrologischen Untersuchungen konzentrieren sich auf den Orlacher Bach, da dieser den stärksten Einfluss hatte. Durch den Schlossbach wurde jedoch weiteres Material eingetragen und zusätzlicher Schaden verursacht.



Abbildung 1: Links: Oberlauf des Orlacher Bachs nach dem Starkregenereignis im Mai 2016. Mitte: Beschädigtes Gebäude in Braunsbach. Rechts: Mit Flutgeröllen stabilisierter Erdrutsch am Bachlauf vor dem Ortseingang.

## 2 Einzugsgebiet

Der Orlacher Bach entspringt in einer überwiegend landwirtschaftlich genutzten Hochebene im Nordosten Baden-Württembergs (Teil der Südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft) und fließt westlich durch ein steiles Kerbtal (Orlacher Klinge), bis er nach ungefähr 3 km in den deutlich größeren Kocher mündet. Direkt an der Mündung, wo sich die Orlacher Klinge zum Kochertal öffnet, liegt der Ort Braunsbach (siehe Abbildung 2). Die Hänge mit einer sehr hohen Neigung von 20-40% sind bewaldet. In Abbildung 3 ist die hohe Steigung des Orlacher Talbodens und des Baches (7m/100m) zu sehen.

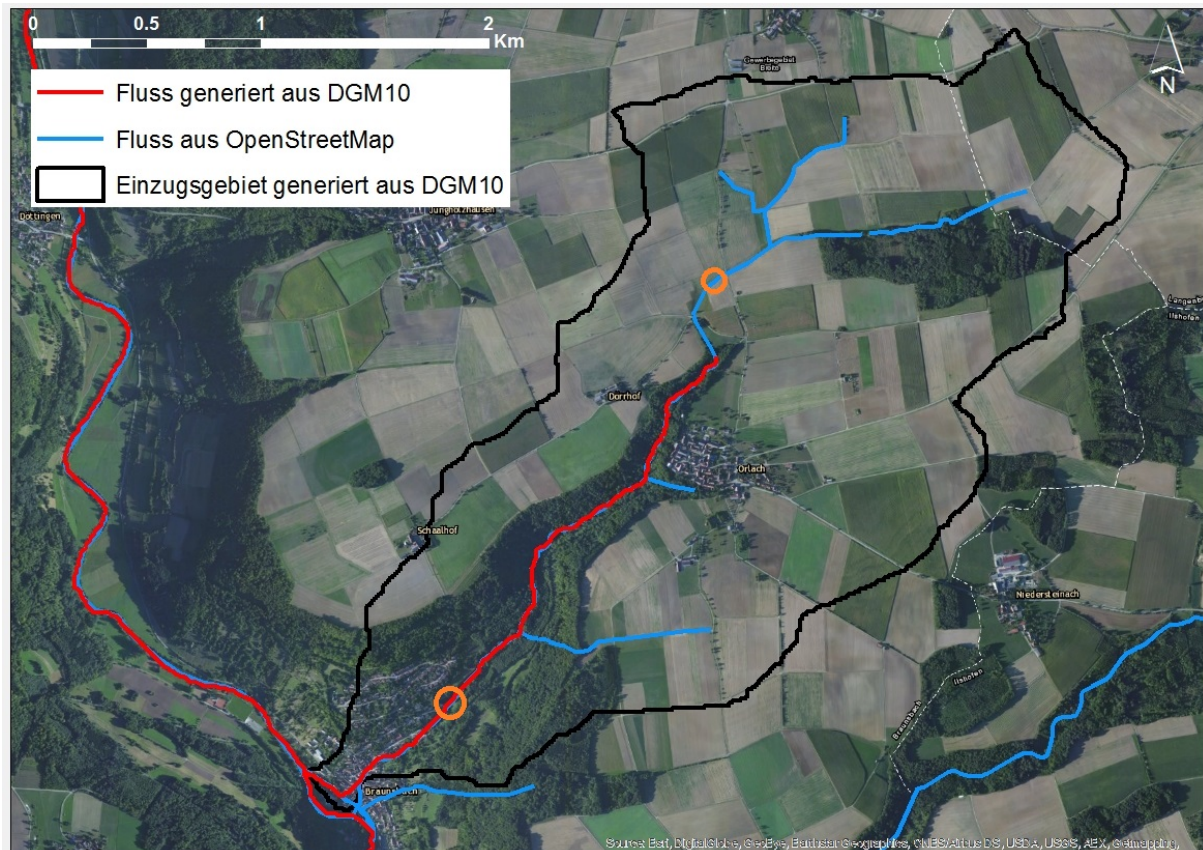


Abbildung 2: Karte des Einzugsgebietes des Orlacher Bachs (6 km<sup>2</sup>). DGM10 Datenquelle: Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)). Die Punkte kennzeichnen die Stellen, an denen die Vermessung des Bachquerschnittes für die Abschätzung der Durchflussmaxima erfolgte.

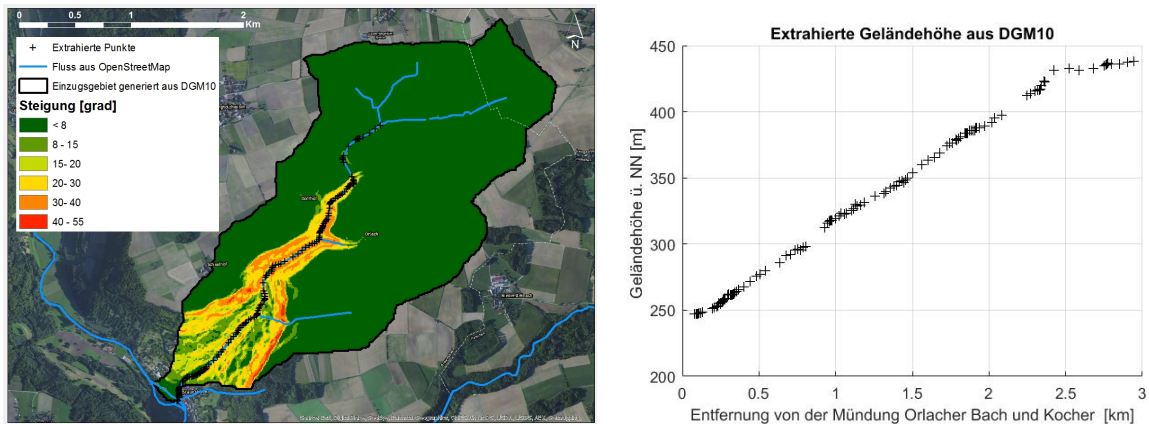


Abbildung 3: Links: Steigung im Orlacher Einzugsgebiet in Grad. Rechts: Höhenprofil entlang des Bachbettes. (Beides abgeleitet aus dem DGM10 der BKG).

Die Gesteinsschichten im Einzugsgebiet bestehen überwiegend aus Muschelkalk, der sich in der Trias aus marinen Sedimentablagerungen bildete. Die teilweise sehr verwitterungsbeständigen Kalksteinbänke formen im Tal des Orlacher Baches steile Geländestufen, die zur flachen Hochebene von Orlach hinaufführen, wo der Muschelkalk von einer mehreren Meter mächtigen Schicht aus tonigen Böden des Unteren Keupers bedeckt wird. In Abbildung 1 (mitte, rechts) ist das in Braunsbach abgelagerte Geröll zu sehen, welches eine für Muschelkalk typische gräuliche Färbung aufweist. Diese Geröllmassen wurden durch mehrere Hangrutschungen (im Mai und potenziell auch historisch) in die Orlacher Klinge und mit der Flutwelle in den Ort gespült. Die harten Kalksteine des Muschelkalks bilden abschnittsweise ein steiles Relief und so ist vermutlich eine Kombination aus schroffen Hängen mit flachen Böden zusammen mit extremen Niederschlägen für die vielen Hangrutschungen verantwortlich. Es ist außerdem wahrscheinlich, dass sich in der Orlacher Klinge über die letzten Jahrzehnte viel Sediment gesammelt hat, welches erst durch eine große Abflussmenge abgetragen werden konnte. Es kann davon ausgegangen werden, dass die steilen Hänge zu einer sehr schnellen Abflusskonzentration führten und die hohe Steigung der Klinge die Bildung von Hochwasser beschleunigt hat. Die flachen Böden sind zudem schnell wassergesättigt und tragen so zusätzlich durch das Herabsetzen des Scherwiderstandes zu einer Instabilität der Hänge bei, was bei einer hohen Hangneigung zu Rutschungen führen kann.



### 3 Meteorologie

Die starken Niederschlagsereignisse rund um Braunsbach wurden hauptsächlich durch die Großwetterlage 'Tief Mitteleuropa' verursacht, welche oftmals mit sehr starken Niederschlägen einhergeht. So führte diese Wetterlage auch zu den Hochwasserereignissen von 2002 und 2013, bei denen die Windströmungssituation jedoch verschieden war. Im Falle der Sturzflut von Braunsbach wurde das Tief über Mitteleuropa zusätzlich durch das Hochdruckgebiet Sören (siehe Abbildung 4) über Skandinavien blockiert und konnte somit für mehrere Tage vorherrschen. Durch das blockierende Hochdruckgebiet konnten die Luftmassen nicht wie gewöhnlich aus westlicher Richtung einströmen, sondern wurden aus südlicher bis südöstlicher Richtung nach Zentraleuropa transportiert. Das dortige Zusammentreffen der feuchten, relativ warmen Luft vom Mittelmeer mit kalter Luft aus dem Norden führt zu dessen Hebung und verstärkt somit Kondensation und Gewitterbildung.

Im Falle der Sturzflut in Braunsbach führte das Bodentief Elvira am Sonntag, den 29. Mai 2016, zur Entwicklung mehrerer Gewitterzellen in Baden-Württemberg und Bayern, welche sich zu einer Gewitterlinie formierten und nach Nordnordwest verlagerten. In den Tagen vor dem Ereignis blieb die Region von höheren Niederschlagsmengen weitestgehend verschont. Weitere Informationen zu der Wetterlage vor bzw. nach der Sturzflut von Braunsbach sind in [Ziese et al., 2016] zu finden. Neben der Hebung der feuchtwarmen Luftmassen durch sich unterschiebende kalte Luftmassen spielt auch die Hebung durch die Topographie eine wichtige Rolle. Somit konnte sich die Gewitterlinie bei der Bewegung über die Schwäbische Alb nochmals intensivieren. Relativ geringe Unterschiede im Druckfeld führten außerdem zu sehr schwachen mittleren Windgeschwindigkeiten und damit zu einer langsamen Fortbewegung der Gewitterzellen, was lokal die Niederschlagsmengen ebenfalls erhöhte. Abbildung 5 zeigt die Niederschlagsmenge zwischen 15:00 und 23:55 UTC des 29. Mai 2016, wie sie mit den Niederschlagsradaren des DWD gemessen wurde. In Teilen von Baden-Württemberg und Bayern sind in diesem Zeitintervall teilweise mehr als 90 Liter pro Quadratmeter gefallen. Das liegt bereits deutlich über der geschätzten 80. Perzentile zu Niederschlägen, die weltweit Massenbewegungen ausgelöst haben, siehe Abbildung 3 in [Guzzetti et al., 2008].

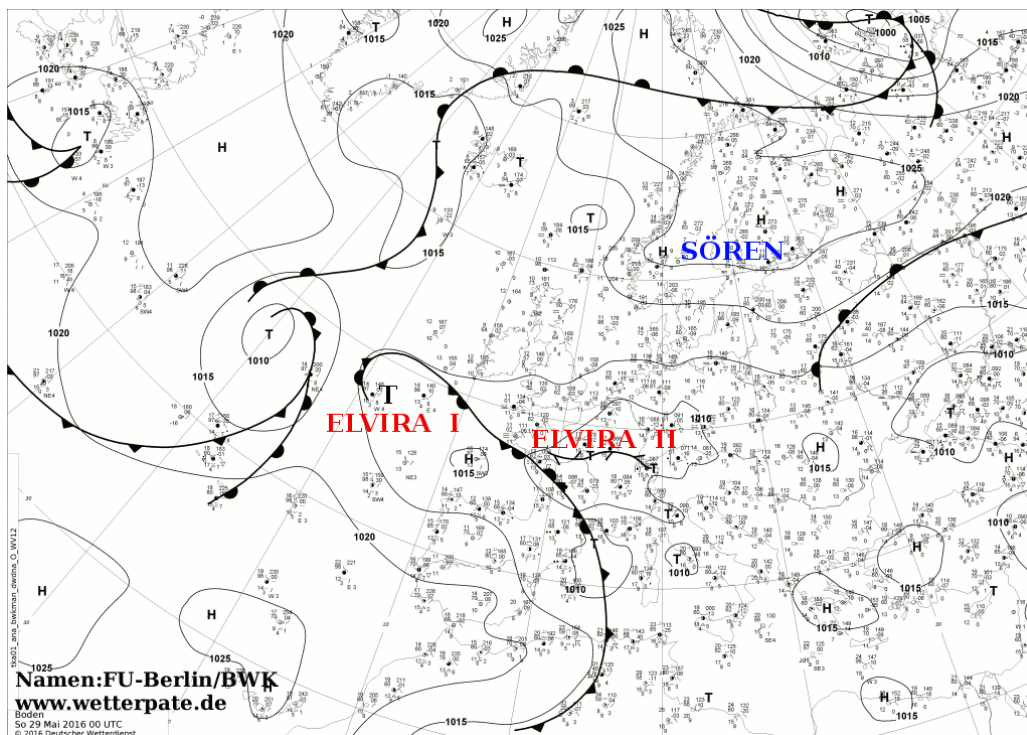


Abbildung 4: Boden-Wetterkarte vom 29. Mai 2016 00 UTC. Quelle: DWD.



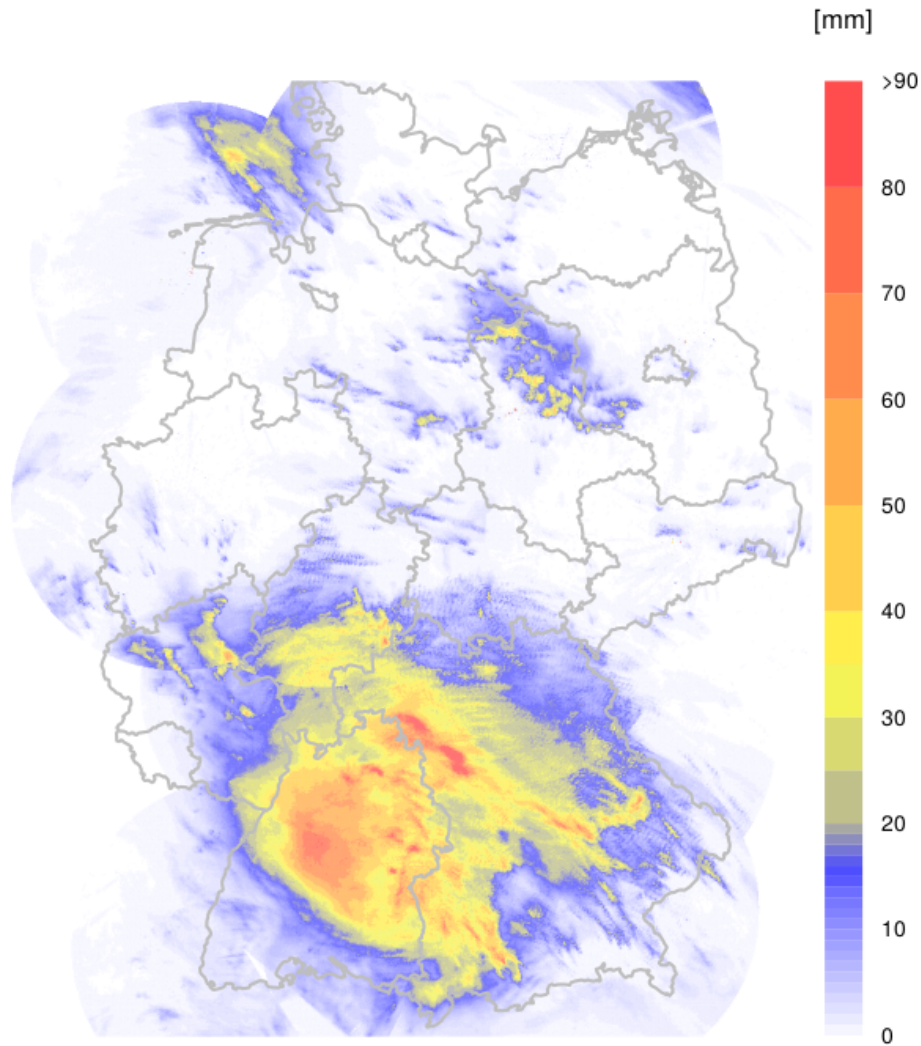


Abbildung 5: Niederschlagssummen zwischen 15:00 und 23:55 UTC am 29. Mai 2016. Grundlage sind die korrigierten Daten aus dem Radarnetz des DWD (das akkumulierte RY-Produkt von RADOLAN).

In Langenburg-Atzenrod, welches flussaufwärts vom Orlacher Bach liegt (siehe Abbildung 6 links), wurde am 29.05.2016 eine Niederschlagsmenge von 105 mm/Tag (von 7:50 Uhr am 29.05.2016 bis 7:50 Uhr am 30.05.2016) gemessen. Solch ein hoher Wert wurde an der seit 1931 existierenden Messstation (mit einer Messunterbrechung vom November 1990 bis Juni 2008) zuvor nicht beobachtet. So wurde das bisherige Maximum von 72,1 mm/Tag aus dem Jahr 1959 um mehr als das 1,4-fache überschritten. Die jährliche Wahrscheinlichkeit für solch eine Niederschlagsmenge lag vor dem Ereignis an dieser Station weit unter 1%, das entspricht einem Jahrhundertereignis. Wird das Ereignis vom 29.05.2016 mit in die Berechnung einbezogen, steigt zwar die Wahrscheinlichkeit um mehr als das 10-fache, liegt aber noch immer unter 1%. Dies verdeutlicht zum einen, wie selten die Niederschlagsmenge tatsächlich war, zum anderen, dass sich die geschätzten Überschreitungswahrscheinlichkeiten extremer Ereignisse bei längeren Beobachtungszeitreihen ändern können.

In weiteren Nachbarorten, wie beispielsweise Kupferzell-Rechbach und Vellberg-Kleinaltdorf, wurden neben den täglichen Niederschlagssummen auch die stündlichen Intensitäten registriert. Deren erheblich geringeren Tagessummen von 72 und 82,2 mm/Tag haben eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von etwa 3 und 1 %. Dennoch wurde an beiden Stationen die höchste stündliche Intensität mit 32,5 und 25,8 mm/h seit Beginn der Aufzeichnung der hochaufgelösten Niederschläge im Jahr 2005 bzw. 2006 gemessen. Die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit dieser stündlichen Intensitäten an den jeweiligen Stationen liegt bei ungefähr

10 % in Kupferzell-Rechbach (entspricht einem 10-jährlichen Wiederkehrwert) und etwa 4 % in Vellberg-Kleinaltdorf (entspricht einem 25-jährlichen Wiederkehrwert). Die höchste stündliche Niederschlagsmenge wurde an der Station Kirchberg/Jagst-Herboldshausen mit 41,5 mm/h registriert, welche dort eine jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit von unter 1 % aufweist. Abbildung 6 (rechts) zeigt die stündlichen Intensitäten der benachbarten Messstationen. Sehr gut erkennbar ist die Zugrichtung der Gewitterzelle von Südost nach Nordwest, da der extreme Niederschlag zuerst in Vellberg-Kleinaltdorf zwischen 16 und 17 UTC (zwischen 18 und 19 Uhr Ortszeit), anschließend in Kirchberg/Jagst-Herboldshausen und schließlich in Kupferzell-Rechbach zwischen 18 und 19 UTC (20 - 21 Uhr Ortszeit) einsetzte. Anhand der Radardaten des DWD ist im Einzugsgebiet der meiste Niederschlag zwischen 19 und 20 Uhr Ortszeit gefallen, siehe Abbildung 7. Erste Dämpfungskorrekturen gemäß [Jacobi and Heistermann, 2016] lassen vermuten, dass der mittlere Gebietsniederschlag zwischen 16:45 und 18:00 Uhr (UTC) etwa doppelt so hoch wie hier dargestellt ist, siehe Abbildung 8. Für den Kernzeitraum von 16:45 bis 18:00 Uhr (UTC) erhalten wir für das Einzugsgebiet eine Niederschlagssumme von 100 bis 140 mm, je nach Parametrisierung der Dämpfungskorrektur. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die blockierende Wetterlage zu stationär sehr hohen Niederschlagsintensitäten geführt hat, welche in dieser Region zuvor nicht registriert wurden.

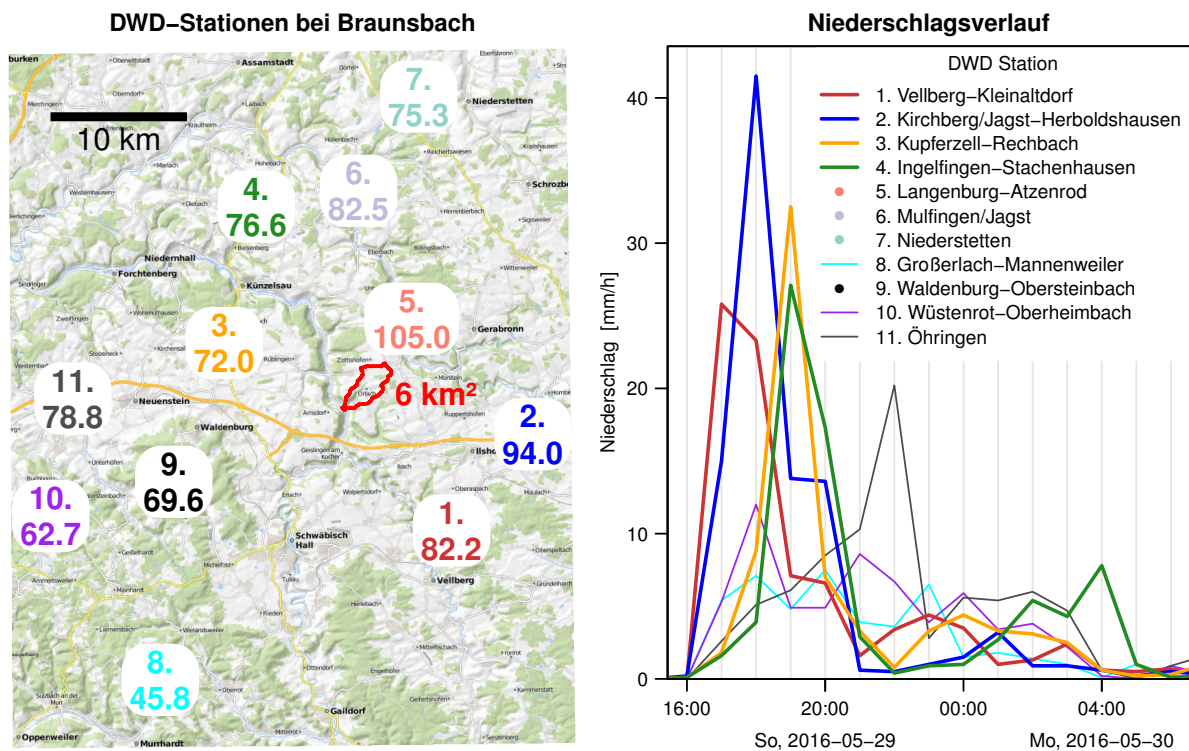


Abbildung 6: Links: Übersichtskarte der DWD-Niederschlagsmessstationen in der Nähe des Einzugsgebietes (rot umrandet) mit den täglichen Niederschlagssummen vom 29. Mai 2016 (24 Stunden bis 7:50 Uhr des Folgetages). Rechts: Stündlicher Niederschlagsverlauf in UTC, sofern verfügbar. Stationen, an denen nur Tagessummen zur Verfügung stehen, sind in der Legende mit einem Punkt gekennzeichnet. Die Sturzflut in Braunsbach erfolgte gegen 20-21 Uhr Ortszeit (18-19 UTC), das entspricht dem Zeitpunkt der Niederschlagsspitze zwischen Kirchberg und Kupferzell.

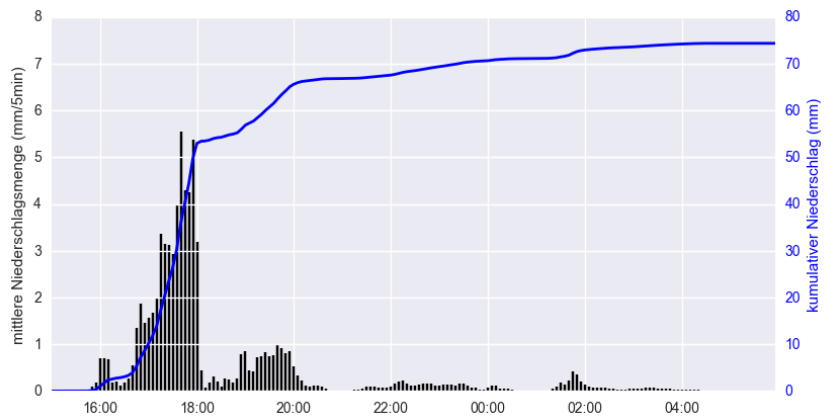


Abbildung 7: Unkorrigierter mittlerer 5-min-Niederschlag im Einzugsgebiet des Orlacher Baches in UTC abgeleitet aus den Radardaten des DWD (RY-Produkt von RADOLAN).

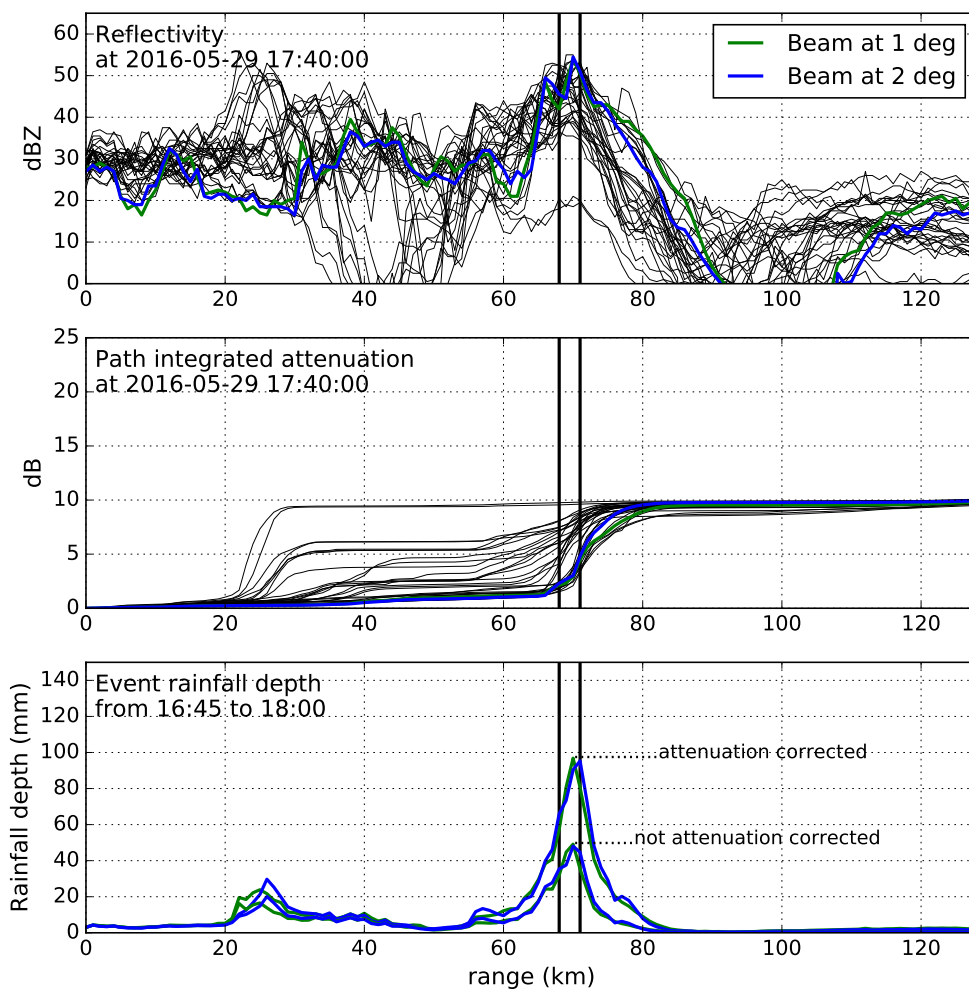


Abbildung 8: Analyse der Rohdaten (DX) des Radarstandorts Türkheim entlang der beiden Azimutwinkel über das Einzugsgebiet (zwischen den vertikalen schwarzen Linien). Oben: Reflektivität entlang beider Strahlen im Betrachtungszeitraum, exemplarisch für 17:40 UTC dick gezeichnet. Mitte: Dämpfung in Dezibel. Unten: Niederschlagssumme mit und ohne Korrektur von 16:45-18:00 UTC in Abhängigkeit von der Entfernung zum Radarstandort.

## 4 Hydrologie

Wie die Niederschlagsmengen beim Ereignis, so ist auch der Abfluss im Orlacher Bach in solch extremer Form seit Jahrzehnten nicht aufgetreten. Die plötzlich und sehr heftig einsetzenden Niederschläge haben zu einem raschen Infiltrationsüberschuss (Infiltrationskapazität geringer als die Niederschlagskapazität) geführt. Ein zusätzlicher Sättigungsüberschuss des Bodens durch einige kleine Niederschlagsmengen in den zwei Wochen vor dem Ereignis dürfte die Situation weiter verschärft haben. Dies konnte bei einer Feldbegehung 5 Tage nach dem Ereignis bestätigt werden, da klar sichtbare Fließspuren auf Infiltrationsüberschuss hinwiesen. Außerdem war der Boden an allen beobachteten Stellen des Einzugsgebiets noch so gesättigt, dass selbst nach mehreren Stunden ohne Regen an vielen Stellen noch Oberflächenabfluss stattgefunden hat. Hydrologisch gesehen ist die Entstehung der Sturzflut durch die Verbindung des Extremniederschlages mit dem schnellen Zusammenfließen im Tal nicht unerwartet, so dass bei vergleichbaren Niederschlagsintensitäten mit ähnlichen Ereignissen zu rechnen ist.

Nach Auswertungen der im Feld erhobenen Daten können erste hydrologische Schätzungen getroffen werden. Als wahrscheinliche maximale Durchflüsse schätzen wir am Oberlauf (siehe Karte in Abbildung 2) 6-12 und am Unterlauf 50-150 m<sup>3</sup>/s. Dies wurde aus der Geometrie des Gerinnes, Annahmen über die mittlere Fließgeschwindigkeit sowie von Anwohnern mitgeteilte und durch Treibsel ermittelte maximale Wasserstände errechnet. Der Querschnitt im Unterlauf und die angenommene Verteilung der Wassergeschwindigkeit sind in Abbildung 9 dargestellt. Der Wertebereich von 50-150 m<sup>3</sup>/s stimmt mit einer einfachen Bilanzrechnung überein. Wenn von einer maximalen 30-Minuten-Regenintensität von 40 mm ausgegangen wird und 80% davon direkt abflusswirksam werden (20% versickern), beträgt der Durchfluss im Verlauf einer halben Stunde im Mittel 107 m<sup>3</sup>/s:

$$Abfluss = \frac{Niederschlag * Flaech e}{Zeit} * Abflussbeiwert = \frac{40 \frac{l}{m^2} * 6km^2}{1800s} * 80\% = 107m^3/s \quad (1)$$

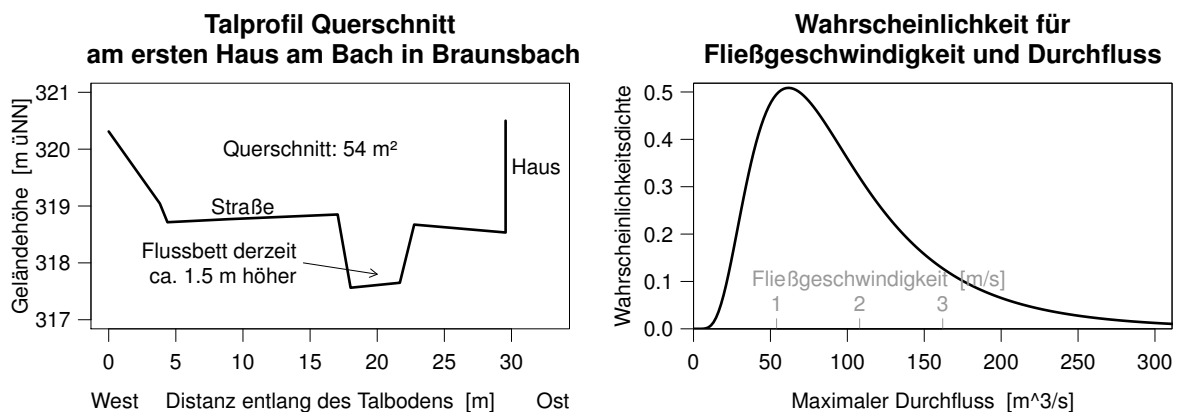


Abbildung 9: Links: Querschnitt des Bachlaufes. Rechts: Daraus resultierende Schätzung der Abflussspitze in Braunsbach.

Während der Feldbegehung wurden außerdem Abflussmessungen durchgeführt. Mehrere Anwohner haben angegeben, dass der zum Zeitpunkt der Aufnahme (4. Juni) ermittelte Durchfluss schon einem erhöhten Abfluss entspricht, was bei der noch sehr hohen Gebietssättigung plausibel ist. Im Oberlauf wurde ein Durchfluss von 0.070 ( $\pm 0.005$ ) m<sup>3</sup>/s gemessen und am Unterlauf im Ort Braunsbach 0.185 ( $\pm 0.010$ ) m<sup>3</sup>/s. Das entspricht 70 bzw. 185 Liter/s. Vergleicht man diese Messungen mit dem geschätzten maximalen Abfluss des Ereignisses dürften die Wassermengen bei der Sturzflut etwa 500-mal so groß wie beim jährlichen Hochwasser gewesen sein.

In Abbildung 10 ist die Abflussganglinie für die Pegelstation Kocherstetten am Kocher zu sehen, welche 8,5 km flussabwärts von Braunsbach liegt. Bereits um 20 Uhr ist ein klarer Anstieg der

Ganglinie zu erkennen, der schon nach 2 Stunden in einen maximalen Abflusswert von 376  $\text{m}^3/\text{s}$  endet. Vergleicht man die Abflussganglinien von Kocherstetten mit den Abflussstationen Gaildorf und Wöllstein, welche jeweils ungefähr 30 km und 50 km flussaufwärts von Braunsbach liegen, wird klar, dass bis zu 200  $\text{m}^3/\text{s}$  durch das Sturzflutereignis in der Region Braunsbach hinzugekommen sein könnten.

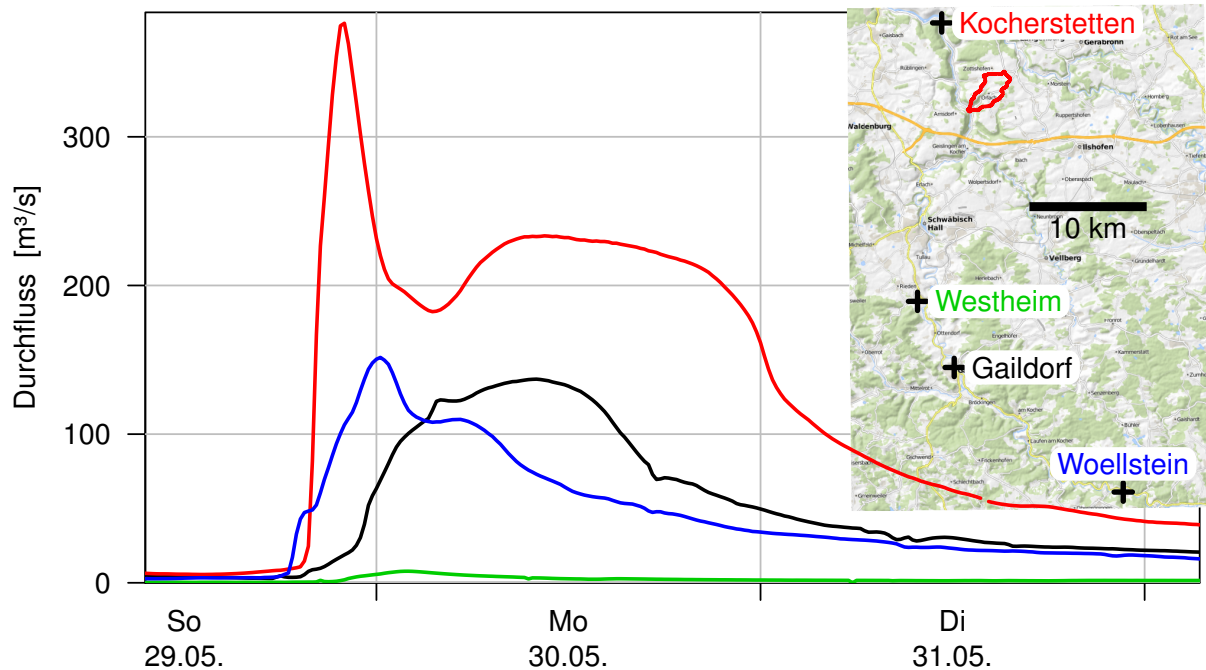


Abbildung 10: Abflussganglinie des Baches 'Kocher' an der Pegelstation Kocherstetten (stromabwärts von Braunsbach) sowie Wöllstein und Gaildorf (stromaufwärts). Die Pegelstation Westheim liegt am kleinen Zufluss Bibers und zeigt einen viel geringeren Abfluss als unsere Schätzung für den Orlacher Bach, was die lokale Natur des Ereignisses unterstreicht. Die viertelstündlichen Pegeldata stammen von der Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) Baden-Württemberg (Betreiber Regierungspräsidium Stuttgart). Die Abflussspitze in Kocherstetten wurde um 22 Uhr (UTC+1) verzeichnet. Die ersten Videos aus Braunsbach sind 21 Uhr (Ortszeit) bei Facebook hochgeladen.



## 5 Erosion

Während der Geländebegehung in Braunsbach von 21. – 23. Juni 2016 waren unsere Hauptziele (1) die Kartierung und das Erfassen der geometrischen Ausmaße von Hangrutschungen im Tal des Orlacher Baches (Abbildung 11). Mit Hilfe der Messungen wurde das Gesamtvolumen der Rutschmassen berechnet, das während des Sturzflutereignisses am Fuße der Hangrutschungen erodiert und talabwärts transportiert wurde. Zusätzlich (2) wurde die vom Hochwasser verursachte Bachbett-Erosion untersucht, um auch deren Massenanteil an den abgetragenen Sedimenten abschätzen zu können.

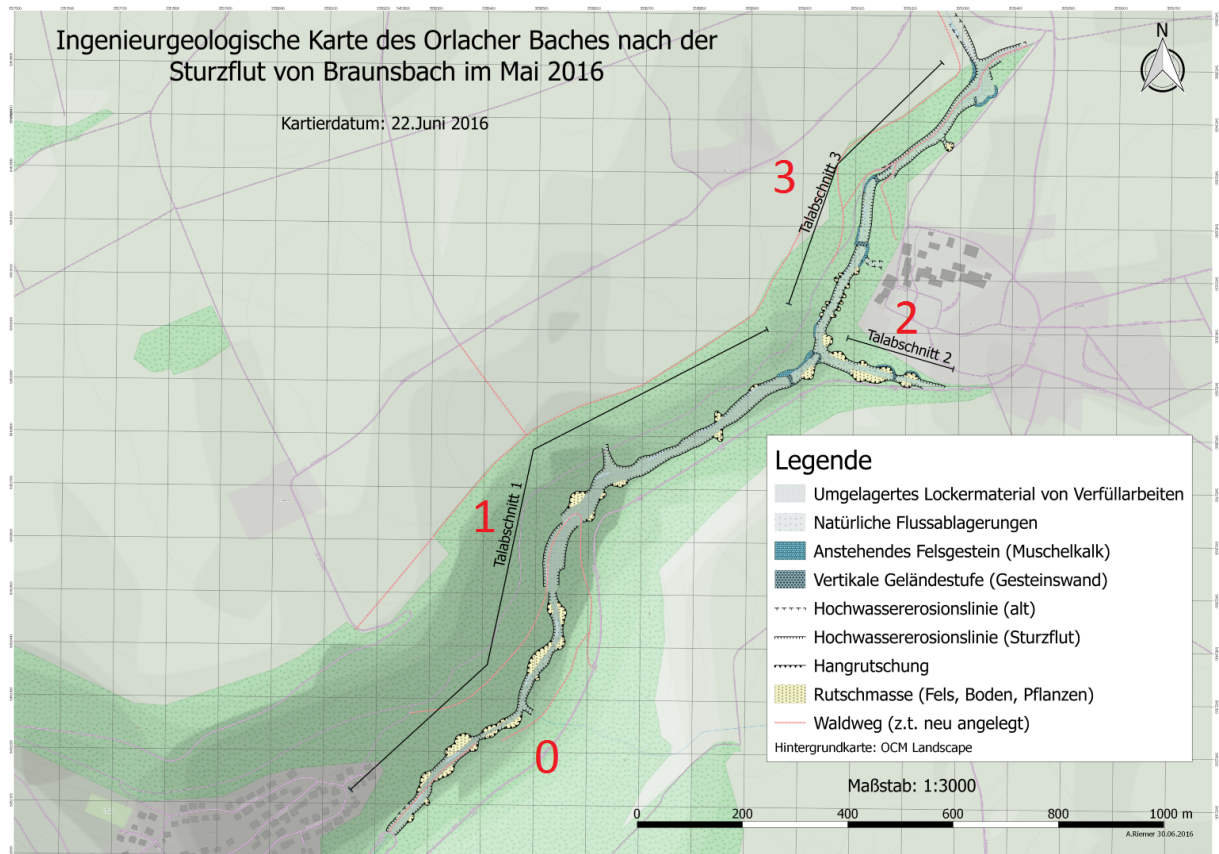


Abbildung 11: Kartierte Bereiche im Tal des Orlacher Baches mit den Talabschnitten 1 bis 3.

Im unteren Bachabschnitt vor dem Ortseingang von Südosten her mündet ein namenloser Zufluss ein (in Abbildung 11 mit 0 gekennzeichnet). Es handelt sich um einen nur saisonal fließenden Bach mit einem auffälligen Abflusskanal von 4-5 Meter Breite, der viel Kies und Felsbrocken führt. Es wird vermutet, dass die Starkregenfälle der Braunsbacher Sturzflut zur Auflockerung des Hangs um den Abflusskanal geführt haben und es dadurch zu einem Eintrag von losgelöstem Felsgestein und Kies in den Orlacher Bach gekommen ist. An mehreren Stellen wurden ein ca. 2 Meter tiefer Einschnitt des Bachbetts und eine Überspülungsfläche von 10-12 Meter Breite vermessen. Ein Wassertunnel führt den Bach unter der kreuzenden Straße (Steige, L 1036) hindurch (Abbildung 12) und diente während der Sturzflut als Stauwehr, das verhinderte, dass noch mehr Geröllmaterial in den Orlacher Bach eingetragen wurde. Dennoch wurde eine größere Menge an Gesteinsschutt auf der Talseite der Steige abgelagert. Dieser Bereich stellt eine mögliche Hauptquelle für Gesteinsschutt bei zukünftigen Starkregenereignissen dar.



Abbildung 12: Abflusskanal des aus Südosten her einmündenden Zuflusses zum Orlacher Bach, mit Murgang-ähnlichen Ablagerungen oberhalb der Straße (linkes Bild).

Entlang des Talabschnitts 1 (vgl. Abbildung 11) wurden 30 große Hangrutschungen mit einem durchschnittlichen Volumen von  $180 \text{ m}^3$  kartiert, die deutlich zur Ansammlung von Lockersedimenten im Tal beitragen. Neben den Hangrutschungen wurden auch eine Hochwasser-Erosionslinie und eine sturzflutbedingte Bachbett-Erosion über fast den gesamten Talabschnitt festgestellt. Zum Zeitpunkt der Kartierung war der unterste und mittlere Teil dieses Talabschnitts bereits durch Erdarbeiten wieder aufgeschüttet. Mit Baggern wurden nach der Sturzflut bis zu 4 Meter an Überflutungssedimenten in das Bachtal eingebracht, um die ursprüngliche Höhe der Talsohle und die ursprünglichen Böschungswinkel an den Seitenhängen des Tals wiederherzustellen. Dieser beträchtliche Eintrag von Füllmaterial lässt das Ausmaß der Bachbett-Erosion, insbesondere in diesem Talabschnitt, erahnen. In den noch nicht aufgefüllten Bereichen dieses Talabschnitts wurden zum Teil erodierte Bachterrassen, entwurzelte Baumstämme und viele Schramm-Markierungen von verfrachtetem Geröll an Baumstümpfen dokumentiert.

Aus dem Zufluss im Talabschnitt 2 wurde unseren Beobachtungen nach eine große Menge an Bäumen und Pflanzenmaterial in das Tal eingetragen. Es sprechen folgende Anzeichen dafür, dass ein großer Anteil der im Bachtal und in Braunsbach angesammelten Kies- und Felsmassen aus diesem Talabschnitt stammen. Der Bach durchläuft in diesem Abschnitt eine natürliche geomorphologische Höhenstufe mit steilen Böschungswinkeln. Die Felswände und das künstlich angelegte Bachsohlenpflaster wurden knapp unterhalb des Höhengsprungs merklich zurückverlagert bzw. unterspült, was darauf schließen lässt, dass das Wasser der Sturzflut mit hoher Strömungsenergie in diesen Talabschnitt eingeflossen ist und sich ein größeres Erosionsbecken gebildet hat. Es wurden Aussagen von Anwohnern aufgenommen, die darauf schließen lassen, dass die freistehenden Felswände in diesem Bereich vor der Sturzflut nicht sichtbar waren. Dies lässt auf einen großen Erosionsbeitrag an dieser Stelle des Tals schließen.

Aufgrund der Steilheit, der Fähigkeit zur Kanalisation größerer Wassermengen und aufgrund der Position direkt unterhalb der landwirtschaftlich geprägten Hochfläche um die Ortschaft Orlach, ist dieser Talabschnitt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Hauptquelle für größere Fels- und Gesteinsbruchstücke, die als Wasserfracht die Erosionswirkung der Sturzflut in den darunterliegenden Abschnitten des Tals deutlich erhöht haben. Mehrere große Hangrutschungen wurden entlang dieses Talabschnittes kartiert, die wahrscheinlich größere Mengen an Baumstämmen mitgeführt haben.

Der Talabschnitt 3 ist unserer Kartierung nach ebenfalls eine Hauptquelle von größeren Mengen an Kiesschutt und Gesteinsgeröllen, wobei auch viel verfrachtetes Pflanzenmaterial aus diesem Gebiet stammen könnte. Der Muschelkalk ist in diesem Bereich mehrfach aufgeschlossen und bildet natürliche Geländestufen, die als steile Gesteinswände ausgebildet sind. In einigen Talbereichen wurde die komplette Talfüllung während der Sturzflut erodiert und talabwärts transportiert. Fotos von der Kartierung (Abbildung 13) bezeugen, dass die ehemalige Höhe der Bachbettablagerungen (vom anstehenden Fels zur jüngsten Bachterrasse) etwas mehr als 2 Meter betragen hat. Kleinere Hangrutschungen von ähnlicher Größe wurden im unteren Abschnitt dieses Bereichs erkannt sowie drei größere Hangrutschungen im oberen Bereich.





Abbildung 13: Fotos aus dem oberen Teil von Talabschnitt 3 (siehe Abbildung 11): Von der Sturzflut freigelegte Kalk-Mergel-Bänke des Oberen Muschelkalks im Bereich des Bachbetts. Die neue Bachsohle verläuft teilweise auf sedimentären Schichtflächen (oben rechts).

30 Hangrutschungen wurden entlang des Orlacher Baches im Detail kartiert (Talabschnitt 1 und 3). Mindestens fünf weitere Hangrutschungen wurden im zweiten Zuflusstal erkannt, das südlich am Dorf Orlach vorbeifließt (Talabschnitt 2). Es ist anzunehmen, dass die Starkregenfälle mehrere Hangrutschungen entlang beider Bachtäler ausgelöst haben und die Rutschmassen anschließend mehrere Erddämme bildeten. Als die maximale Höhe der Sturzflut im Orlacher Bach erreicht wurde, überspülte das Wasser vermutlich die gebildeten Erddämme und transportierte das Lockermaterial talabwärts Richtung Braunsbach. Beim Durchbruch der Dämme hat sich die Abflussmenge aufgrund des oberhalb der Dämme gespeicherten Wassers schlagartig erhöht. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass die so entstandenen Flutwellen die Rutschmassen anderer Hangrutschungen erodiert haben, was zu einer Reaktivierung oder Vergrößerung der Hangrutschungen geführt haben könnte.

Während der Kartierung wurden mehrere geometrische Messungen durchgeführt, z.B. Höhe der Abrisskante über dem Bachbett, Länge der Abrisskante, Breite der Rutschmassenbasis, Entfernung und Winkel zur Abrisskante sowie Oberkante und Basis der Rutschmassen in Relation zum Messpunkt. Das mobilisierte Rutschmassenvolumen wurde in zwei Schritten geometrisch bestimmt. Zuerst wurde ein Minimalwert unter Annahme von geraden Verbindungslinien zwischen den Triangulationspunkten berechnet. Im zweiten Schritt wurde ein Maximalwert unter der Annahme vollständig gekrümmter Rutschflanken und Abrisskanten berechnet. Als Mittelwert aus beiden Berechnungen ergibt sich ein mobilisiertes Rutschmassenvolumen von  $8032 \pm 1163 \text{ m}^3$ .

Weiteres Material wurde durch den Schlossbach eingetragen, jedoch nicht im Detail untersucht. Das Rutschmaterial besteht aus Bodenschichten, Pflanzenmaterial, Kies und unsortierten Gesteinsbruchstücken bis zu einer Größe von einigen wenigen Metern. Letztere sind zum Teil auch aufgrund von Verwitterung und vorangegangenen Hochwasserereignissen auf natürlichem Wege im Talsediment angereichert. Nach Angaben des Fuhrunternehmens Leonhard Weiss GmbH & Co. KG wurden aus dem vom Eintrag des Orlacher Baches betroffenen Bereich insgesamt  $42.000 \text{ m}^3$  an Geröll entfernt. Darin eingeschlossen sind Bodenmaterial, Gestein, Holz, Bau-schutt, Asphalt-Schollen und Schrott.



## 6 Schaden

Systematisch aufgenommene Schadensdaten nach Naturkatastrophen spielen für die Analyse des Ereignisses eine wichtige Rolle. Die Aufnahme ist jedoch meist kosten- und zeitintensiv, daher liegen bisher nur wenige Schadensdaten über Sturzfluten vor. In den vergangenen Jahren wurden vorrangig Schäden aufgenommen, die von Flusshochwassern verursacht wurden. Da die Prozesse von Sturzfluten und Hochwassern verschieden sind, wurden nach dem Ereignis in Braunsbach die entstandenen Schäden sowie weitere Merkmale im Ort systematisch dokumentiert, um die Schadensprozesse bei Sturzfluten besser zu verstehen. Die Erhebung der Daten fand am 07.06.2016 und 08.06.2016 statt. Die aufgenommenen Merkmale orientierten sich hierbei teilweise an bereits durchgeführten Untersuchungen nach Hochwasserereignissen [Molinari et al., 2014]. Insgesamt wurden 96 geocodierte Datenpunkte, d.h. Einzelgebäude, erfasst und kategorisiert, was nahezu allen betroffenen Gebäuden in Braunsbach entspricht.

An jedem Punkt wurden Informationen über folgende Aspekte gesammelt: Bausubstanz, Größe und Art der Nutzung der Gebäude sowie äußerlich erkennbare Schäden durch Geschiebefracht, Wasser und Kontamination und die Exposition des Gebäudes zur Fließrichtung. Die Schäden wurden bei der Aufnahme gemäß dem Schema von [Schwarz et al., 2016] klassifiziert. Hierbei wurden die Gebäude nach äußerlich erkennbarem strukturellen Schaden in fünf Klassen (D1-D5) eingeteilt (Tabelle 1). Die weiteren Schäden durch Wasser und gegebenenfalls Kontamination konnten zum Zeitpunkt der Aufnahme nicht genau abgeschätzt werden. Ebenso war es nicht möglich, die Schäden an Hausrat, Infrastruktur und Fahrzeugen systematisch abzuschätzen und aufzunehmen. Die Exposition des Gebäudes in Fließrichtung sowie die Versiegelung der unmittelbaren Umgebung wurden bei einer Feldbegehung ermittelt, wobei eine hohe Exposition in Fließrichtung eine große Angriffsfläche des Gebäudes gegenüber dem Wasser bei gleichzeitig geringem Schutz durch andere Bauwerke bedeutet.

Schadensgrad	Schaden	Beschreibung
D1	sehr gering	<b>kein struktureller Schaden</b> <b>leichter nichtstruktureller Schaden</b> Reiner Durchfeuchtungsschaden Verschmutzungen
D2	gering	<b>kein bis leichter struktureller Schaden</b> <b>moderater nichtstruktureller Schaden</b> Geringfügige Risse, eingedrückte Türen und Fenster Kontaminationen Austausch von Ausbauteilen erforderlich
D3	mittel	<b>moderater struktureller Schaden</b> <b>schwerer nichtstruktureller Schaden.</b> Größere Risse an tragenden Wänden, Unterspülungen der Fundamente, Verformungen in Decken, Setzungen Austausch von nichttragenden Bauteilen erforderlich
D4	schwer	<b>schwerer struktureller Schaden</b> <b>sehr schwerer nichtstruktureller Schaden</b> Einsturz von tragenden Wänden, Decken Austausch von tragenden Bauteilen erforderlich
D5	sehr schwer	<b>sehr schwerer struktureller Schaden</b> Kollaps bzw. Einsturz von größeren Gebäudeteilen Abriss erforderlich

Tabelle 1: Definition von Schadensgraden an Gebäuden unter Hochwassereinwirkung, klassifiziert nach [Schwarz et al., 2016].

Für die Datenaufnahme wurde die Open Source Software KoBoToolbox verwendet, die speziell für die Aufnahme von Daten in Notsituationen und Krisengebieten entwickelt wurde. Die Software kann auf Tablets eingesetzt werden, wobei die GPS-Funktion der Tablets dazu verwendet werden kann, georeferenzierte Daten aufzunehmen, die in weiteren Analysen verwendet werden. Zusätzlich wurden von einigen Gebäuden Aufnahmen mit einer Wärmebildkamera zwecks Abschätzung des Wasserstands und Identifizierung der Bausubstanz gemacht (Abbildung 14).



Abbildung 14: Wärmebilder (jeweils oben) und RGB-Normalaufnahmen (unten) von drei betroffenen Gebäuden.

Abbildung 15 gibt einen Überblick über die Art der Nutzung der aufgenommenen Gebäude und zeigt, dass neben Wohngebäuden auch gewerblich und öffentlich genutzte Gebäude vom Hochwasser betroffen waren.

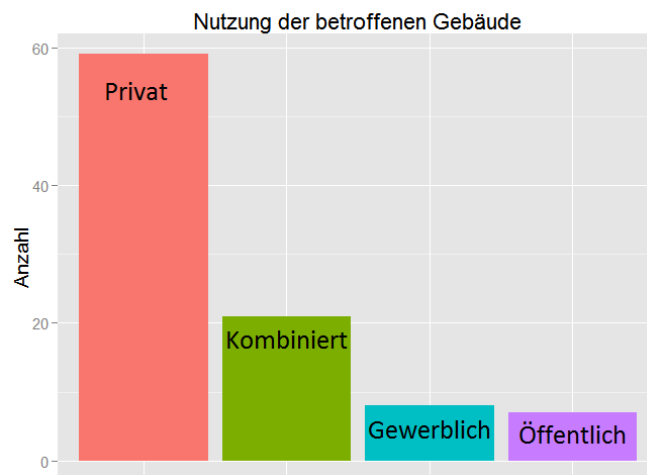


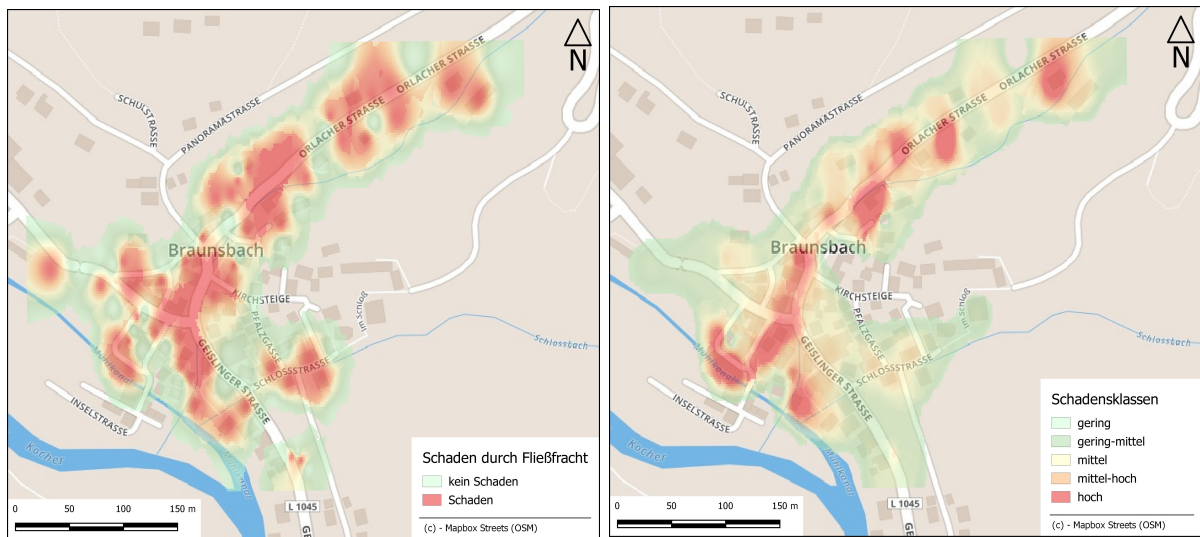
Abbildung 15: Art der Nutzung der in Braunsbach geschädigten Gebäude.

In Abbildung 16 werden der Wasserstand, die Exposition der untersuchten Gebäude in Fließrichtung, die Häufigkeit von Schäden durch Geschiebefracht sowie der Schadensgrad der betroffenen Gebäude dargestellt. Als Grundlage dienen die zuvor aufgenommenen 96 georeferenzierten Datenpunkte.



Wasserstand

Exposition in Fließrichtung



Schaden durch Geschiebefracht

Schadensgrad

Abbildung 16: Beschreibung der Hochwassereinwirkung und des verursachten Schadens. Die anonymisierende Weichzeichnung wurde mittels einer inversen Distanzgewichtung erzeugt.

Die Abbildung legt nahe, dass hohe Schäden nicht nur in Bereichen mit besonders hohem Wasserstand aufgetreten sind, sondern auch an stark exponierten Gebäuden, die vermehrt durch Geschiebefracht beschädigt wurden. Dieser Eindruck wird durch eine Untersuchung der Daten bestätigt. Erste Analysen zeigen eine positive Korrelation der Schadensklasse mit dem ermittelten Wasserstand am Gebäude, der Geschiebefracht, sowie der Exposition des Gebäudes in Fließrichtung. Diese Einflussfaktoren wurden pro Gebäude in einem Geographisches Informationssystem (GIS) überlagert, um die potenzielle Gefährdung an dem jeweiligen Standort bei einem ähnlichen Ereignis abschätzen zu können. Daraus wurde eine Einwirkungsintensitäts-Karte für das Ereignis vom 29.05.2016 erstellt (Abbildung 17).

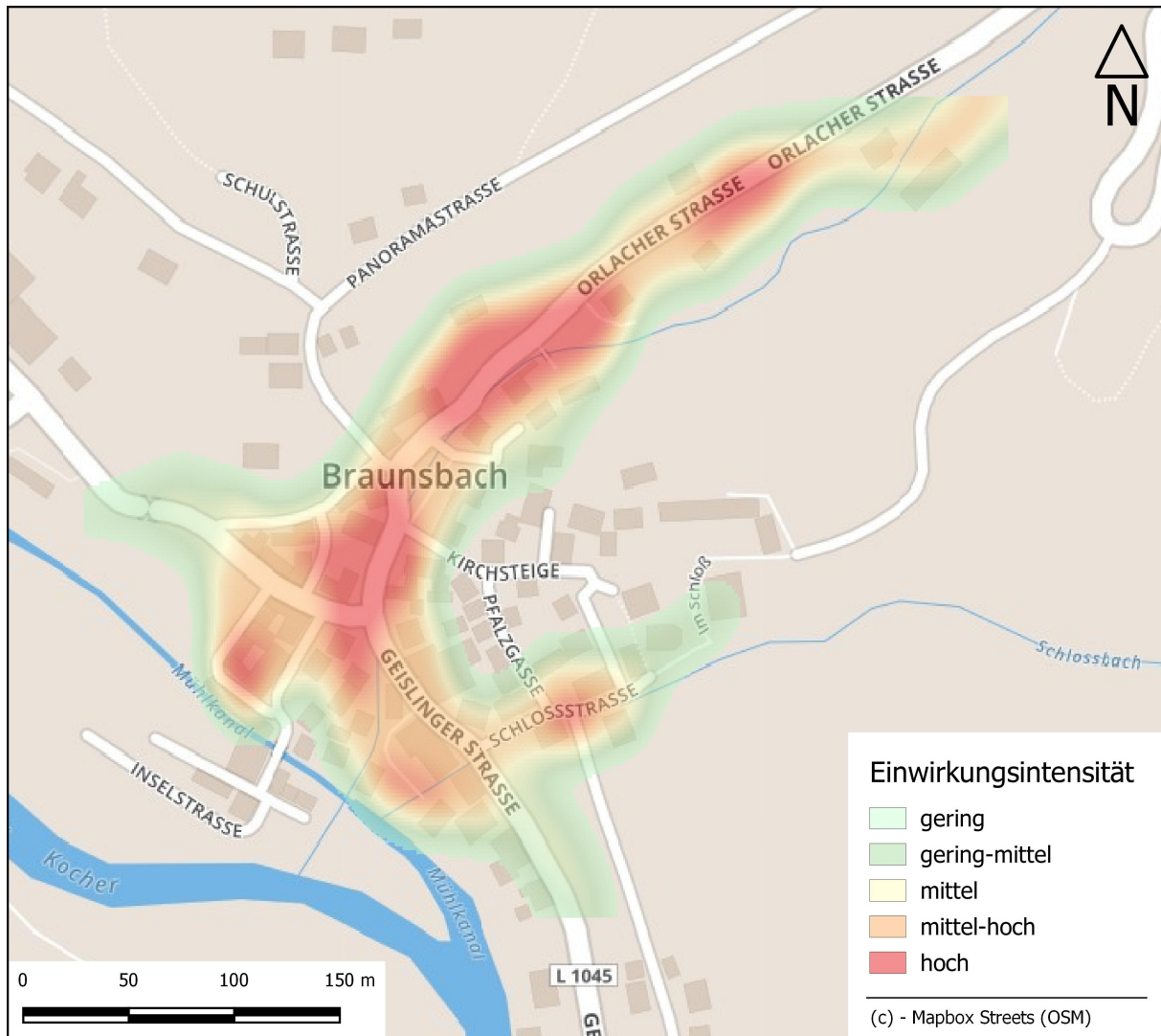


Abbildung 17: Karte von Braunsbach mit gefährdeten Regionen, klassifiziert nach Einwirkungsintensität.

Gebiete, für die eine besonders hohe Einwirkungsintensität ermittelt wurde, decken sich weitläufig mit den besonders stark geschädigten Bereichen im Ort. Diese liegen vorrangig im Bereich der Orbacher Straße, der Mühl- und Inselstraße und des Marktplatzes, welche sich in unmittelbarer Nähe zum Orbacher Bach befinden. Weitere Schäden traten im Bereich des Schlossbaches auf.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass bei der Sturzflut in Braunsbach neben dem Wasserstand vor allem die Fließgeschwindigkeit und die transportierte Geschiebefracht eine entscheidende Rolle bei der Schadensbildung gespielt haben. Berücksichtigt man auch die Ergebnisse aus den vorherigen Abschnitten, so wird schnell klar, dass das besonders schadensträchtige Ereignis in Braunsbach nicht nur auf die starken Regenfälle in der Region zurückzuführen ist, sondern in dieser Heftigkeit durch ein ungünstiges Zusammenspiel weiterer Faktoren, wie Relief und Bodenbeschaffenheiten, zu erklären ist.

## 7 Schlussfolgerung und Ausblick

Der hier vorgestellte Bericht ist Ergebnis einer interdisziplinären Untersuchung der Sturzflut in Braunsbach vom 29.05.2016. Dass es in der Region um den Orlacher Bach zu solch einer starken, zuvor noch nie beobachteten Sturzflut gekommen ist, lässt sich auf das Zusammenspiel vieler verschiedener Faktoren zurückführen.

Eine durch hohes Gewitterpotential charakterisierte, lang andauernde Wetterlage war verantwortlich für sehr hohe Niederschlagsmengen, die aufgrund von niedrigen mittleren Windgeschwindigkeiten sehr lokal begrenzt aufgetreten sind. So wurden in der Region nie zuvor gemessene Niederschlagssummen mit einer jährlichen Auftretswahrscheinlichkeit von unter 0.3% registriert. Der sehr plötzlich einsetzende Niederschlag führte vor allem zu einem Infiltrationsüberschuss des Bodens und somit zu einem verstärkten Abfluss.

Die geomorphologischen Bedingungen rund um Braunsbach intensivierten das Ereignis: Die sehr steilen Hänge und flachen Böden führten zum einen zu einer schnellen Abflusskonzentration, zum anderen aber auch zu zahlreichen Hangrutschungen. So ist es sehr wahrscheinlich, dass mehrere Hangrutschungen entlang beider Bachtäler zu Erddämmen führten, die die Wassermassen anstauten. Der Durchbruch dieser Dämme führte nicht nur zu einer sehr hohen Wasserabflussmenge, sondern transportierte auch Bodenschichten, Pflanzenmaterial, Kies und metergroße Gesteinsbruchstücke in die Ortschaft Braunsbach.

Die Untersuchung nahezu aller betroffenen Gebäude ergab, dass vor allem die Geschiebefracht und die hohe Fließgeschwindigkeit zu den größten äußeren Schäden führten. Schäden durch mögliche Kontaminationen sowie Schäden am Hausrat, der Infrastruktur und an Fahrzeugen konnten in dieser Untersuchung nicht abgeschätzt werden.

Die Analysen zum Ereignis von Braunsbach verdeutlichen zum einen, wie wichtig es ist, interdisziplinär zu arbeiten, um die Gesamtheit verschiedener Naturrisiken zu erfassen und deren Schadenspotential zu quantifizieren, zum anderen, dass die zeitliche und räumliche Variabilität von Naturgefahren in das Risikomanagement einbezogen werden sollte.

Wir haben festgestellt, dass bei den Aufräumarbeiten größere Geröllmengen an ihren ursprünglichen Platz an den Talflanken des Orlacher Baches verfrachtet wurden, mit dem speziellen Ziel den alten Böschungswinkel wiederherzustellen und die rutschgefährdeten Bereiche zu stabilisieren. Kurzfristig betrachtet werden diese Maßnahmen das vorherige Höhenprofil des Tals wiederherstellen und weiteren Hangrutschungen entgegenwirken, die das Tal möglicherweise versperren könnten. Auf lange Sicht jedoch könnte das wiedereingebrachte Lockermaterial an den Talhängen erneut erodiert und talabwärts transportiert werden, falls ein weiteres Starkregenereignis auftritt. Hierdurch könnte zusätzlicher Schaden entstehen. Um diesem Szenario vorzubeugen, sollten Schutzmaßnahmen für die potenziell rutschgefährdeten Talflanken durch geotechnische Lösungen (wie z.B. Geröllnetze) untersucht und bei Bedarf umgesetzt werden.



## Danksagung

Der vorliegende Bericht entstand im Rahmen des Graduiertenkollegs “Natural Hazards and Risks in a Changing World” (NatRiskChange; GRK 2043/1) an der Universität Potsdam, welches von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Die Förderung von Viktor Rözer erfolgt im Rahmen des Projekts EVUS “Echtzeitvorhersage für urbane Sturzfluten und damit verbundene Wasserkontamination” (BMBF, 03G0846B) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Neben den Förderern danken wir Benjamin Winter (AlpS GmbH in Innsbruck und Gastwissenschaftler am GFZ Potsdam) sowie Melanie Eckle, Benjamin Herfort, Carolin Klonner und Chiao-Ling Kuo von der Universität Heidelberg für die Unterstützung bei der Schadensdokumentation und die Bereitstellung von zusätzlichen Tablets für die Aufnahme. Des Weiteren bedanken wir uns bei der Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) für die Bereitstellung der Pegeldata und beim Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Möglichkeit, Niederschlagsdaten vom FTP-Server herunterladen zu können. Maik Heistermann danken wir sehr herzlich für die vorläufigen Analysen der Radardaten und Oliver Korup für allgemeine Anregungen zum Bericht. Insbesondere danken wir den Bürgerinnen und Bürgern sowie dem Bürgermeister der Gemeinde Braunsbach für die Unterstützung und dem freundlichen Entgegenkommen bei den Vor-Ort-Erhebungen.

## Literatur

- [Guzzetti et al., 2008] Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. P. (2008). The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. 5(1):3–17.
- [Jacobi and Heistermann, 2016] Jacobi, S. and Heistermann, M. (2016). Benchmarking attenuation correction procedures for six years of single-polarized C-band weather radar observations in South-West Germany. pages 1–15.
- [Molinari et al., 2014] Molinari, D., Menoni, S., Aronica, G., Ballio, F., Berni, N., Pandolfo, C., Stelluti, M., and Minucci, G. (2014). Ex post damage assessment: an Italian experience. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(4):901–916.
- [Schwarz et al., 2016] Schwarz, J., Maiwald, H., and Kaufmann, C. (2016). Unsicherheiten bei der Quantifizierung von Hochwasser-Schadenspotenzialen. *Bautechnik*, 93(4):214–229.
- [Ziese et al., 2016] Ziese, M., Junghaenel, T., and Becker, A. (2016). Andauernde Grosswetterlage Tief Mitteleuropa entfaltet ihr Unwetterpotential in Deutschland. *DWD - Deutscher Wetterdienst*. [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20160603\\_starkregen\\_mai-2016\\_meldung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20160603_starkregen_mai-2016_meldung.pdf?__blob=publicationFile&v=3).