Schwemmholztransport während des Hochwasserereignisses vom 24. Juli 2014 im Einzugsgebiet der Emme

Autor(en): **Rickli, Christian / Böckli, Martin / Badoux, Alexandre**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **108 (2016)**

Heft 3

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-939528

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schwemmholztransport während des Hochwasserereignisses vom 24. Juli 2014 im Einzugsgebiet der Emme

Christian Rickli, Martin Böckli, Alexandre Badoux, Dieter Rickenmann, Salome Zurbrügg, Virginia Ruiz-Villanueva, Markus Stoffel

Zusammenfassung

Bei Unwetterereignissen führt Schwemmholz in Fliessgewässern oft zu Verklausungen an Engstellen mit der Folge von Überschwemmungen und zum Teil erheblichen Schäden. Dies war auch im Verlauf des Unwetterereignisses vom 24. Juli 2014 im oberen Emmental der Fall. Im Rahmen der Dokumentation dieses Ereignisses konnten wertvolle Informationen zu verschiedenen Schwemmholzprozessen gewonnen werden. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Untersuchungen an einem rund 9 km langen Abschnitt der Emme bei Schangnau und an einem steilen, sehr aktiven Seitenbach, dem Sädelgrabe. In beiden Untersuchungsgebieten wurde einerseits der Eintrag von Holz durch Böschungserosion und Rutschungen abgeschätzt und andererseits das Volumen des abgelagerten Schwemmholzes erfasst. Dank der Vermessung des Schwemmholzes konnten Grössenverteilungen der transportierten Holzstücke ermittelt werden. Für den Sädelgrabe konnte zudem mit den zur Verfügung stehenden Informationen eine Schwemmholzbilanz erstellt werden. Dies war für die Emme nicht möglich, da nicht alle erforderlichen Elemente für eine Bilanz bestimmt werden konnten, insbesondere fehlten Informationen zum Eintrag von Holz aus dem Bereich oberstrom des untersuchten Abschnittes. Bereits kurz nach dem Ereignis begannen im betroffenen Gebiet die Aufräumarbeiten, unter anderem auch mit dem Abtransport von abgelagertem Schwemmholz aus den überschwemmten Flächen auf ein zentrales Depot. Bei künftigen Ereignissen ist eine rasche Prioritätensetzung der zu untersuchenden Aspekte und Gebiete entscheidend.

1. Einleitung

Bei Unwetterereignissen werden durch Schwemmholzprozesse oft erhebliche Schäden verursacht (*Bänziger* 1990, *Bezzola* und *Hegg* 2007). Die Dokumentation und Analyse derartiger Ereignisse ist wichtig im Hinblick auf das Prozessverständnis und damit auch für eine Beurteilung der Gefährdung durch Schwemmholz bei künftigen Unwettern. Die umfassendste Untersuchung zu Schwemmholztransportprozessen in der Schweiz wurde im Nachgang zum Hochwasser 2005 durchgeführt (*Waldner et al.* 2008). Dabei wurden in verschiedenen Einzugsgebieten das transportiere Holzvolumen, die Herkunft des Holzes sowie wichtige Eigenschaften des abgelagerten Schwemmholzes abgeschätzt. Auch nach diesen Untersuchungen bleiben jedoch verschiedene Fragen im Zusammenhang mit Holz in Fliessgewässern offen. Nach dem Hochwasserereignis vom 24. Juli 2014, welches sich im oberen Einzugsgebiet der Emme zugetragen hat, initiierte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Schwemmholzstudie. Die Ziele waren dabei insbesondere (1) die Erstellung einer Schwemmholzbilanz für einen Abschnitt am Oberlauf der Emme sowie für den aktivsten Seitenbach, den Sädelgrabe, inklusive Ermittlung der Eintragsprozesse, Abschätzung des eingetragenen Holzvolumens und einer Erhebung des abgelagerten Holzes, sowie (2) die Erfassung von Grössenverteilungen der mobilisierten und abgelagerten Holzstücke im Sädelgrabe und der Emme.

2. Hochwasserereignis

Am Vormittag des 24. Juli 2014 entluden sich heftige Gewitter über dem Emmental, was den Abfluss der Emme und zahlreicher kleinerer Bäche sehr schnell ansteigen liess. Der starke Regenfall mit lokalen stündlichen Maxima von 70 mm respektive von bis zu 96 mm während des sieben Stunden dauernden Ereignisses, war begrenzt auf den oberen Teil des Einzugsgebietes der Emme (*ARGE GEOTEST AG / Geo7 AG* 2015). In mehreren steilen Seitenzubringern der Emme kam es durch die starken Niederschläge zu murgangartigen Abflüssen, bei welchen grosse Mengen

Bild 1. Weggeschwemmte Büetschlibrücke bei Bumbach Dorf in der Gemeinde Schangnau (Foto: Geotest AG).

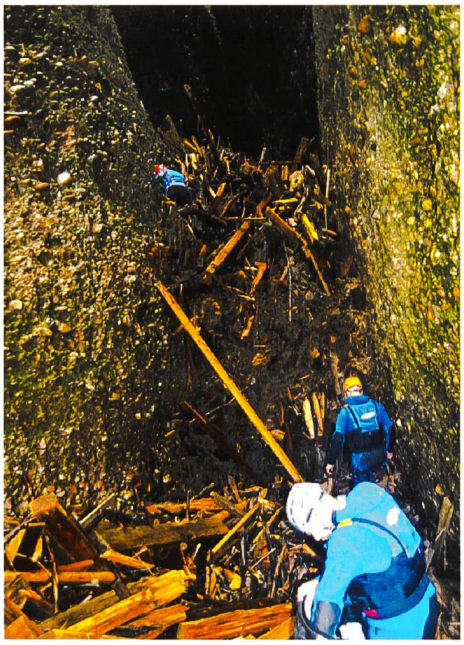

Bild 2. Links: Begehung der Verklausung der Brücke über den Sädelgrabe (Foto: Geotest AG); rechts: Verklausung im Räbloch (Foto: Feuerwehr Eggiwil).

an Sediment und Schwemmholz mobilisiert wurden. In steilen Lagen traten einige flachgründige Rutschungen und Hangmuren auf.

In der Emme führten die Niederschläge zu einem ausserordentlich grossen Hochwasserabfluss. An der Messstation Eggiwil (Einzugsgebietsgrösse: 124 km^2) wurde eine Abflussspitze von 310 m^3/s gemessen, was einer Wiederkehrperiode von über 200 Jahren entspricht. Der Gebirgsfluss trat an verschiedenen Stellen über die Ufer und verursachte Überschwemmungen und Übersarungen. Dabei wurden Häuser, Brücken und Strassen teilweise stark beschädigt *(Bild 1)*. Die Region Bumbach war durch das Hochwasser besonders stark betroffen. Zwischen Kemmeriboden und Räbloch wurde erhebliche Ufererosion beobachtet, durch welche viel Sediment und Holz aus den angrenzenden Auenwäldern in die Emme gelangten.

Auf den Schwemmkegeln der Seitenbäche und in den überschwemmten Gebieten entlang der Emme wurden grosse Schwemmholzmengen abgelagert *(Bild 2)*. Trotz dieser Ablagerungen führte der Schwemmholztransport in der Emme zu einer Verklausung der natürlichen Engstelle beim Räbloch, wo Holz und anderes Material bis zu 10 m hoch aufgetürmt wurde.

3. Grundlagen und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungen fanden in dem Gebiet des oberen Emmentals statt, welches am stärksten vom Unwetter betroffenen war, und zwar einerseits in einem Abschnitt des Oberlaufes der Emme und andererseits in einem sehr aktiven Seitenbach *(Bild 3)*. Die Emme wurde auf einer Länge von rund 9 km von Kemmeriboden bis Räbeli in der Gemeinde Schangnau untersucht. In diesem Bereich waren infolge Überschwemmung und Ufererosion erhebliche Schäden an Gebäuden, Infrastruktur und Kulturland zu verzeichnen. Das durchschnittliche Gerinnegefälle der Emme beträgt in diesem Abschnitt 2.1 %. Das Einzugsgebiet bis zum Räbloch umfasst 96.4 km^2 und ist zu 35.9 % bewaldet.

Weitere Untersuchungen erfolgten im Einzugsgebiet des Wildbaches Sädelgrabe. Durch die murgangartigen Abflüsse wurde dort enorm viel Geschiebe und Schwemmholz verfrachtet. Die Einzugsgebietsfläche des Sädelgrabe beträgt 1.3 km^2, ist zu 23 % bewaldet und das mittlere Bachgefälle liegt bei 26 %.

3.2 Methoden

Für die Erarbeitung einer Schwemmholzbilanz sind Angaben (1) zum Holzeintrag in das Gewässer, (2) zur Ablagerung von verfrachtetem Holz sowie (3) zu allfälligem Abtransport von abgelagertem Holz aus den überschwemmten Gebieten vor den Felderhebungen erforderlich. Allgemein wurden im Rahmen der Felderhebungen

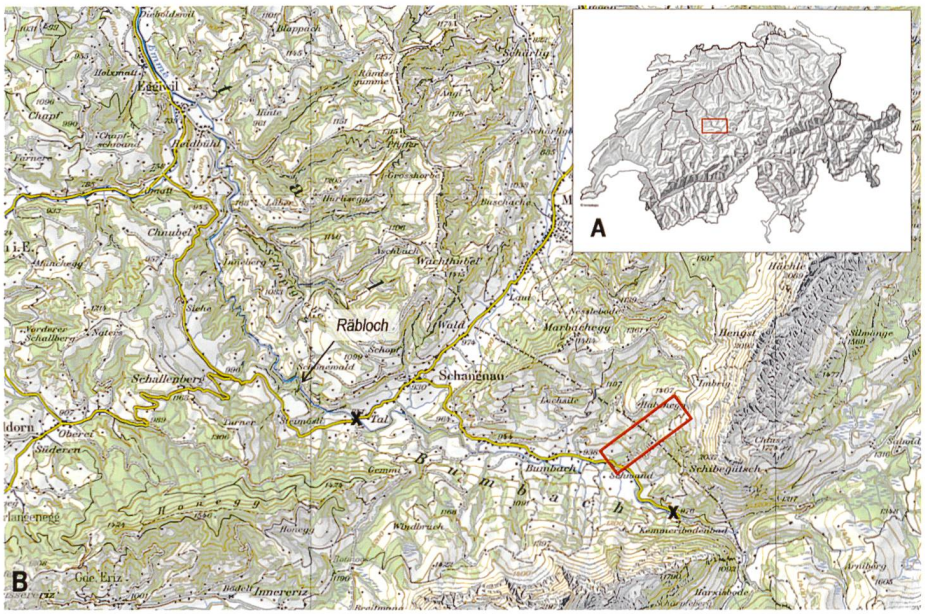

Bild 3. Übersicht über das obere Emmental mit (A) der geografischen Lage in der Schweiz und (B) dem Oberlauf der Emme (der untersuchte Abschnitt ist mit schwarzen Kreuzen markiert) sowie dem Seitenbach Sädelgrabe (rot markiert).

Bild 4. Schwemmholzhaufen, entnommen aus dem Bachbett des Sädelgrabe und im Rahmen von Sofortmassnahmen maschinell aufgeschichtet (Foto: WSL).

nur Schwemmholzstücke von mindestens 1 m Länge und 10 cm Durchmesser erfasst.

3.2.1 Sädelgrabe

Im Sädelgrabe wurden alle grösseren Rutschungen mit Holzeintrag in den Bach identifiziert und vermessen. Für Strecken mit Böschungserosion ergab sich die eingetragene Waldfläche aus der Abschnittslänge, der (hangparallelen) Höhe der Erosion sowie einem geschätzten Anteil der Abschnitte mit Erosion. Die Berechnung des durch Rutschungen und Böschungserosion in den Sädelgrabe eingetragenen Holzes beruhte auf der betroffenen Prozessfläche, multipliziert mit einem Holzvolumen (Vorrat) von 630 m^3/ha. Dieser vergleichsweise hohe Wert ergab sich aus der Bestimmung des Volumens auf einer bachnahen Referenzfläche und wurde abgeglichen mit dem Vorrat des nahe gelegenen Büetschligrabens, der im Rahmen eines Schwemmholzprojekts der WSL untersucht worden war (*Rickli* und *Bucher* 2006). Für steile Runsen erfolgte eine Abschätzung des Holzeintrages pro Laufmeter Runsenlänge (0.03 bzw. 0.07 m^3/m). Das verfrachtete Holz lagerte sich im Sädelgrabe sowohl flächig auf dem Kegel ab als auch im untersten, flacheren Abschnitt des Gerinnes. Im Zuge von Sofortmassnahmen schichteten die beauftragten Firmen einen Teil des Schwemmholzes aus dem Bachbett zu Holzhaufen entlang des Baches und der Gemeindestrasse auf *(Bild 4)*. Für die Ermittlung des Holzvolumens auf diesen Holzhaufen wurde das Volumen des Haufens bestimmt sowie das Verhältnis von Festmetervolumen zu Lockervolumen geschätzt. Die Grössenverteilung der Holzstücke konnte mit einer Linienstichprobe ermittelt werden (*Waldner et al.* 2008). Für die Bestimmung der flächig auf dem Kegel abgelagerten Holzmenge wurde der Kegel in mehrere Bereiche unterschiedlicher Ablagerungsdichten (m^3 Holz pro m^2) eingeteilt. In jedem Bereich wurden repräsentative Teilflächen ausgeschieden und die dort vorgefundenen Holzstücke vermessen. Aus der daraus resultierenden Ablagerungsdichte konnte mittels Hochrechnung das abgelagerte Holzvolumen für den jeweiligen Bereich bestimmt werden.

3.2.2 Emme

Der Eintrag von Holz in die Emme ergab sich aus den von Böschungserosion betroffenen Flächen *(Bild 5)*, multipliziert mit einem Vorrat von 500 m^3/ha. Dieser Wert entspricht dem oberen Grenzwert für Vorräte von Waldverlustflächen nach *Waldner et al.* (2009) und liegt etwas über dem Vorrat gemäss Landesforstinventar für die entsprechende Region von 460 m^3/ha (*Brändli* 2010). Das in den Böschungsbereichen der Emme abgelagerte Holz wurde bei den Felderhebungen in Durchmesser- und Längenklassen eingeteilt und anzahlmässig erfasst. Mit diesem Verfahren konnte das Volumen des abgelagerten Holzes verhältnismässig effektiv ermittelt werden. Eine sehr umfangreiche Schwemmholzablagerung bei Schwand wurde, wie die flächenhaften Ablagerungen auf dem Kegel des Sädelgrabe, auf einer Referenzfläche vermessen und dann auf die gesamte betroffene Fläche hochgerechnet. Längen und Durchmesser von abgelagerten Holzstücken auf den offenen Schwemmflächen entlang der Emme konnten zudem dank Pressefotos und Filmaufnahmen eines Helikopterfluges kurz nach dem Ereignis abgeschätzt werden (*Zurbrügg* 2015).

Zum Zeitpunkt der Erhebungen war ein Teil des Holzes aus den Gerinnen und überschwemmten Gebieten bereits auf einen Deponieplatz transportiert worden. Das Volumen dieses Holzes musste, basierend auf Daten zu Holztransporten ab dieser Deponie in die Verwertungsstelle, geschätzt werden (Angaben Forstrevier Eggiwil). Als weiteres Element in den Be-

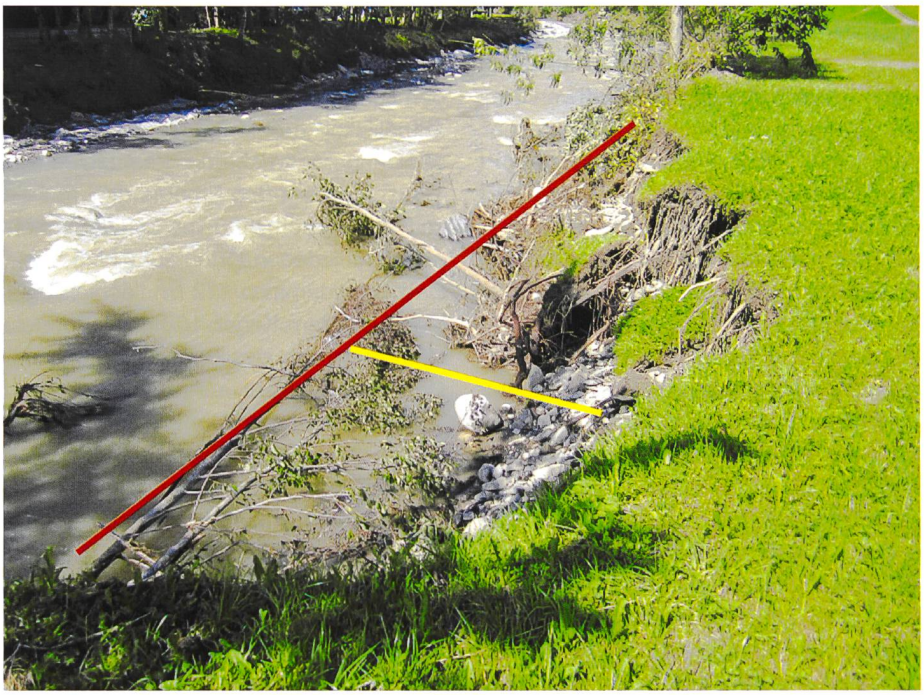

Bild 5. Vermessung der Böschungserosion: die rote Linie bezeichnet die Länge, die gelbe Linie die Breite der betroffenen Fläche (aus Zurbrügg 2015).

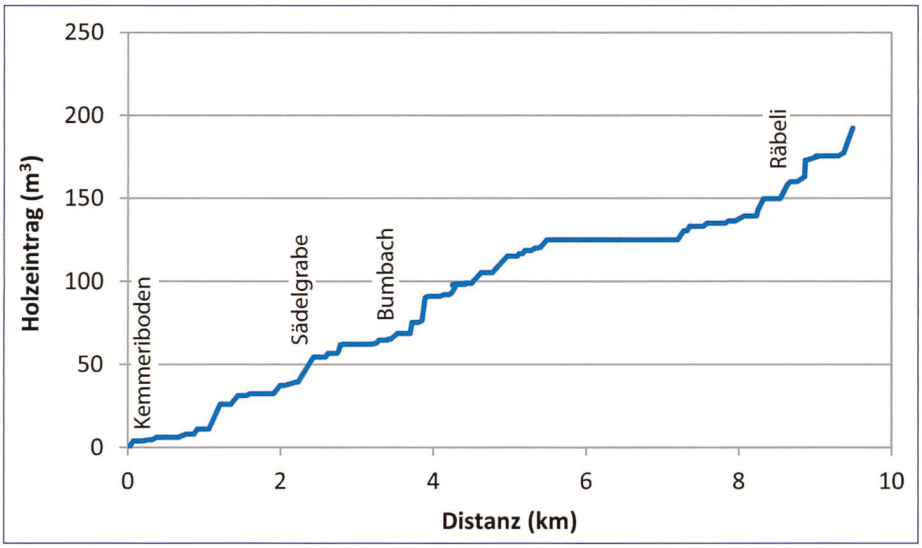

Bild 6. Summenkurve des Holzeintrages aufgrund von Böschungserosion entlang der Emme von Kemmeriboden bis Räbeli (vgl. Bild 3).

		Eintrag [m³]	Ablagerung [m³]	Schätzfehler [± m³]
Ein-trag	Rutschungen/Erosionen *(Feldaufnahme)*	331		± 66 m³
	Holz im Gerinne vorher *(Schätzung)*	150		±75 m³
Austrag	Haufen *(Feldaufnahme)*		100	±20 m³
	Abtransport *(mündl. Mitteilung)*		32	±11 m³
	Wald Schwemmkegel *(Feldaufnahme)*		172	±34 m³
	Freiland Schwemmkegel *(mündl. Mitteilung)*		25	±9 m³
	Holz in Gerinne nachher *(Schätzung)*		100	± 50 m³
	Holzdepot bei Kegelhals *(Schätzung)*		30	±15 m³
	Austrag in Emme *(Schätzung)*		40	±20 m³
	Bereich	340-622	340-658	
	Beste Schätzung	**481**	**499**	

Tabelle 1. Schwemmholzbilanz für den Sädelgrabe.

trachtungen zum Schwemmholztransport in der Emme wurden Entnahmen von Schwemmholz bei den Aare-Kraftwerken nach der Mündung der Emme in die Aare berücksichtigt. Entsprechende Daten wurden von den Betreibern der Kraftwerke zur Verfügung gestellt.

4. Resultate

4.1 Schwemmholz im Sädelgrabe

Im Gerinne des Sädelgrabe wurden insgesamt elf grosse Rutschungen und fünf Abschnitte mit Böschungserosion vermessen. Die dadurch in den Bach eingetragene Waldfläche beträgt knapp 5000 m² und das entsprechende Holzvolumen beläuft sich auf etwa 310 m³ *(Tabelle 1)*. Zudem fand Eintrag aus drei Runsen von je 100 bis 150 m Länge mit insgesamt ca. 20 m³ statt. Aus Rutschungen, Bachstrecken mit Böschungserosion und Runsen wurden somit insgesamt 331 m³ Holz in den Sädelgrabe eingetragen. Vor dem Ereignis lagen schätzungsweise 150 m³ Holz im Bachgerinne. Dieser Wert beruht einerseits auf einer Bewertung des örtlichen Forstdienstes und andererseits auf Untersuchungen der WSL in verschiedenen, ähnlichen Wildbächen der Schweiz (*Rickli* und *Bucher* 2006). Insgesamt wurden somit während des Ereignisses rund 480 m³ Holz mobilisiert und über kürzere oder längere Strecken verfrachtet.

Gemäss den Erhebungen im Feld kamen ungefähr 500 m³ Schwemmholz an verschiedenen Orten zur Ablagerung. Davon fanden sich 172 m³ flächig abgelagert auf dem Kegel, 100 m³ wurden zu Haufen entlang des Bachbettes und der Gemeindestrasse aufgeschichtet und 100 m³ lagen nach dem Ereignis noch im Bachbett des Sädelgrabe. Es wird vermutet, dass nur wenig Holz (ungefähr 40 m³) während des Unwetters aus dem Sädelgrabe bis in die Emme gelangte. Die entsprechende Bilanz für den Sädelgrabe ist in *Tabelle 1* zusammengestellt. Bei den angegebenen Volumina sind Unsicherheiten von bis zu 50 % eingerechnet.

4.2 Schwemmholz in der Emme

Im Rahmen der Studie wurde versucht, Elemente einer Schwemmholzbilanz für den Oberlauf der Emme zu bestimmen. Dazu gehören namentlich (1) der Eintrag von Holz durch Böschungserosion in die Emme, (2) die Schwemmholzablagerungen an den Ufern und auf Kiesbänken im Flusslauf der Emme sowie (3) Holz, welches im Rahmen von Aufräumarbeiten auf eine Deponie geführt wurde. Die Erhebungen im Feld ergaben, dass im Abschnitt von Kemmeriboden bis Räbeli aus insgesamt 64 Bereichen Holz durch Böschungserosion in die Emme eingetragen wurden. Dabei waren beide Ufer der Emme betroffen, insbesondere Prallhänge. Das durch diesen Prozess eingetragene Holzvolumen wird aufgrund der betroffenen Fläche von gut 3800 m² auf ungefähr 190 m³ geschätzt (*Zurbrügg* 2015). Über die gesamte Abschnittlänge betrug der Eintrag damit ungefähr 20 m³ pro Kilometer. Allerdings konnte der Holzeintrag auf einer Strecke von ca. 1.7 km (horizontaler Verlauf der Summenkurve in *Bild 6*) aufgrund der eingeschränkten Begehbarkeit nicht erfasst werden. Der auf den Felddaten basierende Eintrag betrug somit vom Beginn des Abschnitts bei Kemmeriboden bis zu Kilometer 5.5 etwa 23 m³/km und ab Kilometer 7.2 bis zum Abschnittende ungefähr 29 m³/km. Zum Eintrag in die Emme sind auch rund 40 m³ aus dem Sädelgrabe zu zählen *(Tabelle 2)*.

Entlang der beiden Ufer des untersuchten Abschnittes wurden insgesamt 334 m³ abgelagertes Schwemmholz erfasst, welches durch das Unwetter vom Juli 2014 verfrachtet worden war. Davon befanden sich 250 m³ auf einer einzigen Fläche in der Nähe des Hofes Schwand. Ein Teil dieses Holzes dürfte aus dem ebenfalls sehr aktiven Gärtelbach stammen. Weitere 26 m³ Holz konnten aufgrund von Filmaufnahmen während eines Helikopterfluges auf überschwemmten Flächen ermittelt werden. Die Summe des abgelagerten und identifizierten Schwemmholzes beträgt somit ungefähr 360 m³. Zudem wurden im Rahmen von Aufräumarbeiten und Sofortmassnahmen insgesamt etwa 300 m³ Schwemmholz aus überschwemmten Flächen auf eine Deponie transportiert. Davon dürften nach Auskunft des lokalen Forstdienstes ungefähr 100 m³ aus der Emme stammen. Als weiteres wichtiges Element der Bilanz ist eine umfangreiche Verklausung mit ungefähr 480 m³ Holz zu nennen, welche sich im Verlauf des Ereignisses ca. 1.6 km flussabwärts des untersuchten Abschnittes an einer natürliche Engstelle,

Abschnitt/Ort	Schwemmholz-ablagerungen [m³]	Schwemmholz-eintrag [m³]
Uferbereich der Emme von		
Kemmeriboden bis Räbloch	360	190
auf Deponie transportiertes Holz	100	
Kegelbereich des Sädelgrabe	460	40
Räbloch	480	–
Kraftwerke an der Aare	1500	–
Summe	2900	–

Tabelle 2. Transportierte Schwemmholzmengen während des Hochwassers vom Juli 2014 in der Emme.

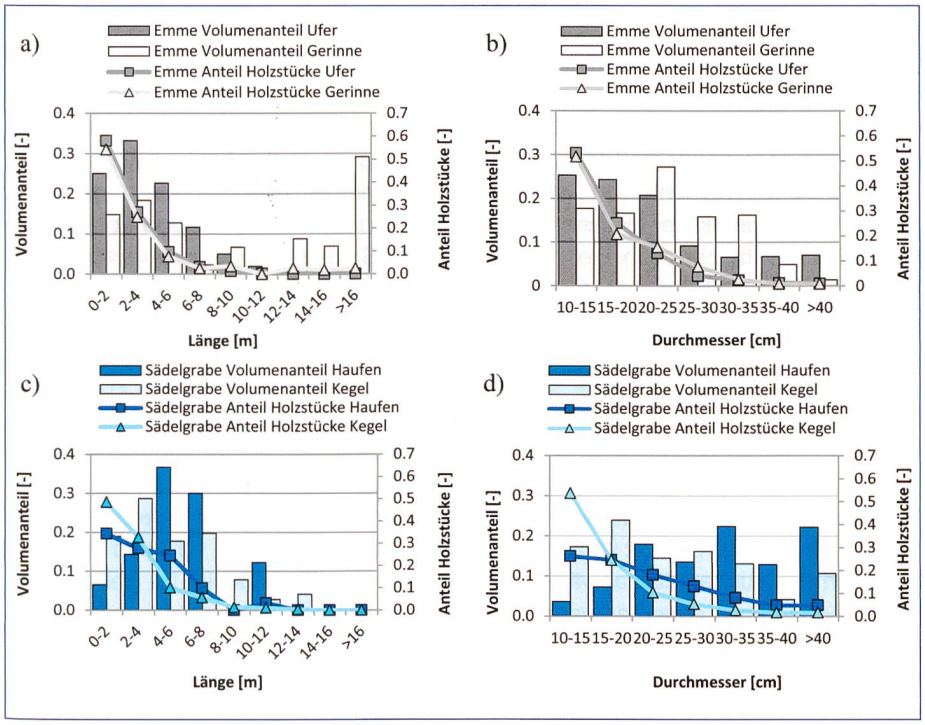

Bild 7. Längen- und Durchmesserverteilung des abgelagerten Schwemmholzes, unterteilt in Volumenanteile und Anteil der Stückzahl. Ablagerungen entlang der Emme am Ufer und auf einer Kiesbank im Gerinnebett (a und b) sowie beim Sädelgrabe aufgeschichtet auf Haufen (Linienzahlanalysen) und flächig abgelagert auf dem Schwemmkegel (c und d).

dem sogenannten Räbloch, gebildet hatte (vgl. Abschnitt 2 und *Bild 2*). Nicht bekannt ist leider, wieviel Holz aus dem Oberlauf oberhalb Kemmeriboden in den betrachteten Abschnitt verfrachtet wurde.

Weitere Hinweise ergaben sich aus Angaben zu Schwemmholzentnahmen bei Kraftwerken an der Aare. Nach Informationen von Kraftwerkbetreibern (Alpiq, Onyx) wurden nach dem Ereignis bei fünf Kraftwerken flussabwärts der Mündung der Emme in die Aare (Flumenthal, Bannwil, Wynau, Ruppoldingen und Gösgen) insgesamt rund 1500 m³ Holz entnommen. Dieses Holz stammt nach Einschätzung eines Mitarbeiters der Alpiq Hydro AG praktisch vollständig aus der Emme (mündliche Mitteilung *R. von Arx*).

Eine grobe Schwemmholzbilanz für die Emme beim Hochwasser 2014 kann am besten aufgrund der Summe aller bestimmten oder geschätzten Ablagerungen von Schwemmholz angegeben werden *(Tabelle 2)*. Diese beträgt rund 2900 m³ und setzt sich aus den oben erläuterten Zahlen und den 460 m³ Schwemmholz auf dem Kegel des Sädelgrabe zusammen.

Für die Bestimmung der Summe des Schwemmholzeintrages sind zu viele Elemente unbekannt, und die Erstellung einer abschliessenden Bilanz war deshalb nicht möglich. Aufgrund der Informationen zum Hochwasser vom Juli 2014 in der Emme kann jedoch angenommen werden, dass der Schwemmholzeintrag im Wesentlichen entlang des Gerinnesystems im Einzugsgebiet oberhalb von Eggiwil erfolgte. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die in die Emme bis Eggiwil eingetragene Holzmenge ungefähr der Summe der beobachteten Schwemmholzablagerungen von 2900 m³ entspricht *(Tabelle 2)*.

4.3 Grössenverteilung des abgelagerten Schwemmholzes

Entlang der Emme wurden 1626 Holzstücke am Ufer und 116 Stücke auf Flächen vermessen. Im Sädelgrabe waren es 298 Holzstücke auf Referenzflächen auf dem Schwemmkegel und 61 Stücke auf Haufen am Bachufer und entlang der Gemeindestrasse. In den *Bildern 7a* bis *7d* sind die Grössenverteilungen der abgelagerten Schwemmholzstücke dargestellt. Es zeigt sich, dass der Anteil Holzstücke bei allen Verteilungen mit zunehmender Länge und Durchmesser der Stücke abnimmt. In Bezug auf den Volumenanteil wird diese Abnahme des Anteils Holzstücke durch zunehmendes Stückvolumen mindestens teilweise ausgeglichen (siehe z. B. *Bild 7d*). Bei der Emme wurden mehr dünne und kürzere Stücke (< 20 cm; < 8 m) am Ufer und mehr dickere und lange Stücke auf der Kiesbank im Gerinne der Emme gefunden. Auf der Kiesbank machen Bäume mit Längen von mehr als 12 m ungefähr 45 % des Schwemmholzvolumens aus. Auf den Haufen im Sädelgrabe befinden sich in der kleinsten Durchmesser- und Längenklasse vergleichsweise geringere, in den grösseren Klassen (> 20 cm; > 4 m) dafür grössere Anteile an der Gesamtprobe.

5. Diskussion und Folgerungen

Das Ereignis vom 24. Juli 2014 bot eine gute Gelegenheit, aktuelle Daten zu Eintrag, Transport und Ablagerungen von Schwemmholz zu erfassen. Entsprechende Informationen erlauben Rückschlüsse auf den Ablauf der Gefahrenprozesse und dienen damit auch dazu, die Prognosemöglichkeiten zu verbessern. Die Ergebnisse dieser Studie finden auch Verwendung in den verschiedenen Untersuchungen des BAFU Schwemmholzprogramms «Schwemmholz-Management an Fliessgewässern» (*Ruiz-Villanueva et al.* 2016). Im Rahmen dieses Programms werden Untersuchungen zu Quellen und Eintragsprozessen von Schwemmholz, zu Transport und Ablagerung sowie den damit verbundenen Gefahren und Risiken bearbeitet. Gemeinsam leisten die Eidgenössischen Forschungsanstalt, WSL, das Dendrolab.ch der Universität Genf, die Berner Fachhochschule, HAFL, sowie die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, der ETH Zürich Beiträge zum Programm.

5.1 Unsicherheiten

Die Resultate aus der vorliegenden Studie sind mit einigen Unsicherheiten verbunden. Obwohl die Feldaufnahmen so schnell wie möglich im Anschluss an die Auftragserteilung in Angriff genommen wurden, gingen leider durch die rasch fortschreitenden Aufräumarbeiten ein Teil der Schwemmholzrelevanten Informationen verloren. Im Wettlauf mit den Aufräumarbeiten mussten die Aufnahmemethoden teilweise vereinfacht werden. Aufgrund der beschränkten Zeitressourcen konnte nicht jedes Schwemmholzstück einzeln vermessen werden, und es musste vielmehr nach einfacheren Erhebungsmethoden gesucht werden, welche naturgemäss mit einem gewissen Schätzfehler verbunden sind. Dazu gehören beispielsweise die Abgrenzung von Referenzflächen mit Vermessung aller Holzstücke und anschliessendem Hochrechnen auf die betreffende Fläche, die Anwendung von Linienzahlanalysen für die Bestimmung der Grössenverteilung auf Schwemmholzhaufen, die Erfassung der Böschungserosion für bestimmte Strecken mit repräsentativen Höhen und einem geschätzten Längenanteil, der Eintrag durch Runsen mit einem vermuteten Volumen pro Laufmeter Runse sowie die vereinfachte Erhebung von abgelagertem Schwemmholz entlang der Emme durch Einteilung der Holzstücke in Längen- und Durchmesserklassen. Eine erhebliche Unsicherheit im Hinblick auf die Abschätzung des Holzeintrages aus Erosionsflächen und Rutschungen stellt das Holzvolumen auf den eingetragenen Waldflächen dar. Dieser Wert ist in der Regel nicht bekannt und muss angenommen werden, wobei Erfahrungswerte des lokalen Forstdienstes oder Inventare, beispielsweise das Landesforstinventar, LFI, (*Brändli* 2010) beigezogen werden können. Eine weitere Möglichkeit könnte in Zukunft auch die Auswertung des Vegetationshöhenmodells (*Ginzler* 2016) liefern. Für die vorliegende Untersuchung wurde der verbleibende Waldbestand mittels Vermessung einer Referenzfläche beurteilt und mit gemessenen Werten aus einer Studie in einem benachbarten Gebiet verifiziert.

5.2 Sädelgrabe

Für den Sädelgrabe konnten aufgrund der Felderhebungen sowohl der Eintrag durch Rutschungen und Erosion als auch die Ablagerungen relativ gut abgeschätzt werden, was die Erstellung einer groben Schwemmholzbilanz ermöglichte. Eine beträchtliche Unsicherheit hinsichtlich dieser Bilanz besteht jedoch zur Frage, wie viel Holz vor dem Ereignis, aber auch nach dem Ereignis im Gerinne lag. Hier wurden einerseits Erfahrungswerte des lokalen Forstdienstes und andererseits Ergebnisse einer früheren Schwemmholzstudie verwendet (*Rickli* und *Bucher* 2006). Gemäss Felderhebungen wurden im Verlauf des Ereignisses im Sädelgrabe ungefähr 500 m^3 Holz mobilisiert. Dieses Ergebnis ist deutlich höher als Werte, die mit der Schätzformel nach *Rickenmann* (1997) errechnet werden. Spuren im Gelände weisen jedoch auf stark Geschiebe führenden bis murgangartigen Abfluss hin, was die beträchtliche Rutschaktivität in den Einhängen mit grossem Holzeintrag, und damit verbunden auch die aussergewöhnliche Schwemmholzverfrachtung im Sädelgrabe erklären könnte. Die Bäche auf der orographisch rechten Seite der Emme waren wesentlich aktiver als jene auf der linken Seite, wahrscheinlich, weil die Niederschlagsintensität in diesem Gebiet am grössten war (*ARGE GEOTEST AG/Geo7 AG* 2015).

5.3 Emme

Für den Untersuchungsabschnitt der Emme konnte keine vollständige Schwemmholzbilanz erstellt werden, da sowohl der Eintrag von Holz von oberhalb wie auch der Austrag flussabwärts nicht ausreichend genau eruierbar waren. Dagegen konnten für den Abschnitt die Bereiche mit Seitenerosion verhältnismässig detailliert erfasst werden. Der daraus resultierende Schwemmholzeintrag unterliegt dennoch einer gewissen Unsicherheit, da der Holzvorrat in den Böschungen vor dem Ereignis nicht genau bekannt war. Auch die Schwemmholzablagerungen entlang der Emme zwischen Kemmeriboden und Räbloch konnten weitgehend zuverlässig aufgenommen werden. Hier wurden allerdings vor den Feldbegehungen bereits viele Aufräumarbeiten durchgeführt. Die Auswertung von Bildmaterial eines Helikopterfluges ergab jedoch, dass in den freien, bereits geräumten Flächen keine grossen Schwemmholzmengen abgelagert worden waren. Die Grössenordnung des Schwemmholztransportes in der gesamten Emme bis zur Mündung in die Aare konnte aufgrund einer Zusammenstellung aller bestimmten und geschätzten Schwemmholzablagerungen grob beziffert werden. Mit einem Wert von etwa 2900 m^3 ist diese ungefähr vergleichbar mit den Mengen, wie sie während des Hochwassers 2005 transportiert worden waren (*Waldner et al.* 2008).

5.4 Grössenverteilungen

Grössenverteilungen von Schwemmholzstücken sind wichtig für die Beurteilung von kritischen Stellen, vor allem Brückenquerschnitten. Bei den Ablagerungen im Kegelbereich des Sädelgrabe zeigte sich, dass sich in den Holzhaufen eher grössere Holzstücke befanden als in den Ablagerungen auf dem Kegel. Dies ist auf zwei Gründe zurückzuführen. Erstens wurden grössere Stücke vermutlich eher im Gerinne transportiert und dann von der Verklausung aufgehalten, während kleinere Stücke vermehrt auch weiter oben aus dem Gerinne herausgeschwemmt wurden. Zweitens sind diese Haufen maschinell aufgeschichtet worden, wodurch ein Teil der kleineren Stücke vermutlich «verloren» ging. In der Emme fällt auf, dass auf einer Kiesbank besonders viele lange Bäume zu finden waren. Dort sind die kürzeren Stücke weniger gut vertreten, da diese vermutlich vom Hochwasser weiter flussabwärts verfrachtet wurden.

5.5 Erfahrungen

Anhand der Erfahrungen aus der vorliegenden Studie können für künftige Ereignisanalysen verschiedene Schlüsse gezogen werden. Da jeweils nach Unwetterereignissen rasch aufgeräumt wird und nicht das ganze betroffene Gebiet im gleichen Detaillierungsgrad untersucht werden kann, muss möglichst unverzüglich entschieden werden, wo, mit welcher Zielsetzung und mit welcher Genauigkeit Felddaten zu Schwemmholz erhoben werden sollen. Zudem sollte eine möglichst schnelle Auftragserteilung angestrebt werden. Die Auswahl eines Abschnittes der Emme im Zentrum des Schadengebietes und des Sädelgrabe als Beispiel für einen aktiven Seitenbach hat sich bewährt. In beiden Untersuchungsgebieten war es möglich, Daten zu Eintrag und Ablagerung von Holz aufzunehmen. Eine ungefähre Bilanz konnte jedoch nur im relativ überschaubaren Einzugsgebiet des Sädelgrabe bestimmt werden. Aufgrund der in der Regel rasch einsetzenden Aufräumarbeiten empfiehlt es sich, bei Ereignisdokumentationen möglichst einfache und zeitsparende Erhebungsmethoden anzuwenden. Der Kontakt mit den Beauftragten der lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) und die Möglichkeit, an den entsprechenden Sitzungen teilzunehmen, hat sich als sehr vorteilhaft erwiesen. Insbesondere für die Ermittlung der Eintragsflächen würde eine Befliegung des Schadengebietes nach einem Ereignis wertvolle Hinweise geben; allenfalls wäre auch der Einsatz einer Drohne zu überlegen.

Verdankung
Wir danken dem BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, für den Auftrag und die damit verbundene Möglichkeit, weitere Erfahrungen im Zusammenhang mit Schwemmholz sammeln sowie Daten für weiterführende Projekte erheben zu können. Weiter sind wir dem Kanton Bern, Oberingenieurkreis IV, sowie der ARGE GEOTEST AG/Geo7 AG dankbar für die Möglichkeit, im Rahmen der lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) Einblick nehmen und mitwirken zu können. Ramon Stalder danken wir für die Mithilfe bei den Feldarbeiten und Nicolas Steeb für die wertvollen Kommentare zum Manuskript.

Literatur

ARGE GEOTEST AG/Geo7 AG (2015): Lokale, lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE) Schangnau-Eggiwil, Unwetter 24. Juli 2014. Bericht zuhanden Tiefbauamt des Kantons Bern Oberingenieurkreis IV, 118 S. + Anhang.

Bänziger, R. (1990): Schwemmholz im Unwettersommer 1987. Schweiz. Ingenieur und Architekt, 47, 1354–1358.

Bezzola, G.R., Hegg, C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2007, Teil 2 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umweltwissen NR. 0707. 215 S.

Brändli, U.-B. (Red.) (2010): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004 – 2006. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, BAFU. 312 S.

Ginzler, C., Hobi, M. (2016): Das aktuelle Vegetationshöhenmodell der Schweiz: spezifische Anwendungen im Waldbereich. Schweiz Z Forstwes 167 (2016) 3: 128–135

Rickli, C., Bucher, H. (2006). Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholvorkommen in Wildbächen. Projektbericht Dezember 2006, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.

Rickenmann, D. 1997: Schwemmholz und Hochwasser. «Wasser Energie Luft» 89 (5/6), 115–119.

Ruiz-Villanueva, V., Badoux, A., Boes, R.M., Rickenmann, D., Rickli, C., Schalko, L, Schmocker, L., Schwarz, M., Steeb, N., Stoffel, M., Weitbrecht, V. (2016): Large wood research in Swiss watercourses. Proc. 8th Int. Conf. on Fluvial Hydraulics, St. Louis.

Waldner, P., Schmocker, L., Sutter, F., Rickenmann, D., Rickli, C., Lange, D., Köchli, D. (2008): Schwemmholzbilanzen. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. 136–143.

Waldner, P., Köchli, D., Usbeck, T., Schmocker, L., Sutter, F., Rickli, C., Rickenmann, D., Lange, D., Hilker, N., Wirsch, A., Siegrist, R., Hug, C, Kaennel, M. 2009: Schwemmholz der Ereignisanalyse des Hochwassers 2005. Schlussbericht des Teilprojekts «Schwemmholz» zu Handen BAFU/WSL. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 72 S.

Zurbrügg, S. (2015): Hochwasseruntersuchung und Feldstudie zur Quantifizierung des Transports und der Ablagerung von Schwemmholz während einem extremen Ereignis: Die Überschwemmung vom Juli 2014 in der Emme (Schweiz). BSc-Thesis. Universität Bern, Schweiz.

Anschrift der Verfasser
Christian Rickli, Martin Böckli, Alexandre Badoux, Dieter Rickenmann, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
Salome Zurbrügg, Virginia Ruiz-Villanueva, Markus Stoffel, Dendrolab.ch, Institut für Geologie, Universität Bern, Baltzerstrasse 1+3, CH-3012 Bern
Markus Stoffel, Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, Boulevard Carl-Vogt 66, CH-1205 Genève.

künz

Hans Künz GmbH | 6971 Hard - Austria
T +43 5574 6883 0 | sales@kuenz.com | www.kuenz.com

TÖRMER ENERGY

Zu verkaufen

3 WKW mit 1,2 MW

in Frankreich / Lothringen

Tel.: +49 391/251 43 89 • Mail: office@toermer.com
www.toermer.com