Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 106 (2014)
Heft: 3

Artikel: Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz
Autor: Andres, Norina / Badoux, Alexandre / Turowski, Jens M.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939750

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz

Norina Andres, Alexandre Badoux, Jens M. Turowski

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die durch Geschiebetransport und Gerinneerosion in der Schweiz verursachten finanziellen Schäden für die Periode 1972-2011 untersucht. Als Datengrundlage dient die Unwetterschadens-Datenbank der Eidg. Forschungsanstalt WSL. Infolge Geschiebetransportprozessen entstanden in diesem Zeitabschnitt geschätzte Schadenskosten von 4.3 bis 5.1 Mrd. CHF. Der Anteil der Geschiebeschäden an den gesamten von der WSL erfassten Unwetterschäden beträgt über diese 40 Jahre rund 35%, variiert jedoch stark von Jahr zu Jahr. Am stärksten betroffen sind dabei die Bergkantone Wallis, Tessin, Uri und Bern.

1. Einleitung

Die Naturgefahrenprozesse Hochwasser, Murgänge, Rutschungen und Sturz/Steinschlag verursachten von 1972 bis 2011 in der Schweiz durchschnittliche finanzielle Schäden von ca. 330 Mio. CHF (*Andres et al.*, 2013). Vor allem in Bächen und Gebirgsflüssen alpiner Regionen sind Hochwasser meist von fluvialem Geschiebetransport begleitet. Grosse Schäden können entstehen, wenn solche Gewässer ausufern und es zu Übersarungen kommt (z.B. *Jäggi et al.*, 2004). Wo Gebirgsflüsse auf dicht besiedelte Gebiete und Infrastruktur treffen, ist das Schadenspotenzial beträchtlich (z.B. *Bezzola et al.*, 1994). Auch Seitenerosion entlang von Flüssen führt während ausserordentlichen Hochwassern zu grossen Schadenskosten (*Hunzinger* und *Durrer*, 2008), z.B. wenn Landwirtschaftsland weggeschwemmt wird oder wenn Gebäude und Infrastruktur beschädigt oder zerstört werden.

Die Bewertung von Unwetterschäden über grosse räumliche und zeitliche Skalen ist wichtig und unterstützt die Definition und Beurteilung von Schutzzielen. Kenntnisse zu Ort und Schwere von Schäden durch Geschiebetransportprozesse können Grundlagen für Gefahrenkartierung und Gefahrenplanung liefern und helfen, die Effizienz von bestehenden Schutzmassnahmen zu bestimmen.

In einer vorhergehenden Studie an der Eidg. Forschungsanstalt WSL (*Badoux et al.*, 2014) sind die durch Geschiebetransportprozesse verursachten finanziellen Schäden für sieben Regionen der Schweiz und die Jahre 1972 bis 2011 erstmals abgeschätzt und genauer untersucht worden. Im vorliegenden Beitrag werden die Resultate dieser Studie zusammengefasst und die Geschiebeschäden für die einzelnen Schweizer Kantone ausgewertet.

2. Daten und Metoden

2.1 Daten aus der Unwetterschadens-Datenbank WSL

Die Basis für unsere Auswertung bildet die Unwetterschadens-Datenbank der WSL, in welcher Angaben zu finanziellen Schäden durch Hochwasser, Murgänge, Rutschungen und Sturzprozesse seit 1972 gesammelt werden (*Schmid et al.*, 2004; *Hilker et al.*, 2009). Zu diesem Zweck werden Meldungen aus rund 3000 Schweizer Zeitungen und Zeitschriften sowie zusätzliche Informationen z.B. von Versicherungen oder Behörden ausgewertet. Der finanzielle Schaden jedes Ereignisses wird aufgrund dieser Informationsquellen und langjähriger Erfahrung der WSL-Mitarbeitenden abgeschätzt. In den Schadenskosten sind versicherte Sach- und Personenschäden genauso wie nicht versicherte oder nicht versicherbare Schäden berücksichtigt. Indirekte Schäden, spätere Sanierungsmassnahmen oder ideelle Schäden werden hingegen nicht aufgenommen. Die Schäden werden drei Hauptkategorien zugewiesen: Sachwerte wie Gebäude, Schutzbauten und Fahrzeuge, Verkehr/Infrastruktur (z.B. Verkehrswege, Leitungen) sowie Wald/Landwirtschaft. Für unsere Auswertungen wurde die Teuerung berücksichtigt.

2.2 Abschätzung der Schäden durch Geschiebetransportprozesse

Aus den insgesamt 19013 Einträgen der Unwetterschadens-Datenbank WSL im Zeitraum von 1972 bis 2011 wurden mit einer Suche nach 22 Schlagwörtern Ereignisse extrahiert, bei denen Schäden durch fluvialen Geschiebetransport (hauptsächlich Übersarung) und Erosion (z.B. Ufererosion, Schäden an Schutzbauten, Kolkbildung) entstanden sind. Als Geschiebe wurde dabei Material mit Korngrössen, die mindestens der Sandfraktion entsprechen, betrachtet. Schadenskosten infolge von Murgängen wurden nicht in die Untersuchung miteinbezogen. Nach der Bereinigung der extrahierten Ereignisse blieben 3588 Einträge übrig, für welche in einem weiteren Schritt eine minimale und maximale Schätzung für den finanziellen Schaden des Ereignisses durchgeführt wurde. Je genauer der Schaden bestimmbar war, desto kleiner war die Spannweite zwischen dem unteren und oberen Wert.

Oftmals war die Unterscheidung zwischen fluvialem Prozess und Murgangprozess nicht einfach. Diese Entscheidungen basierten auf dem Beschrieb des Ereignisses in der Datenbank und wurden zusätzlich durch Fotografien beispielsweise des Ablagerungsmusters, Karten, Expertenwissen und/oder Aussagen Ortsansässiger unterstützt. Die Verlässlichkeit jeder Zuordnung zu einem Prozess wurde mit einem Unsicherheitsindex quantifiziert (1 = grosse Zuverlässigkeit bis 3 = schlechte/schwache Zuverlässigkeit, vgl. *Badoux et al.*, 2014).

3. Resultate

3.1 Zeitliche Verteilung der Geschiebeschadenskosten

Von 1972 bis 2011 verursachten Geschiebetransport und Gerinneerosion in der Schweiz je nach Schätzung einen aufsummierten Schaden zwischen 4.3 und 5.1 Mrd. CHF. Rund 73% der Geschiebeschäden betreffen Sachwerte, 25% den Verkehr und die Infrastruktur und 2% den Wald und die Landwirtschaft.

Die Höhe der Geschiebe- und Erosionsschäden variiert von Jahr zu Jahr stark mit mittleren jährlichen Kosten von 110 bis 125 Mio. CHF und einem Median von 13 bis 16 Mio. CHF *(Bild 1)*. Jahre mit hohen Schäden durch Geschiebeprozesse (z.B. 1978, 1987, 1993, 2005) wechseln sich ab mit Jahren mit geringen Schäden, wobei Jahre mit tiefen Schäden häufiger waren. Dies widerspiegelt sich im beträchtlichen Unterschied zwischen Mittelwert und Median. Auffallend sind die relativ geringen Anteile der Geschiebeprozessschäden in den Jahren 1999 und 2007, als vor allem das Flachland von grossen Überschwemmungen betroffen war (*BWG*, 2000; *Bezzola* und *Ruf*, 2009).

Der Anteil der Geschiebeschäden an den totalen Schadenskosten in der Unwetterschadens-Datenbank WSL beträgt 32% bis 37% über die gesamte Untersuchungsperiode, variiert allerdings ebenfalls von Jahr zu Jahr stark. Das Jahr 1993 war z.B. durch das September-Hochwasser in Brig geprägt, als die Saltina in Brig-Glis über die Ufer trat, grosse Teile der Stadt überschwemmte und viel Geschiebe ablagerte (s. Abschnitt 3.3). Aufgrund dieses Ereignisses wurde für das Jahr 1993 ein Anteil der Geschiebeschäden an den Gesamtschäden von 63% bis 67% berechnet.

Die saisonale Verteilung der Schadenswerte zeigt, dass die meisten durch Geschiebeprozesse verursachten Kosten im Sommer von Juni bis August (>75%) oder im Herbst von September bis November (ca. 23%) auftreten (s. *Tabelle 1*). Der am stärksten betroffene Monat ist mit ca. 56% aller Geschiebeschäden der August. Im Winter und Frühling treten nur ca. 2% aller Schäden auf. Der Anteil der Geschiebeschäden an den gesamten Unwetterschäden liegt für die Monate November bis Mai unter 10%. Im Juli, August und Oktober beträgt der Anteil knapp 40% und im September wird mit 61% der höchste Wert erreicht, welcher vor allem auf das Ereignis in Brig-Glis 1993 zurückzuführen ist.

3.2 Räumliche Verteilung der Geschiebeschadenskosten

Die räumliche Verteilung der Geschiebeschadenskosten zeigt klar, dass die Bergkantone am stärksten betroffen sind (*Bilder 2* und *3, Tabelle 2*). Im Kanton Wallis ist die obere Schätzung der Geschiebeschadenskosten mit 1089 Mio. CHF am höchsten, gefolgt vom Tessin (971 Mio. CHF), von Uri (939 Mio. CHF) und Bern (624 Mio. CHF). Über 70% der gesamten Geschiebeschäden der Schweiz fielen in diesen vier Kantonen an.

Der Anteil der Geschiebeschäden liegt für die Kantone Wallis und Uri im Bereich von 60% und bei den Kantonen Tessin, Obwalden und Nidwalden beträgt zumindest der obere Grenzwert mehr als 50%. Auffallend ist der verhältnismässig geringe Anteil beim Kanton Bern (20%, resp. 24%). Mit ca. 2570 Mio. CHF wurden dort die höchsten gesamten Schadenskosten erfasst. Die meisten betroffenen Gemeinden weisen die Kantone Bern (196 Gemeinden), Wallis (124) und Graubünden (102) auf *(Bild 3, Tabelle 2)*. Die Geschiebeschäden pro Person und Jahr sind im Kanton Uri am höchsten (631 CHF/Pers/Jahr), gefolgt vom Kanton Obwalden (205 CHF/Pers/Jahr). In den dichter besiedel-

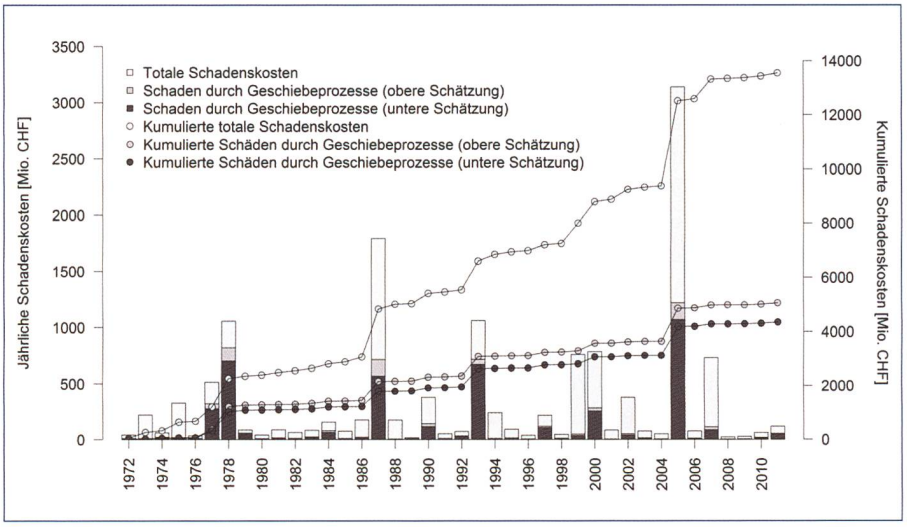

Bild 1. Jährliche Kosten durch Geschiebetransportprozesse für 1972–2011. Die ganze Länge der Säulen entspricht den totalen, jährlichen Schadenskosten, welche in die Unwetterschadens-Datenbank WSL aufgenommen wurden, und die zwei dunkleren Grautöne entsprechen der unteren und oberen Schätzung der Geschiebeschäden. Die Linien zeigen die kumulierten Schäden der totalen Kosten und der durch Geschiebeprozesse verursachten Kosten.

Monat	Geschiebeschäden (untere Schätzung)		Geschiebeschäden (obere Schätzung)		Totale Schadenskosten	Geschiebeschäden / totale Schadenskosten
	[Mio. CHF]	[%]	[Mio. CHF]	[%]	[Mio. CHF]	[%]
Januar	0.8	< 0.1	1.1	< 0.1	49.3	2
Februar	17.7	0.4	26.4	0.5	239	9
März	2.0	< 0.1	3.4	< 0.1	51.5	5
April	3.5	< 0.1	4.9	0.1	84.8	5
Mai	46.2	1.1	65.4	1.3	1018	5
Juni	127	2.9	161	3.2	1173	12
Juli	707	16.3	860	17.0	1991	39
August	2415	55.6	2826	55.8	6609	40
September	699	16.1	750	14.8	1180	61
Oktober	306	7.1	341	6.7	861	38
November	16.5	0.4	23.5	0.5	234	9
Dezember	1.3	< 0.1	2.4	< 0.1	64.3	3
Ganzes Jahr	4342	100	5065	100	13555	35

Tabelle 1. Monatliche Verteilung der Geschiebeschäden und der totalen Schadenskosten aus der Unwetterschadens-Datenbank WSL (Periode 1972–2011) sowie monatlicher Anteil der Geschiebeschäden an den totalen Schadenskosten. Für die Berechnung des Anteils wurde der mittlere Wert der unteren und oberen Schätzung verwendet.

ten Flachlandkantonen wie Schaffhausen, Thurgau oder Zürich liegt dieser Wert zwei bis drei Grössenordnungen tiefer. Die Geschiebeschäden pro Fläche und Jahr sind in den Kantonen Uri (20734 CHF/km²/Jahr), Obwalden (14985 CHF/km²/Jahr) und Nidwalden (9875 CHF/km²/Jahr) am grössten.

Auf die einzelnen Gemeinden bezogen, ergibt sich eine grosse räumliche Variabilität des Schadens durch Geschiebeprozesse *(Bild 3)*. Mittlere und hohe kumulative Kosten konzentrieren sich auf gebirgige Regionen. Es existieren nur einzelne Gemeinden, in denen sehr grosse Schäden aufgetreten sind. Meistens entstand der hohe Schaden durch ein einzelnes ausserordentliches Ereignis, z.B. in Brig-Glis 1993, als die Saltina über die Ufer trat (s. Abschnitt 3.3), in Sachseln 1997, als verschiedene Bäche, insbesondere der Dorfbach, viel Geschiebe ablagerten, in Schattdorf und Altdorf 2005, als der Schächen über die Ufer trat, in Losone und Locarno 1978, als die Melezza und die Maggia grosse Schäden anrichteten oder in Poschiavo 1987, als Geschiebe eines Murgangs aus dem Val Varuna sich bei der Brücke eingangs des Dorfes staute und der Poschiavino daraufhin ausbrach. Die meisten Gemeinden im Mittelland und Jura hingegen erlitten geringe Schäden durch Geschiebeprozesse.

Der Anteil der durch Geschiebeschäden betroffenen Gemeinden pro Kanton variiert zwischen 4.4% und 100% (s. *Tabelle 2*). Bei mehr als der Hälfte der Schweizer Kantone beträgt der Anteil mehr als 50%. Vor allem die Kantone Graubünden und Tessin zeigen in *Bild 3* eine grosse Heterogenität. Dort besteht die ganze Bandbreite von Gemeinden mit wenig oder keinem Geschiebeschaden bis hin zu sehr hohem kumulativem Schaden (>100 Mio. CHF). Dies zeigt auch der Anteil der durch Geschiebeschaden betroffenen Gemeinden während der 40-jährigen Studie (Tessin: 53%, Graubünden: 57%; *Tabelle 2*).

3.3 Geschiebeschadenskosten während Grossereignissen

Der Anteil der Geschiebeschäden an den totalen Schäden während grosser Hochwasserereignisse variiert von 4% bis 6% im Mai 1999 und 86% bis 92% im September 1993 (s. *Tabelle 3*). Hohe Werte sind vor allem auf Einzelereignisse mit ausserordentlich grossen Schäden durch Geschiebeprozesse zurückzuführen. Im September 1993 verursachten starke, lang andauernde Regenfälle viel Abfluss in der

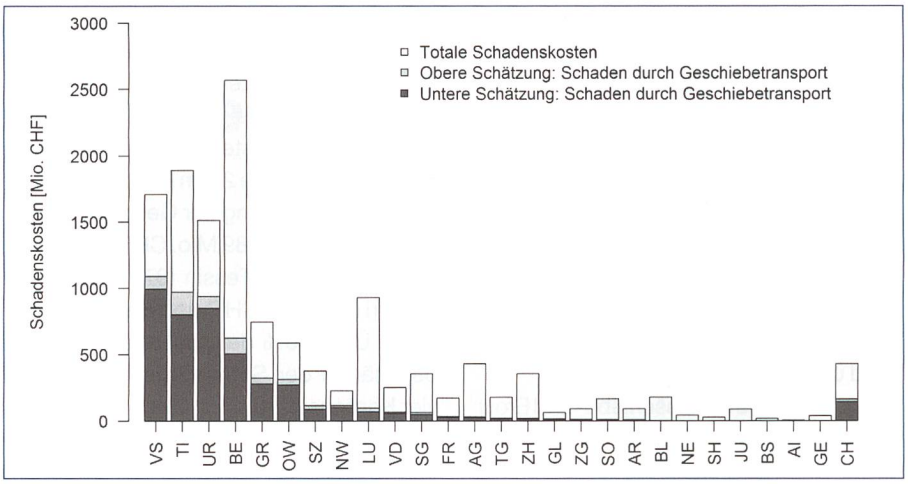

Bild 2. Verteilung der Schadenskosten nach Kantonen für die Periode von 1972 bis 2011: Totale Schadenskosten der Unwetterschadens-Datenbank WSL, untere und obere Schätzung der Schadenskosten durch Geschiebeprozesse. Rund 430 Mio. CHF der totalen Schadenskosten konnten nicht einem einzelnen Kanton zugeordnet werden (Abkürzung CH).

Kanton	Geschiebeschäden (untere Schätzung) [Mio. CHF]	Geschiebeschäden (obere Schätzung) [Mio. CHF]	Totale Schadenskosten [Mio. CHF]	Geschiebeschäden / totale Schadenskosten [%]	Anzahl Gemeinden (Stand 2011)			Geschiebeschäden pro Person und Jahr [CHF/Pers/Jahr]	Geschiebeschäden pro km² und Jahr [CHF/km²/Jahr]
					total	betroffen	[%]		
VS	995	1089	1710	58 - 64	142	124	87	82	4986
TI	800	971	1891	42 - 51	159	85	53	66	7875
UR	847	939	1513	56 - 62	20	19	95	631	20734
BE	505	624	2568	20 - 24	383	196	51	14	2368
GR	278	325	745	37 - 44	178	102	57	39	1062
OW	273	315	587	47 - 54	7	7	100	205	14985
SZ	91	117	378	24 - 31	30	30	100	18	2864
NW	102	116	228	44 - 51	11	11	100	66	9875
LU	72	99	930	7.8 - 11	87	77	89	5.6	1436
VD	56	67	254	22 - 26	339	48	14	2.1	480
SG	49	63	357	14 - 18	85	58	68	2.9	690
FR	29	35	172	17 - 20	168	35	21	2.8	474
AG	24	34	431	5.7 – 7.8	220	92	42	1.2	516
TG	19	22	180	10 - 12	80	32	40	2.0	520
ZH	15	21	356	4.3 – 5.8	171	69	40	0.3	261
GL	14	16	63	22 - 25	3	3	100	9.4	536
ZG	11	14	93	12 - 15	11	11	100	2.7	1314
SO	6.3	12	168	3.8 – 7.0	121	30	25	0.9	286
AR	5.0	7.5	93	5.4 – 8.1	20	17	85	2.9	643
BL	1.6	2.8	180	0.9 - 1.5	86	30	35	0.2	106
NE	1.4	2.0	44	3.2 - 4.5	53	14	26	0.2	52
SH	1.3	2.0	29	4.7 – 7.0	27	6	22	0.5	140
JU	0.7	1.4	91	0.8 - 1.5	64	11	17	0.4	31
BS	1.1	1.3	19	5.9 – 6.7	3	3	100	0.2	816
AI	0.7	0.8	5.5	12 - 15	6	4	67	1.2	107
GE	<0.1	0.1	41	0.1 - 0.2	45	2	4.4	<0.1	5.8
CH	144	166	430	34 - 39	–	–	–	–	–
total	4342	5065	13555	32-37	2519	1116	44	15	2848

Tabelle 2. Verteilung der Geschiebeschäden und der totalen Schadenskosten auf die verschiedenen Kantone (Periode 1972–2011). Rund 430 Mio. CHF der totalen Schadenskosten konnten keinem einzelnen Kanton zugeordnet werden (Abkürzung CH). Für die Berechnung der Geschiebeschäden pro Person und Fläche wurde der Mittelwert der unteren und oberen Schätzung verwendet. Quelle der Flächen und Bevölkerungszahlen: BFS.

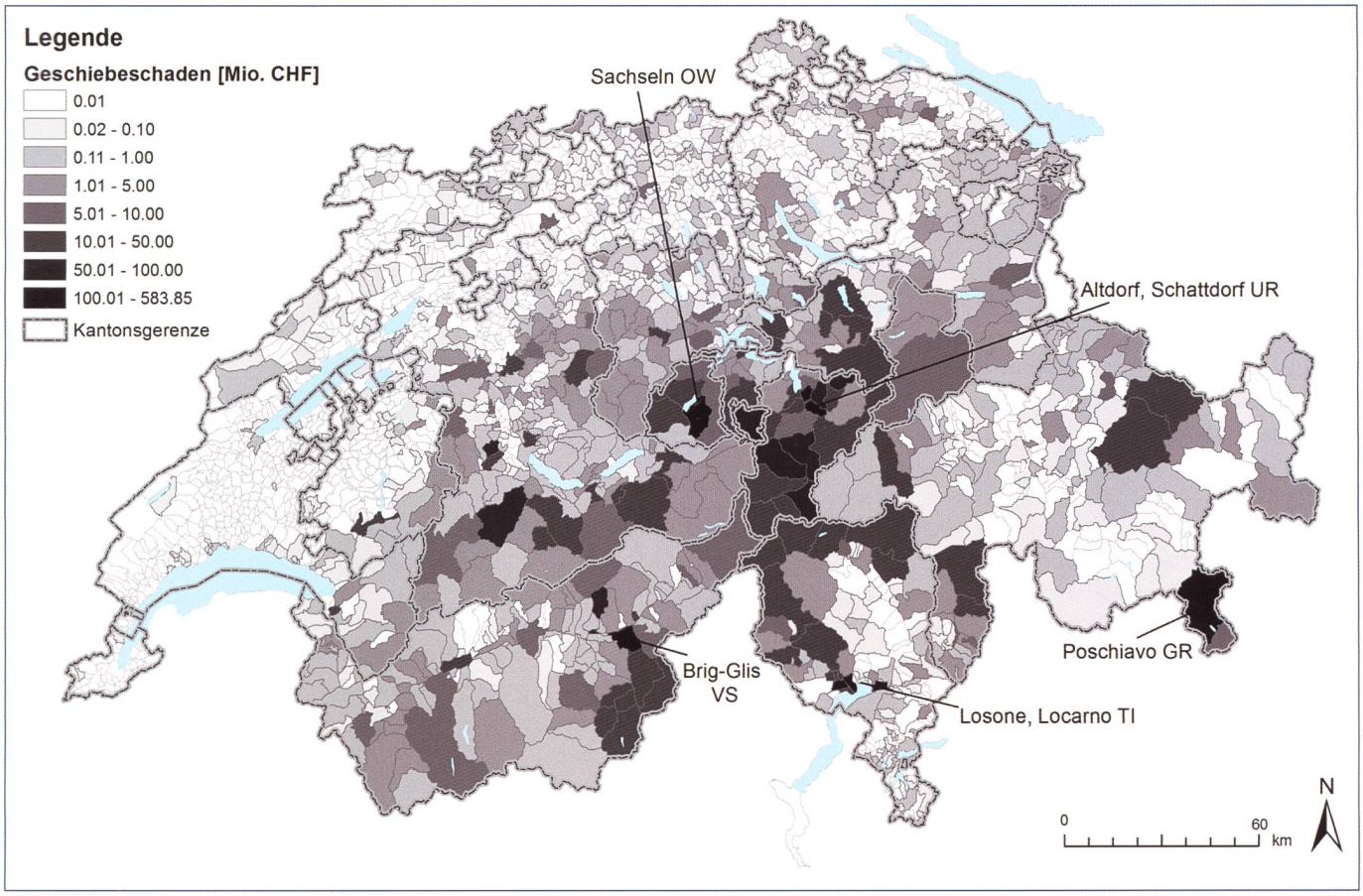

Bild 3. Verteilung der von 1972 bis 2011 kumulierten Schadenskosten durch Geschiebeprozesse auf die Gemeinden der Schweiz (Mittelwert der unteren und oberen Schätzung). Anmerkung: 460–535 Mio. CHF Schäden konnten nicht einer einzelnen bestimmten Gemeinde zugeordnet werden.

Jahr	Datum	Totale Schadenskosten (gerundet)	Geschiebeschäden (untere Schätzung) / totale Schadenskosten	Geschiebeschäden (obere Schätzung) / totale Schadenskosten
		[Mio. CHF]	[%]	[%]
1978	7. – 8. August	1020	68	80
1987	24. – 25. August	1140	34	42
1993	24. September	770	86	92
1999	11. – 15. / 20. – 22. Mai	640	4	6
2000	14. – 15. Oktober	730	34	38
2005	21. – 22. August	3120	34	39
2007	8. – 9. August	390	14	17

Tabelle 3. Anteil der Geschiebeschäden an den Gesamtschäden während ausgewählter Grossereignisse.

Saltina in Brig-Glis. Material sammelte sich unter einer Brücke und reduzierte den Durchfluss, woraufhin Wasser und Geschiebe über die Ufer traten, grosse Teile von Brig-Glis überschwemmten und zwei Todesopfer forderten. Vor allem wegen des Geschiebes waren die Schäden sehr hoch (*Bezzola et al.*, 1994; *Badoux* und *Rickenmann*, 2008). Das Gebiet um den Bahnhof Brig sowie weitere Stadtteile wurden mit grobem und feinem Ablagerungsmaterial bis zu einer Höhe von 2 m bedeckt. Viele Gebäude erlitten Schäden und wurden mit Wasser und Sediment aufgefüllt.

Im Gegensatz zu diesem Ereignis 1993 stehen die Hochwasserereignisse vom Mai 1999 und August 2007. Vor allem im nördlichen Teil der Schweiz führte Schneeschmelze kombiniert mit Regen im Frühling 1999 zu Schäden aufgrund des Anstiegs der Pegel der Seen (z.B. in Thun) und Flüsse (z.B. Aare in Bern). Im August 2007 waren nordwestliche Teile der Schweiz betroffen, wo die Kapazitäten der Seen (Neuenburgersee, Bielersee, Murtensee) und der tiefer liegenden Aare überschritten wurde. Bei diesen beiden Ereignissen wurden kaum Schäden durch Geschiebeprozesse verzeichnet.

4. Diskussion

Die Resultate zeigen den Bedarf an Methoden für die Prognose des Geschiebetransportes bei grossen Hochwasserereignissen. Solche Abschätzungen sind wichtige Grundlagen für Gefahrenkarten, für die Planung und den Bau von Massnahmen entlang von Gewässern und für die Planung von organisatorischen Massnahmen. Verschiedene Modellansätze wurden in dieser Hinsicht bereits erarbeitet und liefern aussichtsreiche und entwicklungsfähige Berechnungsresultate (z.B. *Nitsche et al.*, 2011; *Recking*, 2010). Geschiebetransportmessungen anhand von Geschiebefallen oder Rückhaltebecken sind wichtig für die Kalibrierung von solchen Transportberechnungen, jedoch oftmals teuer und zeitaufwendig (*Rickenmann et al.*, 2012). Billige, sogenannte indirekte Alternativen zur Messung, welche auf Akustik, Vibrationen oder Aufprallmessungen basieren, werden zurzeit entwickelt (*Gray et al.*, 2010), müssen aber mittels direkten Messungen im Feld oder im Labor geeicht werden.

Unsere Auswertungen stellen eine grobe Abschätzung der Geschiebeschäden dar. Unsicherheiten bestehen zum einen schon in der deskriptiven Quali-

tät und regionalen Abdeckung der Zeitungsartikel und Berichte, welche für die Unwetterschadens-Datenbank der WSL ausgewertet werden (*Hilker et al.*, 2009). Zum anderen ist die Definition der schadenverursachenden Prozesse und die Abschätzung der Schadenskosten durch Geschiebe, wie oben bereits erwähnt wurde, ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet. Die Auswertungen von *Badoux et al.* (2014) weisen allerdings darauf hin, dass die Unsicherheit bezüglich der beteiligten Prozesse in den 40 Untersuchungsjahren tendenziell abnimmt. Tatsächlich lässt sich auch eine Verbesserung der Informationsqualität in Zeitungsartikeln und -berichten feststellen. Wir gehen davon aus, dass eine Zunahme des Bewusstseins der Bevölkerung für Themen rund um Naturgefahrenprozesse erfolgt ist, welche beträchtliche Fortschritte in der Genauigkeit und Vollständigkeit der Medianabdeckung mit sich brachte. Es wird auch angenommen, dass die Optimierung des Ablaufs von Datenaufnahme und die Verarbeitung innerhalb der Datenbank zu einer Verbesserung der Datenqualität geführt hat.

Es erstaunt nicht, dass die Kosten durch Geschiebeprozesse vor allem in den Bergkantonen und Berggemeinden am höchsten sind. Steile Gebiete mit hohen Neigungen in den Gerinnen, kombiniert mit der Verfügbarkeit von Material und hohen Abflüssen, ermöglichen starken Geschiebetransport in den Bächen (*Badoux et al.*, 2014). Oftmals sind es abrupte Änderung in der Gerinneneigung (z.B. beim Kegelhals), welche dazu führen, dass sich das Geschiebe im Gerinne ablagert und der Bach über die Ufer tritt. Die Geschiebeschadenskosten machen in der Schweiz mit 32% bis 37% einen grossen Anteil an den Gesamtkosten aus; ein Resultat, das die Gefährdung durch Geschiebeprozesse unterstreicht. In vielen Bächen und Flüssen in der Schweiz existieren deshalb bereits Schutzmassnahmen. Deswegen ist anzunehmen, dass in anderen, weniger privilegierten Ländern der Anteil der Geschiebeschadenskosten höher ist.

Danksagung

Wir danken *M. Sieber* für die Hilfe bei der Datenauswertung und dem Bundesamt für Umwelt BAFU für die langjährige und massgebliche Unterstützung bei der Erfassung der Unwetterschäden. Wir bedanken uns zudem bei *C. Hegg, D. Rickenmann, B. McArdell, M. Böckli* und *M. Zappa* für ihre fachliche Unterstützung und bei *C. Rickli* für die wertvollen Kommentare zum Manuskript.

Literatur

Andres, N., Badoux, A., Hegg, C. (2013): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2012: Rutschungen, Murgänge, Hochwasser und Sturzereignisse. «Wasser Energie Luft», 105. Jg., Heft 1: 55–61.

Badoux, A., Andres, N., Turowski, J. M. (2014): Damage costs due to bedload transport processes in Switzerland. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 279–294.

Badoux, A., Rickenmann, D. (2008): Berechnungen zum Geschiebetransport während der Hochwasser 1993 und 2000 im Wallis, «Wasser Energie Luft», 100. Jg., Heft 3: 217–226.

Bezzola, G. R., Abegg, J., Jäggi, M. N. R. (1994): Saltinabrücke Brig-Glis (Rekonstruktion des Hochwassers vom 24. September 1993 in Brig-Glis), Schweizer Ingenieur und Architekt, 11, 165–169.

Bezzola, G. R., Ruf, W. (2009): Ereignisanalyse Hochwasser August 2007, Umwelt-Wissen Nr. 0927, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, Switzerland, 209 S.

BWG (2000): Hochwasser 1999, Analyse der Ereignisse, Studienbericht Nr. 10, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bern, 148 S.

Gray, J. R., Laronne, J. B., Marr, J. D. G. (2010): Bedload-surrogate Monitoring Technologies, US Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5091, US Geological Survey, Reston (VA), erhältlich hier: http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5091.

Hilker, N., Badoux, A., Hegg, C. (2009): The Swiss flood and landslide damage database 1972–2007, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 913–925.

Hunzinger, L., Durrer, S. (2008): Seitenerosion, in: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen, Herausgegeben von Bezzola, G.R. und Hegg, C., Umwelt-Wissen, Nr. 0825, Bundesamt für Umwelt BAFU & Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bern, S. 125–136.

Jäggi, M.N.R., Nigg, U., Teysseire, P. (2004): Die Sedimentkatastrophe von Baltschieder. In: Interpraevent 2004, Riva del Garda, Congress Publication, Vol. 3, pp. VII/165– VII/180.

Nitsche, M., Rickenmann, D., Turowski, J. M., Badoux, A., Kirchner, J. W. (2011): Evaluation of bedload transport predictions using flow resistance equations to account for macro-roughness in steep mountain streams, Water Resour. Res., 47, W08513.

Recking, A. (2010): A comparison between flume and field bed load transport data and consequences for surface-based bed load transport prediction, Water Resour. Res., 46, W03518.

Rickenmann, D., Turowski, J. M., Fritschi, B., Klaiber, A., und Ludwig, A. (2012): Bedload transport measurements at the Erlenbach stream with geophones and automated basket samplers, Earth Surf. Proc. Land., 37, 1000–1011.

Schmid, F., Fraefel, M., Hegg, C. (2004): Unwetterschäden in der Schweiz 1972–2002: Verteilung, Ursachen, Entwicklung. «Wasser Energie Luft», 96. Jg., Heft 1: 21–28.

Anschrift der Verfasser:
Norina Andres, Dr. *Alexandre Badoux*
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf
norina.andres@wsl.ch
Dr. *Jens M. Turowski*
Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland