



Ereignisanalyse der Hochwasser
vom August 2005
in Bächen des
Beobachtungsnetzes der GHO

Dr. C. Lehmann
Hydrologie - Wasserbau
Moosstrasse 8a
3322 Urtenen – Schönbühl
Tel (+41 31) 8594681
Fax (+41 31) 8521939
hydrologie@solnet.ch

Auftraggeber:
Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Hydrologie
3003 Bern

Projekt Ereignisanalyse Hochwasser 2005

**Ereignisanalyse der Hochwasser vom August 2005
in Bächen des Beobachtungsnetzes der GHO**

Sachbearbeitung: Dr. Christoph Lehmann, Dr. Eva Gertsch, Judith Dobmann
Projektleitung: Prof. Dr. Manfred Spreafico
Fachliche Begleitung: Dr. Adrian Jakob, Dr. Alessandro Grasso

Bern, 23. Februar 2009

Vorwort

Der vorliegende Bericht fasst die Untersuchungen bezüglich Erosion, Sedimenttransport und -ablagerung in ausgesuchten kleinen Einzugsgebieten der Schweiz nach dem Hochwasser 2005 zusammen. Bei den ausgesuchten Einzugsgebieten handelt es sich um Gebiete aus dem Geschiebesammler-Beobachtungsnetz der Gruppe für operationelle Hydrologie (GHO).

Einige wichtige Resultate dieser Untersuchungen sind bereits in den beiden Publikationen "Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 und Teil 2, BAFU/WSL dargestellt.

Im vorliegenden Bericht werden die angewandte Untersuchungsmethodik und die detaillierten Untersuchungen in 17 Einzugsgebieten aufgeführt. Die Untersuchungen erbrachten wertvolle Resultate nicht nur zu den Rückhaltevolumen in den Geschiebesammlern, sondern auch zu den abgelaufenen Prozessen in den Einzugsgebieten. Zudem konnten die Vorgänge während eines Extremereignisses und dessen Auswirkungen mit denjenigen über eine längere Untersuchungsperiode verglichen werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen aber auch, wie schwierig und aufwändig es ist, einigermaßen zuverlässige Schätzwerte bezüglich Erosion, Transport und Ablagerung von Sedimenten zu erarbeiten. Ebenso schwierig ist es die relevanten Prozesse und Entstehungsmechanismen zu erkennen und ihre Auswirkungen abzuschätzen. Die Weiterführung der Beobachtungen in den GHO-Gebieten kann einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der Kenntnislage liefern.

Der Bericht ist so aufgebaut, dass in einem ersten Teil eine Übersicht über die ausgeführten Untersuchungen und der angewendeten Methodik erfolgt. Anschliessend folgen Analyseergebnisse und eine Wertung derselben. Die Daten und Resultate zu den 17 Einzugsgebieten sind in Anhängen zusammengestellt.

Die Arbeiten wurden vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Auftrag gegeben.. Wichtige Grundlagen für die Arbeiten waren die Resultate des GHO-Geschiebemessnetzes. Ausgeführt wurde der Auftrag durch Christoph Lehmann, Fa. Lehmann Hydrologie - Wasserbau in Schönbühl, unterstützt durch Eva Gertsch und Judith Dobmann, Geographisches Institut der Universität Bern, und begleitet von Mitarbeitenden der Abteilung Hydrologie beim BAFU, insbesondere durch Adrian Jakob und Alessandro Grasso. Zudem lieferten Mitarbeiter von kantonalen Stellen und Gemeinden wertvolle Angaben zu den Auswirkungen der Hochwasser 2005. Allen sei an dieser Stelle für ihre Mitarbeit herzlich gedankt.

Prof. Dr. M. Spreafico
Leiter der Abteilung Hydrologie a.D.

Inhalt

1. Ausgangslage.....	5
2. Das Beobachtungsnetz GH0 und die Auswahl der Bäche	5
3. Methodik.....	7
3. 1. Beschreibung und Darstellung der Bäche	7
3. 2. Durchgeführte Untersuchungen im Rahmen der Ereignis-analyse	8
3. 3. Erfassung der Niederschlagsituation	8
3. 1. Datenerfassung.....	8
3. 3. 2. Berechnung Gebietsniederschlag	9
3. 3. 3. Einordnen des Ereignisses anhand der Angaben Meteoschweiz	9
3. 3. 4. Einordnen des Ereignisses anhand der „Starkniederschläge in der Schweiz“	9
3. 4. Schätzung der Abflüsse.....	10
3. 5. Bestimmung der Feststoffverlagerung	10
3. 5. 1. Bestimmung des Verlagerungsprozesses.....	10
3. 5. 2. Bestimmung der Erosionskubaturen	11
3. 5. 3. Bestimmung der Ablagerungskubaturen	11
3. 5. 4. Bilanz aufgrund der Felderhebung	12
3. 5. 5. Bestimmung der Kubaturen im Geschiebeablagerungsplatz	12
3. 5. 6. Vergleich der Feststofffracht mit Drittwerten	12
3. 5. 7. Vergleich der Feststofffracht mit bisherigen Daten der Geschiebeablagerung ...	12
3. 5. 8. Erhebung von Linienzahlanalysen	12
4. Das Ereignis	12
4. 1. Witterungsablauf.....	12
4. 2. Relevante Schadensgebiete.....	13
4. 3. Das Ereignis in den ausgewählten Wildbächen.....	14
4. 3. 1. Regionale Niederschlagsanalysen	14
4. 3. 2. Abflüsse	15
5. Analysen der Feststoffverlagerung.....	16
6. Wertung der Ereignisse	22
7. Fazit.....	25

Anhang A - R

Anhang A	Niederschlagsinformationen
Anhang B	Bitzighoferbach, Sarnen OW
Anhang C	Melbach, Kerns
Anhang D	Grosse Schliere Alpnach
Anhang E	Dürnbach, Engelberg
Anhang F	Edisriedbach, Sachseln
Anhang G	Steinibach Dallenwil
Anhang H	Humligenbach, Wolfenschiessen
Anhang I	Mühlebach Beckenried
Anhang J	Steinibach Hergiswil
Anhang K	Gangbach, Schattdorf
Anhang L	Valpargehra, Domat Ems
Anhang M	Val Gronda, Tschlin
Anhang N	Innerer Blindlouigraben, Lütschental
Anhang O	Grosse Bachtalen, Brienz
Anhang P	Eistlenbach Hofstetten
Anhang Q	Croisette, Bex
Anhang R	La Tinière, Villeneuve

1. Ausgangslage

Im August 2005 ereignete sich über grossen Teilen der Schweiz eine Witterungssituation, welche insbesondere im Kanton Bern, in der Zentral- und Ostschweiz zu verheerenden Schäden führte. Neben den grösseren Flüssen wie Aare, Thur, Emme usw. waren auch kleinere Bäche betroffen, u. a. auch solche des Geschiebebeobachtungsnetzes der Gruppe für Operationelle Hydrologie (GHO).

Das Beobachtungsnetz dient seit bald 20 Jahren der regelmässigen Erfassung von Ablagerungskubaturen in Geschiebesammlern. Seit kurzem werden in diesen Bächen zudem systematisch Einzugsgebietsparameter erfasst und Prozesse untersucht.

Ziel des vorliegenden Projektes war, die Ereignisse vom August 2005 in ausgewählten Wildbächen des Geschiebe-Beobachtungsnetzes des Bundesamtes für Umwelt und der Gruppe für operationelle Hydrologie (GHO) bezüglich der Feststoffherkunft, -verlagerung und -mengen zu analysieren, zu dokumentieren und einzuordnen.

2. Das Beobachtungsnetz GHO und die Auswahl der Bäche

Das Beobachtungsnetz GHO wurde nach den Unwettern des Jahres 1987 aufgebaut und umfasst momentan verteilt über die gesamte Schweiz mehr als 80 Einzugsgebiete. Die Abt. Hydrologie im Bundesamt für Umwelt (BAFU), die Eidg. Forschungsanstalt WSL und interessierte Kantone erfassen die Feststoffe in Geschiebeablagerungsplätzen nach einem gemeinsam festgelegten Konzept. Dabei werden die Beobachtungen primär durch die Kantone durchgeführt. Auf einheitlichen Meldeformularen werden die erhobenen Daten in der Regel alljährlich einmal an die Abt. Hydrologie übergeben. Wichtig ist die Unterscheidung zwischen der Feststofffracht eines Unwetters, einer Jahresfracht oder Mehrjahresfracht (wenn der Sammler nicht alljährlich geleert werden muss).

Folgende Parameter werden u. a., erhoben:

- ausgebaggerte Feststoffkubatur
- Erhebungszeitraum
- Ursache des Feststoffanfalls
- Zusammensetzung der Feststoffkubatur (Geschiebe, Feinmaterial, Holz)
- Transportprozess (Geschiebetransport, Murgang).

Die Daten werden an der Abteilung Hydrologie in der SOLID-Datenbank gespeichert und ausgewertet. Nach der Auswertung werden die Ergebnisse den involvierten Stellen zur Verfügung gestellt.

Die Beobachtungsdauer an den einzelnen Geschiebeablagerungsplätzen hängt von der Partizipation der einzelnen Kantone ab und ist unterschiedlich lang und weist bei einigen Bächen auch längere zeitliche Unterbrüche auf. Die längsten Beobachtungsreihen umfassen einen Zeitraum von beinahe 20 Jahren.

Für detaillierte statistische Auswertungen sind die Messreihen in der Regel noch zu kurz. Das Beobachtungsnetz muss ja sehr langfristig ausgelegt sein, wenn man bedenkt, dass in der Regel 1 Datenwert pro Jahr anfällt oder manchmal sogar seltener. Darüber hinaus sind die Daten nicht immer untereinander vergleichbar, da es sich manchmal um Ereignisfrachten, oft aber um Jahresfrachten oder gar Mehrjahresfrachten handelt.

Ab dem Jahr 2003 werden die zum Beobachtungsnetz gehörenden Einzugsgebiete systematisch dokumentiert, mit dem Ziel, aufgrund langjähriger Beobachtung die unterschiedlichen Verhaltensweisen der einzelnen Einzugsgebiete bezüglich Feststofftransport besser zu verstehen. Damit sollen Erkenntnisse für die Praxis abgeleitet werden. Die dokumentierten Parameter umfassten u. a. klimatische Faktoren, Geologie, Geomorphologie, Bodenbedeckung und Landnutzung sowie Wildbachgeschichte (Ereignisse

und Verbauungen), Abflussschätzungen und Schätzungen der Feststofffrachten. Die Gerinne werden zudem fotografisch dokumentiert.

Die Bäche für die Ereignisanalyse wurden aufgrund der folgenden Auswahlkriterien ausgesucht:

- Zugehörigkeit zum Geschiebe-Beobachtungsnetz der GHO. Im Gebiet muss ein Geschiebeablagerungsplatz vorhanden sein.
- Während des Ereignisses vom August 2005 fanden Feststoffverlagerungen statt
- Das Einzugsgebiet ist durch das BAFU nach oben beschriebener Methodik dokumentiert, womit ein Vergleich vor / nach dem Ereignis möglich ist

Letztere Vorgabe war nicht überall erfüllbar. Dies vor allem deshalb, weil die Anzahl der Bäche mit bereits fertiggestellter Dokumentation kombiniert mit Feststoffverlagerung während des August 2005 noch zuwenig umfangreich war.

Aufgrund der Wirkungsbereiche der Unwetter befinden sich die untersuchten Bäche schwerpunktmässig im zentralen Voralpenraum (Fig. 1; die Nummerierung der Bäche entspricht derjenigen in den Tabellen im Anhang).

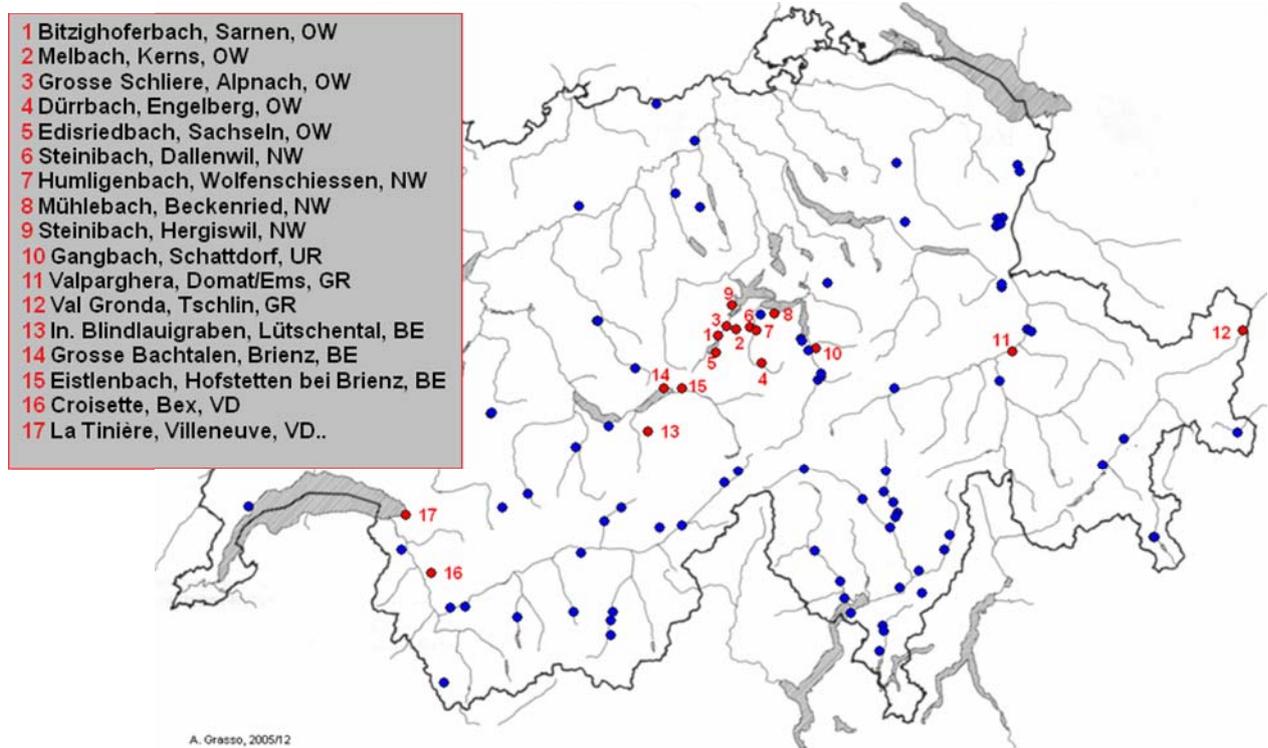


Fig. 1: Standorte und Namen der untersuchten Bäche aus dem Beobachtungsnetz GHO.

3. Methodik

3. 1. Beschreibung und Darstellung der Bäche

Eingehende Bachbeschreibungen über die 17 gewählten Einzugsgebiete bestanden bereits als Grundlage im Rahmen der allgemeinen Arbeiten des GHO-Messnetzes. Jeder Bach wurde nach folgenden Merkmalen untersucht:

- Allgemeine Angaben (Name des Gewässers, Lage des Geschiebeablagerungsplatzes)
- Wildbachgeschichte (wann haben welche Ereignisse stattgefunden)
- Angaben über Verbauungen
- Morphometrische Angaben über Einzugsgebiet und Gerinne
- Längenprofil des Hauptgerinnes
- Geologische Informationen inkl. Tektonische Zugehörigkeit, Lithologie, Quartärgeologie)
- Bodenbedeckung und Landnutzung
- Hydrologisches Regime
- Niederschlagskennwerte
- Geomorphologie der Gerinne.

Ferner wurden Hochwasserabschätzungen (Softwarepaket HAKESCH) und Schätzungen

des Geschiebepotenzials durchgeführt. Letzteres wurde anhand von Feldaufnahmen erhoben und gängigen Abschätzverfahren gegenüber gestellt.

Für den Geschiebeablagerungsplatz wurden folgende Merkmale erfasst:

- Art des Geschiebeablagerungsplatzes
- Baujahr
- Dimensionierung gemäss Projekt
- Dimensionierung gemessen.

Auch wurden im oder unmittelbar oberhalb des Geschiebeablagerungsplatzes Linienzahlanalysen zur Erfassung der Kornzusammensetzung des Geschiebes durchgeführt. Eine detaillierte Fotodokumentation des Hauptgerinnes sowie der wichtigsten Seitenbäche vervollständigte die Bestandaufnahme.

Die Bachbeschreibungen sind bei jedem der 17 Gewässer im Anhang mit eingefügt.

3. 2. Durchgeführte Untersuchungen im Rahmen der Ereignisanalyse

Die Untersuchungen umfassten:

- Beschreibung des Niederschlagsverlaufes.
- Darstellung des Ereignisablaufes bezüglich der Feststofflieferung, -verlagerung und –ablagerung.
- Schätzung der Abflüsse, wo dies möglich war
- Schätzung der Feststofffracht bis zum Geschiebeablagerungsplatz
- Vergleich der Feststofffracht aufgrund der Felderhebungen mit derjenigen, welche sich aufgrund der Angaben der Kantone im Geschiebeablagerungsplatz befand
- Darstellung von spez. Beobachtungen / Besonderheiten
- Fotovergleiche des Zustandes vor und nach dem Ereignis.

3. 3. Erfassung der Niederschlagssituation

3. 3. 1. Datenerfassung

Zuerst wurden die vorhandenen Messstationen der Messnetze ANETZ, NIME, IMIS separat erfasst sowie die speziell zur Verfügung gestellten Rasterdaten der Meteoschweiz in der Umgebung des jeweiligen Baches aufgelistet. Daraufhin wurde eine Analyse der vorhandenen Datengrundlagen ANETZ, NIME und IMIS durchgeführt.

1. ANETZ-Daten:

- Darstellung der ANETZ Daten pro Station mit 10 Minuten-Auflösung vom 18.8. bis 23.8.2005. Darin wurde der Versuch unternommen, die 5 Tage visuell in eine Periode „Vorregen“, „Ereignis“ und „Nachregen“ einzuteilen, und anschliessend die jeweilige Niederschlagssumme zu bilden.
- Darstellung der ANETZ Daten pro Station mit 1 Stunden-Auflösung (damit sie mit den IMIS-Werten vergleichbar waren) vom 18.8. bis 23.8.2005. Versuch, die 5 Tage in eine Periode „Vorregen“, „Ereignis“ und „Nachregen“ einzuteilen, rein visuell und anschliessend die Summe zu bilden.

2. NIME-Daten:

Darstellung der Tagesniederschlagssummen der NIME-Stationen vom 18.8. bis 23.8.2006. Festlegung der entsprechenden 2-Tages-Niederschlagssumme.

3. IMIS-Daten:

- Darstellung der IMIS Daten pro Station mit 30 Minuten-Auflösung vom 18.8. bis 23.8.2005. Versuch, die 5 Tage in eine Periode „Vorregen“, „Ereignis“ und „Nachregen“ einzuteilen, rein visuell und anschliessend die Summe zu bilden.
- Darstellung der IMIS Daten pro Station mit 1 Stunden-Auflösung (damit vergleichbar mit ANETZ-Werten) vom 18.8. bis 23.8.2005. Versuch, die 5 Tage in eine Periode „Vorregen“, „Ereignis“ und „Nachregen“ einzuteilen, rein visuell und anschliessend die Summe zu bilden.

3. 3. 2. Berechnung Gebietsniederschlag

1. Tagesniederschlagssummen

Grundlage für die Bildung der Tagesniederschlagssummen war der Datensatz, welcher die Meteoschweiz für die Ereignisanalyse zur Verfügung gestellt hat. Er enthält interpolierte Messdaten aus dem ANETZ, NIME und IMIS im 2 km Raster über die ganze Schweiz vom 1.8. bis 31.8.2005 und ist als CHMES bezeichnet.

Für den Gebietsniederschlag wurde im GIS um die Einzugsgebietsgrenze des jeweiligen Baches ein 1000 m breiter Puffer gelegt und alle Punkte, die sich in dieser Fläche befanden ausgeschnitten und daraus für das gesamte Einzugsgebiet ein Mittelwert gebildet.

In der Grafik sind die Tageswerte dargestellt und jeweils der entsprechende Zweitageswert aufgeführt.

2. Stündliche Niederschlagssummen

Grundlage hierfür war wiederum der Datensatz der Meteoschweiz, welcher stündliche Radardaten im 1 km Raster der ganzen Schweiz vom 18.8. bis 23.8.2005 enthält. Dazu gab es pro Tag ein Rasterfile mit den Namen rhh18, rhh19 etc.

Für den Gebietsniederschlag wurde im GIS um die Einzugsgebietsgrenze ein 500 m breiter Puffer gelegt und alle Punkte, die sich in dieser Fläche befanden ausgeschnitten und daraus für das gesamte Einzugsgebiet ein Mittelwert gebildet.

Für die Grafik wurden die Mittelwerte pro Stunde dargestellt und visuell versucht, eine Periode „Vorregen“, „Ereignis“ und evtl. „Nachregen“ abzugrenzen. Die abgegrenzte Zeitspanne „Ereignis“ wurde danach mit der Einzugsgebietsfläche multipliziert und daraus den Niederschlagsinput über dem Einzugsgebiet in m³ berechnet und in einer Tabelle dargestellt.

3. 3. 3. Einordnen des Ereignisses anhand der Angaben Meteoschweiz

Im Rahmen der Ereignisanalyse wurden die 2 Tageswerte vom 21.-22.8.2005 aller Niederschlagsstationen von der Meteoschweiz aufgezeichnet und ihre Jährlichkeit statistisch ermittelt (Zeitraum mindestens 40 Jahre Messung zwischen 1961 bis 2004). Die Ergebnisse sind in einer Tabelle dargestellt.

3. 3. 4. Einordnen des Ereignisses anhand der Publikation „Starkniederschläge in der Schweiz“

1. Einordnung Zweitagesniederschlagswerte der Messstationen

Die Zweitageswerte der verschiedenen Messstationen wurden weiter mit den Angaben in den blauen Starkniederschlagsordnern verglichen:

Zuerst wurde geprüft, ob sich die Werte in der Rangliste der höchsten gemessenen

Zweitages-Niederschlagssummen befinden oder nicht und wenn ja auf welchem Rang. Danach wurden die Jährlichkeit der Zweitageswerte anhand des Niederschlags-Frequenzdiagramms aufgrund der Extremwertstatistik abgeschätzt.

2. Einordnung Zweitagesniederschlagswerte des Gebietsniederschlags aus den interpolierten Messdaten der Meteoschweiz (2 km Raster)

Dieser Wert wurde mit demselben Vorgehen ebenfalls mit den Angaben in den blauen Ordnern verglichen.

3. 4. Schätzung der Abflüsse

Für die Abflussschätzungen wurden zwei Methoden angewendet:

- Schätzung aufgrund der Niederschlagsmengen und einem plausiblen Abflussbeiwert.
Dies ergab einen theoretischen Abflusswert, da spezielle Vorkommnisse während des Ereignisses wie etwa temporärer Rückstau nicht berücksichtigt werden können. Der Gebietsniederschlag bildet die Grundlage für die Abschätzungen. Zuerst wurde der Niederschlag in einen theoretischen Abfluss in m^3/s umgewandelt. Anschliessend wurde der Abflussbeiwert abhängig vom Vorregen und der Niederschlagsdauer gewählt, wobei er mit zunehmender Niederschlagsdauer erhöht wurde. In der Regel bewegte sich dieser zwischen etwa 0.1 und 0.4.
- Im Gelände wurden erkennbare Durchflussquerschnitte erfasst und, kombiniert mit einer plausiblen Fliessgeschwindigkeit, der Abfluss geschätzt. Dies war aber nur an folgenden Stellen möglich:
 - Kein Murgangabfluss
 - Durch Böschungen und Sohle klar definiertes Querprofil.
 - Geringe Sohlenschwankungen während des Ereignisses (keine Erosions- oder Akkumulationsstrecke).

Der mitgeführte Geschiebeanteil konnte auf diese Weise nicht direkt berücksichtigt werden, was aber aufgrund der generellen Unsicherheit im Schätzverfahren akzeptabel erschien. Schätzungen der Abflüsse unterhalb der Geschiebeablagerungsplätze waren aufgrund der bereits beseitigten Spuren nicht mehr möglich. Im Gangbach und Steinibach Dallenwil konnten Fotos für die Schätzungen herangezogen werden. Andernorts wurden die Angaben der Kantone (Ereignisanalysen) herangezogen.

3. 5. Bestimmung der Feststoffverlagerung

3. 5. 1. Bestimmung des Verlagerungsprozesses

Die Bestimmung der Feststofflieferung und -verlagerung wurde gemäss GHO (1998) durchgeführt. Im Gelände wurden somit sämtliche Spuren des Unwetters auf Hinweise für Abflüsse und die Feststoffverlagerung untersucht.

Zuerst ging es darum, den Verlagerungsprozess (Geschiebetransport oder Murgang) zu erfassen. Hierfür wurden die Spuren im Gelände nach Kriterien, welche auf Murgangabflüsse hinweisen, abgesucht, so z. B:

- Levéebildung
- Grobblockige Komponenten neben dem Bachbett
- Murköpfe im Gerinne.

In Wildbächen sind die Uebergänge von Geschiebetransport zu Murgängen oft fliessend und nicht eindeutig gegeneinander abgrenzbar.

Deutliche Spuren von Murgängen wurden in folgenden Bächen festgestellt:

- Melbach Kerns
- Edisriedbach Sachseln (Seitengewässer)
- Humligenbach Wolfenschiessen
- Val Gronda Tschlin
- Innerer Blindlouigraben Lütschental
- Eistlenbach Hofstetten
- La Tinière, Villeneuve.

Es ist durchaus möglich, dass stellenweise und für kurze Zeit Murgänge oder murgangartige Abflüsse auch in den andern Bächen vorgekommen sind. Sie haben aber keine eindeutigen Spuren hinterlassen.

3. 5. 2. Bestimmung der Erosionskubaturen

Die Erosionskubaturen wurden einerseits an den Geschiebeherden in den Böschungen und Hängen, andererseits im Gerinne geschätzt.

Für die Abschätzung der Kubaturen in den Böschungen wurde zuerst geprüft, ob das erodierte Material eindeutig dem Ereignis von 2005 zugeordnet werden konnte. Ferner wurde untersucht, ob nicht ein Teil des Geschiebeherdes bereits früher einmal aktiv gewesen ist, und falls ja, welcher Anteil dem Ereignis von 2005 zugeordnet werden konnte. Bei ganz grossen Geschiebeherden war diese Zuordnung schwierig zu bewerkstelligen, da viele dieser Geschiebeherde seit langer Zeit aktiv sind und bei jedem grösseren Ereignis eine gewisse Erosionskubatur abfällt.

Die Erosionskubaturen wurden bestimmt, indem eine durchschnittliche Länge, Breite und Mächtigkeit bestimmt wurde. Oft gelangt nur ein Teil des Erosionsvolumens aus dem Geschiebeherd in den Bach. Dies wurde mittels eines Korrekturfaktors zwischen 0.1 und 0.9 berücksichtigt. D. h. wenn nur ein kleiner Teil des Material aus dem Geschiebeherd in den Bach gelangte, wurde beispielsweise ein Korrekturfaktor von 0.2 gewählt.

Für die Bestimmung der Erosionskubatur im Gerinne wurde dieses in einzelne Abschnitte mit ähnlichem Erosionsverhalten eingeteilt und in jedem Abschnitt vor allem auf Hinweise auf eine Sohlenabtiefung geachtet. Entsprechende Spuren liessen sich beispielsweise anhand von freigelegten Wurzeln oder unterfahrenen Böschungen erkennen. Die Erosionsmächtigkeit wurde anschliessend mit der Abschnittslänge und einer durchschnittlichen Bachbreite multipliziert, was die erodierte Kubatur ergab. Auch hier wurde analog zu den Geschiebeherden mit einem Korrekturfaktor, wo nötig, Anpassungen vorgenommen.

Wo Vergleichsfotos aus der Zeit vor dem Ereignis verfügbar waren, wurde derselbe Standort nochmals fotografiert und die Veränderungen festgehalten.

3. 5. 3. Bestimmung der Ablagerungskubaturen

Entlang der Gerinne kommt es an Stellen mit geringerem Gefälle und / oder grösserer Breite zu Ablagerungen. Ablagerungen finden sich aber auch hinter Verklausungen oder bei Stausituationen, wenn z. B. ein Seitenbach temporär viel Material in das Hauptgerinne einbringt und dieses staut. Diese Ablagerungen können von unterschiedlicher Grösse sein. Die Schätzung des entlang des Gerinnes abgelagerten Materials erfolgt prinzipiell auf dieselbe Weise wie die Bestimmung der Erosionskubaturen, indem jeweils eine mittlere

Mächtigkeit des abgelagerten Materials mit einer durchschnittlichen Länge und Breite multipliziert wurde. Die Ablagerungen wurden bis unmittelbar oberhalb des Geschiebeablagerungsplatzes aufsummiert, diejenigen im Geschiebeablagerungsplatz jedoch nicht mitgezählt.

3. 5. 4. Bilanz aufgrund der Felderhebung

Soweit sinnvoll, wurde für jeden Gerinneabschnitt die Erosionsmenge den Ablagerungen gegenübergestellt und so eine Bilanz aus erodierten und abgelagerten Kubaturen errechnet und bis zum Geschiebeablagerungsplatz aufsummiert. Das Ergebnis der Bilanzierung entsprach der im Gelände geschätzten Feststofffracht.

3. 5. 5. Bestimmung der Kubaturen im Geschiebeablagerungsplatz

Die Bestimmung der abgelagerten Feststoffmenge im Geschiebeablagerungsplatz musste sich hauptsächlich auf die Angaben der einzelnen Kantone abstützen, da die Geschiebeablagerungsplätze zur Zeit der Begehungen bereits geleert waren. Dort wo an den Böschungsrändern noch Relikte von Ablagerungen gefunden werden konnten, wurde eine Schätzung der Ablagerungskubatur vorgenommen.

3. 5. 6. Vergleich der Feststofffracht mit Drittwerten

Da Abschätzungen im Gelände immer eine hohe Unsicherheit beinhalten, mussten die Feststofffrachten einerseits mit den eigens geschätzten Ablagerungen im Geschiebeablagerungsplatz verglichen werden, aber andererseits auch mit den Angaben der Kantone. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung sind in Tabelle 9 zu finden.

3. 5. 7. Vergleich der Feststofffracht mit bisherigen Daten der Geschiebeablagerung

Für die Einordnung der Ereignisse wurden die Feststoffkubaturen auch mit den Werten aus der GHO-Datenbank verglichen. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt und kommentiert.

3. 5. 8. Erhebung von Linienzahlanalysen

Wo möglich und sinnvoll (keine Spuren von menschlichen Eingriffen) wurden Linienzahlanalysen vorgenommen. Mit den Linienzahlanalysen sollte abgeschätzt werden, ob die Sohlenzusammensetzung aufgrund des Ereignisses gegenüber dem Zustand vorher beeinflusst worden ist.

4. Das Ereignis

4. 1. Witterungsablauf

Die nachfolgende Beschreibung der Witterungssituation wurde aus Informationsmaterial der Meteoschweiz zusammengestellt (www.meteoschweiz.ch).

Vor dem Zeitraum 19. bis 23. August regnete es bereits in der Zentral- und Ostschweiz, wo zwischen dem 14. und –18. August an einigen Stationen über 40 mm Regen gemessen wurden.

Am Freitag, 19. August, wurde ein Tief mit Kern über den Niederlanden erkannt. Am nachfolgenden Tag war das Tief im Raum der Benelux-Länder noch knapp zu erkennen, der Schwerpunkt der zyklonalen Aktivität hatte sich aber nach Norditalien verlagert, wo sich ein sekundäres Bodentief entwickelte. In der Schweiz kamen nordöstliche Winde auf, nur in grosser Höhe herrschte noch Südwind.

Am Sonntag, 21. August vertiefte sich das Tief weiter, sein Kern lag über dem Golf von Genua, und in der Höhe entstand eine stark zyklonale Situation. In der Nacht zum 22. August erreichte das Höhentief seine maximale Ausprägung. Gleichzeitig bewegte sich das ganze System ostwärts, so dass es am Montag Mittag (22. August) immer noch konzentrisch über der nördlichen Adria lag. Damit drehten die Höhenwinde auf der Alpennordseite auf Nord, was zu zunehmenden Stausituationen führte.

Am Dienstag, 23. August befand sich die Tiefdruckzone über Ungarn. Die feuchtesten Luftmassen lagen nun nicht mehr über der Schweiz, wo nennenswerte Niederschläge nur noch im Prättigau fielen. Dafür aber waren die nordalpinen Teile Bayerns und Österreichs immer noch im Starkregenbereich. Gemäss Meteoschweiz handelt es sich bei diesem Wetterlagenverlauf nicht um eine reine sog. „Vb-Lage“. Das beschriebene Tief zog von Norditalien her nur unwesentlich nordwärts, sondern eher ostnordöstlich ab. Es erfasste Polen nur am Rande und zog Richtung Ukraine, wo es sich auffüllte. Diese Zugbahn liegt zwischen „Vb“ und „Vd“.

In Bezug auf das Niederschlagsgeschehen wirkten sich der Witterungsverlauf folgendermassen aus: Am 19. und 20. August erfolgten teilweise konvektiv geprägte Niederschläge. Sie behelligten besonders das nördliche Alpenvorland und führten bereits zu ersten lokalen Schäden. Eine flächige Regenzone zog allerdings im Laufe des 20. August über Graubünden nordostwärts und brachte am Weissfluhjoch bis zu 36 mm Niederschlag.

Der Verlauf der stärksten Niederschläge in den verschiedenen Regionen zeigt eine recht klare Struktur:

- Bis zum 20. August wurden keine besonders starken und flächigen Summen registriert. Es herrschte ein weitgehend konvektives Regime ohne Staueffekte.
- Am 21. August war schwerpunktmässig die Region Berner Oberland – Zentralschweiz betroffen, primär in der zweiten Tageshälfte.
- Bis Am 22. August verlagerte sich der Schwerpunkt des Regens Richtung Ostschweiz. Gleichzeitig wurde der Streifen der Starkniederschläge schmaler und betraf in der westlichen Landeshälfte noch das Hauptanstiegsgebiet der Nordalpen. In dieser Phase wurden die Niederschläge weiter östlich auch über den ersten Alpenkamm bis ins Unterengadin transportiert. In allen Höhenlagen herrschten nun nördliche Winde, das Tief lag östlich der Schweiz.
- Am 23. war nur noch die Region Prättigau in nennenswertem Masse von den Niederschlägen betroffen. Die Höhenwinde zeigten nun Westkomponente, sodass weniger feuchte Luft von ausserhalb des Tiefs nachfliessen konnte. Das Hauptereignis betraf damit die Zeit vom 21. August Mittag bis zum 23. August am Morgen. Insgesamt dauerte die Phase relevanter Niederschläge volle vier Tage.

4. 2. Relevante Schadensgebiete

Entsprechend dem Niederschlagsgeschehen traten die meisten Schäden in den nördlichen Voralpen und Alpgebieten vom Genfersee bis in den Kanton Graubünden auf. Besonders hohe Schäden waren in den Gebieten der Stadt Bern und des Berner Oberlandes und der Zentralschweiz (v. a. Luzern, Uri, Ob- und Nidwalden) zu verzeichnen. Weitere grössere Schadensgebiete fanden sich u. a. in der Westschweiz (Südöstliches Waadtland, südliches Freiburg), Schwyz, und Graubünden. Insgesamt betrug die Gesamtschadenssumme fast 3 Ma Franken.

Die Hauptschäden wurden indes nicht durch kleine Wildbäche verursacht, sondern durch grössere Flüsse, welche Abflüsse mit Wiederkehrperioden von teilweise um die 300 Jahre

erreichten. Zu den am meisten betroffenen Flussgebieten gehörten u. a. Aare, Kander, Lüscherne, Engelberger Aa, und Grosse Melchaa. Neben den erwähnten Flüssen verursachten auch hohe Seestände, (beispielsweise Thunersee, Vierwaldstättersee, Sarnersee) erhebliche Schäden.

Im historisch vergleichbaren Zeitraum der letzten ca. 200 Jahre verursachten die Ereignisse des Augusts 2005 neben 1831, 1868 und 1987 insgesamt und überregional betrachtet die grössten Schäden.

4. 3. Das Ereignis in den ausgewählten Wildbächen

4. 3. 1. Regionale Niederschlagsanalysen

Niederschlagssumme (mm): 2005.08.20–22

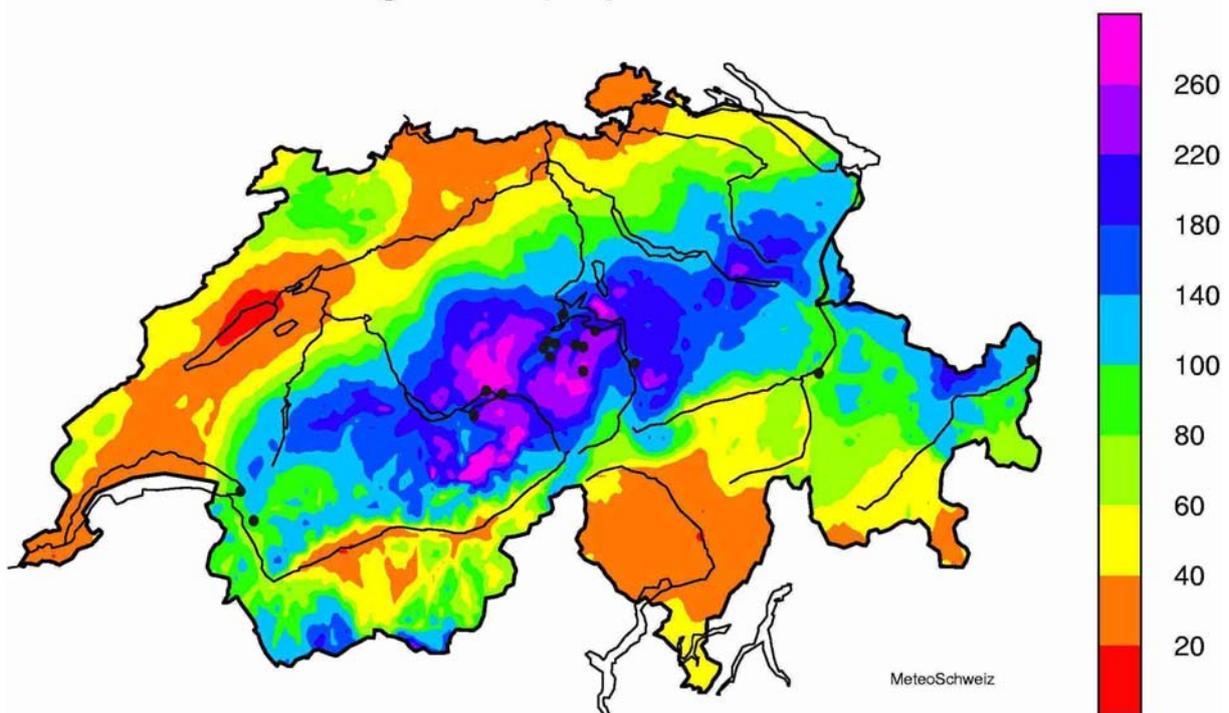


Fig. 2 Lage der Untersuchungsgebiete in Bezug auf die Niederschlagsmengen vom 20. bis zum, 22. August 2005. Die 17 Bäche sind als schwarze Punkte zu erkennen.

Mit Ausnahme der Bäche der Waadt (Croisette, La Tinnière) sowie Graubündens (Val Parghera, Val Gronda) lagen alle untersuchten Fließgewässer im Bereich der höchsten gefallenen Niederschlagsmengen (Fig 2). Dies zeigt, dass die einzelnen Reaktionen der Einzugsgebiete auf die Niederschläge generell unterschiedlich waren, da auch innerhalb der Starkregenzone sehr unterschiedliche Ansprechverhalten und Prozesse auftraten.

In Anhang A werden die Niederschlagsinformationen, soweit sie für einzelne Bachgruppen regional identisch sind, zusammengefasst. Für räumlich isolierte Bäche werden die entsprechenden Informationen separat dargestellt. Bachspezifische Informationen wie Gebietsniederschläge hingegen finden sich jeweils bei den einzelnen Bachbeschreibungen in den entsprechenden Anhängen B bis R.

4. 3. 2. Abflüsse

In den untersuchten Einzugsgebieten konnten die Abflüsse nur in einigen der in Tabelle 1 dargestellten Bächen im Gelände geschätzt werden.

In Figur 3 sind die für 2005 geschätzten mittleren Abflüsse den mittleren Schätzwerten für 100-jährliche Abflüsse gegenübergestellt.

Die Reinwasserabflüsse waren in keinem der Untersuchungsgebiete hoch und bewegten sich allesamt deutlich unter den Werten für die geschätzten 100-jährlichen Hochwasser und erreichen nur in wenigen Fällen (Steinibach Dallenwil, Tinnièrè) annähernd 50% des geschätzten 100-jährlichen Abflusses. Die Wiederkehrfrequenzen für die Abflüsse sind deshalb sehr hoch. Die Jährlichkeiten bewegen sich generell im Bereich von wenigen Jahren bis Jahrzehnten (zwischen ca. 5 und 30 Jahren). Kleine Abflüsse sind beispielsweise im Mühlebach, Val Parghera sowie im Inneren Blindlouigraben aufgetreten.

Tab. 1 Abflüsse in den Untersuchungsgebieten

kNr	Bach	Abfluss (m3/s)		geschätzte Jährlichkeit ca.
		Schätzung im Gelände	Vergleichswerte aufgrund der Bachbeschreibungen HQ100 (m3/s) nach HAKESCH	
1	Bitzighoferbach, Sarnen	4 - 6	21 (25)*	5 - 10
2	Melbach, Kerns	-	17 (10.5)**	-
3	Grosse Schliere, Alpnach	25 - 30	110 (150)	(10 - 20)
4	Dürnbach Engelberg	-	20 (40)*	-
5	Edisriedbach, Sachseln	6 - 8	30 (30)*, (23)**	2 - 5
6	Steinibach, Dallenwil	20 - 30	50 (65)*	20 - 50
7	Humligenbach, Wolfenschiessen	-	9 (11.5)*	-
8	Mühlebach, Beckenried	<1	7.7 (10)*	2-5
9	Steinibach, Hergiswil	5 - 7	30 (30)*	10-20
10	Gangbach, Schattdorf	7 - 10	20 - 25** (35-42)*	20 - 30
11	Valparghera, Domat/Ems	-	13 (20)*	
12	Val Gronda, Tschlin	-	20	
13	In. Blindlauigraben, Lütschental	<1	3	2- 5
14	Grosse Bachtalen, Brienz	-	12	-
15	Eistlenbach Hofstetten	8 - 10	30	10 - 20
16	Croisette, Bex	6 - 8	18	10 - 10
17	La Tinière, Villeneuve	12-18	(33)*	20 - 30

* frühere Abschätzungen aus wasserbaulichen Projekten

** HQ100 für die Gefahrenbeurteilung

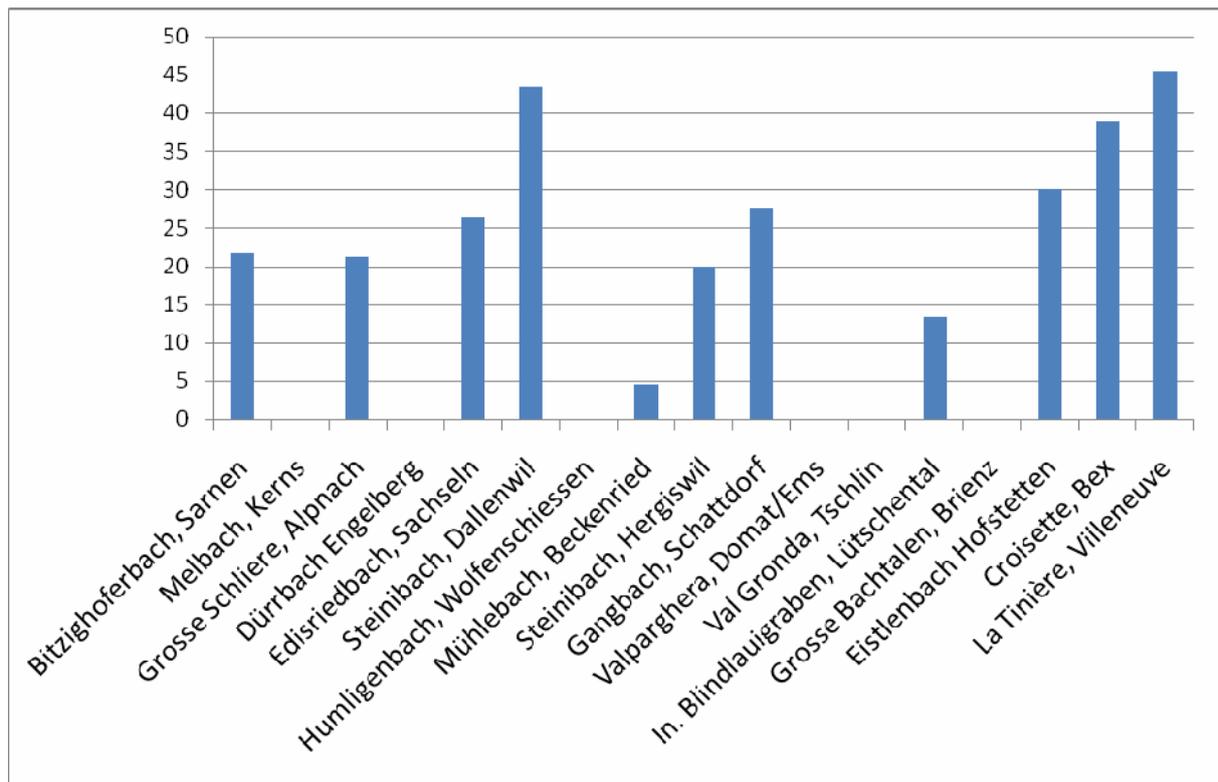


Fig. 3 Prozentanteil der Abflüsse 2005 an den geschätzten 100-jährlichen Abflüssen

5. Analysen der Feststoffverlagerung

In der Folge werden die wichtigsten Erkenntnisse für die einzelnen Bäche zusammengefasst. Die auslösenden Prozesse für die Feststoffverlagerung waren sehr unterschiedlich und haben sich teilweise überlagert und gegenseitig aufgeschaukelt. Beispielsweise war dies der Fall, wenn allmählich zunehmende Erosion bachabwärts an einer bestimmten Stelle eine Unterspülung verursachte. Durch die Erosion des Böschungsfusses rutschten die Hangpartien ab und lagerten Material im Gerinne ab. Dies bewirkte einen temporären Stau, was unmittelbar unterhalb der Einstaustelle zu erhöhter Tiefenerosion führte, mit dem Effekt einer erhöhten Feststofffracht. Oft waren aber die Auslösefaktoren nicht monokausal, sondern durch mehrere Prozesse gleichzeitig bedingt. Als Beispiel dient der Steinibach Dallenwil, in welchem verschiedene Zubringergerinne Hochwasser führten, und auch Rutschungen ausgelöst worden sind. Ein einzelner auslösender Prozess konnte hier nicht bezeichnet werden.

Anderorts wiederum hat ein einzelner Prozess die Geschehnisse entscheidend geprägt oder das Ereignis erst ausgelöst. Im Edisriedbach hätte die allmählich einsetzende Erosion im Hauptgerinne allein kaum ein Feststoffvolumen von ca. 6000 m³ erodiert. Der Murgang aus dem Erlimattgraben jedoch beschädigte nicht nur das über 200-jährige Wohnhaus in der Erlimatt, sondern verlagerte auch einen hohen Anteil an der Gesamtfracht. Im Humligenbach führten mehrere nahe beieinander liegende Rutschungen, welche zu Murgängen transformierten, zur Auslösung der Erosionen im Hauptgerinne. Diese füllten schliesslich den Geschiebeablagerungsplatz bei der Sulzmatt.

Die massgeblichen Prozesse der Feststofflieferung und –verlagerung sind in Tabelle 2, die Feststofffrachten in Tabelle 3 zusammengefasst.

Nachstehend sind die wichtigsten Prozesse bezüglich der Auslösung der Feststoffverlagerung (Punkt a) sowie dem Verlagerungsprozess im Gerinne (Punkt b) für die einzelnen untersuchten Bäche zusammengefasst.

- 1 Bitzighoferbach, Sarnen, OW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Anschwellen des Abflusses und allmähliches Einsetzen des Feststofftransportes bachabwärts. Im untersten Bereich des Hauptgerinnes führten Böschungseinträge zu temporärem Stau.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt auch Murgang.

- 2 Melbach Kerns, OW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Allmählich stärker einsetzende Erosion, welche weitere Prozesse (Nachrutschen der Böschungen) auslöst.
 - b. Feststoffverlagerung:
Murgang, im unteren Bereich auch Geschiebetransport.

- 3 Grosse Schliere, Alpnach, OW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Erosion setzte bachabwärts allmählich stärker ein, was mit dazu führte, dass weitere Prozesse (Nachrutschen der Böschungen) ausgelöst wurden. Diese wiederum führten zu lokalen und teilweise Verstopfungen des Baches, welcher nach dem Durchbruch der Verstopfungsstelle weiter bachabwärts verstärkt erodierte.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt auch Murgang infolge temporärem Stau durch seitlichen Materialeintrag.

- 4 Dürrbach Engelberg, OW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Erosion im Hauptgerinne wurde durch Murgänge aus einigen Seitengewässern verstärkt.
 - b. Feststoffverlagerung:
Murgänge in den Seitengerinnen, auch Geschiebetransport im Hauptgerinne (örtliche und wohl auch zeitweilige Ueberlagerung beider Prozesse).

- 5 Edisriedbach, Sachseln, OW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Im Hauptgerinne setzte die Erosion erst zögernd ein. Ein Murgang aus vorwiegend Feinmaterial (Mudflow) eines Seitengewässers hat das Feststoffvolumen erhöht (Fig. 3).
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport im Hauptgerinne.

- 6 Steinibach Dallenwil, NW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Erosionen waren in praktisch allen Gerinnen zu beobachten. Parallel dazu lieferten Hangprozesse und Nachrutschungen aus Böschungen zusätzliches Material.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt und in den Seitengerinnen auch Murgang.

- 7 Humligenbach, Wolfenschiessen, NW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Der Eintrag von Material erfolgte durch Rutschungen aus einem Seitenhang, die sich in Murgänge verwandelten und zu Erosionen im Hauptgerinne führten.
 - b. Feststoffverlagerung:

Murgang und Geschiebetransport.

- 8 Mühlebach Beckenried, NW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Allmähliches Einsetzen der Erosion im unteren Einzugsgebietsbereich. Die generell eher kleinen Materialverlagerungen im Hauptgerinne wurden durch Einträge aus Seitengerinnen etwas erhöht.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport.

- 9 Steinibach Hergiswil, NW:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Murgänge aus Seitengerinnen aus den nördlichen Abhängen des Pilatus erreichten grösstenteils den Vorfluter. In der Folge wurde das Hauptgerinne erodiert. Zusätzlicher Materialeintrag erfolgte aus einer Rutschung, welche zeitweilig das Gerinne verstopfte.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport.

- 10 Gangbach, Schattdorf, UR:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Erosion setzte im Hauptgerinne allmählich ein und erhöhte sich zunehmend bachabwärts.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt auch Murgang.

- 11 Valparghera, Domat/Ems, GR:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Erosion setzte im Hauptgerinne und in den Seitengewässern allmählich ein und erhöhte sich zunehmend bachabwärts.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt auch kleine Murgänge.

- 12 Val Gronda, Tschlin, GR:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Feststofflieferungen stammten in den obersten Gerinnebereichen sowohl aus der Sohle als auch den Hängen. Bachabwärts setzte sich die Gerinneerosion fort.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport und Murgang.

- 13 In. Blindlouigraben, Lütschental BE
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Erosion setzte im Hauptgerinne allmählich ein und verstärkte sich infolge der unausgelasteten Transportkapazität aus dem felsigen Einzugsgebiet vor allem unten auf dem Kegel beim Auftreffen im unlimitierten Lockermaterial stark
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, lokal begrenzt auch Murgang.

- 14 Grosse Bachtalen, Brienz, BE:
 - a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Erosion setzte allmählich ein im Hauptgerinne auf dem Kegelbereich, unterhalb 800 müM.. Am stärksten war sie zuunterst auf dem Kegel, kurz vor der Einmündung in den Geschiebesammler, wo einige Holzquerwerke durch Tiefen- und Seitenerosion zerstört wurden.
 - b. Feststoffverlagerung:

Geschiebetransport, höchstens zeitweilig murgangähnlich

- 15 Eistlenbach Hofstetten:
- a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Die Feststoffe stammen vor allem aus 2 Hangmuren im östlichen Teil des Einzugsgebiets, welche als Seitenzubringer Geschiebe in das Hauptgerinne brachten. Zusätzlich wurden im untersten Bereich des Hauptgerinnes Feststoffe mobilisiert, u.a. auch durch Kolkbildungen unterhalb von Betonsperren.
 - b. Feststoffverlagerung:
Verlagerungsprozess in den Seitenzubringern: Murgang, Im Hauptgerinne Geschiebetransport
- 16 Croisette, Bex:
- a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Einsetzen von erosiven Prozessen in allen Gerinnen.
 - b. Feststoffverlagerung:
Geschiebetransport, stellenweise und lokal begrenzt Murgang.
- 17 La Tinière, Villeneuve:
- a. Auslösung der Feststoffverlagerung:
Neben der Auswaschung feinerer Komponenten im Hauptgerinne ab Kote 1170 abwärts, brachten vor allem mehrere steile Seitengerinne aus dem östlichen Einzugsgebiet grössere Mengen an Feststoffen, während die westlich gelegenen kaum Geschiebe lieferten.
 - b. Feststoffverlagerung:
Verlagerungsprozess in den steilen Seitengerinnen: Murgang, im Hauptgerinne Geschiebetransport

Die während des Ereignisses aufgetretenen Prozesse sind in Tabelle 8, die geschätzten Feststoffvolumen mit Vergleichswerten sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tab. 2 Prozesse der Feststofflieferung und -verlagerung

Nr	Bach	Transportprozess im Hauptgerinne		Auslösung			Einfluss der Ablagerungen entlang des Baches auf die Reduktion der Feststofffracht	
		Geschiebe-transport	Murgang	allmähliches Einsetzen der Erosion im gesamten Gerinnesystem	Einsetzen der Erosion in einem definierten Gerinneabschnitt	Auslösung durch einen isolierten Prozess	Einfluss hoch	kein oder geringer Einfluss
1	Bitzighoferbach, Sarnen	x	(x)	x			√	
2	Melbach, Kerns	x	X	x			√	
3	Grosse Schliere, Alpnach	x	(x)	x			√	
4	Dürnbach Engelberg	x	x		x			√
5	Edisriedbach, Sachseln	x		x		(x)	√	
6	Steinibach, Dallenwil	x		x			√	
7	Humligenbach, Wolfenschiessen	x	x			x		√
8	Mühlebach, Beckenried	x		x				√
9	Steinibach, Hergiswil	x			(x)	x	√	
10	Gangbach, Schattdorf	x	(x)	x			√	
11	Valparghera, Domat/Ems	x	(x)	x			√	
12	Val Gronda, Tschlin	x	x		x			√
13	Innerer Blindlauigraben, Lüttschental	x	(x)		x			√
14	Grosse Bachtalen, Brienz	x			x		√	
15	Eistlenbach Hofstetten	x				x	√	
16	Croisette, Bex	x	(x)	x				√
17	La Tinière, Villeneuve	x		x		x	√	

x Hauptprozess
(x) untergeordneter Prozess
√ Zustimmung

Tab. 3 Vergleich der Schätzungen Feststoffablagerungen im Geschiebeablagerungsplatz

Nr	Bach	Feld-Schätzung der Feststofffracht Ereignisanalyse		Schätzung Ablagerung im Geschiebeablagerungsplatz Ereignisanalyse	Ablagerung im Geschiebeablagerungsplatz gemäss Angabe Kanton
		Vol. min (m ³)	Vol. max(m ³)	Vol. (m ³)	Vol (m ³)
1	Bitzighoferbach, Sarnen	1700	3700	1500	3100
2	Melbach Kerns	3600	5200	3000*	6389*
3	Grosse Schliere, Alpnach	20000	40000	****	57100
4	Dürrbach, Engelberg	8500	11000	15000	20000
5	Edisriedbach, Sachseln	3500	6300	6500**	6000
6	Steinibach, Dallenwil	10000	15000	****	32200
7	Humligenbach, Wolfenschiessen	5200	8300	7000	17000
8	Mühlebach, Beckenried	70	100	50	_***
9	Steinibach, Hergiswil	1900	3700	****	5000
10	Gangbach, Schattdorf	1100	2000	1500	1563
11	Valparghera, Domat/Ems	2000	3500	****	2000
12	Val Gronda, Tschlin	1500	2000	****	1484
13	In. Blindlauigraben, Lütschental	300	500	300	****
14	Grosse Bachtalen, Brienz	4000	5000	****	3500
15	Eistlenbach Hofstetten	5000	6500	5000	6000
16	Croisette, Bex	700	1300	****	700
17	La Tinière, Villeneuve	3000	4000	****	3000

* Sammler war vor dem Ereignis offensichtlich mehr als halbvoll; unterhalb des Sammlers setzte sich der Geschiebetransport fort (es bestehen weitere 2 Sammler)

** Geschiebeablagerungsplatz war etwa zu 1/3 voll (20'000 m³ Fassungsvermögen)

*** Keine Leerung, keine Angabe

**** davon 18000 m³ im Geschiebeablagerungsplatz, 14000 m³ im Kanal

***** Geschiebesammler war bei der Ereignisanalyse bereits geleert oder es handelt sich um ein Delta, das in einen See reicht (La Tinière)

In einigen Bächen (beispielsweise Mühlebach oder Edisriedbach), erreichten die transportierten Feststoffvolumen keine aussergewöhnlichen Ausmasse. Dies dürfte u. a. auch darauf zurückzuführen sein, dass aufgrund der langen Regendauer mit den entsprechenden geringen bis mittleren Niederschlagsintensitäten wohl ein lange anhaltender geschiebetransportfähiger Abfluss entstand, dieser aber dennoch nicht gross genug war, grosse Geschiebemengen zu mobilisieren. Deshalb wurden auch nur vorwiegend kleinere Materialkomponenten mobilisiert und verlagert. Grössere Gesteine aus der Gerinnesohle wurden kaum oder nur wenig bewegt.

Hohe Feststofffrachten wurden beispielsweise im Steinibach Dallenwil und im Humligenbach beobachtet. Die Geschiebeablagerungsplätze wurden gefüllt und Material gelangte über diese hinaus in den Kanal (Steinibach) oder in einen zusätzlichen Ablagerungsraum (Humligenbach).

6. Wertung der Ereignisse

Bei den Auswertungen zeigte sich in den meisten Untersuchungsgebieten eine Feststofffracht häufiger bis mittlerer Wiederkehrperiode (Fig. 207). Seltene Ereignisse fanden im Steinibach Dallenwil, im Humligenbach Wolfenschiessen und im Dürrbach Engelberg statt. Ereignisse ohne Bedeutung fanden sich u. a. im Mühlebach Beckenried und Croisette Bex. In diesen Bächen wurden früher bereits höhere Werte registriert. Die Zuordnung zu einer Jährlichkeit der Ereignisse erscheint zum jetzigen Zeitpunkt höchstens qualitativ sinnvoll (Fig. 4).

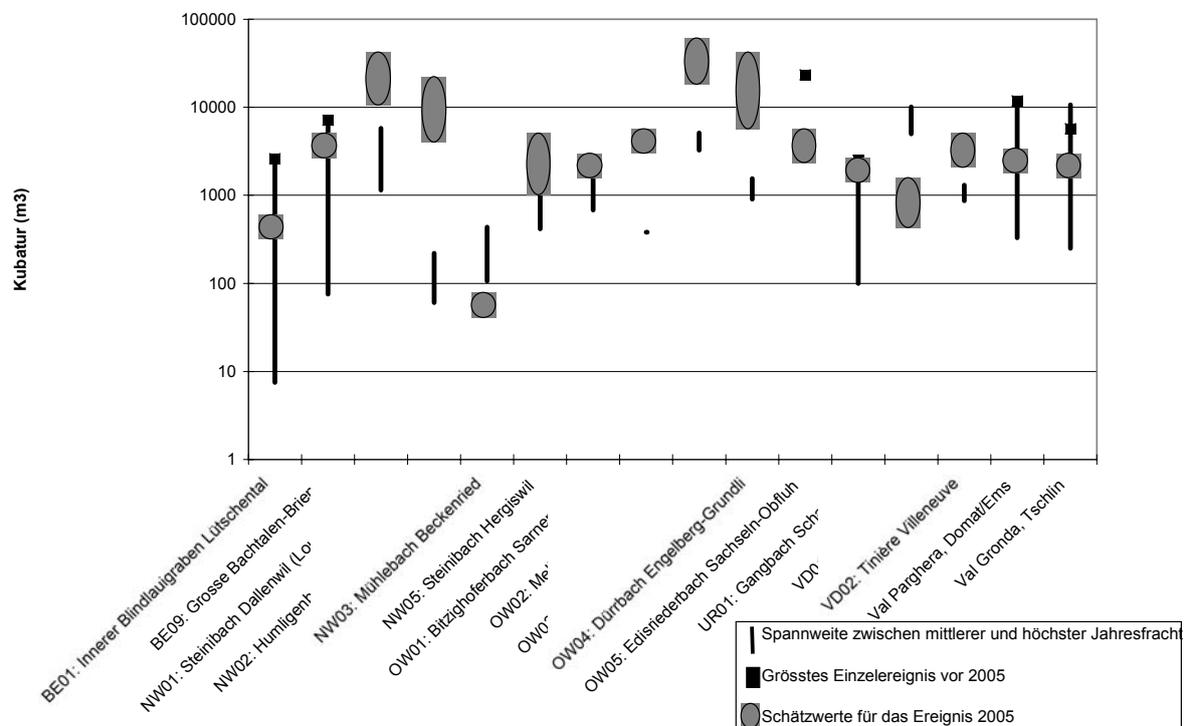


Fig. 4 Einordnung der Feststofffrachten von 2005 in die Beobachtungsperiode

Neben den durch Schätzungen erfassbaren Feststoffkubaturen sind die geomorphologischen Veränderungen in der Landschaft ebenso ein Indiz für die Grösse eines Ereignisses. In Tabelle 4 wird ein Versuch unternommen, die geomorphologischen Auswirkungen im Einzugsgebiet und im Gerinne darzustellen und zu werten. Dabei wird davon ausgegangen, dass kaum sichtbare Veränderungen im Gelände auf eine kleine Wiederkehrperiode hinweisen. Stark sichtbare Veränderungen am Gerinne und im Einzugsgebiet weisen eher auf eine sehr seltene Wiederkehrperiode hin. Die Bewertung erfolgt mangels eindeutiger Zuordnungskriterien qualitativ, wobei in Tabelle 4 die Sterne folgendes bedeuten:

- Ein Stern bedeutet kleine geomorphologische Auswirkungen im Gerinne oder im Einzugsgebiet mit einer Wiederkehrperiode von weniger als 20 Jahren.
- Zwei Sterne weisen auf deutlich sichtbare geomorphologische Veränderungen hin mit einer Wiederkehrperiode um etwa 20 bis 50 Jahre
- Bei drei Sternen sind die geomorphologischen Auswirkungen im Gesamtgerinne und in grossen Teilen des Einzugsgebietes sehr markant. Die Wiederkehrperiode dürfte 100 oder mehr Jahre erreichen.

Tab. 4 Qualitative Darstellung der geomorphologischen Auswirkungen in den Einzugsgebieten

Nr	Bach	Geomorphologische Auswirkungen			Geomorphologische Wiederkehrperiode Einzugsgebiet	Fazit Wiederkehrperiode der Geomorphologischen Auswirkungen (Gerinne und Einzugsgebiet)
		Gerinne	Einzugsgebiet	Geomorphologische Wiederkehrperiode Gerinne		
1	Bitzighoferbach, Sarnen	**	*	20 - 50	-	10 – 20
2	Melbach, Kerns	**	*	20- 50	10-20	10-20
3	Grosse Schliere, Alpnach	*	**	10-20	20-50	20-50
4	Dürrbach Engelberg	***	**	100	20-50	100
5	Edisriedbach, Sachseln	*	**	10-20	20-(>100)	20-50
6	Steinibach, Dallenwil	**	***	20-50	100	50-100
7	Humligenbach, Wolfenschiessen	**	**	20-50	20-50	20-50
8	Mühlebach, Beckenried	*	-	5-10	-	2-5
9	Steinibach, Hergiswil	*	**	10-20	20-50	20-50
10	Gangbach, Schattdorf	**	*	20-50	10-20	20-50
11	Valparghera, Domat/Ems	*	*	5-10	5-10	5-10
12	Val Gronda, Tschlin	**	*	20-50	5-10	20-50
13	In. Blindlauigraben, Lütschental	*	-	5-10	-	5-10
14	Grosse Bachtalen, Brienz	**	*	20-50	5 – 10	10 – 20
15	Eistlenbach Hofstetten	**	*	20 – 50	5 – 10	10 – 20
16	Croisette, Bex	*	-	10-20	*	5-10
17	La Tinière, Villeneuve	*	*	5 – 10	20 – 50	10 – 20

Deutliche geomorphologische Veränderungen durch die Unwetter haben nur in wenigen Bächen stattgefunden. Einerseits war dies im Gerinne des Dürrbachs, andererseits vor allem im Einzugsgebiet des Steinibaches Dallenwil der Fall. Diese Einzugsgebiete lagen im Bereich des voralpinen Starkregengürtels. Allerdings ist dies alleine keine ausreichende Erklärung für eine starke geomorphologische Aktivität, da ja auch andere Bäche innerhalb dieser Zone liegen und weniger Aktivitäten aufwiesen. Die Klärung dieser Frage müsste vielmehr in der pedologisch- geologischen Zusammensetzung der Einzugsgebiete und der entsprechenden Reaktionsfähigkeit auf langdauernde Niederschläge gesucht werden, was den Rahmen dieser Untersuchung sprengte.

In Tabelle 11 wird versucht, für die Einzugsgebiete jeweils für den 2Tages- Niederschlag, den Abfluss und die Feststofffracht eine qualitative Aufstellung in drei Jährlichkeitskategorien durchzuführen. In Tabelle 11 wurde es aufgrund der hohen Unsicherheiten vermieden, Jährlichkeiten in Zahlen auszudrücken.

Gleich wie in Tabelle 10 widerspiegeln die Ergebnisse eine gewisse subjektive Einschätzung des Bearbeiterteams, jedoch sollen sie auch gewisse Hinweise vermitteln in bezug auf die abflussmässige und geomorphologische Reaktionsfähigkeit der Einzugsgebiete auf Niederschlagseinträge. Die drei Kategorien „häufig“, „mittel“ und „selten“ in Tabelle 11 repräsentieren grob die Wiederkehrperioden von bis etwa 30 Jahre, 30 bis über 50 Jahre und um die 100 und mehr Jahre.

Tab. 5 Qualitative Darstellung der Jährlichkeit von Niederschlag, Abflüssen und Feststofffrachten. Da eine zuverlässige Zuordnung nicht möglich ist, werden mit den Begriffen „klein“, „mittel“ und „gross“ nur drei Kategorien unterschieden.

Nr	Bach	Wiederkehrperiode		
		Gebiets-Niederschlag	Abfluss	Geschiebe
1	Bitzighoferbach, Sarnen	gross	klein	klein
2	Melbach, Kerns	gross	-	klein
3	Grosse Schliere, Alpnach	gross	klein	klein
4	Dürrbach Engelberg	gross	-	gross
5	Edisriedbach, Sachseln	gross	klein	klein /gross*
6	Steinibach, Dallenwil	Mittel	Mittel	Mittel
7	Humligenbach, Wolfenschiessen	gross	-	Mittel
8	Mühlebach, Beckenried	gross	klein	klein
9	Steinibach, Hergiswil	gross	Mittel	Mittel
10	Gangbach, Schattdorf	gross	mittel	Mittel
11	Valparghera, Domat/Ems	klein	-	klein
12	Val Gronda, Tschlin	klein	-	klein
13	In. Blindlauigraben, Lüttschental	Mittel	klein	klein
14	Grosse Bachtalen, Brienz	gross	-	klein
15	Eistlenbach Hofstetten	gross	klein	klein
16	Croisette, Bex	klein	klein	klein
17	La Tinière, Villeneuve	mittel	mittel	mittel

*Hauptgerinne kleine Wiederkehrperiode, 1 Seitengerinne mit grosser Jährlichkeit

Tab. 5 kann folgendermassen interpretiert werden:

In der Mehrzahl der beobachteten Gebiete werden die Niederschlagsereignisse seltener eingeschätzt als die Abflüsse oder der Geschiebetransport. Dies mag einerseits an methodischen Problemen liegen, wie z. B.:

- Exaktheit der Daten an sich (Niederschlag, Abflussschätzung, Feststoffschätzung)
- Vergleichsbasis der Daten (z. B. frühere Ereignisse, Erhebungen im Rahmen der Beobachtungen GHO)
- Auswertung und Interpretation der Daten.

Andererseits zeigen die Ergebnisse auf, dass viele Fragen in bezug auf die Reaktionen der Einzugsgebiete auf spezielle Niederschlagssituationen noch zu wenig geklärt sind. Abflussmässig können auf ähnliche Niederschlagseinträge in benachbarten Einzugsgebieten starke Unterschiede bestehen, was sich indirekt auch auf den Geschiebetransport auswirken kann. Beispielsweise konnte die Frage nicht angegangen werden, wieso im selben genannten Niederschlagsgürtel verschiedene Einzugsgebiete nur vernachlässigbare oder gar keine Feststoffeinträge in den Geschiebesammlern aufwiesen.

Es konnte festgestellt werden, dass die Reaktionen der untersuchten Einzugsgebiete auf teilweise extreme Niederschläge bezüglich Abflüsse und Feststoffverlagerung nicht in selben extremem Masse erfolgten. Dies wirft die Frage auf, ob jeweils ein gewisser Schwellenwert für eine markantere Reaktion nicht erreicht war. Damit liegt auch die Frage im Raum, ob diese Gebiete tatsächlich eher auf kurzzeitige extreme Niederschlagsintensitäten reagieren und weniger auf hohe Niederschlagsmengen mittlerer Intensität, welche durch die Böden eher absorbiert und somit neutralisiert werden können. Die Ereignisse von 2005 wären ein Hinweis darauf.

7. Fazit

Noch immer sind viele Vorgänge und Prozesse, welche zur Feststoffverlagerung-transport und -ablagerung führen, für den praxismässigen Gebrauch zu wenig bekannt. Dies wird sich in absehbarer Zeit auch nicht gross ändern, trotz starker Bemühungen seitens der Forschung. Das Verständnis für natürliche Vorgänge ist auf Naturbeobachtungen angewiesen, und solche zeigen oft nur mittels langjährigen Anstrengungen Ergebnisse. Mit dem Beobachtungsnetz der GHO soll das Verständnis über die Feststoff-relevanten Vorgänge nach und nach verbessert werden, wobei Ereignisanalysen wie die vorliegende Untersuchung einen wesentlichen Anteil beisteuern. Obwohl viele Fragen unbeantwortet bleiben, zeigten die Ereignisse wiederum eine grosse Vielfalt verschiedener Entstehungsmechanismen und Abläufe auf. In einigen der betrachteten Bäche waren ihrem Ausmass entsprechend seltene Ereignisse beobachtet worden. Die teilweise erst vor wenigen Jahren erstellten Geschiebeablagerungsplätze hatten dabei sicherlich einen wesentlichen Anteil an der Verhinderung von Schäden in den unterliegenden Siedlungen. Die Investitionen in Schutzmassnahmen dürften sich in solchen Fällen gelohnt haben. Wo die Geschiebeablagerungsplätze nicht gefüllt worden sind, handelte es sich um kleinere Ereignisse und es ist nicht auszuschliessen, dass das Fassungsvermögen dieser Geschiebeablagerungsplätze in der Zukunft einmal voll gefordert sein wird. Die Beobachtungen im Rahmen des GHO-Netzes dienen letztlich auch dazu, für die Dimensionierung und Zweckmässigkeit von Geschiebeablagerungsplätzen zusätzliche Grundlagen bereit zu stellen.