

Freitag 16. Oktober 2015

10:00-10:30

## **Geschiebemessungen an der Rofenache in Vent Historische Entwicklung und aktuelle Messergebnisse**

Andrea Kreisler<sup>1</sup>, Hugo Seitz<sup>1,2</sup>, Johann Aigner<sup>1</sup>, Helmut Habersack<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) BOKU - Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau (IWHW),  
Muthgasse 107, 1190 Wien

<sup>2</sup>) Risk Consult Sicherheits- und Risiko-Managementberatung GmbH, Schottenring 35/4, 1010 Wien

### **Kurzfassung**

An der hydrographischen Pegelmessstelle des Landes Tirol in Vent an der Rofenache sind ergänzend zur amtlichen Durchflussermittlung eine Geophonanlage über den gesamten Messquerschnitt, ein mobiler Geschiebefangkorb, sowie ergänzende Messeinrichtungen (z.B. Trübesonde, etc.) für die Erfassung des Sedimenttransportes installiert. Der Geschiebetransportprozess wird kontinuierlich mit der Geophonanlage erfasst, während mit dem Fangkorb bei ausgewählten Ereignissen direkte Geschiebeproben entnommen werden.

Zusammen mit hydrologischen, geologischen, meteorologischen und ergänzenden Daten (z.B. Informationen über Feststoffquellen, Sedimentablagerungen, Gletscherhaushaltermittlung, etc.) erlaubt dies eine detaillierte Untersuchung der Transportprozesse an der Rofenache mit dem dazugehörigen Einzugsgebiet. Vor allem der Beginn der Geschiebebewegung, die Geschiebefracht und Geschiebetransportprozesse (Querschnittsverteilung und Periodizität der Geschiebebewegung) stehen im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Seit dem Jahr 2000 werden durchgängig Geophonimpulse aufgezeichnet, seit 2007 ergänzt durch periodische Geschiebefangkorbmessungen zur Validierung der Aufzeichnungen - somit stehen seither durchgängig qualitativ und quantitativ hochwertige Geschiebedaten in zeitlicher und räumlicher sehr hoher Auflösung zur Verfügung durch dieses integrative Messsystem.

### **Abstract**

At the Rofenache in Vent bedload monitoring is undertaken by direct (mobile bedload sampler) and indirect (geophones) measurement devices. Bedload transport process is detected continuously using the geophone device, whereas direct bedload measurements are undertaken at chosen flood events with the mobile Large Helley Smith bedload sampler.

This paper presents the used bedload monitoring methods and representative results of the bedload monitoring activities of the last years.

## **Einleitung**

### *Geschiebeproblematik*

Die Auswirkungen von Geschiebetransportprozessen sind als negative Begleiterscheinungen von Hochwasserkatastrophen offensichtlich. Das von Gewässern mitgeführte Geschiebe spielt bei Hochwasserereignissen eine wesentliche Rolle und kann sogar zu einer Verschlimmerung der Gefahrenlage und somit zu weitaus größeren Schäden führen als das bei Reinwasserabfluss der Fall wäre. Besonders an kritischen Gerinneabschnitten können (temporäre) Ablagerungen des Geschiebes an der Gerinnesohle während eines Hochwasserereignisses zu Ausuferungen führen. An Wildbächen kann es im Zuge von lokalen Starkregenereignissen zu Murgängen kommen.

Um das Schadensausmaß zu vermindern wurden und werden im Einzugsgebiet der Flüsse und Bäche unter anderem Wildbachsperrren errichtet, um Siedlungen und Infrastruktur durch Feststoffrückhalt zu schützen. In Kombination mit der Errichtung von Staustufen an den Flüssen weiter flussab und deren Kanalisierung im Zuge von Begradigungen und (Hochwasserschutz-)Verbauten kam es zu Geschiebedefiziten und in Folge zu Flusseintiefungen. Diese schleichenden Prozesse blieben längere Zeit unbemerkt. Über längere Zeiträume gesehen wurden die Auswirkungen offensichtlich. So tieft sich die Donau unterhalb von Wien jährlich bis zu 5 Zentimeter ein, gleichzeitig erhöht sich die Aulandschaft um bis zu mehrere Dezimeter infolge von Feinsedimentablagerungen von nach Hochwässern aus den Stauräumen ausgetragenen Feinsedimenten. Es ergaben sich durch die anthropogenen Eingriffe starke ökologische Defizite für die aquatischen Lebensräume.

### *Maßnahmen*

Bisher wurden den Flusseintiefungen als Folge des gestörten Geschiebehaushalts durch Verbauungsmaßnahmen begegnet (z.B. Einbau von Sohlschwelen, Verklappung von Geschiebe, etc.). Es wurde versucht die Sohleintiefung zu stoppen bzw. zu verlangsamen, ohne jedoch die Ursachen der Problematik nachhaltig zu beseitigen. Durch die Siedlungs- und Nutzungstätigkeit im alpinen Raum ist es allerdings kaum möglich den Bächen und Flüssen den Raum und die Dynamik zurückzugeben, den diese für die Wiederausbildung ihres natürlichen Abflussregimes benötigen würden. Es ist jedoch möglich angepasste Strategien zu entwickeln, um Bäche und Flüsse wieder, zumindest streckenweise, in ein Gleichgewicht zu bringen. So kann z.B. durch spezielle Geschiebesperrren an Wildbächen einerseits ein auftretender Murgang gestoppt und somit das Siedlungsgebiet geschützt werden, andererseits durch eine gezielte Selbsträumung des Rückhaltebeckens dem Bach Geschiebe wieder zugeführt werden. An Flüssen sind streckenweise Flussaufweitungen und Renaturierungsmaßnahmen bereits ausgeführt worden. Es zeigte sich aber, dass die ausgeführten Renaturierungsmaßnahmen teilweise Defizite aufwiesen, da für die zugrunde liegenden Planungen qualifizierte Eingangsdaten fehlten. Die für die Planungen verwendeten gängigen Geschiebetransportformeln wurden teilweise in Labors entwickelt oder basieren auf stark vereinfachten Annahmen. Speziell die Transportprozesse während eines Hochwassers konnten bislang nicht erfasst werden.

Um gesicherte Eingangsdaten für Planungen und Modelle zur Verfügung zu haben ist die Kenntnis des Geschiebehaushalts und der tatsächlichen Transportprozesse essentiell.

Somit sind langjährige Datenreihen von Geschiebemessungen sowie deren Auswertung und Validierung unerlässlich.

### *Geschiebemessungen in Österreich*

In Österreich wurden bereits vor ca. 80 Jahren erste Versuche unternommen den Geschiebetrieb an Flüssen zu quantifizieren (Mühlhofer, 1933). Auch liegen seit Beginn von Verbauungstätigkeiten an Wildbächen Erfahrungen mit Geschiebe und den Auswirkungen der Transportprozesse vor, welches in der Entwicklung von Gefahrenzonenplänen und empirischen Formeln mündete.

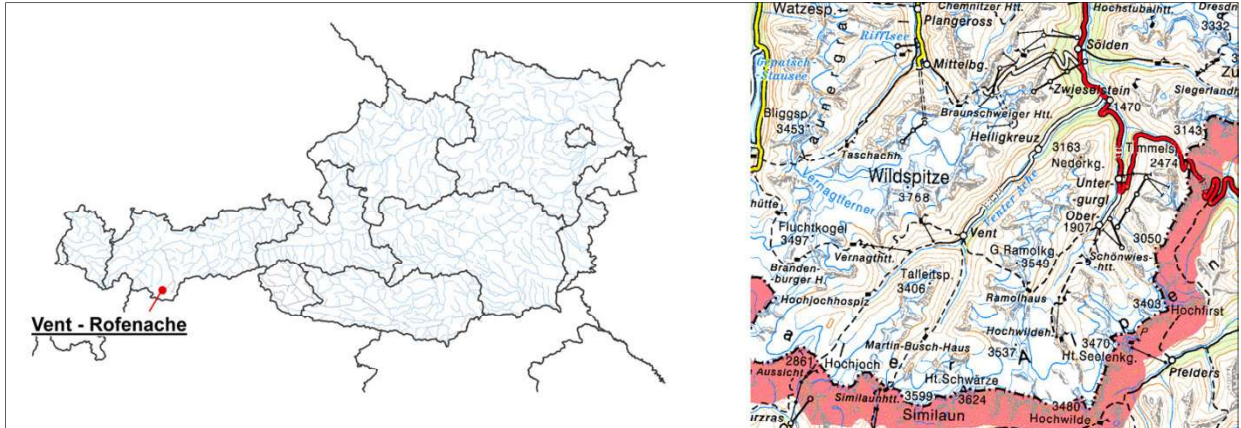
Durch die Wasserrechtsgesetznovelle 2003 wurde die gesetzliche Forderung gestellt die Durchgängigkeit der Flüsse sowohl für das aquatische Leben als auch für Sedimente herzustellen.

Auch für Eingriffe in den Gewässerhaushalt z.B. durch den Bau von Wasserkraftanlagen werden Sedimenthaushaltuntersuchungen durch langfristige Messreihen gefordert. So wurde 2001 für den Bau des Kraftwerks Strassen-Amlach an der Drau eine der ersten Geophonanlagen in Österreich als Beweissicherungsmaßnahme installiert. Die Universität für Bodenkultur war schon früh in die Geschiebehaushaltuntersuchungen wissenschaftlich eingebunden. Seit dem Jahr 1994 werden LHSS Messungen an der Drau in Dellach durchgeführt und ergänzend im Jahr 1995 eine Geschiebefalle (Slot Sampler) in der Drausohle eingebaut.

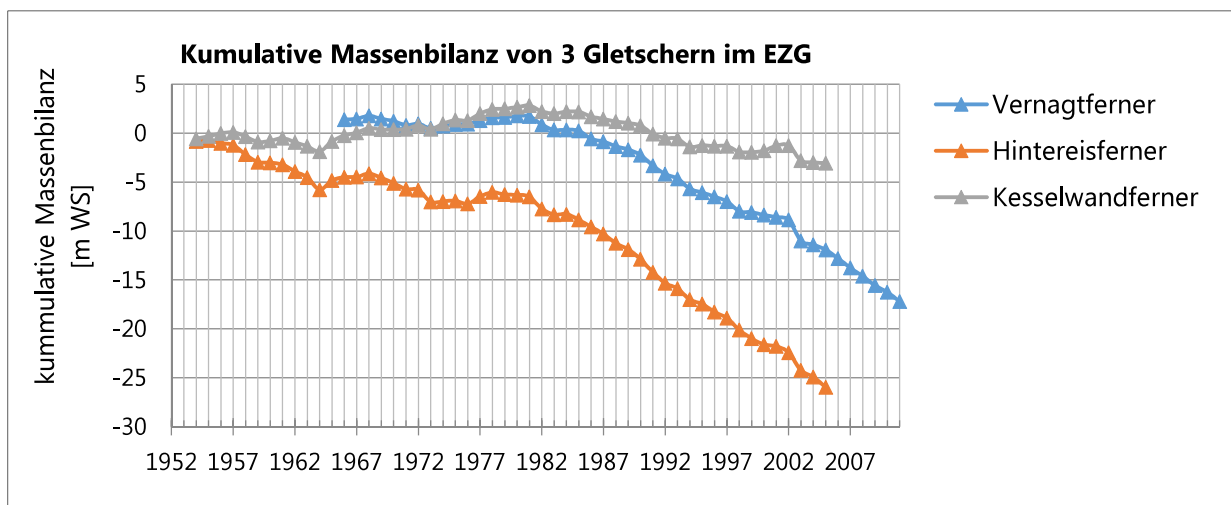
Der Hydrographische Dienst Tirol unter der Leitung von Dr. Gattermayr spielte eine Vorreiterrolle bei der Errichtung von weiteren Geschiebemessanlagen in Österreich. Im Jahr 2000 wurde die Anlage in Vent in Betrieb genommen. Die Anlage in Dellach wurde 2006 zu einer intergalen (immer noch weltgrößten) Geschiebemessanlage ausgebaut mit einer Geophonanlage über den gesamten 50m breiten Fließquerschnitt ergänzt durch 3, in der Flusssohle eingebauten, Geschiebefallen und weitere Messsysteme (Trübemessgeräte, Pegelanlage, Temperaturmesssonden, Hydrophone, etc.). Weitere Anlagen wurden in Folge errichtet, zuletzt auch an Wildbächen in enger Zusammenarbeit mit der WLW (Urslau, Gesäuse) oder von Energieversorgern (z.B. von der Tiwag im Ötztal und Stubaital als Beweissicherungsmaßnahmen im Zuge von Wasserkraftprojekten). Im Zuge des wasserbaulichen Gesamtprojektes an der Donau im Nationalpark Donauauen wurden intensive Geschiebestudien durchgeführt und spezielle Messgeräte entwickelt (Sohlschubspannungsmessgerät, Ultraschallsonden, etc.).

### **Einzugsgebiet und Hydrologie**

Das hochalpine Einzugsgebiet der Messstation in Vent, dessen Vergletscherung derzeit nur noch bei rund 35 % liegt, umfasst eine Fläche von 98,1 km<sup>2</sup>. Im Einzugsgebiet liegen die großen Gletscherguppen Hochjoch-, Hintereis-, Kesselwand-, Guslar- und Vernagtferner. Abb. 9 zeigt die kumulativen Massenbilanzen des Vernagtfeners, Hintereisfeners und Kesselwandfeners der letzten Jahre (Braun, 2002). Alle Gletscher verlieren seit 1850 kontinuierlich an Masse, die jährlichen Abflussspenden variieren sehr stark. In den Sommermonaten kann es in heißen, wolkenfreien Perioden fast täglich zu einem einjährigen Hochwasserereignis kommen (Abb. 11). Durch sehr heiße Sommer und geringe Schneefälle in den Wintermonaten davor kam es zu einer sehr starken Gletscherschmelze in den Jahren 2003 und 2015.



**Abb. 8:** Geographische Lage des Untersuchungsgebietes (digHAÖ,2009; ÖK500)

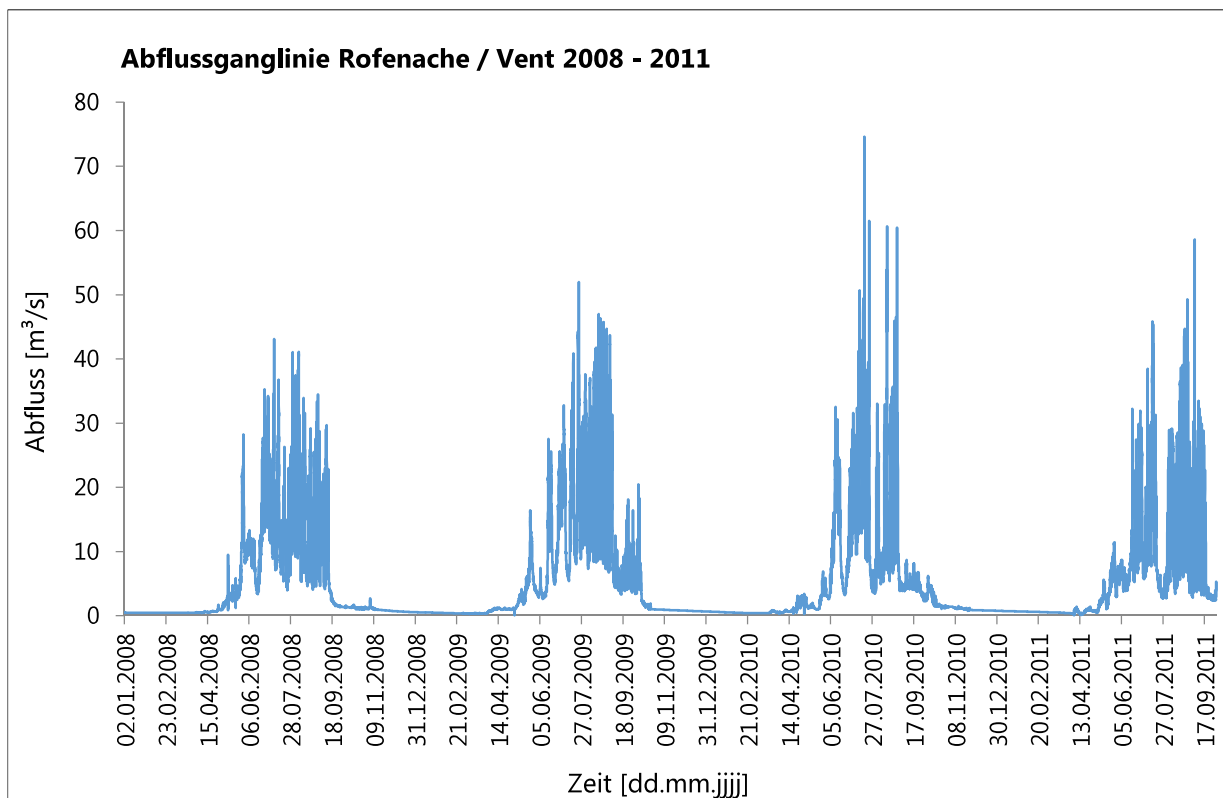


**Abb. 9:** Kumulative Massenbilanzen von 3 Gletschern (BAW)

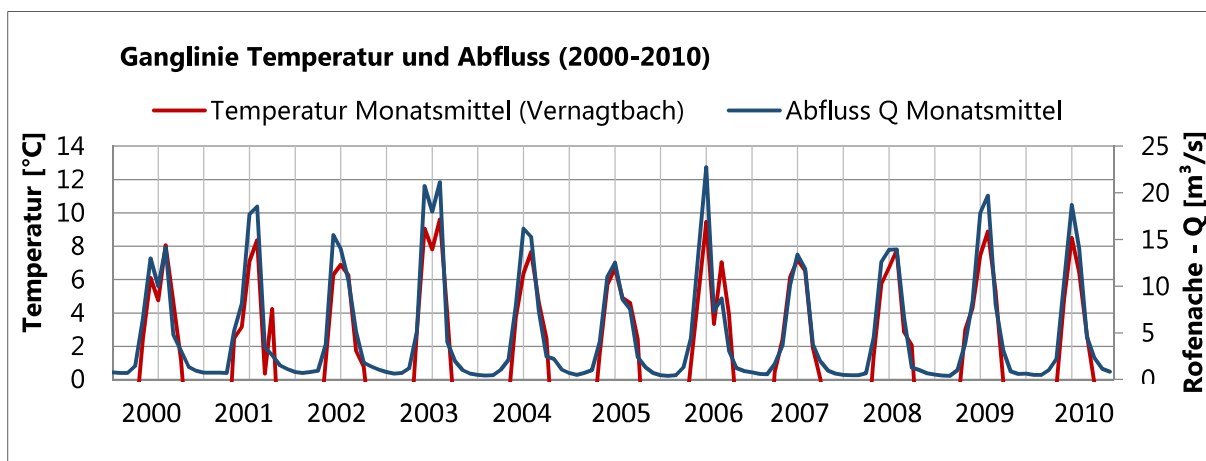


**Tabelle 1:** Hydrologische Kennwerte Pegelstation Vent/Rofenache (hyd. Jahrbuch, 2012)

Messtellenummer	201350
Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]	98.1
MQ (Reihe 1971 – 2012) [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	4.55
NNQ (seit 1967) [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	0.09
HHQ (seit 1967) [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	109



**Abb. 10:** Abflussganglinie Rofenache 2008-2011



**Abb. 11:** Ganglinie Temperatur Vernagtbach (nur positive Werte berücksichtigt) und Abfluss Vent 2000 – 2010

## **Geologie**

Die Rofenache folgt in ihrem Verlauf von der Quelle bis zur Einmündung in die Venter Ache hauptsächlich geologisch vorgegebenen Strukturen. Es herrschen die kristallinen und metamorphen Gesteine der Zentralalpen vor. Dazu zählen vorwiegend Paragneise und Glimmerschiefer sowie in geringen Anteilen Granitgneis, Kalk und Phyllite.

Die geologische Untersuchung einer Fangkorbprobe am „Institut für Angewandte Geologie“ der Universität für Bodenkultur in Wien ergab ebenfalls einen vorwiegenden Anteil an kristallinem Gestein von ca. 99 %. Der Rest setzt sich aus zuvor genannten Gesteinsarten zusammen.

## **Bau und Entwicklung des Pegels in Vent**

- Bereits vor über 40 Jahren wurden Überlegungen zum Bau einer Pegelstelle in diesem hochvergletscherten Einzugsgebiet angestellt. Im Zuge des IHD-Forschungsprojektes „Eis- Wasser- und Wärmehaushalt im Rofental bei Vent“ konnte unter der Führung von Univ.Prof. Dr. Herfried Hoinkes, Institut für Meteorologie und Geophysik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, die Verwirklichung dieser Maßnahme ins Auge gefasst werden.
- 1963 erfolgte die Installation eines Schreibpegels im Naturgerinne. Infolge der sehr turbulenten Abflussverhältnisse sowie der großen Sohlveränderung infolge des Geschiebetriebes konnten jedoch keine brauchbaren Aufzeichnungen gewonnen werden.
- Am 1. Juni 1966 wurde vom Hydrografischen Dienst Tirol in Zusammenarbeit mit der Studiengesellschaft Westtirol erstmals mit der Durchflussmessung begonnen.
- Mit den Bauarbeiten für einen neuen Pegel hat das Wasserbauamt Imst unter Dipl.-Ing. Walter Bupik am 13. Oktober 1966 begonnen. Im Dezember desselben Jahres wurden die Arbeiten zur Fertigstellung an die Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung Imst, unter OFR Dipl.-Ing. Dr. Emil Leys übergeben. Es wurde ein betoniertes Rechteckprofil vorgesehen, von dem die Sohle und der unterste Bereich der Leitwände mit Granit ausgekleidet wurden. Hinter der rechtsufrigen Leitwand wurde ein Messschacht samt Pegelhäuschen errichtet. Die Sohlsicherung erfolgte durch Pilotierungen oberhalb und unterhalb des Bauwerkes. Die jeweiligen Bauabschnitte mussten während der Durchführung der Betonarbeiten aufgrund der tiefen Temperaturen eingehaust und beheizt werden. Am 12. Mai 1967 um 10:15 Uhr wurde der Pegel durch Auflegen des ersten Schreibstreifens in Betrieb genommen.
- In den folgenden Jahren kam es immer wieder zu Beeinträchtigungen der Messanlage z.B. Verlegung durch große Steine im Zulauf und Kolkbildung. Als erste Sanierungsmaßnahme wurde im Frühjahr 1969 eine massive KOLKSicherung aus Flussbausteinen eingebaut.
- Am 8. Oktober 1969 führte die Gesellschaft für Strahlenforschung in München (Univ.Prof. Dr. Moser) Abflussmessungen mittels Tracer (Rhodamin WT-Lösung) durch. Vergleichsmessungen des Hydrografischen Dienstes und der Studiengesellschaft Westtirol bestätigten diese Ergebnisse.
- 1971 wurde das Bauwerk durch Vorsetzen einer „Wildbachsperre“ durch die Wildbach- und Lawinenverbauung Imst gesichert. Des Weiteren konnten auch sämtliche Schäden im Gerinne behoben werden.
- 1974 trat der Hydrografische Dienst Tirol dem Betreuungsdienst der Wildbach- und Lawinenverbauung bei.

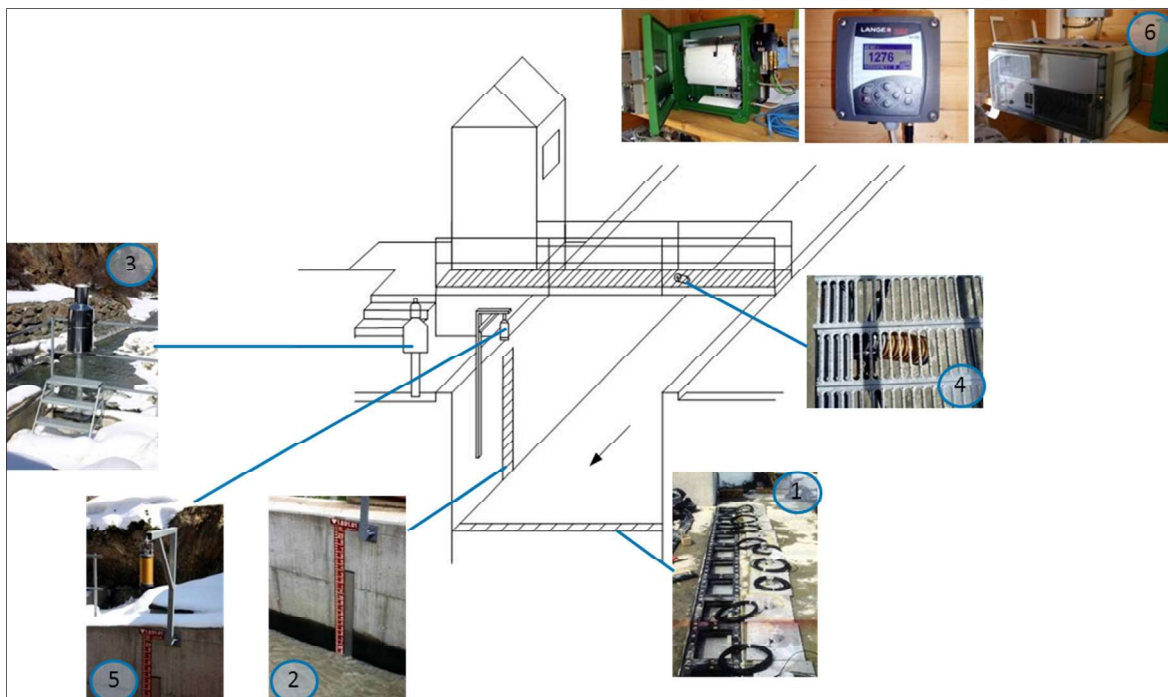
- Am 20. Februar dieses Jahres musste abermals ein großer Stein im Gerinne gesprengt werden.
- Am 19. Mai 1982 wurde ein Pneumatikpegel eingesetzt, da der Messschacht laufend versandete und dadurch der Schwimmerpegel falsche Aufzeichnungen lieferte. Bis die optimale Höhenlage für die Situierung der Ausperlöffnung gefunden werden konnte, musste diese in den folgenden Jahren aufgrund des Einsandens und des Sogeffektes insgesamt sechsmal versetzt werden.
- Eine neuerliche Sanierung des Gerinnes erfolgte im April 1989, da mehrere Steine der Sohlverkleidung herausgerissen waren. Die Wahl fiel auf den Einbau von „Mann-an-Mann“-verlegten U-Profilen.
- Im darauffolgenden Winter 1989/1990 begannen sich diese Profile infolge von Eisbildung im Gerinne zu deformieren, was zu einer erhöhten Wellenbildung und Abnützung der Profilkanten führte.
- 1994 wurde zudem das Fehlen von Granitquadern des Überfallbauwerkes festgestellt.
- Im Frühjahr 1997 fehlte bereits Teile der Verkleidung der Schwelle.
- Am 5. August des darauffolgenden Jahres unterspülte die hochwasserführende Rofenache die obere Hälfte der stählernen Sohlverkleidung, wodurch diese über den Messsteg hinweg ins Unterwasser fortgerissen wurde. Der Messsteg wurde dabei stark beschädigt.
- Aufgrund dieser Ereignisse und den Erkenntnissen aus den Vorjahren wurde noch im selben Jahr der Neubau des Pegels in die Wege geleitet, welcher im Frühjahr 1999 erfolgte (minimaler Durchfluss). Dem Beton wurde zum Schutz der Gerinnesohle Kupferschlacke (Fayalit) zugegeben. Im Zuge des Neubaus wurde die Geophonanlage mit errichtet.
- Bereits nach dem ersten Messsommer bot sich am Pegel Vent/Rofenache an der Gerinnesohle ein Bild der Zerstörung. Aufgrund des massiven Geschiebetriebes und der abrasiven Wirkung des Geschiebes wurde die spezielle Betonsohle des Messgerinnes über den Sommer hinweg geradezu „abgeschmirgelt“. Im Durchschnitt verlor die Betonsohle mehr als 5 cm an Substanz, sogar die Bewehrung der Sohle wurde größtenteils völlig freigelegt.
- Aus Zeit- und Kostengründen entschloss man sich kurzfristig die Sohle im darauf folgenden Frühjahr mit Stahlplatten auszukleiden. Die Stahlplatten hatten eine Stärke von 15 mm und wurden kraftschlüssig über verschweißte Anker mit dem Untergrund verbunden. Diese Maßnahmen sollten nun den Bestand der Gerinnesohle sichern.
- Im Winter 2006/2007 musste man jedoch erneut feststellen, dass auch die 15 mm starken Stahlplatten durch den massiven Geschiebetrieb und die abrasive Wirkung des Gletscherschliffes im Hauptstromstrich des Gerinnes auf Blechstärke abgearbeitet wurden. Durch stellenweises Flickern der Stahlsohle (Schweißarbeiten) konnte man zwar über einen bestimmten Zeitraum entstandene Schäden vorübergehend beseitigen, jedoch das Ausmaß der schrittweisen Zerstörung an der stählernen Gerinnesohle machte eine erneute umfassende Sanierung unumgänglich. Gemeinsam mit Fachexperten anderer Disziplinen wurde ein nachhaltiges Schutzkonzept entwickelt. Das Gerinne wurde im März 2009 mit Gummiplatten ausgekleidet und die Geophonanlage erneuert mit neuer Technologie.
- Im Frühjahr 2015 mussten zuletzt kleinere Ausbesserungsarbeiten an der Gerinnesohle vorgenommen und ein defektes Geophon erneuert werden. Das Schutzkonzept für die Pegelanlage erscheint erfolgreich zu sein.

## Methodik

### Messstation Vent / Rofenache

Abb. 12 zeigt eine Skizze der Messstation. Folgende Messgeräte sind an der Station installiert:

- Geophonanlage
- Trübesonde
- Lattenpegel
- Drucksonde
- Radarsonde
- Temperatursensor
- Ombrometer
- Radarsonde



1. Geophonanlage, 2. Lattenpegel, 3. Ombrometer, 4. Radarsonde v – Oberflächengeschwindigkeit, 5. Radarsonde W – Wasserstandsmessung, 6. Pegelhaus

**Abb. 12:** Übersicht Messstation Vent / Rofenache



**Abb. 13:** Ansicht Messstation

### **Geschiebemessung an der Rofenache**

Geschiebemessungen erfolgen an der Rofenache anhand direkter (Mobiler Geschiebefangkorb) und indirekter (Geophonanlage) Messmethoden.

#### **Direkte Geschiebemessung - mobiler Geschiebefangkorb**

1999 bis 2007 wurden Geschiebeentnahmen mittels eines einfachen Fangkorbes durchgeführt. Der Fangkorb konnte allerdings aufgrund der starken Strömung nicht definiert an der Gerinnesohle platziert werden. Es konnten erste Erkenntnisse zum Geschiebetrieb gewonnen werden.

Die direkte Erfassung des Geschiebetransportes erfolgt seit 2007 mit einem von DI Kerschbaumsteiner konzipierten mobilen Geschiebefangkorb („Vent Sammler“) nach dem Vorbild von Bunte (Bunte et al., 2004). Der Fänger wurde von DDI Seitz an die örtlichen Gegebenheiten angepasst und realisiert.

Der Fangkorb hat eine Öffnungsweite von 0,44 m Breite und 0,26 m Höhe. Das Netz hat eine Maschenweite von 3,5 mm \* 6,5 mm und eine Maximallänge von 2 m. Das Ende wird mittels Zurrigurt zugebunden, was ein rasches Entleeren des Geschiebefängers ermöglicht. Abb. 14 zeigt Fotos des Geschiebesammlers. Eine Skizze mit den wesentlichen Abmessungen des Messgerätes zeigt Abb. 15.

Die Geschiebemessung mit dem mobilen Geschiebefänger erfolgt von einem Kranwagen aus. Der Fänger wird in der Mitte des Messprofils auf der Flusssohle aufgesetzt und nach einer vom Geschiebetrieb abhängigen Messdauer wieder emporgehoben, auf das Ufer zurückgeschwenkt und dort entleert.

Um die zeitliche Variabilität des Geschiebetransportes zu berücksichtigen, werden drei Messungen hintereinander durchgeführt. Die Bestimmung des Geschiebetriebs [kg/ms] erfolgt durch Mittelung der drei aufeinanderfolgenden Messungen. Die Rofenache weist einen stark ausgeprägten Tagesgang auf. Die



Geschiebemessungen werden in regelmäßigen Abständen über den Tag verteilt um die gesamte Abflusswelle zu erfassen.

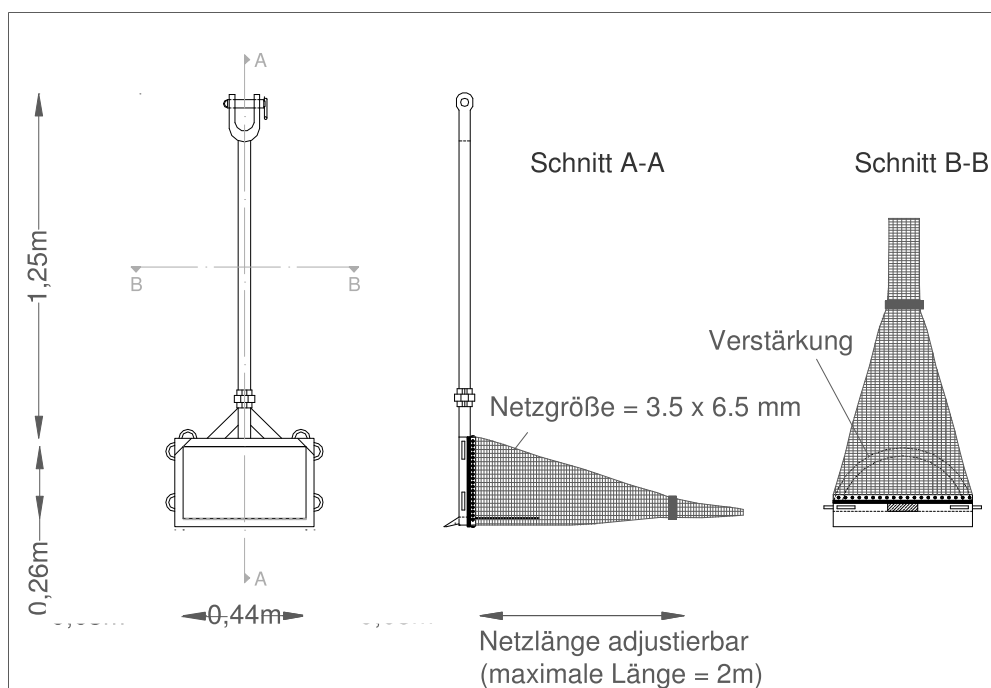
Wichtig bei dem Messvorgang ist die Rückverankerung mittels Spannseil und Karabiner in der Ufermauer. Es wird hiermit ein Abdriften des Sammlers während des Messvorganges verhindert.

Die direkte Messung des Geschiebetransportes ermöglicht neben der Ermittlung des Geschiebetriebes auch die Bestimmung der Textur. Die Erstellung von Sieblinien und die Bestimmung der charakteristischen Korngrößen sind möglich. Die Öffnungsweite des Einlaufbereichs stellt die obere Grenze des erfassbaren Korngrößenspektrums dar, die Maschenweite des Fangnetzes begrenzt die minimal erfassbare Korngröße.

Zu Zeit ist es nur möglich die Geschiebemessung mit dem Fangkorb oberstrom der Geophonanlage durchzuführen.



**Abb. 14:** Geschiebemessung mit dem mobilen Geschiebefänger (a,b), Geschiebeprobe (c)



**Abb. 15:** Systemskizze Mobiler Geschiebefänger

## Indirekte Geschiebemessung – Geophonanlage

Geophone sind Schwingungssensoren und stammen aus der seismischen Untergrunderkundung. Zur indirekten Messung des Geschiebetransportes werden die Geophone an der Unterseite von Stahlplatten angebracht (Abb. 16a). Diese Stahlplatten werden wasserdicht über das gesamte Flussprofil an der Gerinnesohle eingebaut.

Wird das Geschiebe über die Platten transportiert, so wird eine Vibration erzeugt, die vom Geophon registriert wird. Dieses Signal wird in ein elektrisches Spannungssignal transformiert und von einem Computersystem weiterverarbeitet. Durch diese automatisierte Messmethode ist es möglich, den Geschiebetransport kontinuierlich über die gesamte Flussbreite zu erfassen.

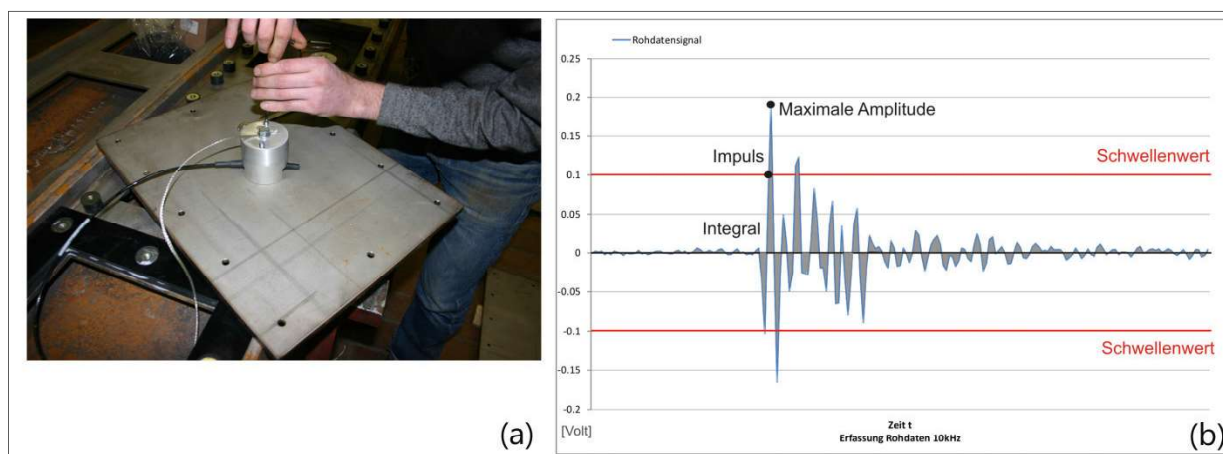
Abb. 16b zeigt ein Beispiel des Rohdatensignals, welches mit 10kHz erfasst wird. Folgende Daten werden von einer Software verarbeitet und abgelegt:

- kontinuierlich bei jedem Geophon:
  - Anzahl der Impulse / Minute (Nulldurchgang eines Schwellenwertes von 0.1 Volt)
  - Maximale Amplitude / Minute
  - Integral der quadrierten Mittelwerte / Minute
- bei Bedarf an einem einzelnen Geophon
  - Rohdatensignal
  - Sekundendaten

An der Messstelle Rofenache / Vent sind 13 Geophone bzw. seit 2009 12 Geophone eingebaut.

Durch die kontinuierliche und automatisierte Erfassung des Geophonsignals werden zeitlich hoch auflösende Angaben über die Querverteilung im Messprofil, die zeitliche Variabilität des Geschiebetransportes, sowie des Transportbeginns gewonnen.

Die Bestimmung der Korngrößen ist bei dieser indirekten Geschiebemessmethode nicht möglich. Eine Kalibrierung mit den Ergebnissen des mobilen Geschiebefängers ist erforderlich.



**Abb. 16:** Stahlplatte mit montiertem Geophon (a); Verarbeitung des Geophonsignals (b)

## Siebanalyse

Die Geschiebeprobe, die mit dem mobilen Geschiebefänger entnommen werden, werden getrocknet und anschließend gesiebt. Ergebnisse der Siebanalyse sind die Trockenmasse der Geschiebeprobe und die Korngrößenverteilungen bzw. charakteristischen Korngrößen des Sedimentmaterials.

## Ergebnisse

Die Ganglinien der Geophonimpulse und des Durchflusses ist für das Jahr 2012 beispielhaft in Abb. 17 dargestellt.

Die Anzahl der registrierten Geophonimpulse zeigt eine hohe Variabilität. Es zeigte sich, dass die Zahl der aufgezeichneten Geophonimpulse im Jahr 2010 um etwa das 12 fache größer war als im Jahr 2014, wo vergleichsweise wenig Geschiebetransport stattgefunden hat.

Das nivo-glaziale Regime der Rofenache, mit sehr niederen Durchflüssen im Winter und hohen Abflussraten in den Sommermonaten ist an allen Ganglinien der letzten Jahre klar erkennbar.

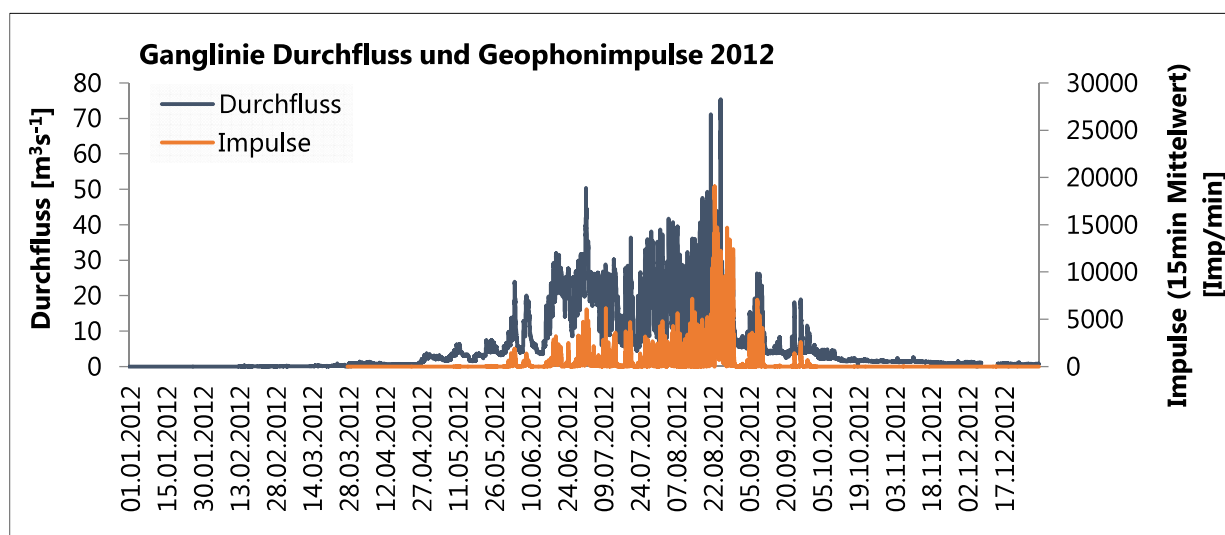


Abb. 17: Ganglinie Geophonimpulse und Durchfluss 2012

## Zeitliche und räumliche Variabilität des Geschiebetransportes

Die kontinuierliche Datenerfassung der Geophonanlage ermöglicht es, den Geschiebetransportprozess ganzheitlich zu erfassen und den zeitlich und räumlich variablen Prozess näher verstehen und beschreiben zu können.

Abb. 18 zeigt den Anteil der einzelnen Monate an der Jahressumme für die Jahre 2008-2014. Es ist deutlich sichtbar, dass der meiste Geschiebetransport in den Sommermonaten registriert wurde.



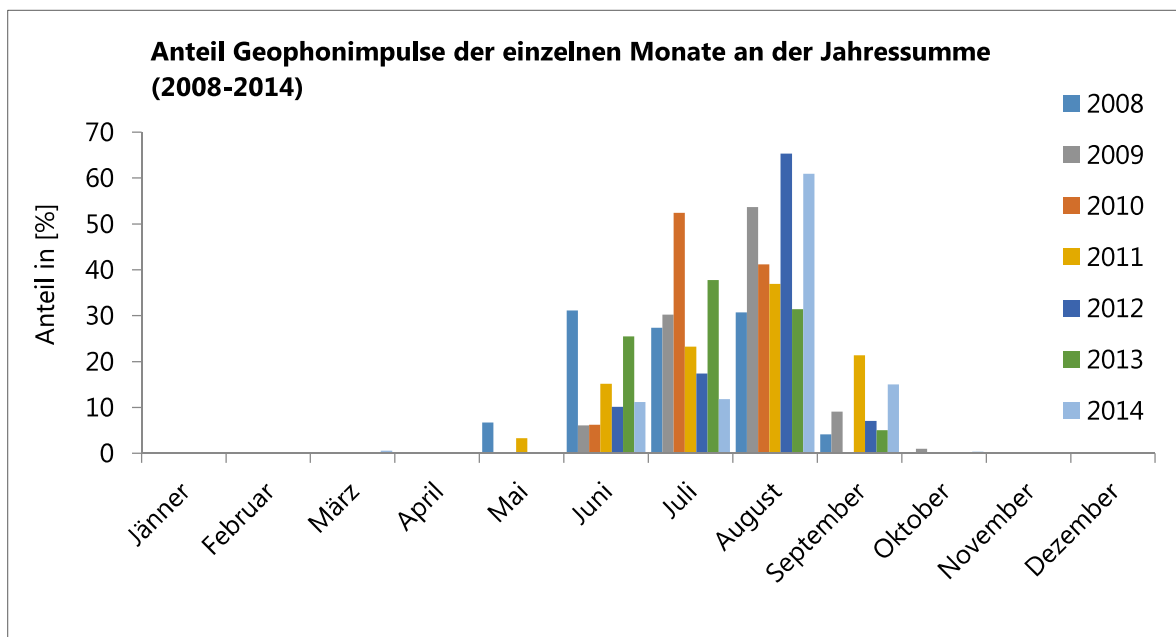


Abb. 18: Anteil der Geophonimpulse der einzelnen Monate an der Jahressumme

Die räumliche Verteilung der Geschiebetransportintensität in einem Messquerschnitt ist veränderlich. An der Messstation Vent findet der Geschiebetransport vermehrt auf der orografisch rechten Seite statt. Beispielhaft ist die Querverteilung in Abb. 19 dargestellt

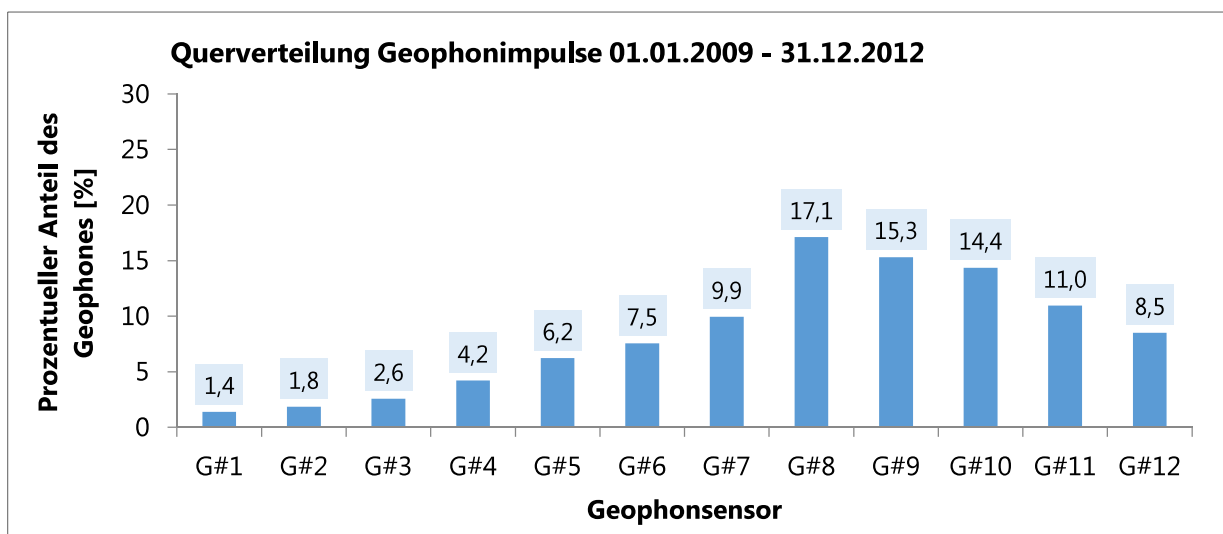
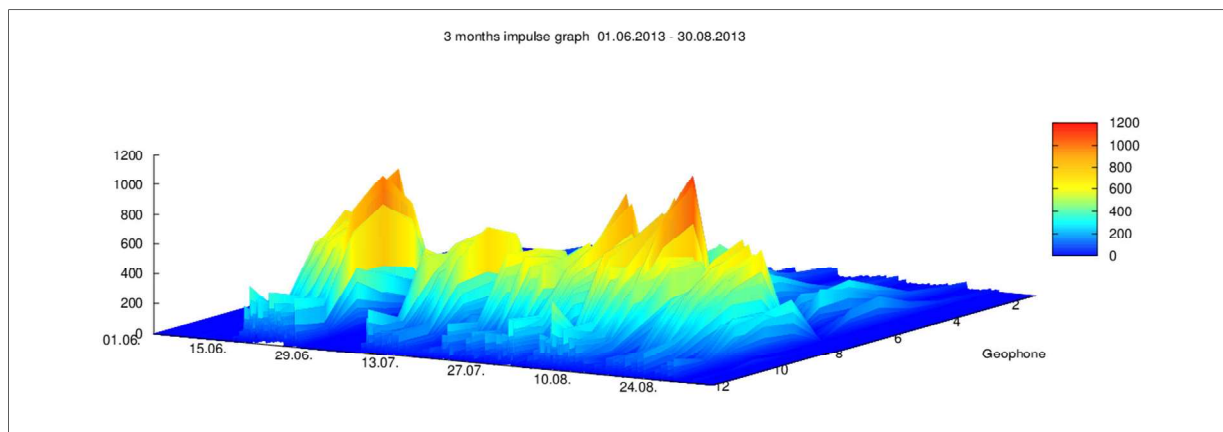


Abb. 19: Querverteilung der Geophonimpulse 01.01.2009 – 31.12.2012

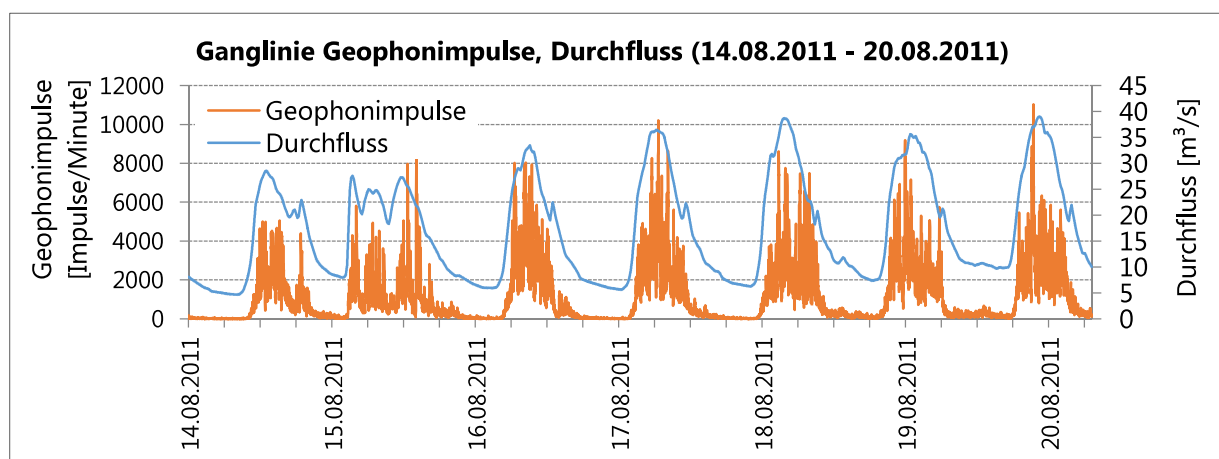
Abb. 20 zeigt die zeitliche und räumliche Verteilung der registrierten Geophonimpulse an der Messstation im ausgewählten Zeitraum 01.06.2013 – 30.08.2013. Einzelne Geschiebeereignisse und die zeitliche und räumliche Variabilität des Geschiebetransportprozesses sind in dieser Abbildung klar ersichtlich.



**Abb. 20:** Variabilität der Geophonimpulse 01.06.2013 – 30.08. 2013 (3D Darstellung)

### Zusammenhang indirekte Geschiebemessung und Abfluss

Abb. 14 zeigt die Durchflussganglinie an der Rofenache und die zeitgleich registrierten Minutensummen bzw. 5-Minutenmittelwerte der Geophonimpulse. Der Tagesgang von Durchfluss und Geschiebetransportintensität vom 16.08.2011 ist in Abb. 14 - Wochenganglinie Geophonimpulse dargestellt.



**Abb. 21:** Ganglinie Summe Geophonimpulse und Durchfluss 14.08.2011 bis 20.08.2011

Gleiche Abflussereignisse führen jedoch nicht immer zur gleichen Geschiebetransportintensität. Dadurch wird das Monitoring des Geschiebetransportprozesses und in weiterer Folge die Berechnung von Transportraten und Transportfrachten erschwert.

Ein starkes Regenereignis führte am 17.07.2010 zusätzlich zu dem von der Gletscherschmelze bedingten Abfluss zu einem raschen Anstieg des Abflusses bis zu einer Spitze von 75 m<sup>3</sup>/s. Auf Abb. 22 ist ersichtlich, dass in den Tagen vor dem Hochwasserereignis die registrierten Geophonimpulse eine starke Abhängigkeit vom Durchfluss aufweisen. Während des Hochwasserereignisses steigt die Anzahl der Impulse nur gering an. Am 18.07.2010 steigt, nach Abklingen der Hochwasserspitze, plötzlich die Anzahl der registrierten Geophonimpulse. In den nachfolgenden Tagen bleibt die Anzahl der Geophonimpulse auf hohem Niveau, folgt aber dem Tagesgang des Durchflusses. Das Ansteigen der Geophonimpulse kann auf eine erhöhte Verfügbarkeit des Geschiebematerials (z.B. Murenabgang) zurückgeführt werden.

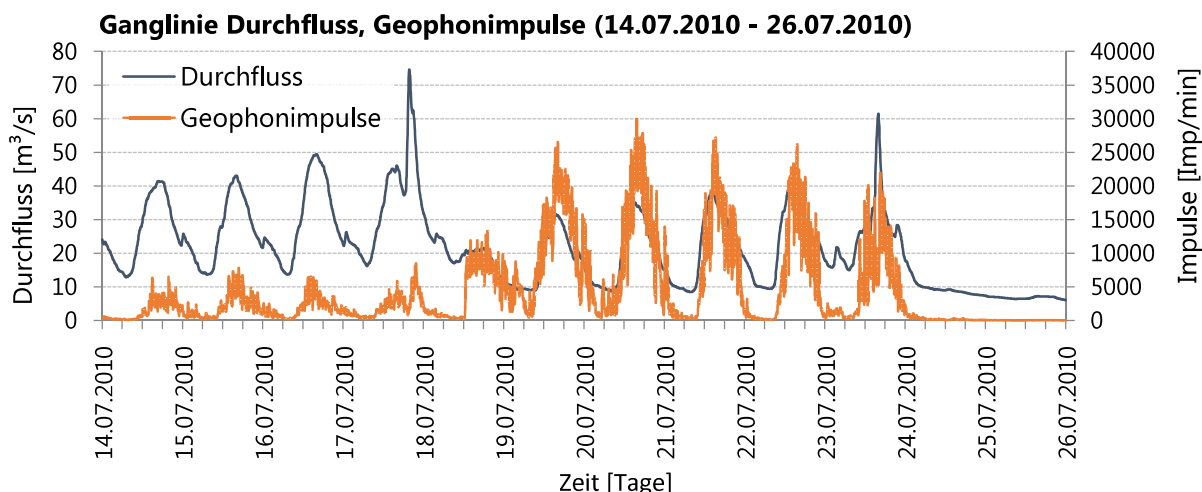


Abb. 22: Ganglinie Durchfluss, Geophonimpulse (14.07.2010 - 26.07.2010)

### Zusammenhang direkte Geschiebemessung und Abfluss

Der Geschiebetrieb kann durch Fangkorbmessungen bestimmt werden. Die Hochrechnung des Geschiebetriebes [kg/ms] auf den Geschiebetransport [kg/s] im Profil erfolgt über die Querverteilung der erfassten Geophonimpulse.

Abb. 16 zeigt den ermittelten Geschiebetransport [kg/s] von den in den Jahren 2008 bis 2014 an der Messstation durchgeführten Fangkorbmessungen. Die Messwerte sind in dieser Abbildung dem Durchfluss gegenübergestellt. Mit steigendem Durchfluss ist auch mit größerem Geschiebetransport zu rechnen. Im unteren Durchflussbereich ist dieser Zusammenhang klar ausgeprägt. Je größer der Durchfluss wird, desto stärker streut dieser Zusammenhang. Über Korrelationen zwischen Geophonimpulsen, Durchfluss und direkter Geschiebemessungen mittels mobilem Fangkorb wurden Geschiebefrachten ermittelt (Abb. 17). Für die Gegenüberstellung der Ergebnisse der Fangkorbmessungen mit den Geophondaten muss berücksichtigt werden, dass die Geophone nur Steine größer ~20 mm registrieren.

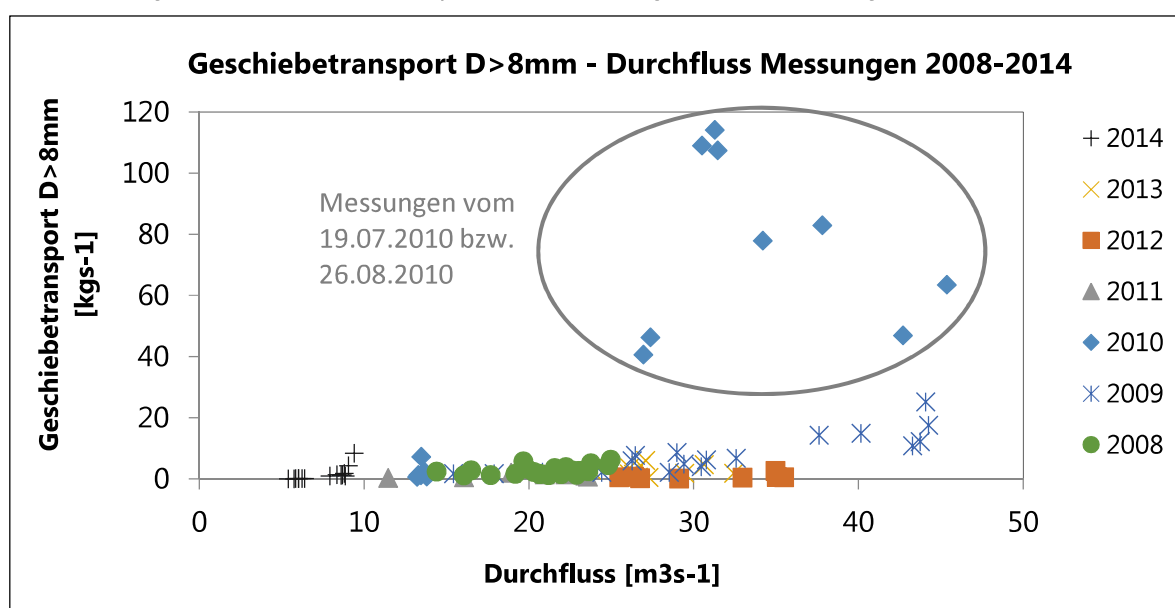
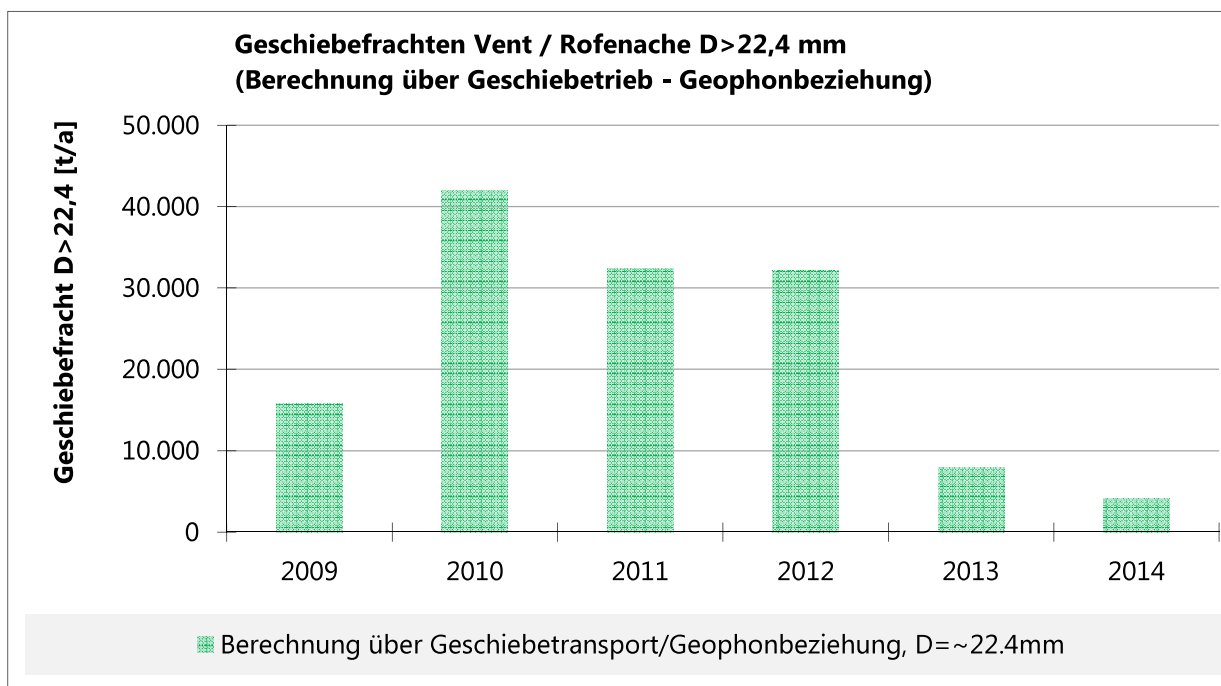


Abb. 16: Zusammenhang Geschiebetransport (Fangkorbmessung)  $D > 8\text{mm}$  - Durchfluss 2008-2014



**Abb. 17:** Geschiebefrachten Vent / Rofenache  $D > 22,4$  mm, Geschiebetrieb-Geophonbeziehung

### Zusammenfassung und Ausblick

Der Geschiebetransport an der Rofenache wird durch die Kombination von indirekten und direkten Geschiebemessungen seit 2007 integrativ erfasst.

Der Geschiebetransportprozess wird kontinuierlich und automatisch mit der Geophonanlage aufgezeichnet. Geschiebetransportereignisse können analysiert werden. Die räumliche und zeitliche Variabilität des Geschiebetransportes wird erfasst. Durch die kontinuierliche Erfassung des Geschiebetransportprozesses mit den Geophonen kann an der Messstation der Bewegungsbeginn bei etwa  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  beobachtet werden. Dieser Wert ist als untere Grenze für den Bewegungsbeginn anzusehen.

Die direkte Beprobung mit dem Mobilten Geschiefefänger („Vent-Sammler“) hat sich bei kleinen bis mittleren Ereignissen bewährt. Die Probenentnahme mit dem Kranwagen ist gut durchführbar. Bei Hochwasserereignissen mit starkem Geschiebetransport ist die Beprobung mit dem Fangkorb nur eingeschränkt möglich. Zusätzlich wird bei der Probenentnahme mit dem Fänger nur ein begrenztes Korngrößenspektrum erfasst. Nach oben hin ist das Spektrum durch die Breite des Einlaufbereiches, nach unten hin durch die Maschenweite eingeschränkt.

Der beobachtete Geschiebetransport weist grundsätzlich eine Abhängigkeit vom Durchfluss auf. Die Güte der Geschiebetransport - Durchflussbeziehung wird jedoch auch durch andere Parameter (Geschiebeverfügbarkeit, Ereignisgeschichte...), die den Geschiebetransportprozess bestimmen, beeinflusst. Bei der Berechnung von Jahresfrachten muss dies beachtet werden.

Geschiebetransportfrachten für die Jahre 2009 – 2014 werden über die Geschiebetransport – Durchflussbeziehung und die Geophon – Geschiebetriebbeziehung ermittelt. Die Geschiebefracht für das Jahr 2014 ist im Vergleich zu den anderen Jahren gering, nach vorläufigen Auswertungen für das Jahr 2015 überproportional hoch.

Direkte (Fangkorb) und indirekte (Geophonanlage) Messmethoden an der Messstation Rofenache weisen einen guten Zusammenhang auf, somit können mit diesem integrativen Geschiebemesssystem gute Aussagen über die Transportprozesse getätigt werden.

## Literatur

- Hydrografisches Jahrbuch (2012) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Hydrografischer Dienst in Österreich, 2012, Band 120
- Regeln Geschiebemessungen (1992), DVWK, Verlag Paul Parey, Heft 127, S. 14 – 29
- Vent/Rofenache Pegelsanierung 1998/99 (1999), Amt der Tiroler Landesregierung – Abt. Wasserwirtschaft – Sachgebiet Hydrographie, Innsbruck,
- J. Pfister (2008): Chronologie – Problematik Pegel Vent/Rofenache Amt der Tiroler Landesregierung – Abt. Wasserwirtschaft – Sachgebiet Hydrographie, Innsbruck
- L. Mühlhofer (1933): Untersuchungen über die Schwebstoff- und Geschiebeführung des Inn nächst Kirchbichl (Tirol), Sonderdruck aus „Die Wasserwirtschaft“, Wien, , Hefte 1 bis 6, S. 23
- Bunte, K., S. R. Abt, J. P. Potyondy, and Ryan, S. E., 2004, Measurement of coarse gravel and cobble transport using portable bedload traps, J. Hydraul. Eng., 130, 879–893.
- H. Seitz (2008) Innovative Bed Load Measurement System for large Alpine Rivers, Universität für Bodenkultur Wien
- M. Kraler (2009): Geschiebetransportuntersuchungen mittels Geophon- und Fangkorbmessungen an der Rofenache/Vent/Ötztal und Dokumentation der Messanlage, Bachelorarbeit
- Kreisler, et al (2015): Geschiebetransportuntersuchung Rofenache, Tätigkeitsbericht 2008-2014
- Amt der Tiroler Landesregierung – Abt. Wasserwirtschaft – Sachgebiet Hydrographie Innsbruck, (1999): Vent/Rofenache Pegelsanierung 1998/99
- Bunte, K., S. Abt, J. Potyondy, and S. Ryan (2004) Measurement of Coarse Gravel and Cobble Transport Using Portable Bedload Traps: Journal of Hydraulic Engineering, v. 130, p. 879-893
- L. Braun (2002) Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher?, Fachvortrag, Bayerische Akademie der Wissenschaften