

Technische Universität Graz  
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften  
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

**Erfassung des Sedimenttransports von  
Wildbächen in einem alpinen Einzugsgebiet  
mittels Sediment Impact Sensoren, Telemetrie  
und Radio Frequency Identification**

**Masterarbeit  
von  
Alexander Stoißer  
Bernhard Langer**

Vorgelegt zur Erlangung des  
akademischen Grades eines Master  
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im November 2016

Betreuer der Masterarbeit:  
Ass. Prof. DI Dr. Josef SCHNEIDER

.....

2.Betreuer der Masterarbeit:  
Univ. Prof. Dr. Oliver SASS

.....

## **Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)**

Wir erklären an Eides Statt, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht haben.

Teil B wurde von Bernhard Langer verfasst und Teil C von Alexander Stoißer.

Alle übrigen Kapitel und Teile dieser Arbeit sind gemeinsam erstellt worden.

Wir versichern, dass wir dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben.

Graz, im November 2016

.....  
(Bernhard Langer)

Graz, im November 2016

.....  
(Alexander Stoißer)

## **Danksagung - Bernhard**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Rahmen des Studiums und der Masterarbeit begleitet haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Mutter Gabriele, meinem Vater Ewald sowie meinem Bruder Michael, die mir durch Ihre Unterstützung das Studium erst ermöglicht haben.

Ganz besonders möchte ich auch meinen Freunden in Maria Saal und Graz sowie dem Verkehrswesenzeichensaal danken!!

Des Weiteren möchte ich mich für das sehr angenehme und konstruktive Arbeitsklima bei allen Mitarbeitern des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft und Bodenmechanik und Grundbau bedanken! An dieser Stelle gebührt meinen Betreuern Josef Schneider und Oliver Sass und meinem Kollegen Alexander Stoisser ein besonderes Dankeschön für deren fachliche und persönliche Unterstützung. Ein besonders großes Lob geht natürlich auch an Dietmar Schäfauer, welcher uns mit seinen handwerklichen Fähigkeiten im Zuge dieser Masterarbeit immer zur Seite stand!

Ein Dank gebührt natürlich auch meiner mexikanischen Kollegin fürs Korrekturlesen!

*Herzlichen Dank!*

## **Danksagung – Alexander**

An dieser Stelle will ich jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Hilfe zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen haben.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, vor allem meinen Eltern Michaela und Ludwig, die mir überhaupt die Ausbildung ermöglicht haben und mir immer tatkräftig zur Seite stehen. Bedanken möchte ich auch bei meinem Bruder Patrick, der mich über das ganze Studium hinweg unterstützt hat.

Ein ganz Besonderer Dank gilt Josef Schneider und Oliver Sass für die fachliche und kompetente Betreuung. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktiven Kritiken bei der Erstellung dieser Maserarbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich auch Dietmar Schäfauer für seine Unterstützung danken. Ohne sein handwerkliches Geschick, wäre vieles nicht so einfach möglich gewesen. Außerdem will ich mich noch bei allen Mitarbeitern des ganzen Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft bedanken.

Auch meinem Mitverfasser Bernhard Langer gilt ein großer Dank. Er hat mich immer mit den richtigen Worten motiviert und ist mir immer mit einem guten Rat zur Seite gestanden.

Diese Danksagung wäre nicht komplett ohne ein Dankeschön an all meine Freunde, die ich im Laufe meines Studiums kennen gelernt habe. Insbesondere Miriam, Louisi, Anna, Chris1108, Xandl und Dali, mit denen ich die meiste Zeit verbracht habe. Ein großer Dank geht auch an meine Nachbarinnen Nina und Kerstin, die mir auch außerhalb meines Studiums beigestanden sind. Insbesondere möchte ich mich auch noch bei meinem Mitbewohner Pati für die unvergessliche Studienzeit bedanken. Danke auch noch an meinen jahrelang besten Freund Mihi für die letzten 10 unvergesslichen Jahre in der HTL und in der Studienzeit.

Auch muss ich mich bei Anna Steinbauer bedanken, die viel Zeit in die Korrektur meiner Arbeit investiert hat.

## Kurzfassung

Der Sedimenttransport ist ein wichtiger Faktor bei der Bewertung von Naturgefahren. Um Sedimenttransportvorgänge in Wildbächen beurteilen zu können, werden unterschiedlichste Messungen durchgeführt. Eine weitere Herausforderung hinsichtlich der Beurteilungen von Transportvorgängen in Wildbächen stellt der Abfluss in einem Wildbach dar, denn dieser kann innerhalb von wenigen Minuten stark ansteigen. Diese Tatsache führt dazu, dass sich ein harmloser Bach sehr schnell in einen reißenden Wildbach ändern kann.

Diese Arbeit befasst sich mit theoretischen Grundlagen zur Einteilung von Wildbächen und Geschiebemessmethoden. Für Untersuchung des Sedimenttransports wurde auf die Systeme Sediment Impact Sensoren (SIS), Geschiebefangkörbe, Farbtracersteine, Telemetriesteine und Radio Frequency Identification (RFID) zurückgegriffen.

Die SIS Messungen sind als Weiterführung vorangegangener Masterarbeiten zu sehen und zeigten, dass es noch immer Schwierigkeiten mit der Hardware gibt. Für die Auswertung der Rohdaten wurde in dieser Arbeit ein eigenes Java Tool entwickelt, um die Messdatenaufbereitung zu erleichtern.

Zusätzlich wurden für die Untersuchungen des Geschiebetransports 45 Farbtracer und 8 Telemetriesteine ausgesetzt, um die Transportdistanz in Abhängigkeit des vorhandenen Abflusses festzustellen.

Im Zuge dieser Arbeit wurde auch getestet, ob vorhandene RFID – Systeme für die Untersuchung von Sedimenttransport in Wildbächen geeignet sind. Die durchgeführten Versuche im Labor lieferten sehr gute Ergebnisse und lassen darauf schließen, dass ein solches System in der Natur zufriedenstellend einsetzbar ist.

## **Abstract**

The sediment transport is an important factor for the valuation of natural hazards. If somebody wants to estimate the sediment transport processes in mountain torrents, different measurements can be used. The discharge in mountain torrents is an additional challenge concerning the assessment of transport processes, because they can rise up strongly in a short time. This is why a harmless river can change rapidly into a dangerous torrent.

The present thesis deals with theoretical foundations according the description of mountain torrents and deposit measuring methods. The bedload transport studies were performed with sediment impact sensors (SIS), colour tracer stones, telemetry stones and radio- frequency- identification (RFID).

The SIS measurements shall be seen as a continuation of preceding master theses and it turned out that there are still problems with the hardware. In this thesis a Java tool has been developed to analyze the raw data. This program is intended to simplify the evaluation of the measured data.

Additionally, for the analysis of the sediment transport and transport distance in dependence of the discharge, 45 colour tracers and 8 telemetry stones were exposed.

In the course of this thesis, we examined if available RFID – systems are suitable for the investigation of sediment transport in mountain torrents. The experiments in the laboratory produced very good results and suggest that such a system can be used satisfyingly in field experiments.

## Kapitelverzeichnis Teil A

A 1. Einleitung und Aufbau .....	1
A 2. Begriffsdefinitionen .....	3
A 2.1 Einteilung von fließenden Gewässern .....	5
A 2.2 Einteilung von Wildbächen .....	6
A 2.2.1 Gliederung nach der Tätigkeit .....	6
A 2.2.2 Einteilung nach der Geologie .....	7
A 2.2.3 Einteilung anhand geomorphologischer Grundlage .....	8
A 2.2.4 Einteilung nach Entwicklungstendenz bzw. Beeinflussbarkeit .....	9
A 2.2.5 Einteilung nach der morphologischen Charakteristik .....	12
A 2.2.6 Einteilung nach der Ereignishäufigkeit .....	14
A 2.3 Sperrbauwerke in Wildbächen .....	16
A 2.3.1 Vollwandsperrern .....	16
A 2.3.2 Offene Sperrern .....	16
A 3. Wildbachgefährdung in Österreich .....	18
A 3.1 Katastrophenchronik .....	19
A 3.2 Wildbachverbauung in Österreich .....	21
A 3.2.1 Fakten und Zahlen .....	21
A 3.2.2 Organisation in Österreich .....	22
A 3.2.3 Gefahrenzonenplan Österreich .....	23
A 4. Gerinnehydraulik .....	27
A 4.1 Empirische Fließformeln .....	27
A 4.2 Logarithmische Fließformeln .....	31
A 5. Feststofftransport .....	33
A 5.1 Grundlagen des Sedimenttransports .....	33
A 5.1.1 Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebstoff .....	38
A 5.2 Transportbeginn .....	40
A 5.2.1 Kritische Geschwindigkeit nach Hjulström .....	40
A 5.2.2 Kritische Sohlenschubspannung nach Shields .....	41
A 5.3 Modelle für Feststoff – Geschiebetrieb .....	43
A 5.3.1 Feststoffe .....	43
A 5.3.2 Geschiebetrieb .....	43



---

A 6. Korngrößenverteilung .....	44
A 7. Gründe der Geschiebemessung.....	47
A 8. Überblick Geschiebemessmethoden .....	49
A 8.1 Direkte Messverfahren .....	49
A 8.1.1 Geschiebefangkorb .....	49
A 8.1.2 Geschiebefalle.....	51
A 8.2 Indirekte Messverfahren.....	52
A 9. Projektgebiet .....	53
A 9.1 Allgemeines.....	54
A 9.2 Brücke Hintereggertor .....	56
A 9.3 Schmiedbognerbach .....	57
A 9.4 Salchauerbach .....	58
A 9.5 WLV Sperre.....	59
A 9.6 Krumeggerbach SIS+ Pegelmessung .....	60
A 9.7 Schöttlkapelle SIS + Pegelmessung + Tracerverfahren.....	61
Abbildungsverzeichnis Teil A .....	63
Tabellenverzeichnis Teil A .....	65
Literaturverzeichnis Teil A.....	66

## Kapitelverzeichnis Teil B

B 1. Aktueller Forschungsstand .....	69
B 1.1 Geschiebemessmethoden in Wildbächen .....	69
B 1.2 Geophone .....	70
B 1.2.1 Grundlegendes zu Geophonen .....	70
B 1.2.2 Einsatz im Wildbach Erlenbach- Schweiz .....	73
B 1.3 Hydrophone .....	77
B 1.3.1 Indirekte Messung - Ashiarai- dani Wildbach in Japan .....	77
B 1.3.2 Passive Messung – Grenoble in Frankreich .....	81
B 2. SIS- Bauliche Maßnahmen .....	83
B 2.1 SIS- Messsystem .....	83
B 2.2 Standort Schöttlkapelle - SIS - Kalibrierung mittels Geschiebekörben ....	85
B 2.3 Standort WLV- Sperre .....	87
B 2.3.1 Hangrutschung im Bereich der Messstation / Mai 2016 .....	88
B 2.3.2 Wiederinstandsetzung der WLV Messstation .....	89
B 2.4 Standort Schmiedbognerbach .....	93
B 3. Kornverteilungsanalyse .....	95
B 4. Auswertung mittels JAVA- Software .....	97
B 4.1 Bisheriges R- Script – Bedienung und Funktionsweise .....	98
B 4.2 Java- Script – Funktionsweise, Vorteile und Bedienung .....	99
B 4.3 Java- Script 2.0 Implementierung (Pegelstände bzw. Pegelkurve) .....	103
Abbildungsverzeichnis Teil B .....	105
Tabellenverzeichnis Teil B .....	107
Literaturverzeichnis Teil B .....	108

## Kapitelverzeichnis Teil C

C 1.	Radio Frequency Identification (RFID).....	114
C 1.1	Einsatzgebiet RFID .....	116
C 1.1.1	Einsatzgebiet in der Gewässerökologie .....	117
C 1.2	Aufbau eines RFID – Systems .....	117
C 1.2.1	Lesegerät und Steuereinheit (Reader) .....	118
C 1.2.2	RFID Antennen.....	118
C 1.2.3	Pit Tag .....	121
C 1.2.4	Markierung der Steine mittels PIT - Tag.....	122
C 1.2.5	Pocket Reader.....	123
C 2.	RFID – Versuchsdurchführung an der TU Graz .....	124
C 2.1	Versuchsaufbau Rücklaufgerinne .....	124
C 2.2	Versuchsaufbau Freier Fall und PASS - THROUGH & PASS – BY.....	126
C 2.2.1	Identifizierung des PIT – Tags.....	127
C 2.2.2	Kalibrierung der Einstellungen.....	128
C 2.2.3	Darstellung des erfassten Tags.....	130
C 3.	RFID – Einsatz in Wildbächen .....	131
C 3.1	RFID – Beispiel: Erlenbach .....	131
C 3.2	RFID – Beispiel: Riedbach .....	133
C 4.	Farbtracersteine .....	135
C 4.1	Herstellung der Farbtracersteine .....	135
C 4.1.1	Herstellung 2016 .....	136
C 5.	Telemetriesteine .....	139
C 5.1	Herstellung Telemetriesteine.....	139
C 5.1.1	Handscanner VR – 500 von YAESU .....	140
C 5.1.2	Sender .....	141
C 6.	Durchflussmessung.....	142
C 6.1	Messvorgang.....	143
C 6.2	Auswertung der Messung.....	144
	Abbildungsverzeichnis Teil C .....	145

---

Tabellenverzeichnis Teil C .....	147
Literaturverzeichnis Teil C.....	148

## Kapitelverzeichnis Teil D

D 1.	Pegelstandmessungen.....	151
D 1.1	Pegelstand über die Zeit - Schöttlkapelle.....	151
D 1.2	Pegelstand über die Zeit - Krumegeberbach.....	155
D 2.	Pegelschlüssel .....	159
D 2.1	Pegelkurve Schöttlkapelle .....	159
D 2.2	Pegelkurve Hintereggertor und Krumegeberbach .....	162
D 3.	Durchflussmengen .....	163
D 3.1	Durchfluss über die Zeit – Schöttlkapelle und Krumegeberbach .....	163
D 4.	Sediment Impact Sensoren SIS .....	166
D 4.1	Ergebnisse Schöttlbach.....	167
D 4.1.1	SIS Sensor 1 .....	167
D 4.1.2	SIS Sensor 3 .....	171
D 4.1.3	SIS Sensor 4 .....	173
D 4.1.4	Vergleich der Messdaten S1, S3 und S4.....	175
D 4.1.5	Geschiebekorbentleerungen .....	176
D 4.1.6	Korrelation Impactsummen - Geschiebefrachten .....	177
D 4.1.7	Berechnung der Geschiebefracht (27.Mai – 09. Sept) .....	180
D 4.2	Ergebnisse Salchauerbach .....	183
D 4.3	Ergebnisse Krumegeberbach.....	186
D 4.3.1	SIS Sensor 1 .....	186
D 4.3.2	SIS Sensor 2 .....	189
D 4.4	Ergebnisse WLV Sperre und Schmiedbognerbach .....	191
D 5.	Geschiebetransport im Schöttlbach .....	192
D 5.1	Bewegungsvorgang der Tracersteine .....	192
D 5.1.1	Betrachtungszeitraum 04.07.2016 - 22.07.2016 .....	193
D 5.1.2	Betrachtungszeitraum 22.07.2016 – 09.09.2016.....	196
D 5.1.3	Betrachtungszeitraum 09.09.2016 – 29.09.2016.....	199
D 5.2	Transportdistanz.....	202
D 5.3	Transportbeginn .....	204
D 5.4	Wiederfindwahrscheinlichkeit .....	205

---

D 6.	RFID - Ergebnisse.....	207
D 6.1	Rücklaufgerinne .....	207
D 6.1.1	Trockenversuch.....	207
D 6.1.2	Nassversuch.....	208
D 6.2	Freier Fall und PASS - THROUGH & PASS - BY .....	209
D 7.	Zusammenfassung und Ausblick .....	212
	Abbildungsverzeichnis Teil D .....	216
	Tabellenverzeichnis Teil D .....	219
	Literaturverzeichnis Teil D.....	220
	Anhang.....	222

## Formelverzeichnis

<b>Zeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Bedeutung</b>
$v$	[m/s]	Fließgeschwindigkeit
$Q$	[m <sup>3</sup> /s]	Abfluss
$\tau_0$	[N/m <sup>2</sup> ]	Sohlenschubspannung
$U$	[m]	Benetzter Umfang
$\Delta l$	[m]	Länge des Wasserkörpers
$G$	[N]	Gewichtskraft des Wasserkörpers
$I$	[m/m]	Sohlengefälle
$\rho_w$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte vom Wasser
$A$	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche
$R$	[m]	Hydraulischer Radius
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Erdbeschleunigung
$v_0^*$	[m/s]	Sohlenschubspannungsgeschwindigkeit
$v_m$	[m/s]	Mittlere Fließgeschwindigkeit
$C$	[m <sup>1/2</sup> /s]	Chezy Beiwert
$k_{St}$	[m <sup>1/3</sup> /s]	Strickler Beiwert
$\lambda$	[-]	Widerstandsbeiwert
$Re$	[-]	Reynoldszahl
$f$	[-]	Formbeiwert

$k_S$	[m]	Sandrauheit
$d_{90}$	[m]	Charakteristischer Korndurchmesser
$Fr$	[-]	Froude Zahl
$d_{gr}$	[m]	Grenzkorndurchmesser
$v_s$	[m/s]	Sinkgeschwindigkeit
$v_{cr}$	[m/s]	Kritische Geschwindigkeit
$\tau_{cr}$	[N/m <sup>2</sup> ]	Kritische Schubspannung
$h_{cr}$	[m]	Kritische Wassertiefe
$I_{cr}$	[m/m]	Kritisches Gefälle
$Q_{cr}$ bzw. $q_{cr}$	[m <sup>3</sup> /s]	Kritischer Abfluss
$Fr^*$	[-]	Feststoff Froude Zahl
$Re^*$	[-]	Feststoff Reynolds Zahl
$\rho'$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Relative Stoffdichte
$d_{ch}$	[m]	Charakteristischer Korndurchmesser
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	Kinematische Viskosität



# **Teil A**

## **Allgemeines**

Bernhard Langer, BSc | Alexander Stoißer, BSc

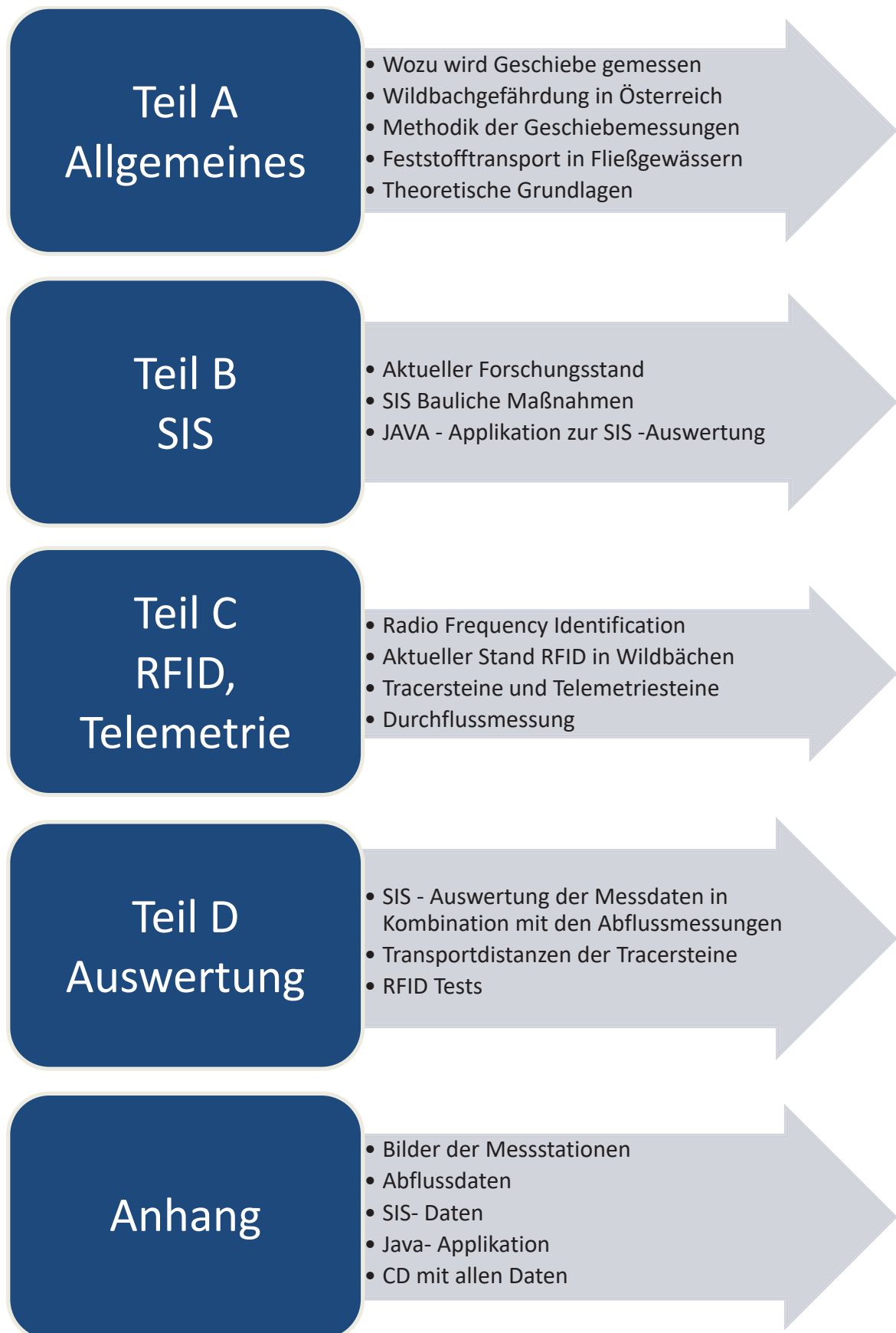
## A 1. Einleitung und Aufbau

***„Auch aus Steinen, die einem in den Weg gelegt werden,  
kann man Schönes bauen“***

(Johann Wolfgang von Goethe)

Für die Gefahrenprävention von Siedlungen in alpinen Einzugsgebieten ist die Kenntnis des Sedimenttransports von essenzieller Bedeutung. Hochwasserereignisse im Jahr 2011 im Einzugsgebiet des Schöttlbachs führten zu großen Schäden der Stadt Oberwölz. Aus diesem Grund wurde das Projekt ClimCatch ins Leben gerufen, in welchem der Sedimenttransport mithilfe verschiedener Messsysteme untersucht wurde. Dieses Projekt wurde in Kooperation mit dem Institut für Geographie und Raumforschung der Karl-Franzens-Universität in Graz, dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz sowie dem Wegener Center für Klima und Globalen Wandel (KF-Uni Graz), bis zum Jahre 2015 durchgeführt (Sass et al. 2015). Die vorliegende Arbeit führt Teilbereiche der im Rahmen des Projektes ClimCatch durchgeführten Untersuchungen im Jahr 2016 fort. Für die Erfassung des Geschiebetransportes kommt an 5 Standorten in den Teileinzugsgebieten des Schöttlbachs eine indirekte Messmethode zum Einsatz (Sediment Impact Sensoren -SIS). Teil B dieser Masterarbeit beschäftigt sich mit der Weiterentwicklung, Auswertung sowie der Analyse der SIS-Messdaten im Zeitraum von März bis Oktober 2016. Das Hauptziel dieser Untersuchungen ist es, die Geschiebemengen anhand der SIS-Impulse zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden neu konstruierte Geschiebekörbe eingesetzt, um die verbauten Sensoren zu kalibrieren. Zusätzlich sollten anhand von Pegelmessungen Schwellenwerte der SIS bestimmt werden.

Teil C der Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung der Transportweiten von einzelnen Tracersteinen. Dabei wurden verschiedene Versuche mit Telemetriessteinen sowie mit markierten Steinen im Bereich der Schöttlkapelle durchgeführt. Diese Versuche sollen in weiterer Folge Aufschlüsse über die Transportweiten einzelner Gewichtsklassen der Tracersteine, in Abhängigkeit des Abflusses aufzeigen. Des Weiteren wurde untersucht, ob sich Radio Frequency Identification (RFID) Systeme für Geschiebetransportuntersuchungen eignen. Die nachfolgende Darstellung zeigt die Gliederung der vorgelegten Masterarbeit.



## A 2. Begriffsdefinitionen

Um einen Überblick über die verwendeten Begriffe dieser Arbeit zu bekommen, werden diese nachfolgend kurz beschrieben.

### Wildbach

„Ein Wildbach ... ist ein dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur für kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefahrdrohendem Ausmaße entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes ablagert oder einem anderen Gewässer zuführt.“ (ForstG 1975 §99 Abs.1)

### Wildbacheinzugsgebiet

„Das Einzugsgebiet eines Wildbaches im Sinne dieses Bundesgesetzes ist die Fläche des von diesem und seinen Zuflüssen entwässerten Niederschlagsgebieten sowie der Ablagerungsbereich des Wildbaches.“ (ForstG 1975 §99 Abs.3)

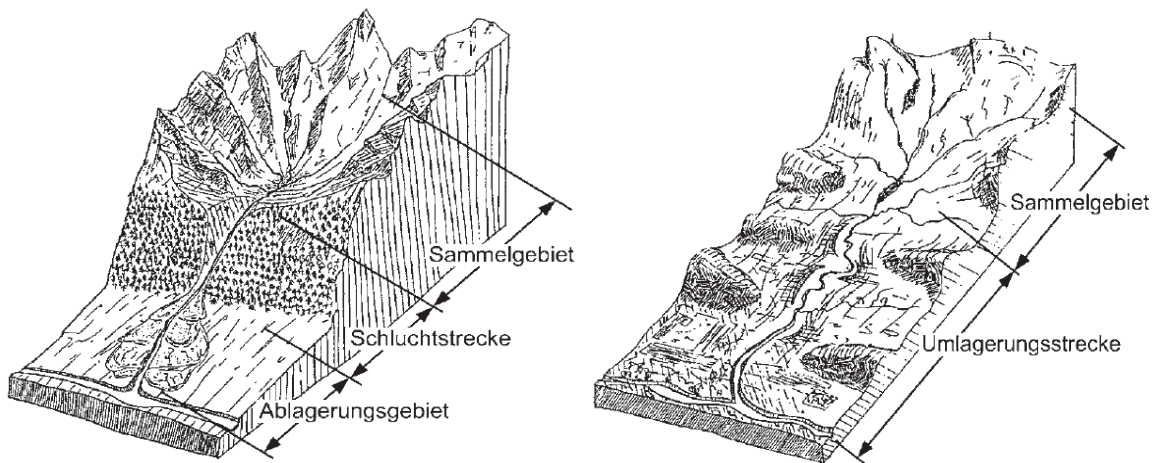


Abbildung A 2-1: Wildbach des Hochgebirges & des Berg- und Hügellandes (Bergmeister, et al., 2009)

Wildbäche im Hochgebirge sind laut Bergmeister et al. (2009) durch einen sehr steilen aber kurzen Lauf gekennzeichnet, wobei das Niederschlagsgebiet durch eine Schluchtstrecke vom Ablagerungsbereich deutlich getrennt ist (Diplomarbeit Langer | Stoißer links). Wildbäche, welche durch das Berg und Hügelland verlaufen, besitzen ein geringes Gefälle und es gibt für diesen Wildbachtyp keine

klare Abgrenzung zwischen dem Niederschlagsgebiet (*Sammelgebiet*) und dem Ablagerungsbereich (*Ablagerungsgebiet*).

### **Verwitterung**

Die chemische Umwandlung eines Gesteinverbandes oder die physikalische Lockerung unter dem Einfluss der Atmosphäre wird Verwitterung genannt. Der Grundbegriff kann grob in die physikalische, chemische und biologische Verwitterung unterteilt werden (Lexikon der Geographie, 2016).

### **Erosion**

Unter Erosion versteht man in der Geographie den Abtrag von Bodenmaterial durch das an der Oberfläche abfließende Wasser (Wassererosion), Wind (Winderosion), der Schneeschmelze und der gravitativen Bodenverlagerungen (Lexikon der Geographie, 2016).

### **Wildbachverbauung**

Unter der Wildbachverbauung versteht man laut Bergmeister et al. (2009) alle baulichen Maßnahmen, die im Bereich des Wildbaches getätigt werden. Dabei sollen durch diese Maßnahmen die negativen Auswirkungen von Hochwasserereignissen auf ein, für den Menschen, zumutbares Ausmaß gesenkt werden.

### **Geschiebe**

Bechteler (2009) definiert das Geschiebe als transportierten Feststoff an der Gewässersohle. Eine detaillierte Definition kann aus dem Kapitel A 4 entnommen werden.

### **Flussmorphologie**

Die Flussmorphologie beschreibt die tatsächlich vorhandene Gewässerstruktur und das damit verbundene Abflussverhalten eines Gewässers (Europäische Union, 2000).

## A 2.1 Einteilung von fließenden Gewässern

Wildbäche und Flüsse können in Oberlauf, Mittellauf und Unterlauf unterteilt werden. Eine genauere Charakterisierung der einzelnen Abschnitte kann Abbildung A 2-2 entnommen werden (BMLFUW, 2016).

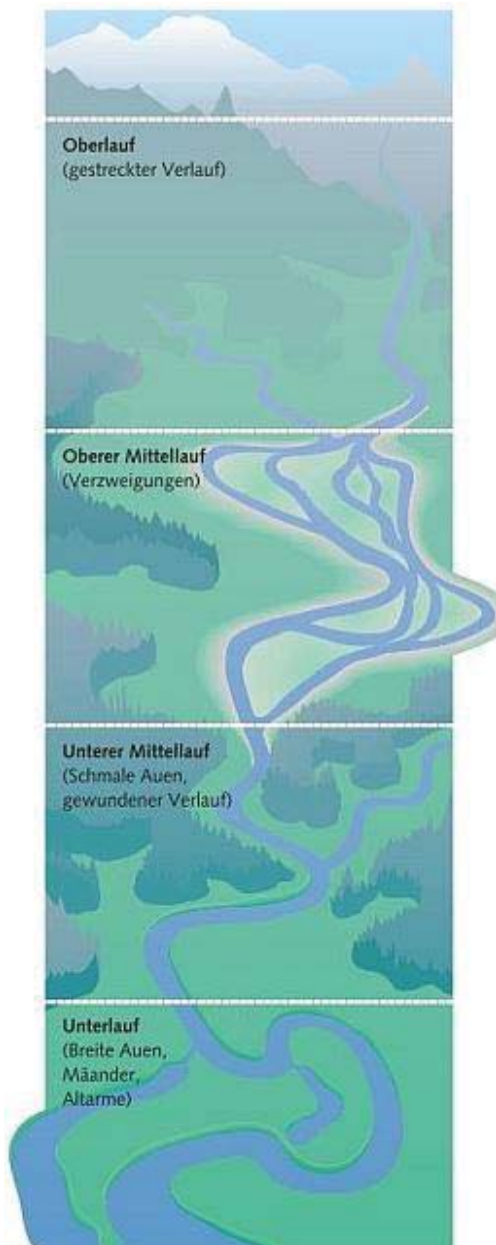


Abbildung A 2-2: Flussverlauf (Bayrisches Landesamt, 2016)

- **Der Oberlauf:** Dieser Bereich wird auch oberes Einzugsgebiet genannt und ist das Sammelgebiet der Niederschläge.
  - großes Gefälle
  - große Fließgeschwindigkeiten
  - vorwiegend Tiefenerosion
  - „geradliniges“ Abflussgerinne
- **Der Mittellauf:** In diesem Bereich findet der Haupttransport des Geschiebes statt.
  - Wechselspiel zwischen Erosion und Ablagerung (abhängig von Strömung und Abflussmenge)
  - Seitenerosion > Tiefenerosion : Der Fluss beginnt zu mäandrieren
  - Sandbankbildung
- **Der Unterlauf:** Dies ist die Zone der Geschiebeablagerungen und wird auch Schwämmkegel genannt.
  - dicht besiedelt
  - „kleine“ Fließgeschwindigkeiten

## A 2.2 Einteilung von Wildbächen

Um europäische Wildbäche zu beschreiben, existieren verschiedene Ansätze, welche bis ins frühe 19. Jahrhundert zurückreichen. Im Allgemeinen variiert der Charakter eines Gewässers zwischen der Quelle und Mündung sehr stark. In diesen Bereichen verändert sich das Gefälle, der Abfluss sowie die Geologie des Flusses. Der obere Teil eines Flusses kann im speziellen Fall auch ein Wildbach sein.

### A 2.2.1 Gliederung nach der Tätigkeit

Strele (1950) gliederte die Wildbäche in vier verschiedene Abschnitte, da der Wildbach in jedem Gebiet eine andere Tätigkeit im Flussverlauf übernimmt.

- **Sammelgebiet bzw. Aufnahmebecken:** In diesem Bereich des Flusslaufes findet der Materialabtrag bzw. die Geschiebeerzeugung statt.
- **Ablagerungsgebiet bzw. Ausgussbett:** Dieser Bereich umfasst die Örtlichkeiten, in welchem das Geschiebe größtenteils zur Ablagerung kommt.
- **Tobel, Hals, Klamm, Schlucht oder Abzugskanal:** In dem Bereich zwischen dem Sammelgebiet und dem Ablagerungsgebiet reicht die Kraft des Wassers nur aus, um das bereits in Bewegung befindende Geschiebe weiter zu bewegen. In diesem Bereich findet kein Auftrag bzw. Abtrag von Material statt.
- **Strecke des Tallaufs (nur bei größeren Bächen):** Dieser Bereich befindet sich talseitig vom Schwemmkegel.

### A 2.2.2 Einteilung nach der Geologie

Laut Stiny (1910,1931) wurden bereits im frühen 19. Jahrhundert die Wildbäche entsprechend dem Alter der potentiellen Feststoffherden wie folgt unterteilt:

- **Altschuttbäche:** Bei dieser Art von Feststoffherden ist die Ablagerungsbildung von potentiell erodierbarem Material so gut wie abgeschlossen. Mögliche Quellen können zum Beispiel eiszeitliche Ablagerungen oder ältere Bergsturzablagerungen sein.
- **Jungschuttbäche:** Diese Art des Feststoffherdes wird durch den ständigen Nachschub von erodierbarem Material in junger bzw. jüngster Zeit charakterisiert (z.B Verwitterungsprodukte).

Darauf aufbauend wurde wie folgt versucht eine **Einteilung der Wildwässer** zu entwickeln:

- Jungschuttwildwässer
- Altschuttwildwässer
- Gemischte Wildwässer
- Besondere Wildwässer

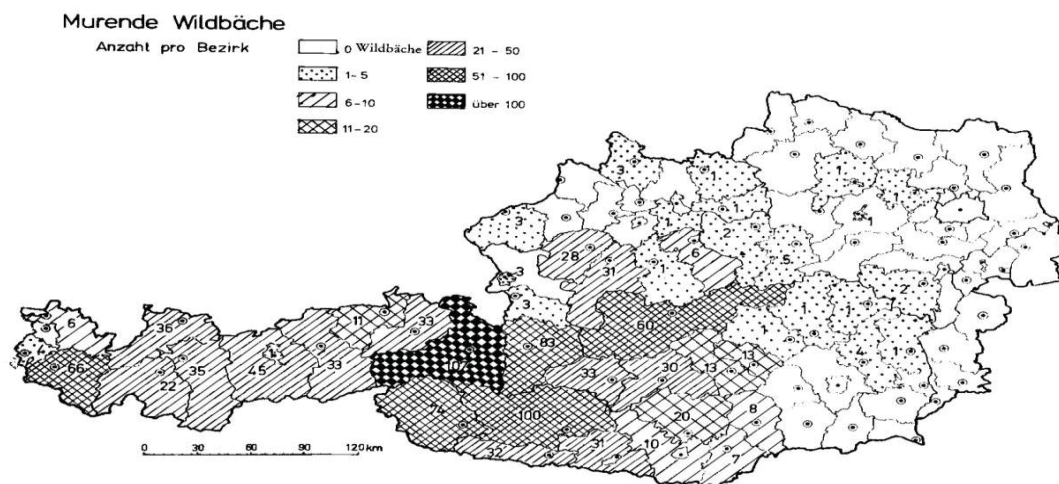


### A 2.2.3 Einteilung anhand geomorphologischer Grundlage

Die Klassifikation nach Aulitzky (1986) hat eine wesentliche Bedeutung bei der Gefahrenzonenfeststellung, da die Ablagerungsvorgänge bzw. die Angriffsweisen des Baches sich bei den nachfolgenden Arten elementar unterscheiden:

- murende (murfähig & murstoßfähig)
- bloß geschiebeführende Wildbäche
- bloß hochwasserführende Wildbäche

Abbildung A 2-3 zeigt die bezirksweise Verteilung der Wildbäche Österreichs, in denen im Zeitraum von 1968 bis 1983 gebaut worden ist. Obwohl dies keine aktuellen Daten sind, sind die Unterschiede zwischen dem alpinen Bereich im Westen und den Gebieten der böhmischen Masse im Norden Österreichs beträchtlich. Daraus lässt sich auch ableiten, in welchen Bezirken Österreichs die Wasserbauverwaltung bzw. die Wildbachverbauung ihre verwaltungsgemäßen Schwerpunkte haben sollte (Aulitzky, 1986).



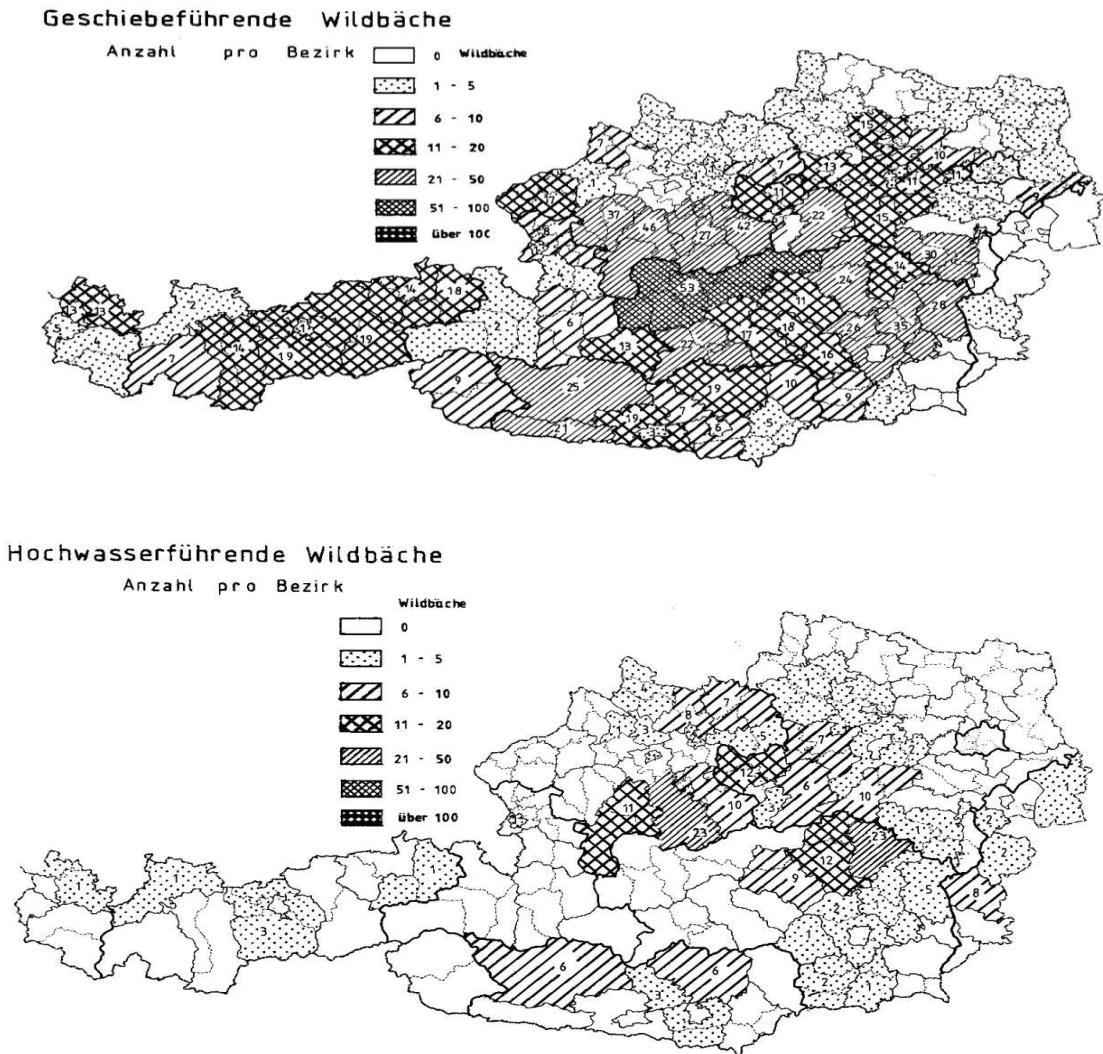


Abbildung A 2-3: Murende, geschiebe- und hochwasserführende Wildbäche (Aulitzky, 1986)

#### A 2.2.4 Einteilung nach Entwicklungstendenz bzw. Beeinflussbarkeit

Eine Einteilung welche auch in der DIN 19 663<sup>1</sup> festgeschrieben ist, wurde von Karl, et al. (1976) definiert und basiert auf der natürlichen Entwicklung von Geschiebeherden sowie der natürlichen Beeinflussbarkeit des Wildbaches durch die Vegetation. Diese Einteilung ist sehr weit verbreitet und kommt auch in Österreich zur Anwendung. Zusammenfassend ist dieser Teil der deutschen Norm wie folgt aufgebaut:

<sup>1</sup> DIN 19 663: Deutsche Norm für „Wildbachverbauung; Begriffe; Planung und Bau“

- **Wildbäche mit expansiven Feststoffherden in Restschuttkörpern**

- Wildbäche in Talverfüllungen:

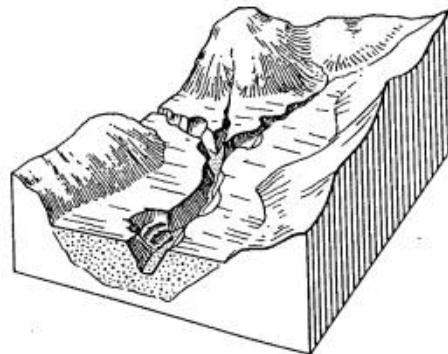


Abbildung A 2-4: Wildbäche in Talverfüllungen

Die Feststoffherde bestehen aus Rutschungen im Lockergestein, Fließen im Lockergestein sowie Ufer- und Feilanbrüchen in den Einhängen. Dieser Wildbachtyp wird vom Menschen gravierend beeinflusst, da sich Eingriffe in die Vegetation (vor allem Waldrodung) mit der damit verbundenen Erhöhung des Oberflächenabflusses negativ auswirken. Die sehr großen Ablagerungsgebiete befinden sich meistens im Haupttal (Abbildung A 2-4).

- Wildbäche in Restschuttkörpern

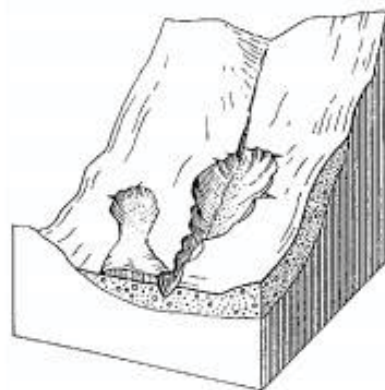
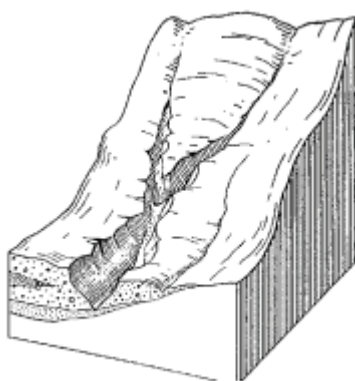


Abbildung A 2-5: Wildbäche in Restschuttkörpern

Dieser Wildbach kommt am häufigsten in Gebieten mit veränderlichen festen Gesteinen vor. Dieser Typ ist vor allem im vergletscherten Alpengebiet und den Randalpen verbreitet. Die Feststoffherde sind Lockergestein und Böden, sowie Ufer- und Feilanbrüche (Abbildung A 2-5).

- **Wildbäche mit stationären Feststoffherden**
  - Wildbäche in harten Kristallingesteinen
  - Wildbäche in harten Sedimentgesteinen
  - Wildbäche in veränderlich festem Gestein
  - Wildbäche in rezenten Moränen



Abbildung A 2-6: Wildbäche in rezenten Moränen (Hübl, et al, 2003)

Ufer- und Feilanbrüche in subrezentem bis rezentem Moränen jüngster Rückzugsstadien sowie Blockgletscher bilden die Grundlage des Feststoffherdes dieses Wildbachs. Er ist vor allem in den rezent vergletscherten Gebieten der Ostalpen verbreitet und besitzt keine Ablagerungskegel.

- **Wildbäche mit expansiven und stationären Feststoffherden**
  - Wildbäche in Gebieten großer Massenbewegungen
  - Wildbäche auf Schuttkegeln
- **Wildbäche mit zeitweise eigenen Feststoffherden**
  - Wildbäche in Talalluvionen<sup>2</sup>
  - Wildbäche aus Waldausbrüchen

---

<sup>2</sup> Alluvionen: junge Schwemmböden

### A 2.2.5 Einteilung nach der morphologischen Charakteristik

Eine Einteilung bzw. Klassifikation von Gewässern nach ihrer Morphologie ist in der Literatur nur für homogene Fließstrecken (Abschnitte) möglich. Bisher wurde in den Publikationen keine, spezifisch für Wildbäche, morphologische Klassifikation publiziert, jedoch haben viele allgemeine morphologische Klassifizierungen für Gewässer eine Gültigkeit bei Wildbächen. Zwei mögliche und anerkannte Einteilungen wurden von *Bathurst* und *Rosgen* erarbeitet (Bergmeister, et al., 2009).

Bathurst (1997) definierte eine Einteilung, welche auf einfache Weise viele mögliche Sohlformen beinhaltet, und kann somit auch für Wildbäche gut angewendet werden. Die verschiedenen Kategorien können Tabelle A 2-1 entnommen werden.

Tabelle A 2-1: Klassifikation von Fließgewässern (Bathurst, 1997)

Bezeichnung	Lage	Allgemeine Charakteristika	Geschiebecharakteristika
Sandbettgerinne	Im Mittel- und Unterlauf der Flüsse, im Bereich alluvialer Ebenen	Relativ geringes Gerinnegefälle (unter 0,1 %) und Geschiebe unter 2 mm, relative Fließtiefe sehr hoch (über 1000)	Geschiebetrieb in praktisch allen Abflussstadien
Schotterbettgerinne	Meist im Vorland der Berge	Kornzusammensetzung der Sohle zwischen Feinschotter (2–10 mm) und Steinen (250 mm), relative Fließtiefe zwischen 5 und 100, Gefälle zwischen 0,05 und 0,5 %	Geschiebetrieb unständig nur bei hohen Abflussraten
Blockgerinne	Steile Gerinne im Bergland	Grobkörniges Sohlmaterial in der Blockfraktion (über 250 mm), aber auch Korngrößen bis zur Sandfraktion vorhanden, Gefälle von 0,5 bis 5 %, relative Fließtiefe nahe 1	Geschiebeführung mit groben Komponenten nur bei extremen Abflüssen
Steile Kaskadengerinne	In den steilen Oberläufen	Gerinnesohle mit zahlreichen Stufen und dazwischenliegenden Kolken, Stufen aus Blöcken, Holz oder Felsrippen, Gefälle über 5 %	Geschiebeführung mit großen Kompartimenten nur bei extremen Abflüssen

Die renommierte Klassifikation nach Rosgen (1994) stützt sich auf die folgenden gerinnemorphologischen Kriterien und kann der Abbildung A 2-8 auf Seite 14 entnommen werden.

- **Eintiefung des Gerinnes:** Ausmaß, in welchem das Gerinne in die Talsohle eingeschnitten ist.
- **B/T Verhältnis:** Dieser Faktor spiegelt die Form des Gerinnes wieder und wird bei bordvollem Abfluss berechnet.
- **Sinusosität:** Verhältnis der Talweglänge zur Bachlänge
- **Längsgefälle:** Hier wird das lokale Längsgefälle im Bereich der Bachstrecke verwendet und nicht das Gefälle des gesamten Flusslaufs.

### A 2.2.6 Einteilung nach der Ereignishäufigkeit

Aufgrund der unterschiedlichen Grundverhältnisse zeigen Wildbäche ein signifikant unterschiedliches Verhalten. Abbildung A 2-7 zeigt die nach Hübl (2006) klassifizierten drei Typen von Wildbächen.

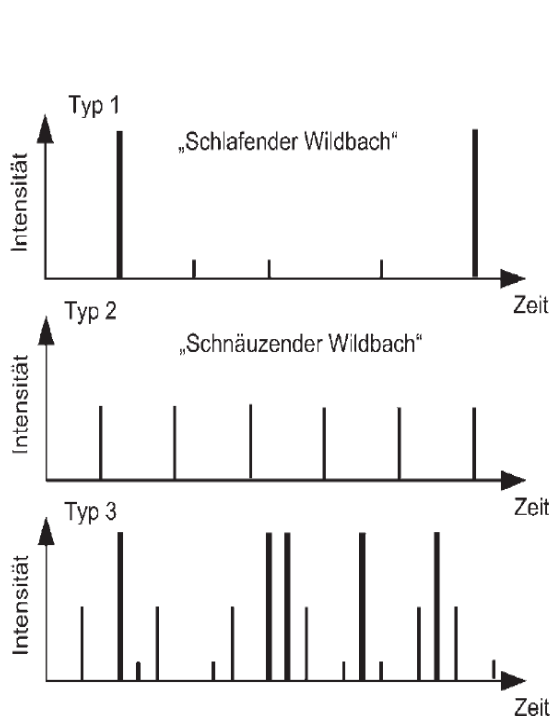


Abbildung A 2-7: Wiederkehrintervall von Wildbächen (Hübl, 2006)

**Typ 1:** geringe Feststoffproduktion und großes Speichervermögen des Bodens – reagiert nur bei extremen Niederschlag, aber hoher Intensität

**Typ 2:** geringe bis mittlere Feststoffproduktion und Speichervermögen des Bodens – reagiert bei mittlerem Niederschlag

**Typ 3:** unterschiedliches Feststoffangebot und Abflüsse – ungleiche Zeitintervalle- stark veränderliche Intensität

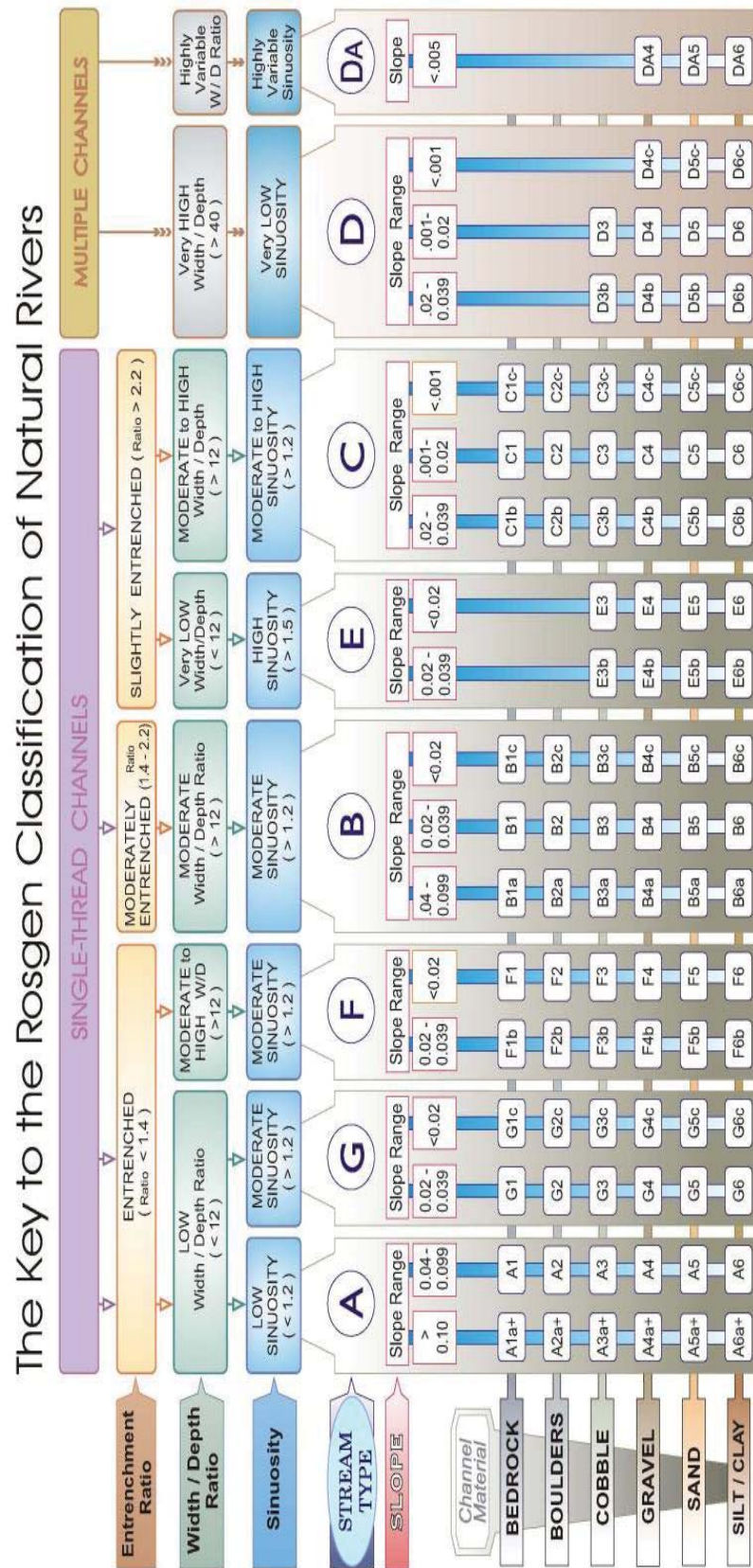


Abbildung A 2-8: Klassifikation nach Rosgen (river- smart- communities, 2016)

## A 2.3 Sperrbauwerke in Wildbächen

Generell wird in der Sperrtypologie zwischen Vollwandsperrern und Offenen Sperrern unterschieden. Als Vollwandsperrern werden Typen ohne funktionelle Öffnung im Sperrkörper bezeichnet. Offene Sperrern haben das Ziel, einen Teil des Geschiebes und Wassers ungehindert passieren zu lassen.

### A 2.3.1 Vollwandsperrern

- Einfache Vollwandsperrern: Dieser Typ ist dadurch gekennzeichnet, dass der Sperrkörper eine Fläche darstellt, und nur eine Überfallsektion vorhanden ist (Abbildung A 2-9 links). Dieser Sperrertyp wurde am im Projektgebiet verbaut (siehe Abbildung B 2-9 in Teil B)
- Mehrfache Vollwandsperrern: Diese Sperrern sind an ihrer Talseite treppenartig ausgebildet (Abbildung A 2-9 rechts).

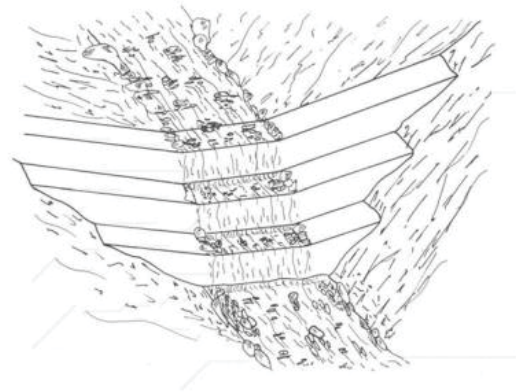


Abbildung A 2-9: Einfache Vollwandsperrern (links) Mehrfache Vollwandsperrern (rechts)  
(Hübl, et.al., 2003)

### A 2.3.2 Offene Sperrern

- Großdolensperrern: Diese Sperrern besitzen relativ große Öffnungen, um einen Teil des Geschiebes ohne Einschränkungen passieren zu lassen (Abbildung A 2-10 links).
- Kleindolensperrern: Im Gegensatz zu Großdoligen Sperrern besitzt dieser Typ nur kleine Öffnungen, um nur einen Teil des Wassers passieren lassen zu können. (Abbildung A 2-10 rechts).



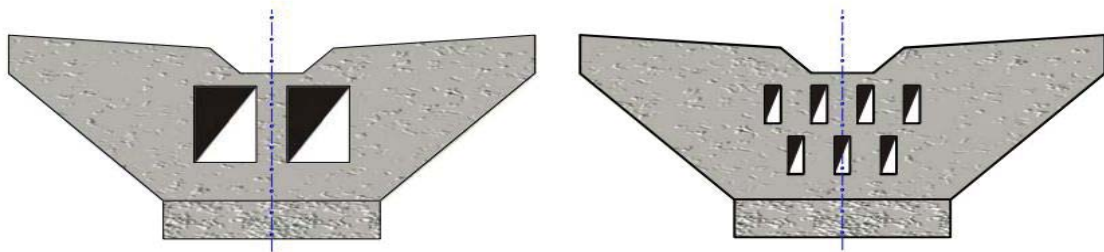


Abbildung A 2-10: Großdolensperre (links) Kleindolensperre (rechts) (Hübl, et.al., 2003)

- Schlitzsperrern

Unter Schlitzsperrern versteht man Offene Sperrern, welche je nach Bauart längliche Öffnungen besitzen. Diese Art kann als kronenoffene oder kronengeschlossene Sperre gefertigt werden.

- Halboffene Sperrern

Dieser Sperrertyp ist eine Kombination zwischen Vollwandsperrern in der unteren Hälfte und Offenen Sperrern in der oberen Hälfte.

- Aufgelöste Sperrern

Aufgelöste Sperrertypen besitzen in ihrem Mittelteil oder auf der gesamten Breite Scheiben, Pfeiler oder Streben. Dieser Sperrertyp wurde in der Nähe der Ortschaft Oberwölz im Schöttlbach verbaut.

- Gittersperrern

Dieser Typ besitzt einen Sperrkörper, welcher entweder im Mittelteil oder auf der ganzen Breite aus Stäben mit kleinen Querschnittsabmessungen (im Vergleich zur Länge) besteht.

- Netzsperrern

Dieser Sperrertyp besteht zur Gänze oder nur im Mittelteil aus wabenartigen bzw. flexiblen Elementen.

### A 3. Wildbachgefährdung in Österreich

Professor J. Stiny, Wildbachverbauungsingenieur und Begründer der Technischen Geologie, verfasste eine Katastrophenchronik welche bis in das 7. Jahrhundert n.Chr. zurückreicht. Daraus ist eindeutig ersichtlich, dass Österreich immer eine Vorreiterrolle in der Wildbachverbauung hatte, da die örtlichen Gegebenheiten im alpinen Raum die Menschen gezwungen hatten, den Wildbachgefahren bestmöglich auszuweichen. Handwerkliche Betriebe, wie Eisenschmiede, Sägewerker und Müller, welche trotz aller Gefahren von der Wasserkraft abhängig waren, sind meist die einzigen Siedler mit Behausungen in der Nähe von Wildbächen gewesen (Duile, 1826).



Abbildung A 3-1: Katastrophe in Zell am See / Schmittnerbach im Jahre 1737 (Luzian, et al., 2002)

Geschichtlich betrachtet waren die sichersten Flächen einer Gemeinde der Kirche, dem Widum (Pfarrgut) sowie dem Gemeindehaus vorbehalten. Dies lässt sich am Beispiel der Gemeinde Zell am See im Pinzgau / Salzburg sehr gut veranschaulichen. Wie in *Abbildung A 3-1* ersichtlich, ist der Schmittnerbach im Laufe der Geschichte unzählige Male (1737, 1834, 1857, 1873, 1884...) über die verbauten sowie nicht verbauten Ufer getreten und verwüstete den Ort mit Wasser,

Schlamm und Geröll. Diese Umstände veranlassten die Bewohner zur kontinuierlichen Anhebung des Bodenniveaus, was an der Stadtpfarrkirche gut zu erkennen ist (Salzburg, 2016).

### **A 3.1 Katastrophenchronik**

Geologisch betrachtet hat Österreich mit den Ostalpen einen beträchtlichen Anteil am alpinen Gebirgssystem. Dieses im Vergleich „junge“ Faltengebirge zeichnet sich durch die anhaltende dynamische Entwicklung aus, welche auf die Plattentektonik zurückzuführen ist. Eine starke Faltung sowie Überschiebung des Gesteinsmaterials ist charakteristisch. Seit der Kreidezeit bewegt sich die Afrikanische Platte auf die Europäische Platte zu, was zur Auffaltung und dynamischen Beanspruchung des Gebirges führt. Dadurch entstehen sehr viele Schwachstellen sowie Störungszonen, welche durch die hohe Anfälligkeit gegenüber Erosionen charakterisiert werden können (Lotze, 1953).

Nicht nur die Alpen sind sehr anfällig für Erosionen, sondern auch andere Böden und Lockergesteine wie der Löß im Wagram, Schlier, Tegel, Sandstein und Mergel im vor- und randalpinen Gebiet. Zu den gefährdeten Erosionsgebieten müssen natürlich auch die ständigen Abstürze der böhmischen Masse zur Donau hin (Donauwildbäche) gezählt werden. Die größten Massenbewegungen des 20. Jahrhunderts in Wildbächen, unterteilt nach Bundesländern, kann Tabelle A 3-1 entnommen werden. Dabei ist das Katastrophenereignis in Oberösterreich im Jahre 1920 mit einer Massenbewegung von 9.000.000 m<sup>3</sup> besonders erwähnenswert.

Tabelle A 3-1: Chronik der Massenbewegungen in Wildbächen - Österreich (Luzian, et al., 2002)

Bundesland	Bach	Zeit	1000 m <sup>3</sup>
Vorarlberg	Litzbach	1970	230
	Rellsbach	1910	1200
	Schesa	1907	200
		Februar 1966	700
Tirol	Debantbach	September 1965	240
		November 1968	150
	Ecklbach	29. Juli 1908	200
	Enterbach	29. Juli 1969	450
	Fischbach	7. Juni 1965	400
	Gantschenbach	1951	300
	Gridlontobl	29. Juni - 8. Juli 1965	300
	Haselbach	1908	200
	Hirschbach	Mai 1967	150
	Hörhsgmure	17. - 20. November 1964	300
	Niederharterbach	29. Juli 1908	300
	Salzburg	Niedernsiller Mühlbach	1979
7. August 1970			500
28. Februar 1971			300
Unkenbachtal		April 1970	200
Kärnten	Feistritzbach	November 1966	750
		1967 - 1973	120
	Gradenbach	31. August - 3. September 1965	800
		15. - 18. August 1966	500
	Greifenburger Mure	1951	210
	Mallnitzbach	September 1965	150
		September 1966	150
	Teuchlbach	August 1966	300
	Tiefenthalbach	September 1974	140
	Wollnitzbach	September 1966	600
	Zirknitzbach	September 1965	220
Zwenbergerbach	Juni 1969	160	
Steiermark	Körschachbach	Mai 1967	100
Oberösterreich	Sandlingmure	September 1920	9000

### A 3.2 Wildbachverbauung in Österreich

Die dem Lebensministerium unterstellte Dienststelle der Wildbach- und Lawinenverbauung analysiert und bewertet die Gefahren, plant und ist für die Umsetzung der Schutzmaßnahmen (meist präventiv) verantwortlich.

#### A 3.2.1 Fakten und Zahlen

Im Gebirgsland Österreich gehen von Wildbächen, Erosionen und Lawinen meistens lokale Gefahren bzw. Schäden aus. Die nachfolgende Tabelle A 3-2 gibt einen Überblick über die Dienste der Naturgefahrenprävention der bundesweiten Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich.

Tabelle A 3-2: Fakten und Zahlen der WLW Österreich (Lebensministerium, 2012 adaptiert)

<b>Geologie Österreich</b>	75% der Gesamtfläche sind Alpen 17% der Gesamtfläche sind extrem von Wildbächen, Lawinen und Erosionen bedroht
<b>Wildbach und Lawinenverbauung</b>	Erfassung von ca. 12.991 Wildbachereignissen und 5.975 Lawinen (Stand: 2010) →67% des Bundesgebietes sind der WLW zugehörig
<b>Bedrohung durch Wildbäche</b>	35.000 Gebäude und 1500km Verkehrswege
<b>Finanzen</b>	Ca. 120 Mio. € pro Jahr für aktive Schutzmaßnahmen (74% davon werden für Wildbachschutz ausgegeben)

### A 3.2.2 Organisation in Österreich

Die Organisation und Aufgaben der einzelnen Wildbach- und Lawinenverbauungsdienststellen in Österreich werden im Forstgesetz aus dem Jahre 1975 eindeutig geregelt. Gemäß §102 Abs.5 obliegen den Dienststellen folgende Aufgaben:

- Projektierung und Durchführung von Schutzmaßnahmen
- Verwaltung von Förderungsmitteln
- Erstellung und Führung eines Wildbach- und Lawinenkatasters
- Ausarbeitung von Gefahrenzonenplänen
- Sachverständigentätigkeiten in WLW- Angelegenheiten

Der Sitz und die Organisation gliedern sich derzeit in 7 Sektionsleitungen sowie 27 Gebietsbauleitungen und drei Stabstellen (Geoinformation, Schnee/ Lawinen und Geologie). Dabei ist zu beachten, dass Wien, Niederösterreich und Burgenland auf Grund der geologischen Gegebenheiten in eine Sektion zusammengefasst wurden. Die Gebietsbauleitung West der Steiermark ist für die Bezirke Murau, Deutschlandsberg, Murtal und Voitsberg zuständig. Der Sitz befindet sich in Scheifling (ca. 15min Fahrzeit zum Projektgebiet in Oberwölz). Abbildung A 3-2 veranschaulicht das Naturgefahrenmanagement anhand eines Risikokreislaufs in Österreich.



Abbildung A 3-2: Der Risikokreislauf in Österreich (Lebensministerium, 2012)

### A 3.2.3 Gefahrenzonenplan Österreich

In Österreich werden die Aufgaben der „forstlichen Raumplanung“ im 2. Abschnitt des Forstgesetzes aus dem Jahre 1975 eindeutig geregelt. Generell besteht ein forstlicher Raumplan aus dem Waldentwicklungsplan<sup>3</sup>, dem Waldfachplan<sup>4</sup> sowie dem Gefahrenzonenplan. Letzterer betrifft hauptsächlich die Wildbach- und Lawinenverbauung und ist ein bedeutender Teil bei der Erstellung von Hochwasserkarten, welche im Wasserrechtsgesetz aus dem Jahre 1959 in §55 geregelt sind. Gefahrenzonenpläne visualisieren generell alle möglichen Gefährdungen durch Wildbäche und Lawinen und sind als flächendeckendes Gutachten aufzufassen. Die Kennzeichnung des Gefahrenpotentials hat direkten Einfluss auf die Gestaltung von Flächenwidmungsplänen in Gemeinden und ist ebenfalls die Grundlage für Projektierungsarbeiten und Baumaßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung (Lebensministerium, 2012).

Eine Einteilung von Gefahrenzonenplänen wird in Österreich unter der Einbeziehung folgender Parameter gemacht:

- Wildbach und Lawinenkatastrophenchronik (siehe Kapitel A 3.1)
- Augenzeugen großer Katastrophenereignisse
- Mögliche Szenarien mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 150 Jahren
- Stand der Technik und des Wissens
- Erfahrung von langjährigen Mitarbeitern

---

<sup>3</sup> Waldentwicklungsplan: Dieser Plan umfasst laut §9 das gesamte Bundesgebiet und setzt sich aus Teilplänen der einzelnen Bundesländer zusammen.

<sup>4</sup> Waldfachplan: Dieser Plan wird laut §10 vom Waldeigentümer erstellt, und enthält Darstellungen und Planungen des Planungsträgers.

Um die gewässernahe Raumnutzung zu präzisieren, und die Hochwassergefährdung visualisieren zu können, wurden vom Lebensministerium fünf standardisierte Bereiche ausgewiesen. Diese Überflutungsflächen werden anhand statistischer Hochwasserereignisse (HQ100<sup>5</sup>, HQ30 und HQ300) berechnet.

Eine Planerstellung durchläuft in Österreich ein umfangreiches Verfahren, deren Schritte in Abbildung A 3-3 näher erörtert werden.

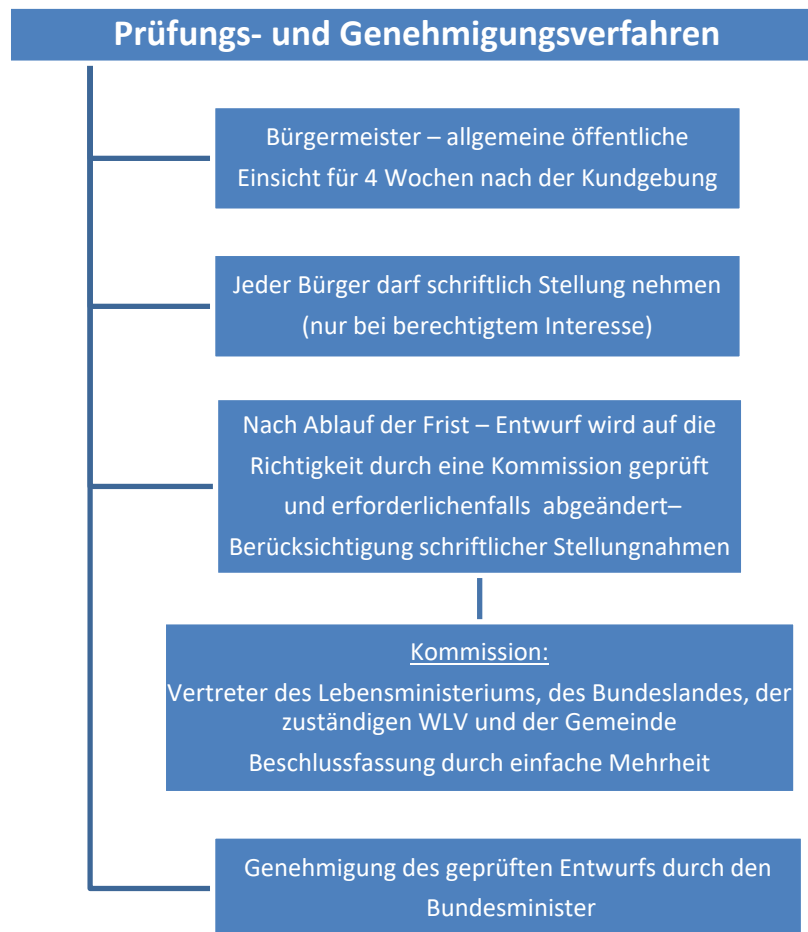


Abbildung A 3-3: Prüfungs- und Genehmigungsverfahren (Forstgesetz, 1975 adaptiert)

Bei der Unterteilung der Zonen ist jedoch darauf zu achten, dass Gefahrenzonen nach baulichen Veränderungen neu bewertet, und nach größeren Hochwasserereignissen kontrolliert werden müssen (BMLFUW, 2016).

<sup>5</sup> HQ100: 100-jährliches Hochwasser



**Rote Gefahrenzone:** Diese Zonen sind nicht für die ständige Benutzung (Siedlungs- und Verkehrszweck) geeignet, da Zerstörungen bzw. Beschädigungen von Bauobjekten und eine ständige Gefahr für Leib und Leben besteht.

**Rot-Gelbe Gefahrenzone:** Diese Zonen werden als solche gekennzeichnet, wenn sie für den Hochwasserabfluss bzw. für Hochwasserrückhaltemaßnahmen wie z.B Retentionsräume, verwendet werden.

**Gelbe Gefahrenzone:** Diese Zonen bilden die Abflussbereiche, in denen nur mehr geringfügige Gefahren vom Gewässer ausgehen, es kann jedoch zu baulichen Beschädigungen oder zu Verzögerungen im Verkehr kommen. Eine künftige Bebauung ist grundsätzlich möglich, jedoch müssen Auflagen der Gemeinde erfüllt werden.

**Blauer Vorbehaltsbereich:** Diese Bereiche werden für die Instandhaltung von schutzwasserwirtschaftlichen Aufgaben eines Gewässers, für wasserwirtschaftliche Maßnahmen oder biologische Schutzmaßnahmen herangezogen. Dazu zählen unter anderem Geschiebeablagerungsbecken oder Aufforstungen.

**Restrisikogebiete:** Der mögliche Abflussbereich bei einem Versagen von bereits vorhandenen Schutzbauwerken oder Regulierungseinrichtungen wird im Gefahrenzonenplan rot schraffiert und es muss bei einem künftigen Bau verbal darauf hingewiesen werden.

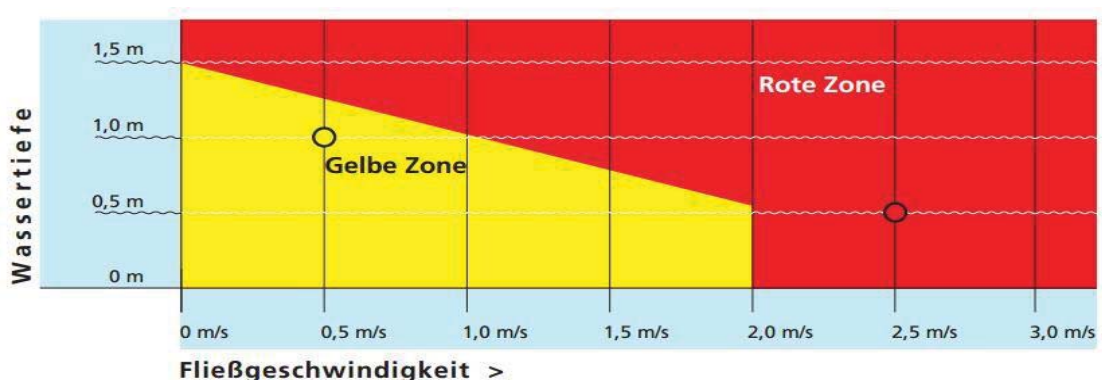


Abbildung A 3-4: Abgrenzung roter zu gelber Zone (VLBG-LREG, 2012)

Eine Einteilung in diese Gefahren- bzw. Gefährdungszonen führt letztendlich zu folgenden 2 Problemstellungen. Darauf aufbauend wurde eine eindeutige Grenze zwischen der „roten Zone“ und „gelben Zone“ definiert, welche in Abbildung A 3-4 auf Seite 24 visualisiert ist. Bei einer Wassertiefe von einem Meter und einer Fließgeschwindigkeit von 0,5 m/s werden Schäden im geringen Ausmaß erwartet (gelbe Markierung), wobei eine Wassertiefe von 0,5 m in Kombination mit einer Fließgeschwindigkeit von 2,5 m/s zu schweren Zerstörungen führen kann (rote Markierung) (BMLFUW, 2016).

- Wie hoch steigt der Wasserspiegel in einem Überschwemmungsgebiet?
- Wie schnell kann das Wasser fließen?

Als Beispiel ist ein Gefahrenzonenplan der Stadt Oberwölz in Abbildung A 3-5 abgebildet. Dieser zeigt auf einen Blick in welchen Gebieten der Gemeinde mit welchen Gefahren oder Hochwasserereignissen gerechnet werden muss. Die roten Bereiche sind Bauverbotszonen und es herrscht Umwidmungsverbot durch die Gemeinden, wobei in den gelben Zonen neue Baulandwidmungen theoretisch möglich sind.

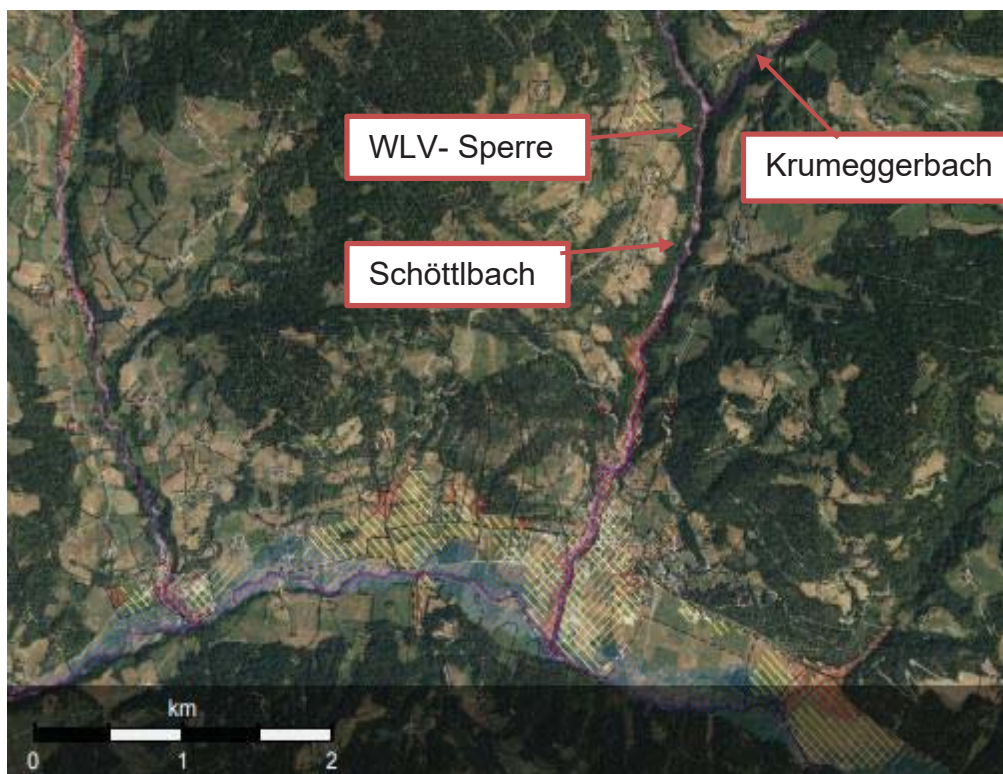


Abbildung A 3-5: Gefahrenzonenplan Oberwölz (BMLFUW, 2016)

## A 4. Gerinnehydraulik

Dieses Kapitel beinhaltet einen Überblick über empirische und logarithmische Fließformeln. Aufgrund zahlreicher Untersuchungen wurden die eindimensionalen empirischen Berechnungsverfahren weiterentwickelt. Heutzutage werden grundlegende Einflussgrößen, wie Bewuchs, Sohlenform und wechselnde Rauheit detailliert betrachtet (Knoblauch & Schneider, 2009).

Trotz der engen Beziehung und Verbindungen der Teilgebiete Hydraulik und Sedimenttransport ist der Feststofftransport als Effekt des Abflussvorganges zu erkennen; d.h. als erste Aufgabe ist die Lösung der hydraulischen Probleme zu beachten und danach der Sedimenttransport zu berechnen (Knoblauch & Schneider, 2009).

### A 4.1 Empirische Fließformeln

Einer der ersten, die den Zusammenhang zwischen der Rauigkeit der Sohle, der Schwerkraft und der Fließgeschwindigkeit entdeckte, war Albert **Brahms** (1692 – 1758). Für die weitere Entwicklung der Formel sorgte 1768 **Chezy**<sup>6</sup>. Durch die Veröffentlichung von Albert **Eytelwein** 1801 wurde jene Formel erst bekannt.

Die im Kapitel A 4.1 behandelten Formeln lehnen sich alle der Chezy-Formel an.

#### **Stationär - gleichförmiger Strömungszustand:**

Die Abbildung A 4-1 stellt die Kräfte an einem Flüssigkeitselement dar. Es wird vereinfacht von einem **stationär - gleichförmigen Strömungszustand**<sup>7</sup> ausgegangen, d.h. die Reibungskräfte an der Gerinnewand und die antreibenden Kräfte stehen im Gleichgewicht (Bechteler, 2006).

---

<sup>6</sup> Antoine Chezy (1718 – 1798), französischer Hydrauliker

<sup>7</sup> Stationär-gleichförmiger Strömungszustand: zeitlich unveränderte Strömung in einem Gerinne mit konstantem Querschnitt

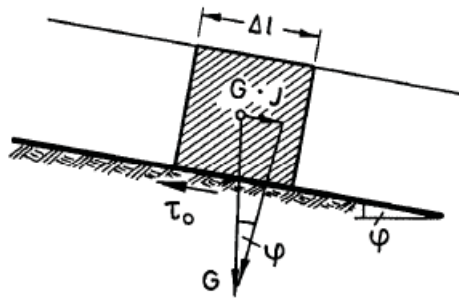


Abbildung A 4-1: Kräfte am Flüssigkeitselement (Bechteler, 2006)

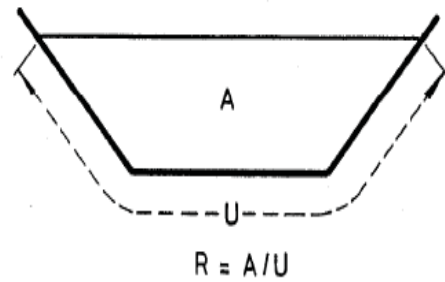


Abbildung A 4-2: Hydraulischer Radius (Bechteler, 2006)

Aus dem Gleichgewicht der Kräfte aus Abbildung A 4-1 ergibt sich

$$\tau_0 \cdot U \cdot \Delta l = G \cdot I = \rho_w \cdot g \cdot A \cdot \Delta l \cdot I \quad [\text{N}]$$

$$\text{mit } \sin \varphi = \text{tg} \varphi = I$$

(A 4-1)

Woraus die **Sohlenschubspannung** erhalten wird

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{aus Abbildung A 4-2: mit } R = \frac{A}{U}$$

(A 4-2)

bzw.

$$v_0^* == \sqrt{g \cdot R \cdot I} = \sqrt{\tau_0 / \rho_w} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

(A 4-3)

Aus der Formel (A 4-4) ergibt sich die **Chezy-Gleichung**

$$v_0^* \sim v_m = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{A 4-4})$$

Der sogenannte **CHEZY-Beiwert C** [ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ] hängt von der Gerinnerauheit (Höhe, Form, Abstand der Rauheitselemente) und vom Abflussquerschnitt (Größe, Form) ab (Bechteler, 2006).

Die am meist verwendete Formel für die Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit ergibt sich aus Ansätzen von **GAUCKLER**<sup>8</sup>, **MANNING**<sup>9</sup> und **STRICKLER**<sup>10</sup>

$$C = k_{\text{St}} \cdot R^{1/6} \left[ \frac{\text{m}^{1/2}}{\text{s}} \right] \quad (\text{A 4-5})$$

Daraus ergibt sich die **MANNING – STRICKLER – Formel**

$$v_m = k_{\text{St}} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{A 4-6})$$

*„Der Strickler – Beiwert ( $k_{\text{St}} \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ) ist direkt proportional zur Fließgeschwindigkeit bzw. zum Abfluss und beeinflusst somit das Rechenergebnis maßgeblich.“*  
(LFU, 2003)

Der  $k_{\text{St}}$  – Wert ist unabhängig vom Abflussquerschnitt, jedoch abhängig vom Wasserstand und beschreibt das Widerstandsverhalten von Gerinnen. Grundsätzlich ist also der  $k_{\text{St}}$  - Wert bei gleichem Wasserstand und gleicher Oberflächenstruktur am Rhein gleich groß wie bei einem kleinen Bach (LFU, 2003).

---

<sup>8</sup> Gaspar-Philibert Gauckler (1826 – 1905), französischer Wasserbauingenieur

<sup>9</sup> Robert Manning (1816 – 1897), irischer Bauingenieur

<sup>10</sup> Albert Strickler (1887 – 1963), schweizerischer Wasserbauer

Die folgenden Parameter müssen beim Strickler – Beiwert berücksichtigt werden:

- Sohlen- und Wandrauheit
- Geometrie des Querschnittes
- Uferbewuchs
- Mäandrieren des Gewässers
- Geschiebeführung
- Verkrautung

In den nachfolgenden Tabellen werden einige Strickler – Beiwerte aus der Literatur dargestellt:

Tabelle A 4-1: Sammlung von  $k_{st}$ -Werten aus BOLLRICH & PREISLER (1996)

Beschaffenheit der Gerinnewand	$k_{st}$ [ $m^{1/3}/s$ ]
Ungehobelte Bretter; geglätteter Beton; feiner Schlamm	90
Glatter Zementputz; glatter Beton mit hohem Zementgehalt; gut gefugte Klinker; Hausteinquader	80
Alte, aus Einzelrohren bestehende Betonrohrleitungen	75
Sorgfältiges Bruchsteinmauerwerk; mäßig inkrustierte Rohre; Walzgussasphalt	70
Normales Bruchsteinmauerwerk; unverputzter, gut geschalter Beton; behauene Steine; glatte Erdkanäle in festem Material	60
Grobes Bruchsteinmauerwerk; feiner Kies und Sand; gepflasterte Böschungen; unbefestigte Erdsohle	50
Regelmäßige Erdkanäle ohne Geschiebe; mittlerer Kies (20/40/60 mm)	40
Grober Kies (50/100/150 mm); leicht verkrautete Erdkanäle; natürliche Flüsse mit mäßiger Geschiebebewegung und Kolken	35
Natürliche Flussbetten mit grobem Geröll; stark geschiebeführende Flüsse; Erdkanäle in scholligem Lehm; kopfgroße Steine; Wildbäche; Flussvorland mit Vegetation	30
Gebirgsflüsse mit grobem Geröll; stark bewachsene Erdkanäle; rohe Felswand	25
Sehr unregelmäßiger Felskanal; Gebirgsflüsse mit starker Geschiebebewegung	< 20

## A 4.2 Logarithmische Fließformeln

Die logarithmischen Fließgesetze basieren auf turbulenz-theoretischen Ansätzen aus der Rohrhydraulik. Sie sind dimensionsrein aufgebaut und physikalisch-theoretisch fundiert (Knoblauch & Schneider, 2009).

Die Formel von **DARCY**<sup>11</sup> – **WEISBACH**<sup>12</sup> wurde ursprünglich für die Rohrströmung entwickelt, lässt sich aber auch für offene Gerinne anwenden.

Formel (A 4-7) nach **DARCY – WEISBACH**

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot R \cdot J} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{A 4-7})$$

mit dem Widerstandsbeiwert nach **PRANDTL - COLEBROOK - WHITE**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{v_m}{\sqrt{8} \cdot v_0^*} = -2,03 \cdot \lg \left( \frac{0,628}{\text{Re} \cdot f \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k_s}{14,84 \cdot R \cdot f} \right) \quad (\text{A 4-8})$$

mit	$\lambda$	Widerstandsbeiwert [-]	
	Re	Reynoldszahl [-]	
	f	Formbeiwert [-]	
		für Rohre mit Kreisquerschnitt	f = 1
		breites Rechteckgerinne (B/h > 25)	f = 0,60
		Trapezgerinne (B/h < 25)	f = 0,83

Der Widerstandswert  $\lambda$  ist dimensionslos und im Flussbau immer im hydraulisch rauen Bereich. Dieser kann auch aus dem MOODY – Diagramm in Abhängigkeit der Reynoldszahl und der relativen Rauheit abgelesen werden (Bechteler, 2006).

<sup>11</sup> Henry Darcy (1803 – 1858), französischer Hydrauliker

<sup>12</sup> Julius Weisbach (1806 – 1871), deutscher Maschinenbauingenieur

Nach einigen Analysen erforschte Garbrecht, dass der  $k_{st}$  – Wert aus der **äquivalenten Sandrauigkeit** ermittelt werden kann (Knoblauch & Schneider, 2009).

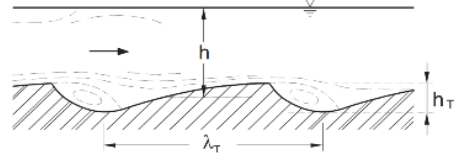
$$k_{St} = \frac{26}{k^{\frac{1}{6}}} \quad k \text{ bzw. } k_s \text{ in [m] einsetzen} \quad (A 4-9)$$

Weiteres ergibt sich

$$k_{St} = 3,6 \cdot d_{90} \text{ [m]} \quad (A 4-10)$$

Die Tabelle A 4-2 stellt einige  $k_s$  – Werte dar. Der  $\lambda$  – Beiwert ändert sich je nach Wasserstand des Gerinnes und ist daher nicht konstant bei der Anwendung der Fließformel nach DARCY - WEISBACH (Jirka & Lang, 2009).

Tabelle A 4-2: Absolute Rauheit  $k_s$  von offenen Gerinnen bei Benutzung der Fließformel nach DARCY - WEISBACH (Jirka & Lang, 2009)

Gerinnetypen	$k_s$ [mm]
<b>Ebene Fließgewässersohle</b> aus Sand oder Kies ( $d_{k,90}$ = Korndurchmesser, der von 90% des Materials unterschritten wird) Grobkies bis Schotter schwere Steinschüttung Sohlenpflasterung Grenzbedingung für Einzelrauheiten: $k_s \leq 0,45R_b$	$d_{k,90}$ 60–200 200–300 30–50
<b>Unebene Fließgewässersohle</b> ( $h_T$ = Höhe des Transportkörpers) mit Riffeln ( $\lambda_T < 0,3 \text{ m}$ ; $h_T < 0,05 \text{ m}$ )	$h_T$
	
mit Dünen ( $\lambda_T < 2\pi h$ ; $h_T < 0,06\lambda_T$ )	$h_T = h/6 - h/3$
<b>Vorländer und Böschungen</b> mit Ackerboden Ackerboden mit Kulturen Waldboden Rasen Steinschüttung 80/450 mm mit Gras überwachsen Gras Gras und Stauden Rasengittersteine	20–250 250–800 160–320 60 300 100–350 130–400 15–30
<b>Wände</b> aus Ziegelmauerwerk Beton glatt Beton rauh Bruchstein rauhe Natursteinmauer Stahlspundwand je nach Profiltiefe	2–8 1–6 6–20 15–20 80–100 20–100



## A 5. Feststofftransport

Durch den Feststofftransport wird die Struktur der Fließstrecke verändert, was durch natürliche Vorgänge wie Erosion, Transport bzw. Umlagerung und Sedimentation (Auflandung) stattfindet. Durch diese Dynamik bilden sich eventuell Ufereinrisse, Rinnenbildung oder z.B. Kolkbildungen. Diese auftretenden Naturerscheinungen führen dazu, dass sich einerseits der Wasserspiegel senken und andererseits, bei Sedimentation, anheben kann (Knoblauch & Schneider, 2009).

Für die Berechnung des Feststofftransports ist sehr viel Erfahrung notwendig, da oft die Eingangswerte mit Unsicherheiten behaftet sind und so die Resultate lediglich Prognosen darstellen (Patt & Gonsowski, 210).

Wichtige Eigenschaften zur Berechnung der Transportvorgänge:

- Korndichte
- Korndurchmesser
- Kornform

### A 5.1 Grundlagen des Sedimenttransports

Im Grundlegenden wird beim Sedimenttransport, der auch als Feststofftransport bezeichnet wird, zwischen Bodenfracht (Geschiebe) und Suspensionsfracht (Schwebstoff) unterschieden. In der Hydrologie<sup>13</sup> und Hydromechanik<sup>14</sup> bezeichnet das Geschiebe (geol.: Geröll) jene Feststoffe, die durch Rollen oder Schieben an der Gewässersohle transportiert werden. Die Suspensionsfracht wird hingegen von der Strömung getragen. Eine klar definierte Abgrenzung der Bodenfracht von der Suspensionsfracht ist durch einen bestimmten Korndurchmesser nicht definiert, da sich mit zunehmendem Abfluss die Grenze zwischen Geschiebe und Schwebstoff verschiebt (Bechteler, 2006).

---

<sup>13</sup> DIN 4049: Hydrologie: Grundbegriffe

<sup>14</sup> DIN 4044: Hydromechanik im Wasserbau: Begriffe

„Die Feststoffmaterialien stammen aus dem Einzugsgebiet des Fließgewässers, aus seitlichen Zuflüssen und aus dem Sohlen- und Ufersubstrat. Ausgehend von der jeweiligen aktiven Feststoffquelle sorgen chemische Prozesse, Erosion und Schwerkraft für die Versorgung der Fließgewässer mit entsprechenden Materialien“ (Patt & Gonsowski, 210)

Die Abbildung A 5-1 stellt das Schema des Feststofftransports dar.

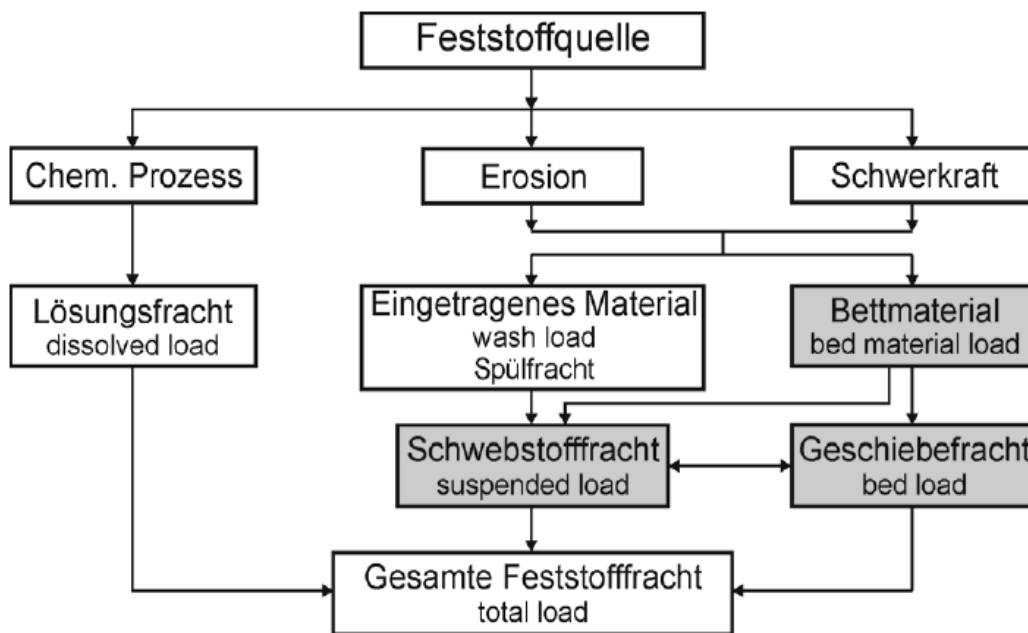


Abbildung A 5-1: Schema des Feststofftransports (Bechteler, 2006)

Die **Lösungsfracht** (dissolved load) ist unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers und resultiert aus der chemischen Verwitterung (Bechteler, 2006).

Die **Schwebstofffracht** (suspended load) wird mit etwa der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers transportiert, da diese durch die geringere Dichte als jene des Wassers bzw. durch die Turbulenz oder auch die Diffusion in Schwebelage gehalten wird. In Abbildung A 5-2 wird dies grafisch dargestellt. Entsprechend dem Gefälle (höhere Fließgeschwindigkeit) wird auch Sand teilweise als Schwebstoff mitgeführt, ansonsten bewegt sich die Korngröße gewöhnlich im Schluff- und Tonbereich (Bechteler, 2006).

Die **Schwebstofffracht** spielt eine wichtige Rolle bei

- der Deltabildung<sup>15</sup> in Seen
- der Verlandung von Stauräumen
- der Spülung verlandeter Stauräume
- Überschwemmungen (Verschlammung)
- Abdichtung des Gerinnes (Kolmation)
- Verlandung von Altarmen<sup>16</sup> und Buchten (in Seen)
- Abrasion an Bauwerken (Brückenpfeilern) und Maschinen (Turbinen)

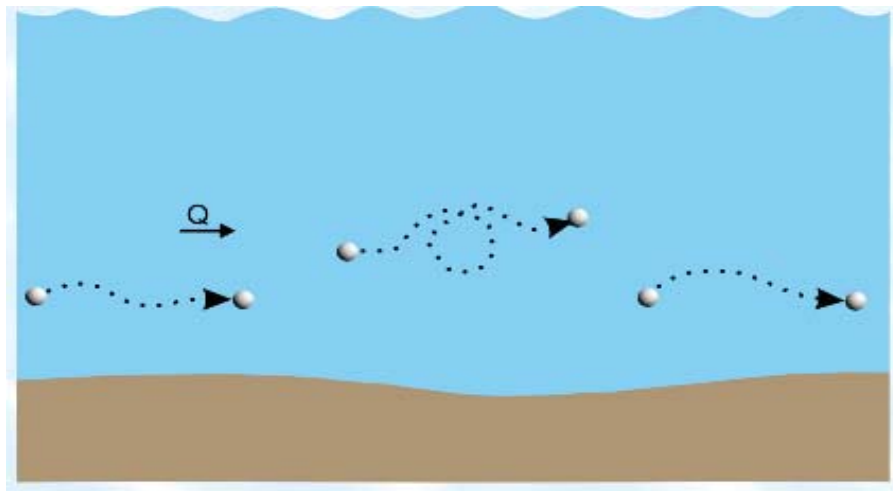


Abbildung A 5-2: Darstellung des Schwebstofftransports (keinen Kontakt zur Sohle) (Gunt Hamburg, 2014)

Von **Geschiebefracht** (bed load) wird gesprochen, wenn sich der Transport der Feststoffe in gleitender, rollender oder springender Bewegung an der Sohle abläuft. Im flachen Teil der Flüsse wird der größte Teil der Feststoffe als Schwebstoff transportiert und im Oberlauf bewegt sich das Geschiebe im direkten Kontakt mit der Gewässersohle (Bechteler, 2006).

Abbildung A 5-3 & Abbildung A 5-4 zeigt beide Formen der Geschiebefracht.

<sup>15</sup> Deltabildung: Flusseinmündung in einen See oder ein Meer

<sup>16</sup> Altarmen: ist der Teil eines Flusses, der durch natürliche oder künstliche Einwirkung an einem Ende vom Hauptstrom abgeschnitten ist

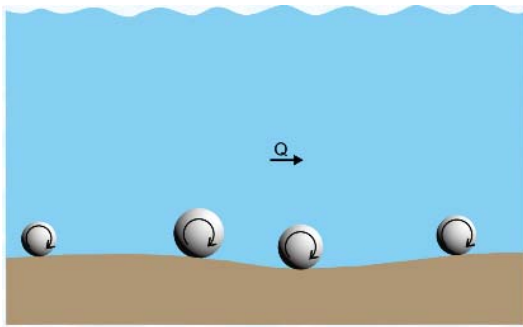


Abbildung A 5-3: Rollender, gleitender Geschiebetransport (Gunt Hamburg, 2014)

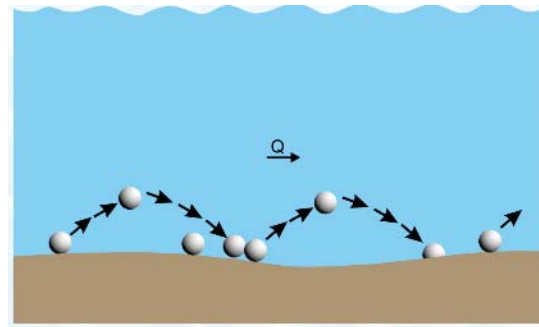


Abbildung A 5-4: Springender Geschiebetransport (Gunt Hamburg, 2014)

Die **Spülfracht** (wash load) besteht aus feinkörnigerem Material als die Gewässersohle und resultiert aus der Denudation (Flächenerosion). Bei dieser Fracht handelt es sich um Partikel, die ohne Kontakt mit der Sohle mittransportiert werden. Unter anderem wird auch noch das **Bettmaterial** untersucht, dessen Korngröße in der Sohle vorhanden ist (Bechteler, 2006).

Der **Bettmaterialtransport** (bed material load) ist abhängig von den hydraulischen Parametern des Gerinnes (Abfluss, Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Gefälle) und auch von der Korngröße bzw. Korngrößenverteilung des Materials an der Sohle (Bechteler, 2006).

### Kräfte am Korn

Das Sedimentkorn wird mit unterschiedlichen Kräften beansprucht und ist in Abbildung A 5-5 dargestellt. Die Form des auftretenden Sedimenttransports ist abhängig von der Größe, Masse und Form des Korns sowie der angreifenden Strömungskraft (Gunt Hamburg, 2014).

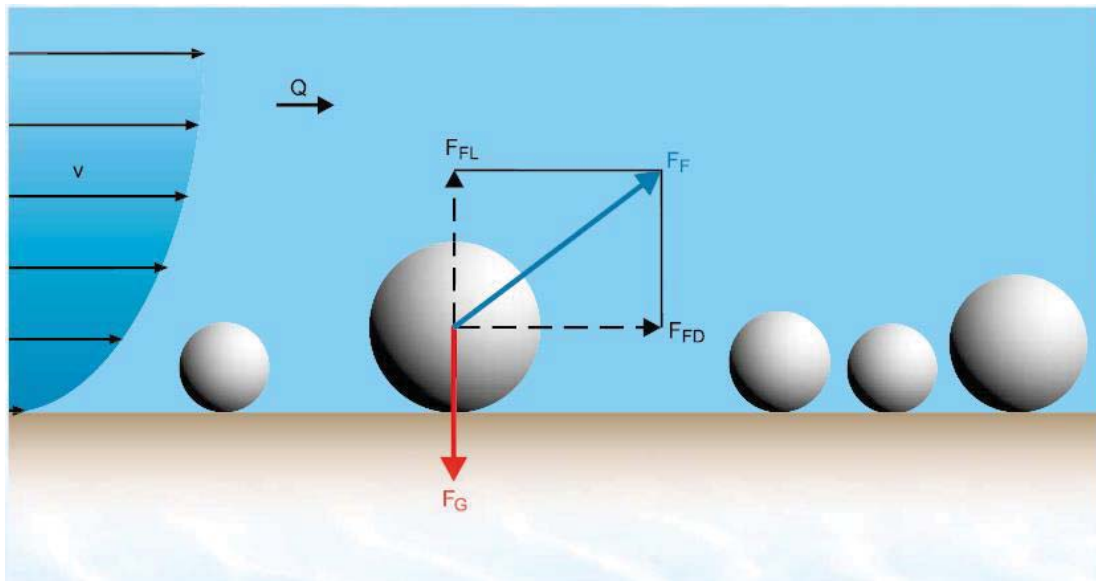


Abbildung A 5-5: Kräfte am Sedimentkorn an der Gerinnesohle (Gunt Hamburg, 2014)  
v Fließgeschwindigkeit, Q Abfluss,  $F_G$  Gewichtskraft,  $F_F$  Strömungskraft,  $F_{FL}$  Liftkraft,  
 $F_{FD}$  Schleppkraft

Aus der senkrecht wirkenden Kraft  $F_{FL}$  und der horizontalen Schleppkraft  $F_{FD}$  ergibt sich die resultierende Strömungskraft  $F_F$ . Für eine Bewegung des Sedimentkorns von der Gerinnesohle, muss die Liftkraft größer als die entgegen gerichtete Kraft  $F_G$  am Sedimentkorn sein (Gunt Hamburg, 2014).

### A 5.1.1 Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebstoff

Zunächst soll eine Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebstoff vorgenommen werden, da bei einer mathematisch-physikalischen Behandlung des Feststofftransports dies meist getrennt analysiert wird, was aber im Bereich der Sohle nicht korrekt ist.

W.Kresser (1964) hat in mehreren Fließgewässern in Österreich empirische Untersuchungen für den Übergang der beiden Kornverteilungskurven für Geschiebe- und Schwebstoffmaterial durchgeführt. Für eine mittlere Abflussgeschwindigkeit von  $v_m$  und einen Grenzkorndurchmesser  $d_{gr}$  gilt eine Froudezahl  $Fr$  von:

$$Fr^2 = \frac{v_m^2}{g \cdot d_{gr}} = 360 [-] \quad (A 5-1)$$

Daraus folgt dieser Durchmesser zu:

$$d_{gr} = \frac{v_m^2}{360g} [m] \quad (A 5-2)$$

Beispielsweise ergibt sich bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von  $v_m = 1,5$  m/s der Grenzkorndurchmesser zu  $d = 0,64$  mm.

Um eine weitere Abgrenzung zu konstatieren wird von der sogenannten **Schwebstoffzahl** (Rouse Zahl)  $z$  gesprochen. Ist der Wert  $z > 2$  werden die entsprechenden Partikel im unteren Bereich der Gewässersohle transportiert (Bechteler, 2006).

$$z = \frac{v_s}{\beta \cdot \kappa \cdot v_0^*} [m] \quad (A 5-3)$$

Nach Raudkivi (1982) ergeben sich, mit dem Produkt aus  $\beta \cdot \kappa = 0,4$ , folgende abgegrenzte Bereiche:

15 > z > 5    Bodenfracht

5 > z > 1,5    Springen

2 > z > 0    Suspension

Engelund (1965) kommt aus einer ähnlichen Betrachtung zum Resultat von

$$v_0^* = 0,25 \cdot v_s \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (\text{A 5-4})$$

Dies bedeutet, dass die Sohlenschubspannungsgeschwindigkeit  $v_0^*$  mindestens 25 % der Sinkgeschwindigkeit des Partikels beträgt, d.h.  $z < 10$

Zanke (1982) erhält als *Proportionalitätskonstante* für die Formel (A 5-4) 0.4 anstatt den Wert 0.25, woraus sich eine Schwebstoffzahl von  $z < 6,25$  ergibt.

„ $v_0^*$  wird wegen der Dimension m/s als **Schubspannungsgeschwindigkeit** an der Sohle bezeichnet, charakterisiert im Grunde jedoch keine Geschwindigkeit, sondern den Gerinnewiderstand bzw. die Kräfte, mit der die Strömung auf die Wandung (Sohle, Ufer) einwirkt“ (Knoblauch & Schneider, 2009).

## A 5.2 Transportbeginn

Der Bewegungsbeginn wird grundsätzlich über mehrere Parameter erfasst:

- Kritische Geschwindigkeit  $v_{cr}$
- Kritische Schubspannung  $\tau_{cr}$
- Kritische Wassertiefe  $h_{cr}$
- Kritisches Gefälle  $I_{cr}$
- Kritischer Abfluss  $Q_{cr}$  bzw.  $q_{cr}$

### A 5.2.1 Kritische Geschwindigkeit nach Hjulström

Das empirische Diagramm nach **HJULSTRÖM** (1935) ist eine der bekanntesten graphischen Darstellungen, um den Zusammenhang zwischen der mittleren Fließgeschwindigkeit und einem charakteristischen Korndurchmesser auszudrücken (siehe Abbildung A 5-6). Diese beiden Parameter lassen sich relativ leicht messen oder berechnen.

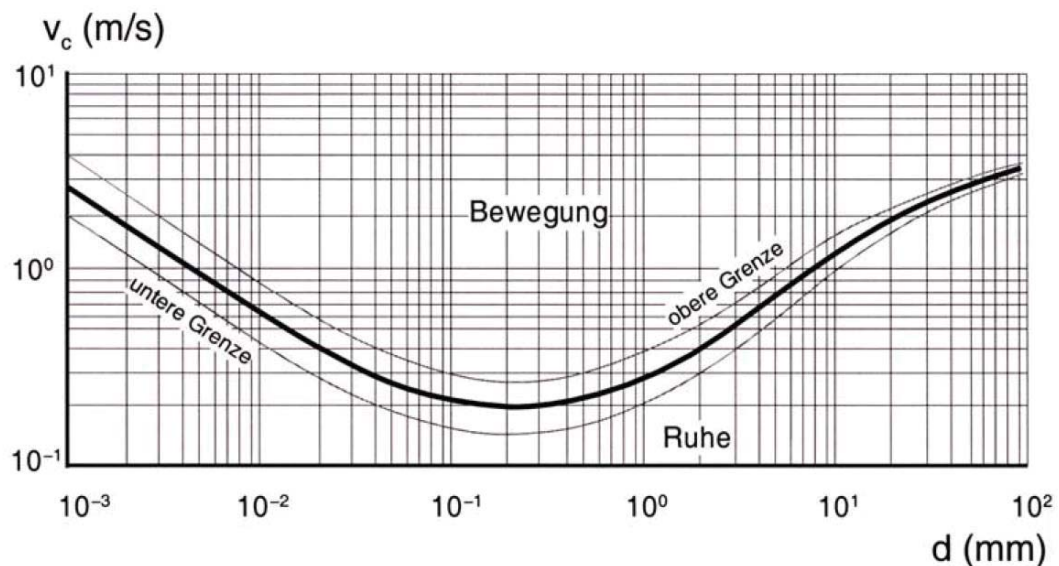


Abbildung A 5-6: Mittlere kritische Geschwindigkeiten nach Hjulström (Bechteler, 2006)



Zanke (2002) stellte eine ähnlich empirische Beziehung auf:

$$v_{cr} = \alpha \cdot \left( \sqrt{\rho' \cdot g \cdot d} + 5,25 \cdot \frac{v}{d} \cdot c \right) \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (\text{A 5-5})$$

mit:  $v_{cr}$  = kritische Fließgeschwindigkeit für Bewegungsbeginn m/s

$\alpha$  = 1,5 (untere Grenze) bzw. 2,8 (obere Grenze)

„Der **Beiwert c** berücksichtigt die Kohäsion. Für natürliche Sande ist  $c = 1$ . Die Formel gilt für Wassertiefen zwischen 0,7 m und 2 m (im Mittel ca. 1,4 m), für andere Tiefen kann die mit der oben angegebenen Gleichung ermittelte Geschwindigkeit mit dem Faktor  $(h_{vorn}/1,4)^{1/6}$  multipliziert werden.“ (Bechteler, 2006)

#### A 5.2.2 Kritische Sohlenschubspannung nach Shields

Das am häufigsten benutzte Diagramm für die Ansätze zur Berechnung der kritischen Schubspannung ist das Diagramm nach **SHIELDS** (1936).

Abbildung A 5-7 stellt die Beziehung der Feststoff – FROUDE - Zahl  $Fr^*$  und der Feststoff – REYNOLDS – Zahl  $Re^{*17}$  für den Bewegungsbeginn mit dem Bewegungsrisiko  $R$  nach Zanke dar. Mit Hilfe von Laborversuche (unterschiedliche Korngröße, Korndichte, Kornform bei gleichförmiger Verteilung und ebener Sohle) leitet Shields über Kräfteansätze zwischen Strömungs- und Reibkräften die Beziehung her (Bechteler, 2006).

---

<sup>17</sup> $Re^*$ : hydraulisch rauher Bereich  $> 70$ , hydraulisch glatter Bereich  $< 2$

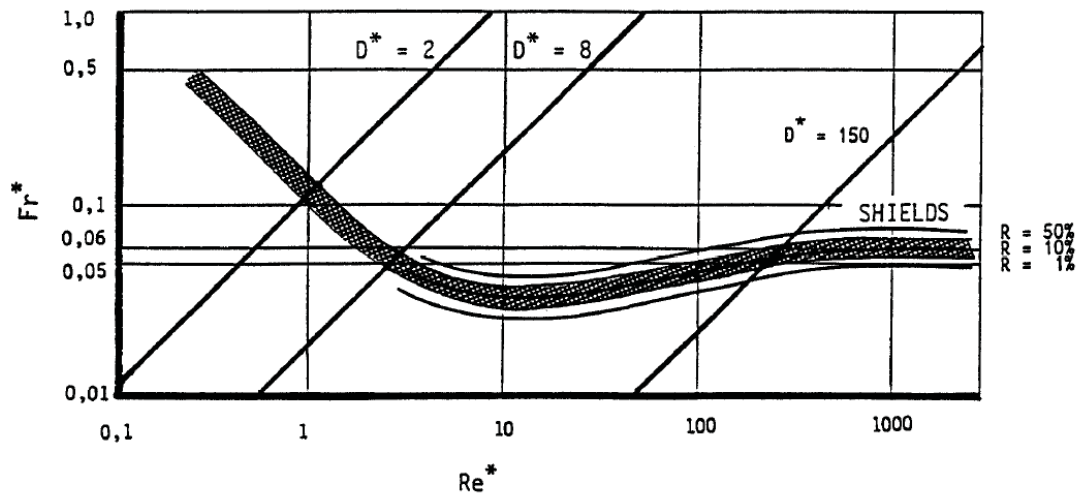


Abbildung A 5-7: Shields-Diagramm (1936) nach Zanke für unterschiedliches Bewegungsrisiko R (Bechteler, 2006)

$$Fr^* = \frac{v_0^{*2}}{\rho' \cdot g \cdot d_{ch}} [-] \tag{A 5-6}$$

$$Re^* = \frac{v^* \cdot d}{\nu} [-] \tag{A 5-7}$$

### A 5.3 Modelle für Feststoff – Geschiebetrieb

Im Zuge dieser Arbeit wurden keine mathematischen Berechnungen mithilfe von Feststoff und Geschiebetrieb – Formeln durchgeführt. Nachfolgend werden die vorhandenen Modelle kurz beschrieben bzw. aufgelistet.

#### A 5.3.1 Feststoffe

Für die Bestimmung des Gesamtstofftriebes wird unterschieden zwischen: (Knoblauch & Schneider, 2009):

- **Stochastische Modelle und Regressionsmodelle** (EINSTEIN, PERN-ECKER und VOLLMERS, TOFFALETTI, KARIM und KENNEDY)
- **Energiemodelle** (ENGELUND und HANSEN, YANG) und
- **Schubspannungsmodelle** (ZANKE, VAN RIJN, Meyer – Peter, Müller)

#### A 5.3.2 Geschiebetrieb

**Meyer – Peter und Müller** (1949): Dieser fundierte Ansatz basiert auf systematischen Modelversuchsreihen und kann bei Gefällen von 0,04 % bis 2,3 % eingesetzt werden.

**SMART und JÄGGI** (1983) verwendeten die Ergebnisse von MPM und adaptierten den Gefällebereich auf bis zu 20 %. Dabei wird auch der infolge des Geschiebetransportes erhöhte Wasserspiegel im Ansatz berücksichtigt.

**RICKENMANN** (1990, 1991, 2005, 2001): Dieser Ansatz basiert auf selbst durchgeführten Versuchsreihen, Versuchen von MPM und SMART und JÄGGI.

**PALT** (2001) berücksichtigte in seinem Ansatz, im Gegensatz zu den vorhergegangenen Ansätzen, einen erhöhten Fließwiderstand infolge von Absturz – Becken – Sequenzen.

## A 6. Korngrößenverteilung

Eine Korngrößenverteilung einer Bodenprobe zeigt die Verteilung der Massenanteile der vorhandenen Körnungsgruppen. Dabei wird generell zwischen Siebung (Korngrößen > 0.063 mm) und Sedimentation (Korngrößen < 0.125 mm) unterschieden. Die Kornverteilungen wurden im Zuge dieser Arbeit am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz durch Nasssiebungen und teilweiser Sedimentation nach ÖNORM B 4412<sup>18</sup> durchgeführt. Da die Feinanteilszusammensetzung, welche mithilfe der Sedimentation bestimmt wird, keinen Einfluss auf die SIS- Impacts hat, wurde bei den restlichen Analysen darauf verzichtet.

### Klassifizierungsgrundlagen

Generell unterscheidet man bei der Klassifikation von Proben folgende vier Korngrößenverteilungen. Diese Klassifikation jeder Probe des Standortes Schöttelbachs kann dem Anhang entnommen werden.

- Weitgestufte oder flach verlaufende Verteilung („W“)
- Enggestufte oder steil verlaufende Verteilung („E“)
- Gut gestufte oder mäßig steil verlaufende Verteilung („G“)
- Intermittierend gestufte oder wellenförmige Verteilung („I“)

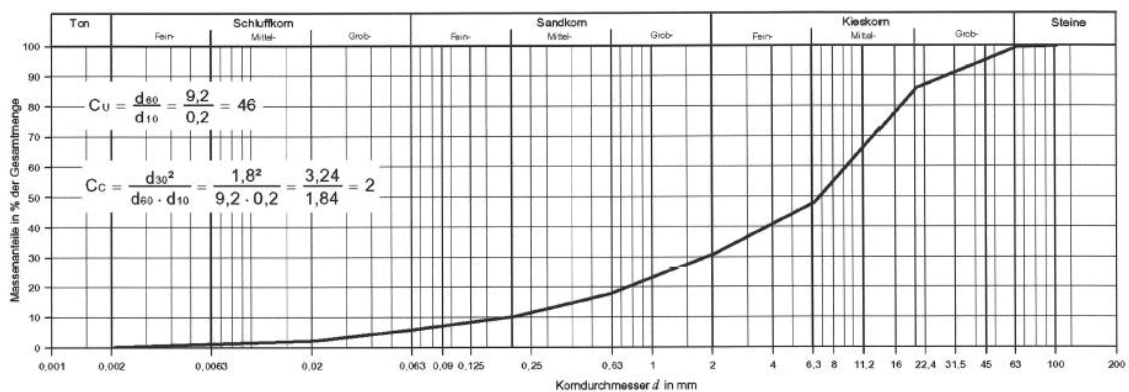


Abbildung A 6-1: W- Korngrößenverteilung (Leibniz, 2014)

<sup>18</sup> ÖNORM B 4412: Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Korngrößenverteilung

In Bodenproben, bei welchen die Verteilung weitgestuft oder flach verläuft, sind fast alle Korngrößen gleichmäßig enthalten (Abbildung A 6-1). Bei dieser Klassifikation spricht man häufig auch von Moränenmaterial<sup>19</sup>.

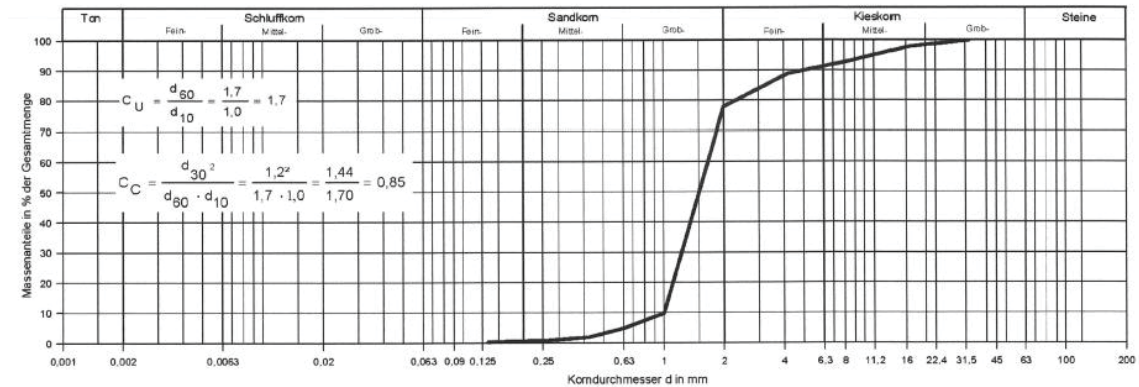


Abbildung A 6-2: E- Korngrößenverteilung (Leibniz, 2014)

Bodenarten mit steil verlaufenden Kurven verbleiben meist in einem bis maximal zwei Korngrößenbereichen (Abbildung A 6-2).

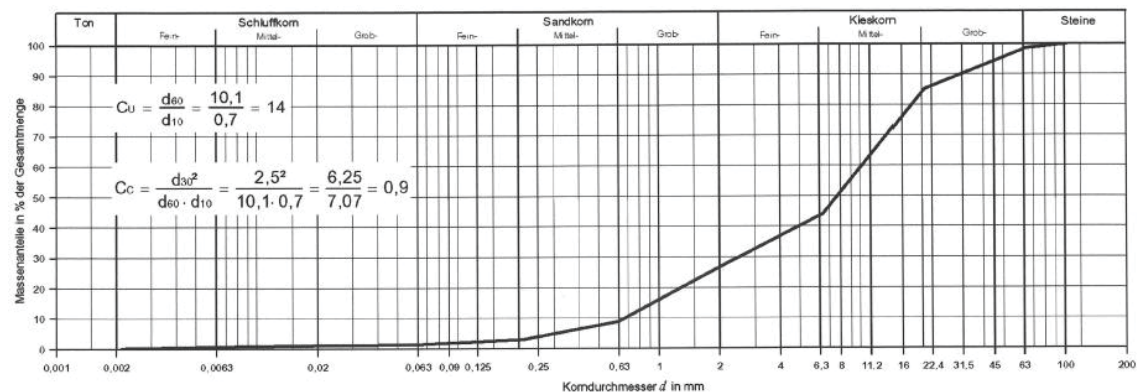


Abbildung A 6-3: G- Korngrößenverteilung (Leibniz, 2014)

Diese kontinuierlich verlaufenden Verteilungen sind nicht so flach wie bei einer weitgestuften, und nicht so steil wie bei einer enggestuften Verteilung (Abbildung A 6-3) und treten sehr häufig bei Residualböden<sup>20</sup> auf.

<sup>19</sup> Moränenmaterial: vom Gletscher transportiertes und abgelagertes Material

<sup>20</sup> Residualböden: bindiges Lockermaterial nach Verwitterung von Carbonatgesteinen

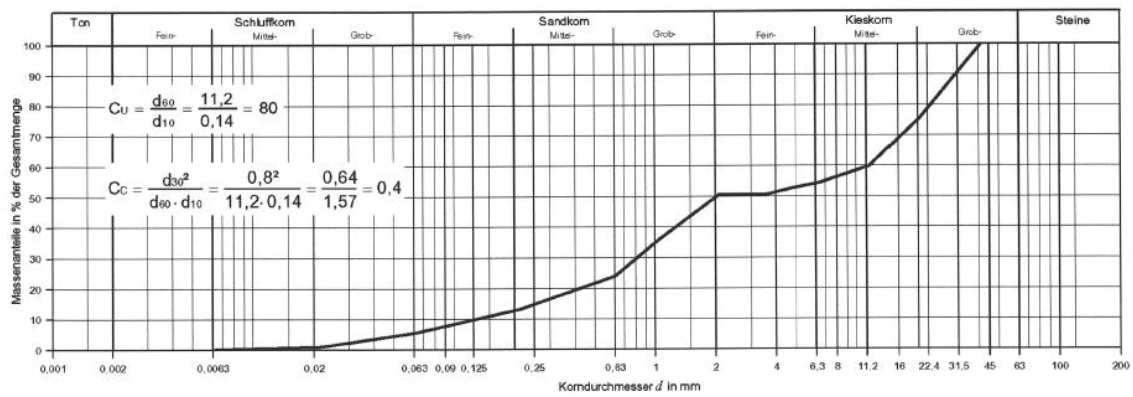


Abbildung A 6-4: I- Korngrößenverteilung (Leibniz, 2014)

Wie man am Beispiel der Abbildung A 6-4 erkennen kann, zeichnet sich diese Bodenart durch das Fehlen mehrerer Korngrößenbereiche aus. Dies tritt in der Praxis meist bei fluviatilen<sup>21</sup> Sedimenten auf.

<sup>21</sup> Flussablagerungen; meist gerundete Gesteine welche vom Fließgewässer mitgeführt werden

## A 7. Gründe der Geschiebemessung

Der Feststoffhaushalt beschreibt die natürlichen Phänomene eines dynamischen Fließgewässers. Die Remobilisierung von Feststoffen im Fluss, der Austausch mit den Vorländern, der Transport und die Umlagerung und Sedimentation sind dabei von großer Bedeutung für einen sich im Gleichgewicht befindlichen Feststoffhaushalt. Dieser wird im Wesentlichen durch verschiedene anthropogene Eingriffe stark beeinflusst. Dazu zählen Geschieberückhaltmaßnahmen im Einzugsgebiet, Flussregulierungen (Hochwasserschutz und Gewinnung von forst- und landwirtschaftlichen Nutzflächen, Wasserkraft (Energiegewinnung) sowie die Nutzung von Flüssen als Wasserstraße. Die genannten Eingriffe verändern die natürlichen Gegebenheiten und greifen in den Sedimenthaushalt ein (Habersack, et al., 2012).

### Beispiele für anthropogene Einflüsse und deren Auswirkung:

- Querbauwerke verändern das Sedimentkontinuum und Transportvermögen
- Baggerungen führen zu einem Geschiebedefizit bei der Entnahme
- Transportkapazitätsverringering führt zu Sohlauflandungen

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Bereichen, für welche die Ergebnisse der Geschiebefrachtmessungen von Interesse sind. Dazu zählen der allgemeine Flussbau, die Wildbach- und Lawinenverbauung, das Wasserstraßenmanagement, der Hochwasserschutz sowie die zahlreichen wissenschaftlichen Forschungsprojekte welche die Transportprozesse untersuchen. Geschiebemessdaten sind heutzutage in den verschiedensten Bereichen rund um den Wasserbau von essenzieller Bedeutung (Tabelle A 7-1). Die Naturmessdaten können für die Anwendung und Kalibrierung von Geschiebetransportformeln bzw. der numerischen Modelle herangezogen werden, und können auch direkt für die Dimensionierung von flussbaulichen Maßnahmen verwendet werden (Habersack, et al., 2012).

Veränderungen der Flussmorphologie und des Feststoffhaushaltes betreffen die Wildbach- und Lawinenverbauung, die Bundesbauverwaltung, die Wasserstraßenverwaltung und die Energiewirtschaft.

Eine Analyse der Geschiebefracht über längere Betrachtungszeiträume kann mit Hilfe von verschiedenen Messsystemen durchgeführt werden. Diese Ergebnisse können zu einer Optimierung von baulichen Maßnahmen im Wasserbau führen.

Tabelle A 7-1: Anwendung von Geschiebemessdaten (Habersack, et al., 2012)

<p><b>Planung und Dimensionierung im Wasserbau</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hochwasserschutzmaßnahmen Retentionsbecken, Hochwasserschutzdämme, Dokumentation und Analyse von Hochwasserereignissen</li> <li>• Renaturierungsmaßnahmen Flussaufweitungen, Flussauen</li> <li>• Stauraummanagement und Stauraumspülung (Wasserkraft)</li> <li>• Ursachen der Eintiefung und Auflandung</li> <li>• Erfolgsmonitoring</li> </ul>
<p><b>Grundlagen zum Geschiebetransportprozess</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschiebetrieb [kg/ms]</li> <li>• Geschiebetransport [kg/s]</li> <li>• Geschiebefracht [kg]</li> <li>• Räumliche und zeitliche Variabilität des Geschiebetransportes</li> <li>• Kalibrierung von indirekten Geschiebemessgeräten</li> </ul>
<p><b>Berechnung des Geschiebetransports</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auswahl, Anwendung und Kalibrierung von Geschiebeformeln</li> <li>• Anwendung, Kalibrierung und Validierung von numerischen Modellen</li> </ul>



## A 8. Überblick Geschiebemessmethoden

Grundsätzlich wird bei der Geschiebeerfassung zwischen direkten und indirekten Messmethoden unterschieden. Mobile Geschiebefangkörbe und stationäre Geschiebefallen, welche Vertreter der direkten Messmethoden sind, erfassen den Geschiebetransport quantitativ. Bei der indirekten Geschiebemessung kommen optische Methoden, Geophone, Hydrophone sowie Telemetriesysteme zum Einsatz. Generell ist es auch möglich, die komplette Geschiebefracht direkt zu bestimmen. Dazu werden die in den Wildbächen gängigen verbauten Sperrbauwerke wie Konsolidierungssperren<sup>22</sup>, großdolige<sup>23</sup> Sperren oder Schlitzsperren ausgebaggert und analysiert.

Jedes Messgerät hat messtechnische Grenzen und unterschiedliche Eigenschaften, weshalb es generell sinnvoll ist, eine Kombination zwischen direkten und indirekten Messsystemen zu konzipieren. Direkte Geschiebemessungen werden punktuell eingesetzt und geben einen sehr guten Einblick in den Geschiebetransport und die Kornverteilung in einem kurzen Messintervall. Indirekte Messmethoden zeichnen, optimaler Weise über den ganzen Querschnitt, ganzjährig den Geschiebetransport (Habersack, et al., 2012).

In dieser Arbeit kamen als direktes Messverfahren der Geschiebekorb und als indirekte Messverfahren die Sediment- Impact- Sensoren, Radio Frequency Identification (RFID) und Tracersteine zum Einsatz.

### A 8.1 Direkte Messverfahren

#### A 8.1.1 Geschiebefangkorb

Je nach Einsatzgebiet und den vorherrschenden örtlichen Bedingungen kommen unterschiedliche Geschiebekörbe zum Einsatz. Abbildung A 8-1 und Abbildung A 8-2 zeigen unterschiedliche Ausführungsformen. Der wesentliche Vorteil von

---

<sup>22</sup> Konsolidierungssperre: Vollwandsperrren

<sup>23</sup> großdolige Sperren: kronengeschlossene Sperrbauwerke

Geschiebefangkörben, welche generell aus einem Einlaufbereich und Sammelbereich bestehen, ist deren hohe Flexibilität.

In Abhängigkeit der operativen und örtlichen Möglichkeiten, wird die Geschiebemessung entweder mit Kranwagen, Messanhänger oder händisch durchgeführt. Im Gegensatz zu den „fixen verbauten“ (Abbildung A 8-1), kommen bei den „freitreibenden“ (Abbildung A 8-2) Fangkörben Spannseile zur Stabilisierung zum Einsatz, da es ansonsten zu einem Abdriften des Korbes kommen kann (Habersack, et al., 2012).



Abbildung A 8-1: Geschiebekorb NEU Oberwölz und TIWAG-Sammler (eigene Darstellung & Habersack, et al., 2012)



Abbildung A 8-2: Large Helley Smith und Vent-Sammler (eigene Darstellung & Habersack, et al., 2012)

Eine Messung mit Fangkörben ist meist auf niedrige bis mittlere Abflüsse beschränkt, da diese im Hochwasserfall bei Wildbächen kaum zu kontrollieren sind und durch Treibholz oder große Blöcke beschädigt werden können. Bisherige Erfahrungen mit defekten oder verklausten Geschiebekörben im Bereich der Stadt Oberwölz können Teil B entnommen werden.

### A 8.1.2 Geschiebefalle

Generell versteht man unter einer Geschiebefalle einen Sammelbehälter, welcher in der Sohle verbaut ist (Abbildung A 8-3). Moderne Systeme beinhalten bereits Wägezellen<sup>24</sup> und Hydraulikmechanismen, welche im Ereignisfall einen Messschlitz in der Abdeckung öffnen.

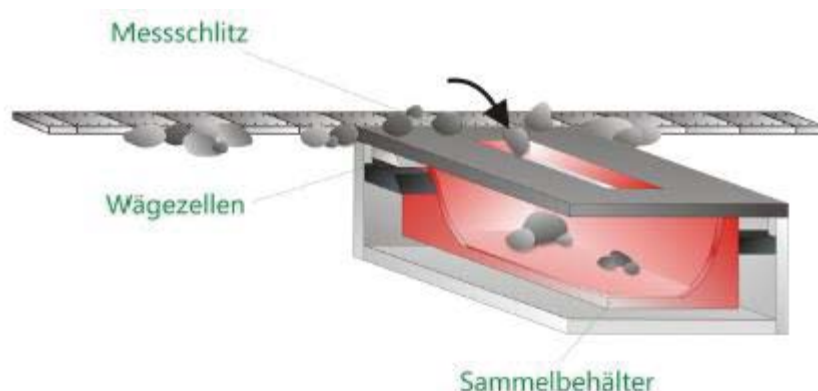


Abbildung A 8-3: Prinzipskizze einer Geschiebefalle (Habersack, et al., 2012)



Abbildung A 8-4: Fixe Fallen und Hubfalle (Habersack, et al., 2012)

Je nach Budget und den örtlichen Gegebenheiten, werden verschiedene Ausführungen von Geschiebefallen verbaut. Die in Abbildung A 8-4 dargestellte Geschiebefalle 1 ist als Hubfalle<sup>25</sup> konstruiert. Diese Konstruktion erlaubt es den

<sup>24</sup> Wägezellen sind Kraftaufnehmer und zeichnen das veränderliche Gewicht der Geschiebefallen in [kg] auf

<sup>25</sup> Hubfalle: Der Korb kann mittels verbauten Hydraulikzylindern bis zu 1m gehoben werden

Sammelbehälter bis zu einem Wasserstand von einem Meter zu entnehmen. Bei den fix verbauten Fallen (Geschiebefalle 2 & 3) können die Körbe meist nur bei einer Niederwasserphase (in den Wintermonaten) entnommen werden.

## **A 8.2 Indirekte Messverfahren**

Eine genauere Beschreibung der Untersuchungen des Geschiebetransports mittels Telemetrie, Radio Frequency Identification (RFID), Tracersteinen, Sediment Impact Sensoren (SIS), Geophonen sowie Hydrophonen einschließlich deren Ergebnisse von unterschiedlichen Untersuchungen können Teil B sowie Teil C dieser Arbeit entnommen werden.

## A 9. Projektgebiet

Das betrachtete Projektgebiet liegt in der Obersteiermark im Bezirk Murau. Oberwölz gehört zu den kleinsten Städten Österreichs mit ungefähr 1.001 Einwohnern (Stand: 31. Oktober 2013). Das Einzugsgebiet umfasst eine Größe von etwa 100 km<sup>2</sup>, wovon dem Schöttlbach 70,83 km<sup>2</sup> und dem Krumeggerbach 16 km<sup>2</sup> zuzuordnen sind. Nach einem Hochwasserereignis am 07. Juli 2011 traten Schäden im Wert von 6,3 Millionen Euro auf. Der Gesamtaufwand für die Erarbeitung und Umsetzung der Sicherungsmaßnahmen, sowie für die Infrastruktur lag bei rund 35 Millionen Euro. Im Zuge des ClimCatch.-Projektes wird die Beziehung zwischen dem Klimawandel und der Sedimentbilanz im Schöttlbach untersucht. Dabei kommen unter anderem Luftbildauswertungen, Laserscanning, geophysikalische Methoden sowie indirekte Messverfahren (SIS) zum Einsatz. Ziel ist es, ein zukünftiges Sedimentmodell des Schöttlbacheinzugsgebietes zu entwickeln, um damit eine vorausschauende Planung von Schutzmaßnahmen zu ermöglichen (Sass, et al., 2015).

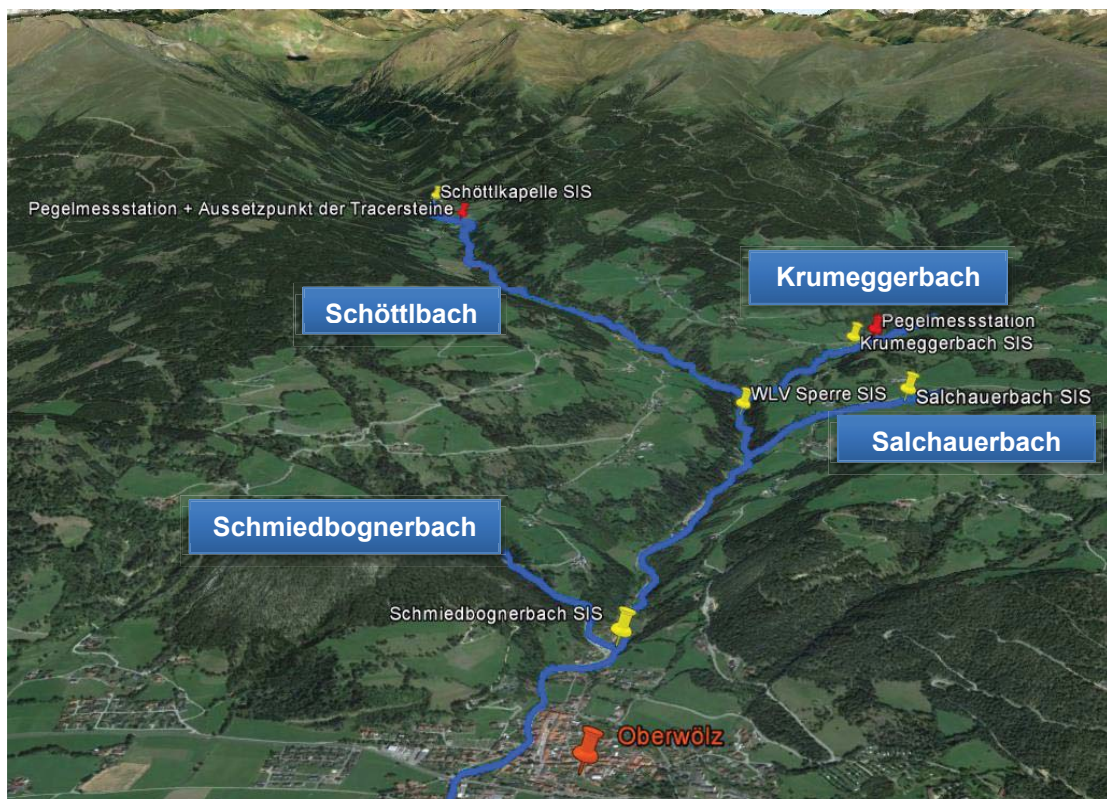


Abbildung A 9-1: Projektgebiet (Google, 2016)

Abbildung A 9-1 zeigt das Projektgebiet in Oberwölz wobei die einzelnen Stellen (Markierungen) näher erläutert werden, an denen Untersuchungen für diese Arbeit durchgeführt wurden. Die Relevanz der jeweiligen Station für die Ergebnisse der Arbeit wird jeweils zu Beginn des Unterkapitels definiert.

Da sich im Laufe des Projektes die Anzahl der verbauten Sensoren (SIS) an den einzelnen Standorten aufgrund technischer Probleme geändert hat, liefert Tabelle A 9-1 einen Überblick des derzeitigen Messaufbaus. Dabei ist anzumerken, dass es einen Ausfall der Messstation WLV- Sperre in den Monaten April bis Oktober 2016 gegeben hat. Weiterführende Informationen zu diesem Vorfall können Teil B (Kapitel B 2.3) entnommen werden.

Tabelle A 9-1: SIS- Stationen

Name der Station	Anzahl der Sensoren
<b>WLV- Sperre</b>	3 von ursprünglich 6 → siehe Teil B
<b>Schöttlkapelle</b>	5
<b>Krumeggerbach</b>	2
<b>Salchauerbach</b>	1
<b>Schmiedbognerbach</b>	1

Auf eine detaillierte Beschreibung aller Messstandorte des Projektgebietes Oberwölz wird bewusst verzichtet, da dies schon mehrere Male in diversen Publikationen wie Sass et al. (2015), Oberlechner (2015), Barbas (2014) und Spreitzer (2014), veröffentlicht wurde. Die örtlichen Gegebenheiten jeder Messstation werden in den folgenden Unterkapiteln kurz zusammengefasst.

### A 9.1 Allgemeines

**Hydrologie:** Eine generelle Übersicht über die hydrologischen Gegebenheiten bzw. den Teileinzugsgebieten liefert Tabelle A 9-2 sowie Tabelle A 9-3. Dabei ist hervorzuheben, dass der Schöttlbach auf seiner Länge von rund 16 km eine mittlere Neigung von ca. 2,4 ° und eine 150 - jährliche Geschiebefracht von rund 50.000 m<sup>3</sup> besitzt.

Tabelle A 9-2: Teileinzugsgebiete des EZG-Schöttlbach (GIS- Steiermark, 2016)

Teileinzugsgebiet	Länge [km]	Fläche [km <sup>2</sup> ]
<b>Schöttlbach</b>	16,1	70,0
<b>Hubnerbach (Stallerbach)</b>	2,3	1,7
<b>Hühnerbach</b>	4,1	4,7
<b>Krumeggerbach</b>	5,7	16,1
<b>Schmiedbognerbach</b>	1,9	1,6
<b>Salchauerbach</b>	4,0	6,4

Tabelle A 9-3: Hydrologie Schöttelbach (BOKU, 2011)

Abfluss	
<b>HQ30</b>	80 m <sup>3</sup> /s
<b>HQ100</b>	125 m <sup>3</sup> /s
<b>HQ150</b>	150 m <sup>3</sup> /s
<b>HQ300</b>	300 m <sup>3</sup> /s

**Geologie:** Das Projektgebiet liegt im Allgemeinen im Wölzer Kristallin der ostalpinen Deckeneinheiten im Mittelostalpinen Altkristallin. Das Wölzer Kristallin besteht zum größten Teil aus Wölzer Glimmerschiefer, welcher der Rappolt Serie zugeordnet ist (Oberlechner, 2015).

**Geomorphologie:** Während der pleistozänen Vergletscherung war das Schöttlbachtal ein Teil des Eisstromnetzes und ist in den meisten Teilen glazial geformt. Das Einzugsgebiet besteht im hinteren Bereich aus einem ausgeprägten Trogtal, ausgehend von Karen und Karseen (Wildsee, Fischssee und Malaisseen). Talabwärts ist der Schöttlgraben kerbtalförmig und tiefer eingeschnitten, weshalb es in diesen Bereichen sehr steile Hangschuttbereiche gibt. In diesen Bereichen gleiten immer wieder Lockersedimente in den Schöttlbach ab und werden von diesem abtransportiert (Oberlechner, 2015).

## A 9.2 Brücke Hintereggertor



An der Messstation Brücke Hintereggertor (Abbildung A 9-2) werden folgende Messungen in direkter Nähe des Stadtzentrums Oberwölz durchgeführt:



Für die Messung des Wasserstands wird ein Radarsensor RLS der Firma OTT verwendet. Dieser ist ideal für eine berührungslose Wasserstandmessung an Oberflächengewässern. Wichtig für Wildbäche, liefert dieses Gerät unabhängig von Hochwasser, Welleneinfluss und Verschmutzung sehr genaue Messungen, da diese rechnerisch ausgeglichen werden. Die Fließgeschwindigkeit wird ebenfalls über einen Radarsensor ermittelt und mittels Dopplereffekt gemessen. Trübung, Leitfähigkeit und Temperatur werden mit einer Multiparametersonde bestimmt. Die Daten (5 Minuten Intervall) werden einerseits lokal gespeichert, andererseits auch täglich mittels GSM an einen FTP Server der TU Graz übertragen. Für Standorte mit hohem Langzeiteinsatz und hohem Sedimenttransport ist diese Sonde ideal. Die Daten ausgelesen und für diese Arbeit relevanten Daten sind im Anhang bzw. auf der CD beigelegt.

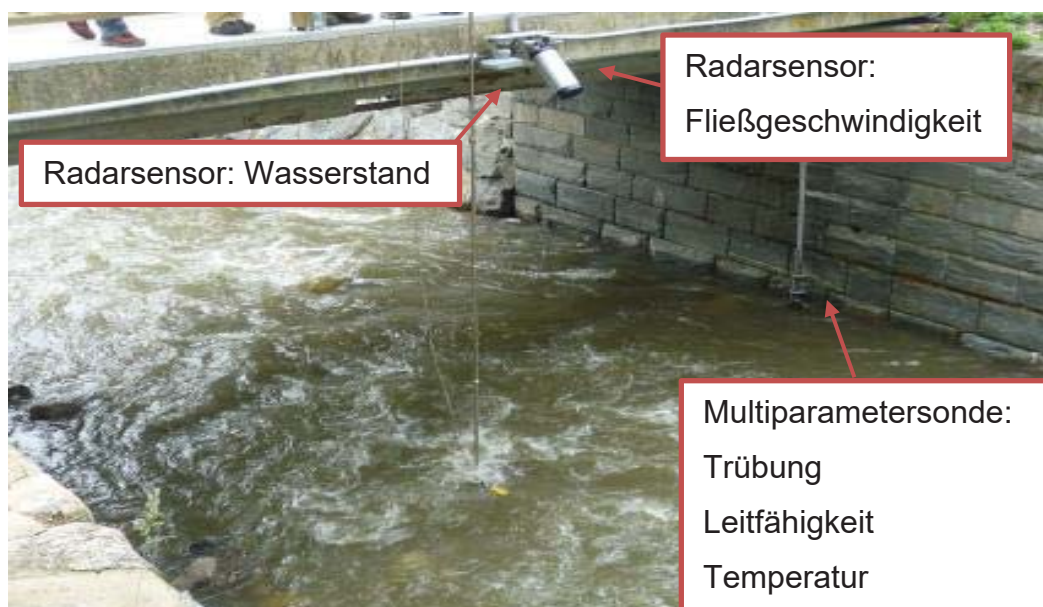


Abbildung A 9-2: Messstation Brücke Hintereggertor



### A 9.3 Schmiedbognerbach



Die Messstation im regulierten Schmiedbognerbach befindet sich direkt in der Einmündung zum Schöttlbach, und wurde erstmals im März 2013 in Betrieb genommen. Der verbaute Sensor wurde mittig im Gerinne platziert (Abbildung A 9-3). Im Projektzeitraum März bis Oktober 2016 wurde die Station aufgrund von größeren Hochwasserereignissen mehrfach zerstört, weshalb keine verwertbaren Messdaten aufgezeichnet werden konnten (Teil B dieser Arbeit liefert nähere Informationen zu den technischen Problemen dieser Messstation).

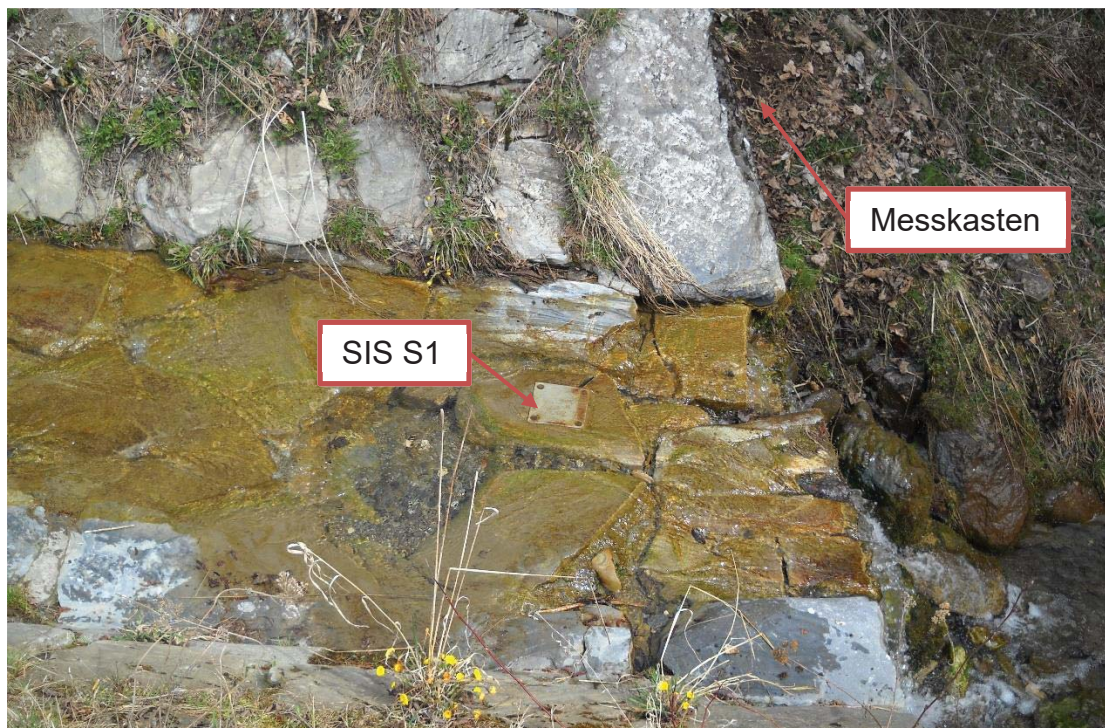


Abbildung A 9-3: Schmiedbognerbach SIS Positionierung

## A 9.4 Salchauerbach



Im östlichen Teileinzugsgebiet des Schöttlbaches befindet sich die Messstation Salchauerbach, welche mit einem SIS im orografisch linken Teil des Gerinnes ausgestattet ist. Der Sensor ist nur wenige Meter unter der Brücke auf einer Sohlschwelle im Gerinne montiert (Abbildung A 9-4). Die Station ist ebenfalls seit März 2013 in Betrieb, wobei der Sensor zuletzt im April 2016 getauscht und kalibriert wurde. Im Betrachtungszeitraum dieser Arbeit liefert der Sensor sehr brauchbare Ergebnisse, da dieser Messdaten von 30. März bis 11. August kontinuierlich aufzeichnen konnte.



Abbildung A 9-4: Salchauerbach SIS Positionierung

## A 9.5 WLW Sperre



Im Bereich der Konsolidierungssperre wurden im Juli 2013 sechs Betonblöcke gemeinsam mit der Wildbach- und Lawinenverbauung eingebaut und mit Sensoren (SIS) der ersten Generation ausgestattet. Im März 2014 wurde die neueste Version der Sensoren verbaut, jedoch gab es immer wieder starke Probleme mit der Messdatenaufzeichnung.

Im Zuge dieser Arbeit wurden quasi keine Messdaten generiert, da die Station aufgrund technischer Probleme nicht in Betrieb genommen wurde. Die Arbeit im Bereich der WLW- Sperre beschränkt sich lediglich auf eine sehr aufwendige Neuinstallation der Sensoren sowie der Messapparatur. Eine detaillierte Beschreibung der aufgetretenen Probleme kann Teil B entnommen werden.



Abbildung A 9-5: WLW Sperre SIS- Positionierung

## A 9.6 Krumeggerbach SIS+ Pegelmessung



Die Sensorplatten im Krumeggerbach befinden sich auf einer künstlichen Sohlschwelle, welche den Einbau der alten Sensoren im Jahre 2012, 2013 und im Mai 2014 erleichterte. Im Juni 2016 wurden im Zuge dieses Projektes die „alten“ Sensorplatten gegen die neuste SIS Version getauscht, da der Bestand zu unsensibel auf Geschiebe reagierte. Die Brücke am Messstandort des Krumeggerbachs hat sich ebenfalls als passende Stelle für eine Pegelmessstation angeboten (Abbildung A 9-6), da diese näherungsweise ein Regelprofil aufweist und somit die Installation der Drucksonde vereinfacht. Um den Wasserstand zu ermitteln misst die Drucksonde mithilfe einer Relativdruck – Messzelle den hydrostatischen Druck der Wassersäule. Die Wasserstände werden kontinuierlich im Fünf-Minuten-Intervall in einem nichtflüchtigen Speicherelement gesichert und können bei Bedarf via Infrarotschnittstelle ausgelesen werden. Dabei ist zu beachten, dass die Aufzeichnung nur mit einer minimalen Betriebsspannung von 3.5 V funktioniert.

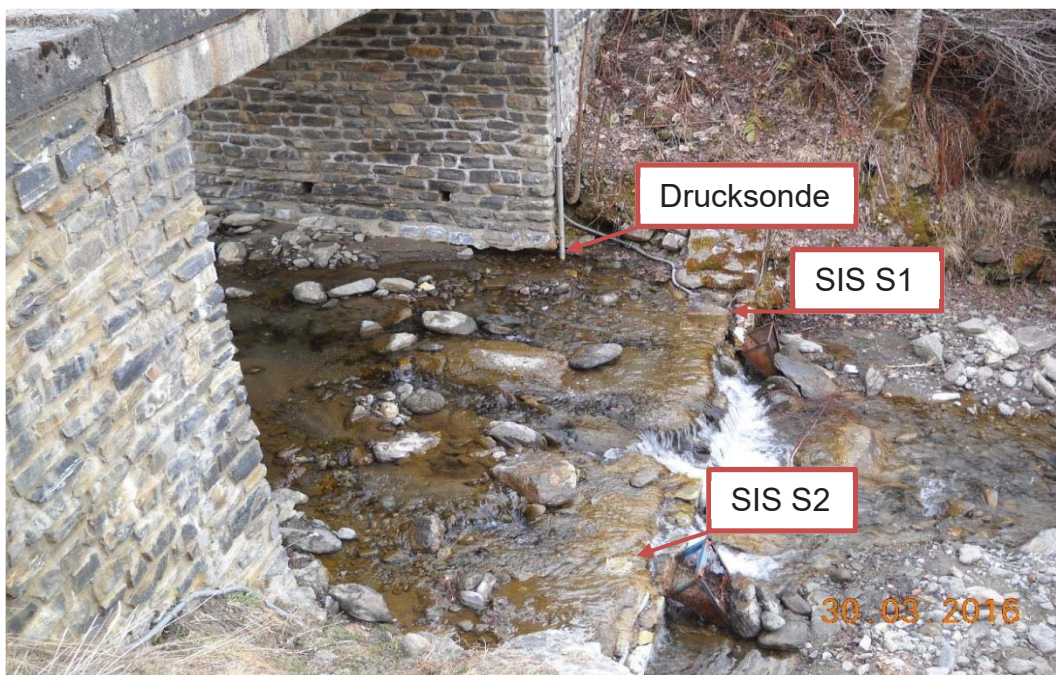


Abbildung A 9-6: Messstation Brücke Krumeggerbach

### A 9.7 Schöttlkapelle SIS + Pegelmessung + Tracerverfahren



Im Bereich der Schöttlkapelle im Schöttlbach befindet sich die wichtigste Messstelle dieser Arbeit, da an dieser Station folgende Messungen von März bis September ohne Unterbrechungen durchgeführt wurden.



Der Wildbach ist am Messquerschnitt ca. 12.3 m breit und mit 5 SIS Sensoren (Einbau April 2016) inkl. 3 neu konstruierten Geschiebekörben ausgestattet (Abbildung A 9-7). Ein Geschiebekorb hat eine Breite von 35 cm. Die Positionierungen bzw. Abstände der SIS sowie der Geschiebekörbe sind für die Abschätzung der Geschiebefracht von großer Bedeutung (Teil C).

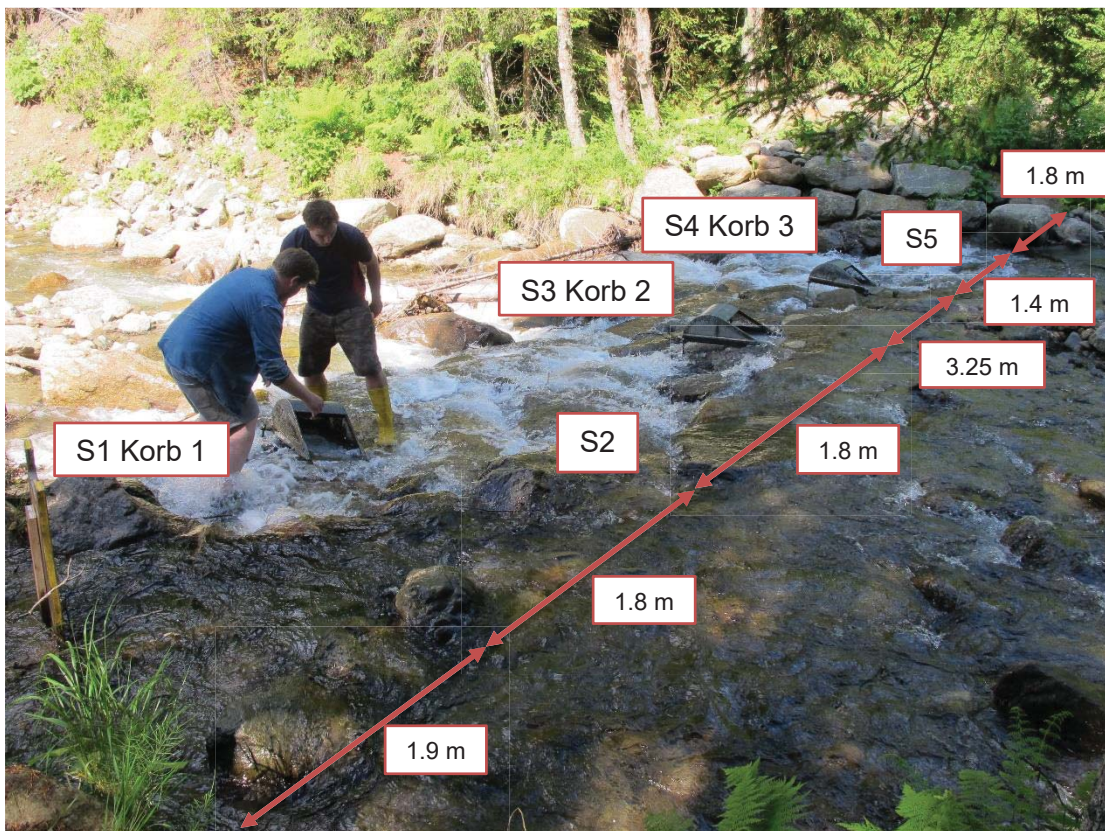


Abbildung A 9-7: Positionen Schöttlkapelle SIS+ Geschiebekörbe

Die Messung des Wasserstandes mithilfe einer Drucksonde im Bereich der Schöttlkapelle funktioniert analog zur Pegelmessung am Krumeggerbach (Kapitel A 9.6). Die Brücke dient ebenfalls als Aussetzpunkt aller Tracer sowie Telemetriesteinen, deren Herstellung in Teil B genauer beschrieben wird. Eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse ist Teil C zu entnehmen.



Abbildung A 9-8: Pegelmessung Brücke Schöttlbach

## Abbildungsverzeichnis Teil A

Abbildung A 2-1: Wildbach des Hochgebirges & des Berg- und Hügellandes ...	1
Abbildung A 2-2: Flussverlauf .....	5
Abbildung A 2-3: Murende, geschiebe- und hochwasserführende Wildbäche ...	9
Abbildung A 2-4: Wildbäche in Talverfüllungen.....	10
Abbildung A 2-5: Wildbäche in Restschuttkörpern .....	10
Abbildung A 2-6: Wildbäche in rezenten Moränen .....	11
Abbildung A 2-7: Wiederkehrintervall von Wildbächen.....	13
Abbildung A 2-8: Klassifikation nach Rosgen.....	14
Abbildung A 2-9: Einfache Vollwandsperre (links) Mehrfache Vollwandsperre (rechts).....	15
Abbildung A 2-10: Großdolensperre (links) Kleindolensperre (rechts) .....	16
Abbildung A 3-1: Katastrophe in Zell am See / Schmittenbach im Jahre 1737	17
Abbildung A 3-2: Der Risikokreislauf in Österreich.....	21
Abbildung A 3-3: Prüfungs- und Genehmigungsverfahren .....	23
Abbildung A 3-4: Abgrenzung roter zu gelber Zone .....	24
Abbildung A 3-5: Gefahrenzonenplan Oberwölz .....	25
Abbildung A 4-1: Kräfte am Flüssigkeitselement.....	27
Abbildung A 4-2: Hydraulischer Radius.....	27
Abbildung A 5-1: Schema des Feststofftransports .....	33
Abbildung A 5-2: Darstellung des Schwebstofftransports (keinen Kontakt zur Sohle) .....	34
Abbildung A 5-3: Rollender, gleitender Geschiebetransport .....	35
Abbildung A 5-4: Springender Geschiebetransport.....	35
Abbildung A 5-5: Kräfte am Sedimentkorn an der Gerinnesohle.....	36
Abbildung A 5-6: Mittlere kritische Geschwindigkeiten nach Hjulström .....	39

Abbildung A 5-7: Shields-Diagramm (1936) nach Zanke für unterschiedliches Bewegungsrisiko R .....	41
Abbildung A 6-1: W- Korngrößenverteilung .....	43
Abbildung A 6-2: E- Korngrößenverteilung .....	44
Abbildung A 6-3: G- Korngrößenverteilung .....	44
Abbildung A 6-4: I- Korngrößenverteilung .....	45
Abbildung A 8-1: Geschiebekorb NEU Oberwölz und TIWAG-Sammler .....	49
Abbildung A 8-2: Large Helley Smith und Vent-Sammler .....	49
Abbildung A 8-3: Prinzipskizze einer Geschiebefalle .....	50
Abbildung A 8-4: Fixe Fallen und Hubfalle .....	50
Abbildung A 9-1: Projektgebiet .....	52
Abbildung A 9-2: Messstation Brücke Hintereggertor .....	55
Abbildung A 9-3: Schmiedbognerbach SIS Positionierung .....	56
Abbildung A 9-4: Salchauerbach SIS Positionierung .....	57
Abbildung A 9-5: WLV Sperre SIS- Positionierung .....	58
Abbildung A 9-6: Messstation Brücke Krumeggerbach .....	59
Abbildung A 9-7: Positionen Schöttlkapelle SIS+ Geschiebekörbe .....	60
Abbildung A 9-8: Pegelmessung Brücke Schöttlbach .....	61



## Tabellenverzeichnis Teil A

Tabelle A 3-1: Chronik der Massenbewegungen in Wildbächen - Österreich ..	19
Tabelle A 3-2: Fakten und Zahlen der WLW Österreich.....	20
Tabelle A 4-1: Sammlung von $k_{st}$ -Werten aus BOLLRICH & PREISLER (1996) .....	29
Tabelle A 4-2: Absolute Rauheit $k_s$ von offenen Gerinnen bei Benutzung der Fließformel nach DARCY - WEISBACH .....	31
Tabelle A 7-1: Anwendung von Geschiebemesdaten.....	47

## Literaturverzeichnis Teil A

- Amt der Vorarlberger Landesregierung. (2012). *Der Gefahrenzonenplan des Wasserbauverwaltungs des Landes*. Thurnher GmbH.
- Aulitzky, H. (1986). Über den Einfluß naturräumlicher Gegebenheiten auf Erosion und Wildbachtätigkeit in Österreich. Wien.
- Barbas, T. (2014). *Untersuchung des Geschiebetransports in Wildbächen mittels Tracerverfahren*. Masterarbeit an der TU Graz.
- Bathurst, J. (1997). Environmental river flow hydraulics. *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*, page: 69-93.
- Bayrisches Landesamt für Umwelt. (2016). Abgerufen am 18. 06 2016 von <http://www.lfu.bayern.de>
- Bechteler, W. (2006). *Sedimentquellen und Transportprozesse*. Neubiberg. Abgerufen am 29. 08 2016 von [http://www.alpine-space.org/2000-2006/uploads/media/ALPRESERV\\_sedimentaion\\_sources\\_and\\_transport\\_processes\\_DE.pdf](http://www.alpine-space.org/2000-2006/uploads/media/ALPRESERV_sedimentaion_sources_and_transport_processes_DE.pdf)
- Bergmeister, K., Suda, J., Hübl, J., & Rudolf-Miklauer, F. (2009). *Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren - Grundlagen, Entwurf und Bemessung, Beispiele*. Ernst & Sohn.
- BMLFUW. (2016). *Hochwasserrisikozonierung Austria - HORA*. Wien: Sektion 4.
- BMLFUW, B. (20. 10 2016). *Leben mit Naturgefahren*. Von -: <http://www.naturgefahren.at/> abgerufen
- Bundeskanzleramt Rechtsinformationssystem. (2016). Abgerufen am 15. 07 2016 von <http://www.ris.bka.gv.at>

- Bunza, G., Karl, J., & Mangelsdorf, J. (1982). *Geologisch-morphologische Grundlagen der Wildbachkunde*. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft Heft 17.
- Burz, J. (1964). Beitrag zur Klassifikation der Feststoffe. *Gewässerkundliche Mitteilung*, 8(Heft 2).
- Duile, J. (1826). *Über Verbauung der Wildbäche in Gebirgsländern, vorzüglich in den Provinzen Tirol und Vorarlberg*. Innsbruck: Rauch.
- Engelund, F. (1965). A criterion for the occurrence of suspended load. *La Houille Blanche*(No.6).
- Europäische Union. (2000). *Richtlinie 2000/60/Eg des europäischen Parlamentes und des Rates*.
- Google. (2016). *Google Earth*. Abgerufen am 17. 10 2016 von Google Earth: <http://www.google.at>
- Gunt Hamburg. (2014). <http://www.gunt.de>. Abgerufen am 30. 08 2016 von [http://www.gunt.de/download/sediment%20transport\\_german.pdf](http://www.gunt.de/download/sediment%20transport_german.pdf)
- Habersack, H., Aigner, J., Kreisler, A., Rindler, R., Seitz, H., & Tritthart, M. (2012). *Geschiebemessung an Drau und Isel*. Wien: Ministerium für ein Lebenswertes Österreich.
- HORA. (2016). Abgerufen am 25. 07 2016 von Natural Hazard Overview & Risk Assessment Austria: [www.hora.gv.at](http://www.hora.gv.at)
- Hübl, J. (2006). *Einwirkungen von gravitativen Naturgefahren - Muren: Ereigniswahrscheinlichkeiten, Größe und Dauer der Einwirkungen auf Schutzbauwerke, Genauigkeit der Angaben und Streuungen*. TU Wien.

- Hübl, J., Bunza, G., Hafner, K., & Klaus, W. (2003). *ETAIp - Erosion, Transport in alpinen Systemen*. Projektteam ETAIp.
- Hübl, J., Holzinger, G., & Wehrmann, H. (2003). *WLS Report 50 / Band 2*. Wien: Universität für Bodenkultur Wien.
- Jirka, G., & Lang, C. (2009). *Einführung in die Gerinnehydraulik*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Karl, J., & Mangelsdorf, J. (1976). Die Waldbachtypen der Ostalpen. *Heft 11, S85-102*.
- Knoblauch, H., & Schneider, J. (2009). *Fluss- und Sedimenthydraulik*. Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- Kresser, W. (1964). Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. *Österreichische Wasserwirtschaft, 16(H. 1/2)*.
- Amt der Vorarlberger Landesregierung, (2012). *Der Gefahrenzonenplan der Wasserbauverwaltung des Landes*. Bregenz: Abteilung Wasserwirtschaft.
- Leben mit Naturgefahren*. (2016). Abgerufen am 26. 07 2016 von <http://www.naturgefahren.at>
- Lebensministerium. (2012). *Wildbach und Lawinenverbauung in Österreich*. Wien: Gugler GmbH.
- Leibniz, O. (2014). *Labormappe*. Institut für Bodenmechanik und Grundbau.
- Lexikon der Geographie. (23. 10 2016). *Spektrum.De*. Von Lexikon der Geographie: [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) abgerufen

- LFU, L.-W. (2003). *Hydraulik naturnaher Fließgewässer; Teil 3 - Rauheits- und Widerstandsbeiwerte für Fließgewässer in Baden Württemberg*. Baden-Württemberg: Kraft Druck und Verlag GmbH.
- Lotze, F. (1953). *Probleme der Gebirgsbildung*. Düsseldorf: Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein- Westfalen.
- Luzian, R., Kohl, B., Bichler , I., Kohl, J., & Bauer, W. (2002). *Wildbäche und Muren*. Innsbruck: Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Lawinen- und Wildbachkunde.
- Ministerium für ein Lebenswertes Österreich*. (2016). Abgerufen am 15. 07 2016 von <http://www.bmlfuw.gv.at>
- Oberlechner, M. (2015). *Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Abfluss und Sedimenttransport im Einzugsgebiet des Schöttlbaches in Oberwölz mittels Analyse von Klima-, Pegel- und Sediment-Impact-Sensor-Daten*. Masterarbeit an der KF Uni Graz.
- Österreich, R. (1959). *Wasserrechtsgesetz*. Republik Österreich.
- Österreich, R. (1975). *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich*. 1030 Wien.
- Patt, H., & Gonsowski, P. (210). *Wasserbau - Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen*. Bonn und Basel: Springer.
- Raudkivi, A. J. (1982). *Grundlagen des Sedimenttransports*. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag.
- Rosgen, D. (1994). A classification of natural rivers. *Catena 22, Page: 169-199*. Abgerufen am 28. 06 2016 von <http://www.baunat.boku.ac.at>
- SalzburgWIKI*. (2016). Abgerufen am 16. 07 2016 von <http://www.salzburg.com/>

- Sass, O., Harb, G., Truhetz, H., Stangl, J., & Schneider, J. (2015). *Abschlussbericht Projekt ClimCatch*. Graz.
- Spreitzer, G. (2014). *Untersuchung des Sedimenttransports sowie des Abflussverhaltens von Wildbächen in einem alpinen Einzugsgebiet mittels Feldmessungen*. Masterarbeit an der TU Graz.
- Stiny, J. (1910). *Die Muren - Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse der Tiroler Alpen*. Innsbruck.
- Stiny, J. (1931). *Geologische Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern*. Wien: Springer Verlag.
- Strele, G. (1950). *Grundriß der Wildbach- und Lawinenverbauung*. Wien: Springer-Verlag.
- UMassAmherst. (2016). Abgerufen am 25. 07 2016 von river smart communities: <http://www.extension.umass.edu>
- WSL.ch Abgerufen am 26. 06 2016 von [www.wsl.ch](http://www.wsl.ch)
- Wissen.de Abgerufen am 26. 06 2016 von <http://www.wissen.de>
- Zanke, U. (1982). *Grundlagen der Sedimentbewegung*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Zanke, U. (2002). *Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer*. Berlin.

**Teil B**

**SIS Sediment Impact Sensors**

Bernhard Langer, BSc

## B 1. Aktueller Forschungsstand

### B 1.1 Geschiebemessmethoden in Wildbächen

Die Messung einschließlich der Berechnung von gemessenen Werten von Geschieberaten, Ereignisvolumina sowie der Bestimmung von Transportereignissen ist eine fundamentale Herausforderung in der Geschiebetransportforschung in Wildbächen bzw. Gebirgsflüssen. Die Messung des Sedimenttransports in natürlichen Gerinnen lässt sich mit vielen verschiedenen Methoden realisieren, sie kann aber generell in folgende 4 Klassen eingeteilt werden. (Turowski, et al., 2008). Die direkten Messverfahren (Geschiebefangkorb, Geschiebefalle) werden in Teil A (Kapitel A 8.1) näher beschrieben.

- Geschiebeerfassung in Ablagerungsbecken: Diese Methode ist sehr gut in kleineren Wildbacheinzugsgebieten realisierbar, da dort Geschiebesammler „einfach“ verbaut werden können. Des Weiteren können auch Verlandungsmessungen in künstlichen bzw. natürlichen Seen durchgeführt werden.
- Bewegungsanalyse von Tracersteinen (siehe Teil D) entlang eines Gerinnes: Diese Messmethode liefert keine kontinuierlichen Ergebnisse → Punktmessung
- Auffangen von sich bewegenden Partikeln im Bachbett: Diese direkte Messmethode liefert meist nur punktuelle Ergebnisse, es ist jedoch auch möglich, kontinuierliche Messungen durchzuführen (Wirbelrohrfänger oder Fangkörbe).
- Indirekte Messmethoden zur Erfassung von Transportintensitäten: Bei diesem Messverfahren werden die Signale der auf dem Gerinneboden einschlagenden Sedimente aufgezeichnet.

Die folgenden Unterkapitel zeigen die Funktionsweisen von zur Zeit aktuell eingesetzten Messsystemen, wobei auch auf Erfahrungen bzw. Ergebnisse mit unserem Projektgebiet vergleichbaren Messstandorten anhand indirekter Messungen eingegangen wird.



## **B 1.2 Geophone**

### *B 1.2.1 Grundlegendes zu Geophonen*

Generell versteht man unter einem Geophon einen transportablen Seismographen, der Bodenbewegungen in elektrische Spannungen umwandelt. Der Seismograph ist das wichtigste Instrument zur Untersuchung von Erdbeben und der Erforschung von Gesteinsschichten (Wissen, 2016).

Die Funktionsweise des Geophons beruht auf dem physikalischen Prinzip der erzwungenen Schwingung. Abbildung B 1-1 zeigt eine schematische Darstellung eines Geophons. Es enthält im Wesentlichen 2 Bauteile, einen Magneten und eine Drahtspule. Davon ist ein Bauteil starr mit dem Gehäuse verbunden, welches sich mit dem Erdboden mitbewegt, und ein zweites Element ist träge und mit einer Feder am Gehäuse aufgehängt. Unter der Annahme, dass das Geophon starr mit dem Boden gekoppelt ist, wird durch die Verschiebung des Bodens  $w$  der Magnet der beweglichen Masse  $m$  an der Feder um den Weg  $x_m$  verschoben. Durch diese Verschiebung wird in der Spule ein Strom induziert, welche proportional zur Bodenbewegung ist (Gajewski, 2013).

Wenn ein Geschiebekorn die Stahlplatte berührt, werden also Schwingungen ausgelöst, welche vom verbauten Sensor registriert werden. Diese Signale werden in eine Spannungsschwankung umgewandelt. Erreicht die Schwankung der Spannung einen vordefinierten Grenzwert, wird ein Impuls registriert und in weiterer Folge mit einem Datenlogger aufgezeichnet. Dabei ist zu beachten, dass für eine quantitative Auswertung der Messreihen das System mit unabhängigen Geschiebemessungen geeicht werden muss. Dazu können beispielsweise Geschiebesammler verwendet werden (Turowski, et al., 2008).

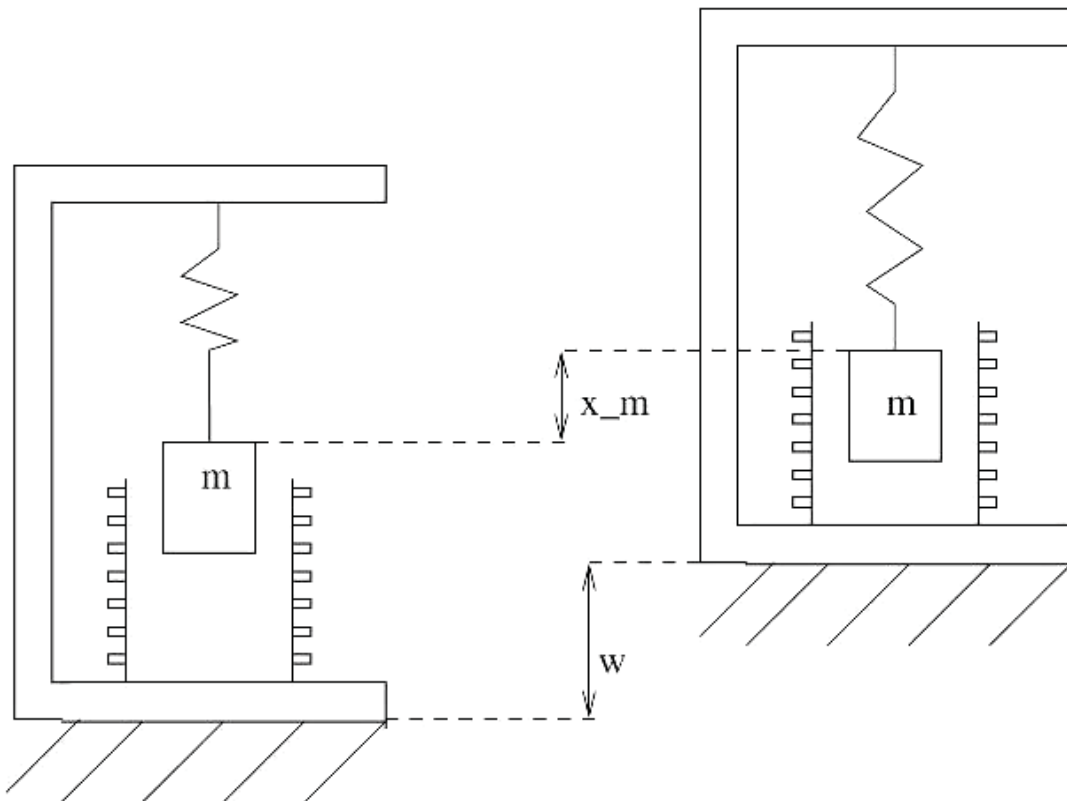


Abbildung B 1-1: Schematischer Aufbau eines Geophons (Gajewski, 2013)

### Wichtige Parameter

Für den praktischen Einsatz sind die nachfolgenden Parameter inklusive der Toleranzangaben von Interesse (Knödel, et al., 2013).

- Eigenfrequenz: Dieser Wert gibt an, bis zu welcher minimalen Frequenz ein Geophon eingesetzt werden kann.
- Bedämpfung: Durch Wirbelstromdämpfungen bzw. Widerstandsbeschaltungen wird ein Dämpfungsfaktor  $h$  von 0,6 – 0,7 erreicht. Daher ist ein Anschluss an einen hochohmigen Verstärkereingang möglich.
- Innenwiderstand: Dieser Wert ergibt sich aus den einzelnen Widerständen der Spule und dem zur Dämpfung parallel verbauten Widerstand. Dieser Wert beträgt in der Regel 100 - 200  $\Omega$ . Soll die Empfindlichkeit erhöht werden, erreicht der Innenwiderstand Werte von mehreren  $k\Omega$ .

- Parasitäre Resonanzen: Bei einer Resonanzfrequenz von 30 Hz werden parasitäre Resonanzen von über 500Hz erreicht (bei modernen Geophonen)
- Empfindlichkeit: Heutzutage werden Werte zwischen  $E = 15\text{V (m/s)}^{-1}$  und  $E = 30\text{V (m/s)}^{-1}$  am Markt angeboten.
- Klirrfaktor: Der Klirrfaktor ist eine dimensionslose Verhältniszahl und ist ein Maß für unerwünschte Verzerrungen eines Signals. Die Werte eines „guten“ Geophons sollten zwischen  $k = 0,5 \cdot 10^{-3}$  bis  $1 \cdot 10^{-3}$  liegen.
- Geophon- Neigung: Wenn das Geophon geneigt wird, wandert die Spule aus der Mittellage heraus. Damit befinden sich beide Spulenhälften in verschiedenen Teilen des Magneten. Dadurch entstehen durch unterschiedlich induzierte Spannungen, Oberwellen.
- Eigenrauschen: Generell muss darauf geachtet werden, dass das Eigenrauschen kleiner als das Eingangsruschen des Verstärkers ist ( $< 0,03 \mu\text{V}$  oberhalb 10 Hz).
- Dynamik: Der Wert sollte bei modernem Equipment mindestens 132 dB erreichen, was einer maximalen Ausgangsspannung von 0, 12 V bei  $0,03 \mu\text{V}$  entspricht.
- Polung: Diese ist besonders bei der Verwendung mehrere Geophone zu beachten, damit es keine Abweichungen der Polung zu vorhandenen Geophonen gibt. Die Überprüfung der Polung muss vor dem Einsatz einer Geophon-Kette getestet werden.

### *B 1.2.2 Einsatz im Wildbach Erlenbach- Schweiz*

Der Erlenbach ist im Alptal in den Voralpen im Zentrum der Schweiz gelegen. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 0,7 km<sup>2</sup> und weist eine mittlere Steigung von 18% und eine Steigung von 11% im Messquerschnitt auf. Geologisch gesehen befindet sich der Erlenbach in einer Flyschzone. Kriechende sowie gleitende Böschungen entlang des Wildbaches führen zu einer permanenten Zugabe von Geschiebe im Erlenbach (Schuerch, et al., 2006). Die Hydrologie im Einzugsgebiet ist gekennzeichnet durch sehr intensive Stürme im Sommer und starken Schneeschmelzereignissen im Frühling. Dadurch ergibt sich ein jährlicher mittlerer Niederschlag von ca. 2300 mm, wovon 30-40 % von Schneefall in den Monaten November bis April stammen (Rickenmann, et al., 2012).

Laut Turowski, et al. (2008) kam es durch Spitzenabflüsse im Wildbach zu folgenden erheblichen Sedimentablagerungen im Rückhaltebecken:

- 1984: 12 m<sup>3</sup>/s → 2130 m<sup>3</sup>
- 1995: 10 m<sup>3</sup>/s → Felsen mit 1 m Durchmesser wurden mobilisiert
- 2007: 15 m<sup>3</sup>/s → 1650m<sup>3</sup>

Der Sedimenttransport wird seit mehr als 29 Jahren im Erlenbach in der Schweiz untersucht. In einem Rückhaltebecken mit einem Fassungsvermögen von 2000 m<sup>3</sup>, welches sich unmittelbar vor dem Zusammenfluss in den Hauptfluss befindet, werden die Sedimente gesammelt. Dieses Rückhaltebecken wird in regelmäßigen Intervallen sowie nach Hochwasserereignissen im Einzugsgebiet vermessen. Zu Forschungszwecken werden seit 1986 piezoelektrische Impact- Sensoren sowie Geophone (Abbildung B 1-3 & Abbildung B 1-4) verwendet, um den Geschiebetransport kontinuierlich aufzuzeichnen und zu untersuchen. In den Jahren 2008 -2009 wurde das Messsystem im Erlenbach um automatische Geschiebefangkörbe, wie in Abbildung B 1-2 ersichtlich, erweitert. Untersuchungen im Labor haben gezeigt, dass Geophone nur Steine bis 10 mm Korngröße aufzeichnen können, weshalb bei den automatischen Fangkörben diese Maschenweite verbaut wurde.

Durch die auf Schienen geführten Fangkörbe ist es möglich Geschiebetransportproben leicht zu entnehmen und die Korngrößenverteilung im Labor zu bestimmen. Dadurch sollen letztendlich Zusammenhänge zwischen dem Durchfluss und dem Geschiebetransport gesammelt werden. (Rickenmann, et al., 2012)



Abbildung B 1-2: Automatisierte Fangkörbe im Erlenbach (Rickenmann, et al., 2012)

Die 1986 verbauten piezoelektrischen Impact Sensoren wurden in einem Array von neun einzelnen Sensoren zusammengeschaltet. Dadurch konnte über den kompletten Querschnitt der Sedimenttransport in Relation zum Durchfluss gemessen werden. Der piezoelektrische Kristall erzeugt dabei eine „kleine“ Spannung, wenn die Stahlplatte durch einen Steinschlag leicht verformt wird. Abbildung B 1-4 zeigt eine 3D- Visualisierung des kompletten Messsystems. Dabei ist zu beachten, dass die neun piezoelektrischen Sensoren 1999 durch sechs genormte Geophone ersetzt wurden. Diese sind in einem zylindrischen Aluminiumgehäuse verbaut und auf einer Stahlplatte (0,36 m / 0,5 m / 0,015 m) befestigt (Rickenmann, et al., 2012). Um die Sensoren akustisch von anderen Bauteilen zu isolieren, wurden Elastomer- Auflager verbaut (Abbildung B 1-3).

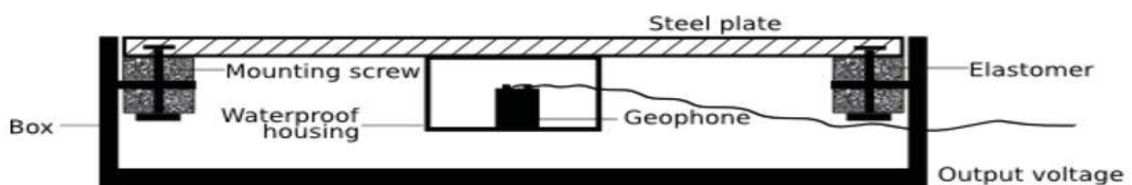


Abbildung B 1-3: Schematische Darstellung einer Geophonplatte (WSL, 2016)

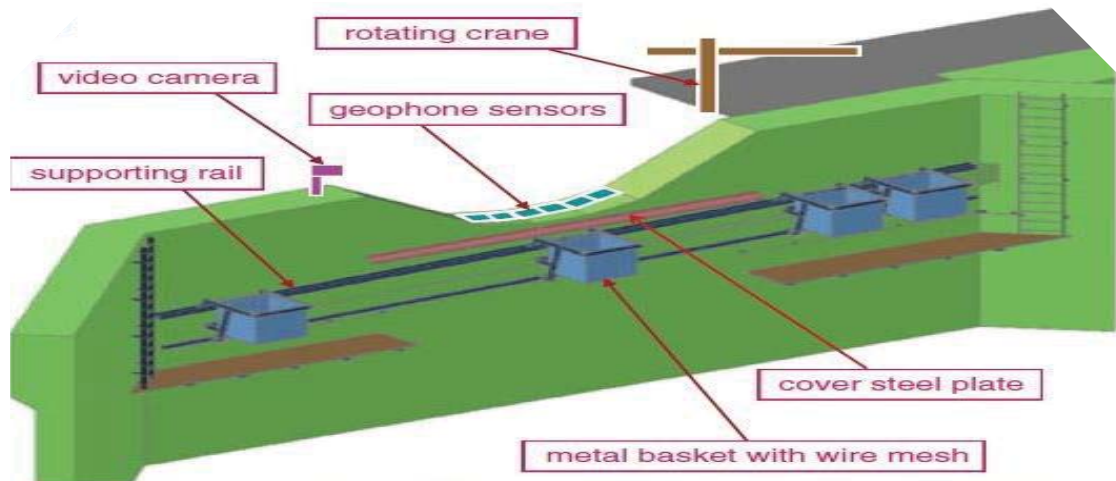


Abbildung B 1-4: Visualisierung Erlenbach Messsystem (Rickenmann, et al., 2012)

### Kalibriermessungen

Kalibriermessungen bei indirekten Geschiebemessmethoden sind bei höheren Abflüssen meist nur sehr schwierig durchführbar. Aus diesem Grund versucht man in der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich die Reaktion der Geophonsensoren, auf den Geschiebetransport, zu untersuchen. Dabei versucht man die unterschiedlichen hydraulischen Verhältnisse, Sohlrauigkeiten und verschiedenen Kornformen besser zu verstehen. Diese Laborversuche sollen zeigen, inwieweit sich Feldversuche von künstlichen Versuchen unterscheiden, und ob Laborkalibrierungsmessungen überhaupt geeignet sind (Abbildung B 1-5).

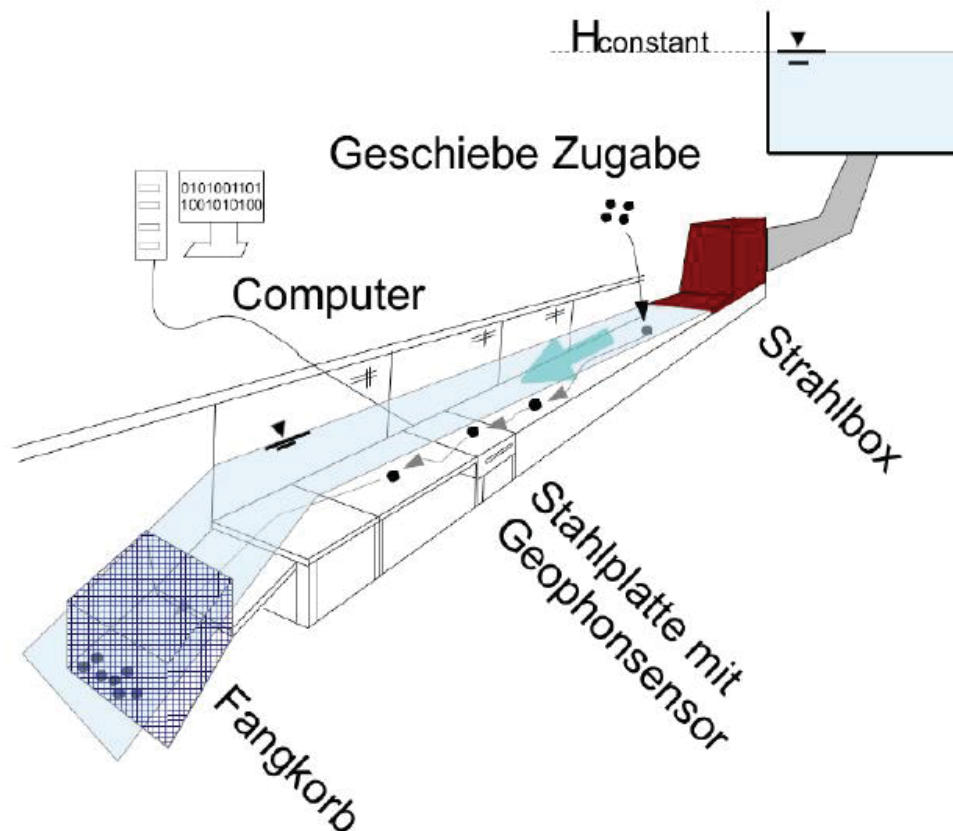


Abbildung B 1-5: Versuchsaufbau Kalibriermessungen (Rickenmann, et al., 2014)

### Zusammenfassung

Die Vorteile dieses Messsystems liegen in, (i) einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Intensität, (ii) der Verwendung eines Schwellenwertes, (iii) einer robusten Technik, (iv) relativen geringen Kosten der Herstellung sowie (v) der Bestimmung von Kalibrierungsfunktionen mittels Geschiebefangkörben. Die Nachteile des Geophonsystems können folgend zusammengefasst werden: (i) eine Kalibrierung ist zwingend erforderlich, (ii) die minimale Partikelgröße welche detektiert werden kann ist größer als beim Hydrophonmesssystem (siehe Kapitel B 1.3.1) sowie (iii) der Einfluss der hydraulischen Eigenschaften sowie die Partikeleigenschaften für die Kalibrierungsmessungen sind noch nicht bekannt.

## **B 1.3 Hydrophone**

Generell wird bei akustischen Messungen zwischen der indirekten und passiven Messung unterschieden.

Bei der indirekten Messung werden die Impulse, welche durch bewegte Geschiebekörner auf einer Stahlplatte verursacht werden, durch hochempfindliche Mikrofone aufgezeichnet und anschließend in Geschiebefrachten umgerechnet.

Bei passiven Messmethoden werden die Geräusche, welche durch Gesteine erzeugt werden, hochauflösend aufgezeichnet und in der Messstation gespeichert. Diese Geräusche werden durch die Eigengeräusche sowie dem Aufprall der Steine an der Sohle erzeugt. Dieses System wird erfolgreich bei der Berechnung von Geschiebefrachten in Flüssen, jedoch nicht sehr erfolgreich in Wildbächen, eingesetzt.

Bei beiden Systemen sind zwingend Kalibriermessungen mit Geschiebesammlern oder ähnlichen Methoden (Geschiebefallen) notwendig, da sonst keine plausiblen Aussagen über den Geschiebetransport getroffen werden können.

### *B 1.3.1 Indirekte Messung - Ashiarai- dani Wildbach in Japan*

Der „Ashiarai- dani“ Wildbach ist ein Nebenfluss des „Gamata- Flusses“ in Japan, und hat seine Quelle am aktiven Vulkan Mount Yakedake auf einer Höhe von 2.455 m. Das Einzugsgebiet hat eine Fläche von ca. 6,5 km<sup>2</sup>. Bereits im Jahre 1965 wurde das Hodaka Sedimentation Observatory, Disaster Prevention Research Institute (DPRI), nur 4km vom entfernten Krater des aktiven Vulkanes Yakedake, gegründet (Mizuyama, et al., 2008). Im gesamten Einzugsgebiet wird an verschiedenen Nebenflüssen der Sedimenttransport mittels Hydrophonen gemessen. Ein Bereich im Unterlauf des Ashiarai- dani Wildbaches wird „Fuka-dani“ genannt, in welchem sich eine Hydrophonmessanlage mit einer Geschiebefalle befindet, dessen Aufbau in Abbildung B 1-6 ersichtlich ist.



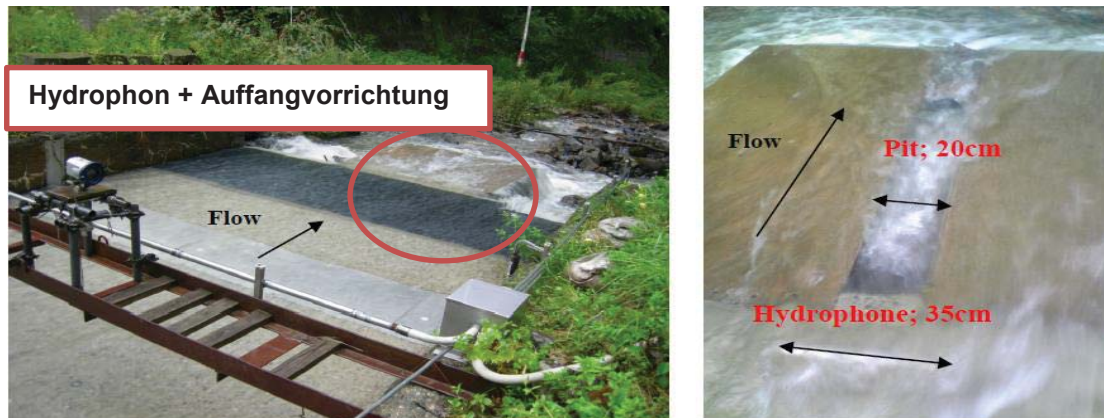


Abbildung B 1-6: Hydrophon mit Geschiebefalle am Ashiarai-dani Wildbach (Mizuyama, et al., 2011)

Bei dieser akustischen Messmethode wird ein Stahlrohr mit einer Breite von 35 cm auf einem Betonsockel in Kombination mit einer Hydrophonmesseinrichtung installiert. Dabei zeichnet das Mikrofon alle Kollisionen zwischen dem Geschiebe und der Stahlplatte auf einem Datenlogger auf, welche einen definierten Treshhold (Grenzwert) überschreiten.

Eine kabellose Verbindung zwischen dem Datenlogger und der sich im Labor befindlichen Computer (via Handy) ermöglichen es, die Messdaten in Echtzeit verarbeiten zu können. Zusätzlich wurde die Messeinrichtung mit einer Drucksonde ausgestattet, um den Wasserstand im Bereich des Hydrophons kontinuierlich messen zu können. Zur Kalibrierung der Rohdaten kam als erstes ein Geschiebesammler mit den Maßen (B/H/T:110/210/68 cm) mit einer Schlitzöffnung von 50 cm zum Einsatz. Da sich der Geschiebesammler durch die relativ große Öffnung zu schnell mit großen Steinen füllte, wurde er im Jahre 2005 durch einen Schlitz mit einer Breite von 20 cm ersetzt. Anschließend werden die gesammelten Sedimente kontinuierlich auf deren Kornzusammensetzung im Labor, durch Siebung, untersucht. Im Vorfeld der Messung muss jedoch der Schwellenwert (Treshhold) sorgsam eingestellt werden, da dieser die Anzahl der Ausgangsdaten maßgebend beeinflusst (Abbildung B 1-7 ). Umso niedriger dieser Schwellenwert eingestellt ist, umso mehr Messdaten werden vom Datenlogger aufgezeichnet.

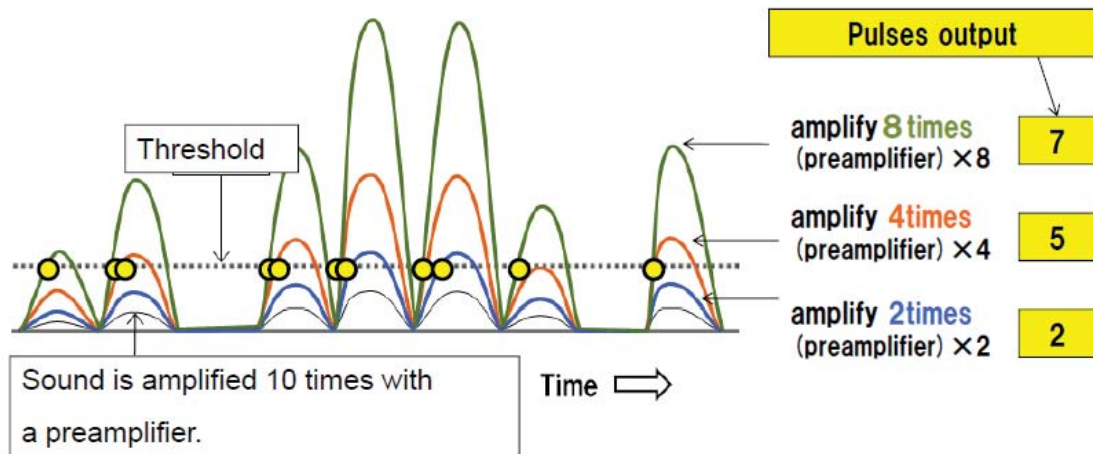


Abbildung B 1-7: Messdatenverstärkung Hydrophon (Mizuyama, 2008)

### Messergebnisse

Dieses Messsystem führt bei höheren Durchflüssen und der damit verbundenen höheren Sedimenttransportrate zu einem Aufzeichnungsproblem, da der Datenlogger diese hohe Anzahl an Impulsen nicht korrekt aufzeichnen kann. Um dieses Problem lösen zu können, wird zusätzlich die akustische Energie, also der quasi vorhandene Geräuschpegel, in Millivolt [mV] gemessen (Abbildung B 1-8).

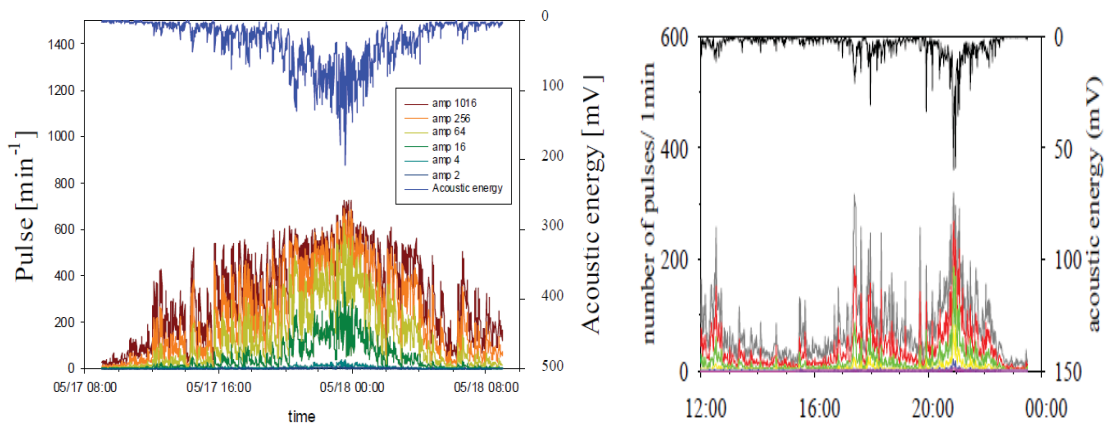


Abbildung B 1-8: Akustische Energie+ Impulse (Mizuyama, 2008)

Eine Messung im Zeitraum von 5 Tagen mit 3 verschiedenen Messverstärkungen (türkiser Graph: 4-fache Verstärkung des Ausgangssignals, gelber Graph: 16-fach, violetter Graph 64-fach) ist in Abbildung B 1-9 dargestellt. Außerdem wurde der gemessene Wasserstand in dem Diagramm eingetragen um eine Beziehung zwischen den Messimpulsen und dem vorhandenen Pegel des Wildbaches zu bestimmen.

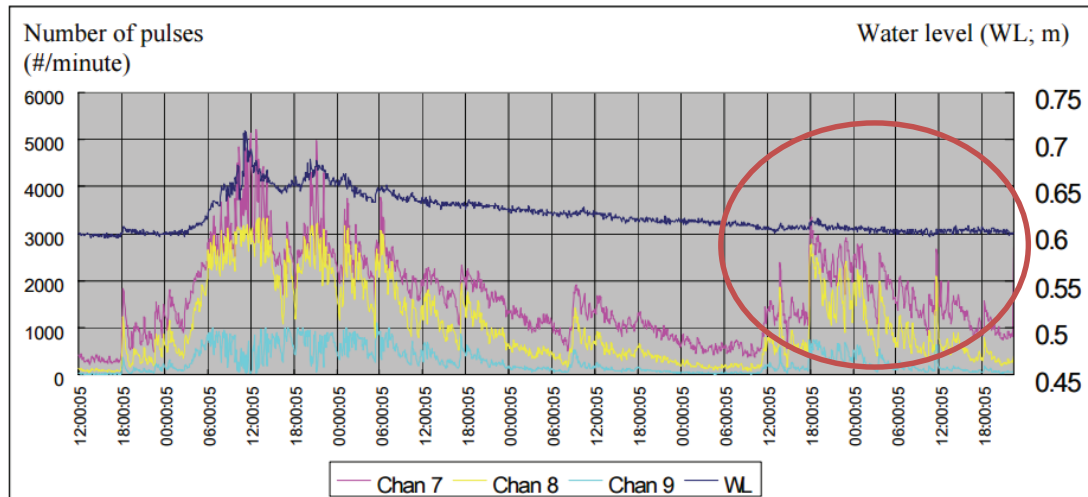


Abbildung B 1-9: 5-tages Messdatenreihe Ashiarai-dani (Mizuyama, et al., 2008)

Abbildung B 1-9 verdeutlicht, dass der Sedimenttransport sehr stark schwankt, und nicht immer mit dem Wasserpegel korrespondiert. Dabei ist besonders der markierte Bereich interessant, da sich in dieser Periode der Wasserstand kontinuierlich senkt, sich aber die Hydrophonausschläge deutlich erhöhen. Dies könnte auf neue Sedimentbildung bzw. Ufererosionen hinweisen, wobei dies ziemlich schwer beweisbar ist.

### Zusammenfassung

Generell ist dieses passive akustische Messsystem eine einfache, leicht zu installierbare und kostengünstige Variante, um den Geschiebetransport zu messen. Dabei können die Messdaten leicht mittels Geschiebefallen oder Fangkörben kalibriert werden. Die gemessenen Daten zeigen aber auf, dass der Sedimenttransport nicht nur vom Durchfluss, sondern auch vom verfügbaren beweglichen Material im Bachbett, abhängt.

### B 1.3.2 Passive Messung – Grenoble in Frankreich

An den Messstandorten des *Iser* und *Saint-Pierre* Wildbaches wurde ein hochauflösendes passives Hydrophon verwendet, welches ursprünglich für sehr komplexe Anwendungen in der Seefahrt entwickelt wurde. Dabei wurden die ersten Messungen manuell im Jahr 2001 durchgeführt. Für eine kontinuierliche Aufzeichnung wurden in den folgenden Jahren die Messapparaturen immer wieder technisch weiterentwickelt (Abbildung B 1-10) (Belleudy, et al., 2010).



Abbildung B 1-10: manuelle Hydrophonmessung im Iser Wildbach (links); Messungen mit einer Stützapparatur im Saint Pierre Wildbach (mitte und rechts) (Belleudy, et al., 2010)

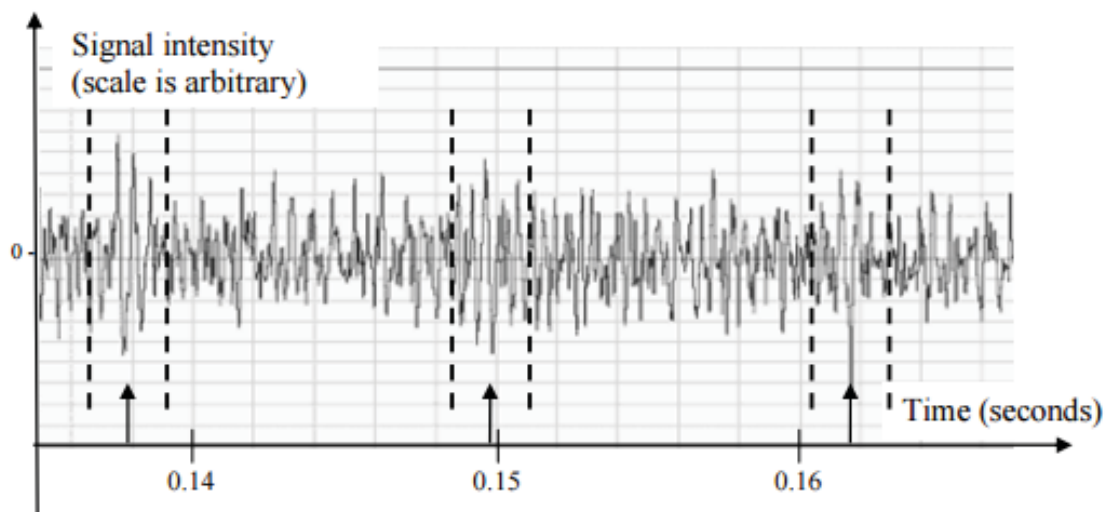


Abbildung B 1-11: Messsignal eines passiven Hydrophons (Belleudy, et al., 2010)

Die hochauflösenden Aufzeichnungen der Mikrofone, welche im Millisekunden Bereich liegen, führen jedoch zu großen Problemen bei der Analyse der Messdaten.

Wie man in Abbildung B 1-11 erkennen kann, müssen die Rohdaten erst mathematisch aufbereitet werden (Abbildung B 1-12), da sonst keine plausiblen Aussagen über den Geschiebetransport getroffen werden können.

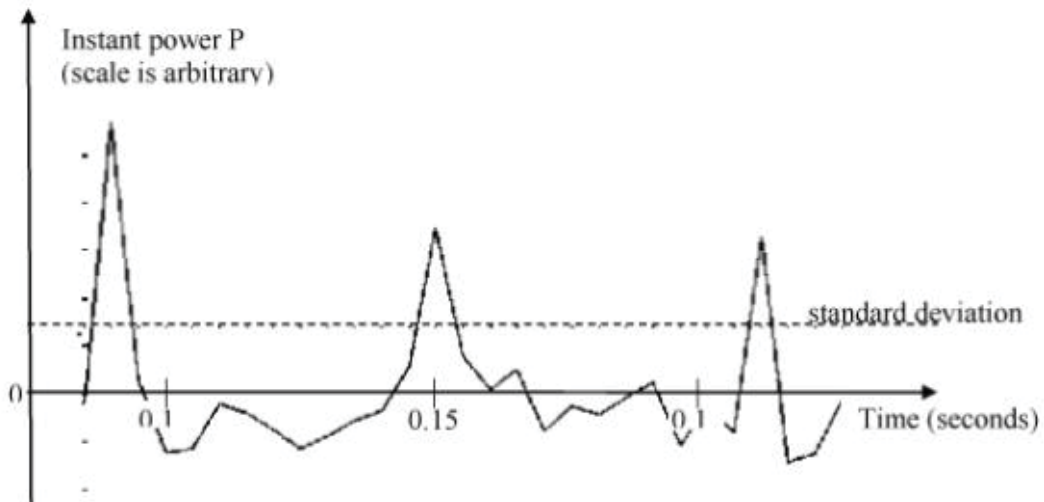


Abbildung B 1-12: Bearbeitetes Rohsignal (Belleudy, et al., 2010)

Der Einsatz dieses Messsystems in Wildbächen gestaltet sich sehr schwierig, da die Messapparaturen sehr sensibel, und nicht direkt in der Sohle verbaut werden können (im Vergleich zu SIS, Geophonen und indirekten Hydrophonmessungen). Um kontinuierliche Messdaten über einen längeren Zeitraum aufzeichnen und speichern zu können, benötigt man außerdem technisch aufwendige Messstationen (Stromversorgung, Computer etc.).

## **B 2. SIS- Bauliche Maßnahmen**

In den folgenden Unterkapiteln wird das generelle Messsystem der Sediment-Impact- Sensoren am Beispiel des Standortes Schöttlkapelle erläutert, da dies die technisch aufwendigste Messstation ist. Alle weiteren Standorte sind technisch ident, aber mit weniger Messequipment ausgestattet. Des Weiteren werden besondere bauliche Maßnahmen näher beschrieben. Eine genaue Projektgebietsbeschreibung kann Teil A (Kapitel A 9) sowie Oberlechner (2015) und Sass et al. (2015) entnommen werden.

### **B 2.1 SIS- Messsystem**

Die Sediment- Impact- Sensoren (SIS) dienen der Untersuchung der Geschiebe- fracht und basieren im Wesentlichen auf der Technologie der Piezoelektrizität. Ein piezoelektrischer Kristall ist auf der Unterseite einer Stahlplatte verbaut. Ein Geschiebeeinschlag führt zu einer minimalen Verformung und somit zu einer Spannungsänderung. Diese Spannungsänderung wird mithilfe des Arduinos (kleiner portabler Mini- Computer) und einer Verstärkerschaltung aufgezeichnet.

Im Zuge dieser Arbeit ergab sich, dass die bisherige Verkabelung der einzelnen Messstationen im Laufe der Projektdauer nicht einheitlich erfolgte. Aus diesem Grund wurden die Messstationen teilweise neu verkabelt und mit Sensoren der neuesten Generation ausgestattet. Um künftigen Projektmitarbeitern die Einarbeitungszeit zu erleichtern, wurde ein Systemplan der Messstation Schöttlbach, wie Abbildung B 2-1 zeigt, angefertigt. Diese ist mit zwei verbauten Arduinos, zwei Operationsverstärkern, zwei Batterien sowie fünf Sensoren und drei Geschiebekörben, welche zur Datenkalibrierung eingesetzt werden können, die elektronisch aufwändigste Station.

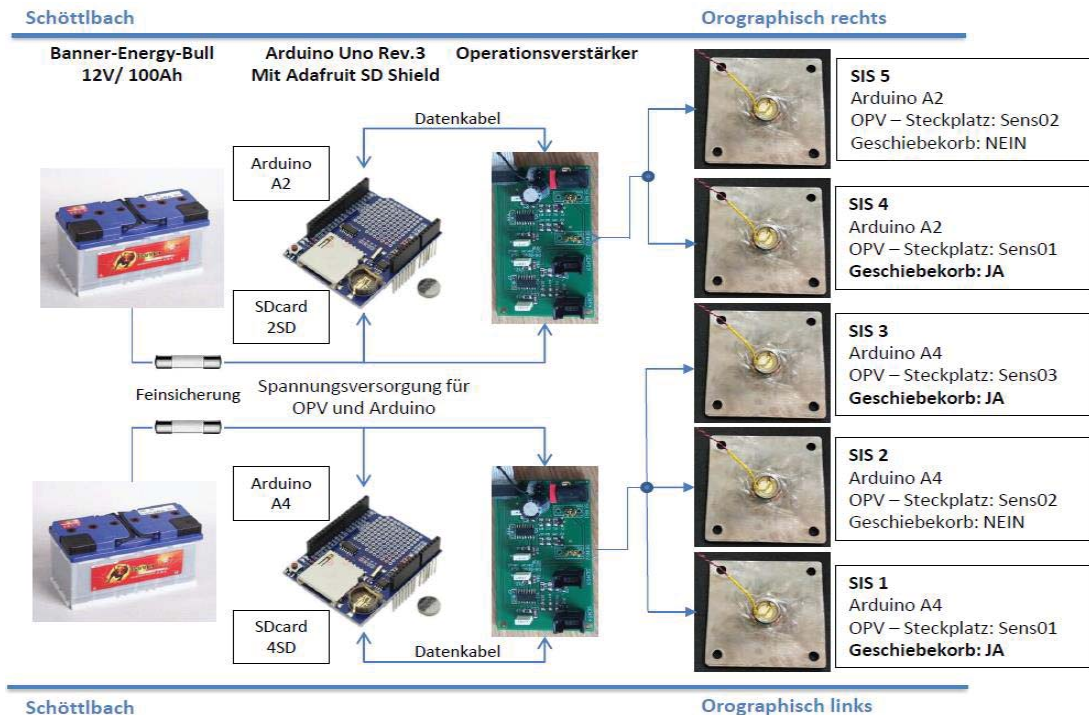


Abbildung B 2-1: Messsystem am Beispiel des Standortes Schöttlkapelle

## B 2.2 Standort Schöttlkapelle - SIS - Kalibrierung mittels Geschiebekörben

Eine Messung mittels Sediment- Impact- Sensoren ist nur dann sinnvoll, wenn Kalibrierungsmessungen mittels Fangkörben durchgeführt werden. Dabei werden die Einbau- sowie die Entleerungszeit dokumentiert und die „gesammelten“ Sedimente anschließend im Bodenmechaniklabor ausgewertet. Detaillierte Informationen zu den Analysemethoden können dem Allgemeinen Teil dieser Arbeit entnommen werden (siehe Kapitel A 6). Oberlechner (2015) beschrieb die Problematik beim Einbau früherer Fangkorb-Konstruktionen an den Standorten Krumeggerbach und der Schöttelkapelle. Dabei wurden die Körbe durch Hochwasserereignisse mehrmals zerstört bzw. abgetrieben. Aufgrund dieser Ereignisse konnten große Geschiebeereignisse nicht dokumentiert und ausgewertet werden. Abbildung B 2-2 zeigt einen Geschiebekorb am Krumeggerbach, welcher weit abgetrieben wurde. Aus diesem Grund wurden im Zuge dieser Arbeit drei neue und robustere konstruiert und gefertigt.



Abbildung B 2-2: Geschiebekorb alt (Oberlechner, 2015)

Abbildung B 2-3 und Abbildung B 2-4 zeigen eine 3D- Darstellung sowie die gefertigte Ausführung der neuen Geschiebefangkörbe, welche 350 mm breit und 740 mm lang im Programm *AutoCAD* konstruiert wurden. Nach der Optimierung und Festlegung der Maße wurden die Körbe mit einem 5 mm Lochblech umhüllt. Die Körbe besitzen zur Befestigung im Wildbach an beiden Enden jeweils zwei Stahllaschen ( $\varnothing 20$  mm vorne und  $\varnothing 16$  mm hinten). Dadurch kann ein leichter Einbau bzw. Ausbau im Wildbach mittels passenden Bewehrungsstählen gewährleistet werden. Sollten im Zuge nachfolgender Projekte weitere Fangkörbe gefertigt werden, kann eine detaillierte Bauanleitung dem Anhang entnommen werden.

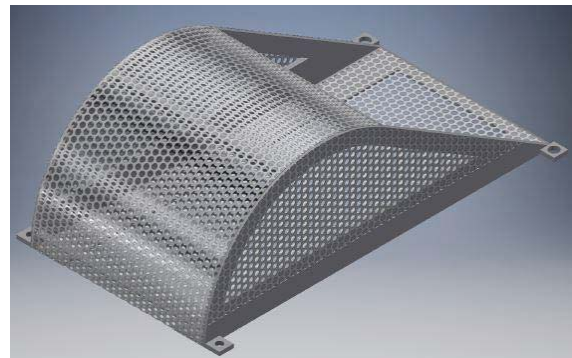


Abbildung B 2-3: 3D- Visualisierung Geschiebekörbe



Abbildung B 2-4: Geschiebekörbe neu



### B 2.3 Standort WLW- Sperre

Der Standort WLW- Sperre befindet sich direkt bei der Einmündung des Krumeggerbachs in den Schöttlbach (Abbildung B 2-5). Am Messstandort wurden ursprünglich sechs Sensoren in eigens dafür gefertigten Betonblöcken im gesamten Messquerschnitt verbaut. Am Messstandort wurden bis jetzt noch keine Geschiebekörbe zur SIS- Kalibrierung installiert. Nähere Informationen können der Projektgebietsbeschreibung (siehe Allgemeiner Teil dieser Arbeit) entnommen werden. Im Dezember 2015 erfolgte durch die *Zotter-Bau-GmbH & Co KG* der Baustart des Ausleitungskraftwerk KW Schöttlbach- Talweg. Bei der Fertigstellung im 4 Quartal 2016 soll eine Engpassleistung von ca. 1MW erreicht werden. Auf der Abbildung B 2-5 sieht man die Lage des Einlaufbauwerkes, von welchem eine ca. 2 km lange Druckrohrleitung (DN 1100/ DN 1000/ DN 900) flussabwärts zum Krafthaus führt. Durch diese Ausleitung wird dem Schöttelbach nach Inbetriebnahme nur mehr das Restwasser zugeführt, was sich wiederum negativ auf die SIS-Messstation im Bereich der WLW-Sperre auswirkt.

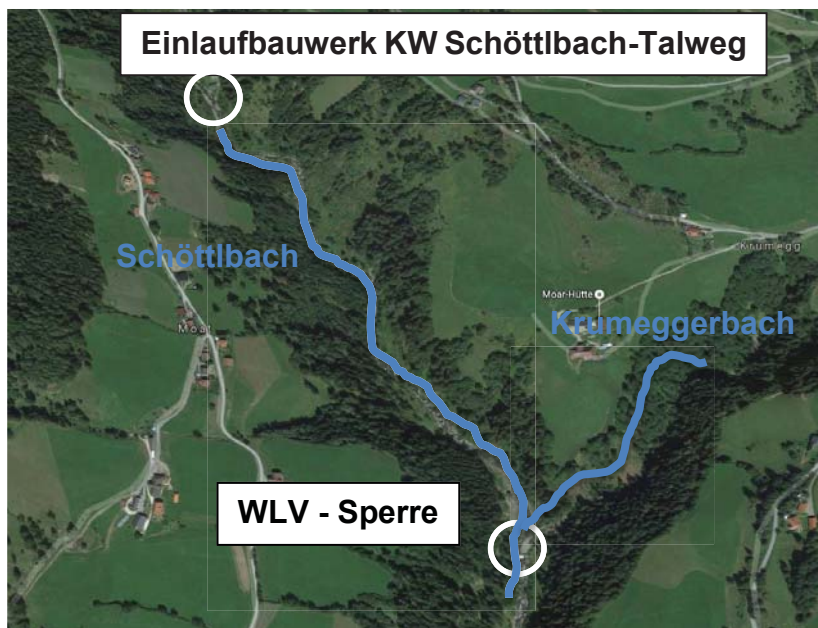


Abbildung B 2-5: KW Schöttelbach-Talweg | WLW-Sperre (Google Maps, 2016)

Im Zuge der Erstbegehung des Messstandortes am 30. März 2016 wurde beschlossen die Messstation weiterzuführen, im Hinblick darauf, dass im Falle eines Hochwassers das Wehrfeld im Einlaufbereich sofort geöffnet werden müsste, und somit nützliche Messergebnisse im Hochwasserfall generiert werden könnten.

### B 2.3.1 Hangrutschung im Bereich der Messstation / Mai 2016

Nachdem kurz vor der Erstbegehung Ende März die Batterien getauscht worden sind (Intervall ca. 2 Monate), fixierten wir einen Termin Ende Mai, um weitere Daten auszulesen und die Batterien zu wechseln. Am 27. Mai 2016 stellten wir fest, dass ein Hangrutsch, welcher im Monat Mai passiert sein musste, die komplette Messstation verschüttet hat. Abbildung B 2-6 zeigt das Ausmaß der Verwüstung im Bereich der Messstation. Die teils bis zu 1 m<sup>3</sup> großen Felsblöcke zerstörten den Messkasten, wobei Teile des Inneren (Arduinos, Speicherkarte) teils geborgen werden konnten.



Abbildung B 2-6: SIS- Messstation zerstört

Im Zuge einer Begehung der Messstation mit dem Bauleiter der Firma *Zotter* wurde versucht die Ursache des Schadens zu bestimmen. Die Hangrutschungen wurden höchstwahrscheinlich durch die Baggerung der Künette<sup>1</sup> im Zufahrtsweg in Kombination mit erhöhten Niederschlägen ausgelöst.

---

<sup>1</sup> Künette: Grabenförmige Ausschachtung im Tief- und Wasserbau

Abbildung B 2-7 (links) zeigt, dass die Druckrohrleitung mit einem Durchmesser von 1 m in der Mitte des Zufahrtsweges verbaut worden ist. Durch die Grabungsarbeiten an der Künette direkt ober der Messstation wurde der Untergrund aufgelockert und diese Schwächung des Bodens führte zu diesem Hangrutsch.



Abbildung B 2-7: Leitungsverlegung (links) Riss in der Zufahrtsstraße (rechts)

Nachdem die zuständige Baufirma den Zufahrtsweg durch Baggerarbeiten wieder passierbar gemacht hatte, bildeten sich wieder starke Risse in der Straße, welche wiederum ein Indiz für weitere mögliche Hangrutschen sein können (rechtes Bild).

### *B 2.3.2 Wiederinstandsetzung der WL V Messstation*

Die Konsolidierungssperre der Wildbach- und Lawinenverbauung wurde im Juli 2013 mit 6 Betonblöcken im Bachbett versehen um die gesamte Breite der Sperre mit SIS abdecken zu können. Oberlechner (2015) beschreibt die Problematik der zu tiefen Positionierung der einzelnen Betonblöcke. Dabei kommt es zu einer Einsedimentation der einzelnen Sensoren. Im Zuge dieser Reaktivierung wurde in Absprache mit dem Bauleiter der Firma *Zotter* und dem Baggerführer folgende, wie in Abbildung B 2-8 ersichtliche, Flussumleitung festgelegt und anschließend ausgeführt.



Abbildung B 2-8: Flussumleitung WLV-Sperre

Dabei wurde entschieden den Fluss nur einmal umzuleiten, und die zwei orografisch links befindlichen Sensoren nicht zu tauschen und neu zu verkabeln. Würde man alle Betonblöcke trockenlegen wollen, müsste man den Fluss entweder einmal sehr aufwendig komplett umleiten, oder die Umleitung in zwei Schritten durchführen. Zeitliche Probleme und die begrenzte Verfügbarkeit der Baumaschinen sind die ausschlaggebenden Gründe für das Aufgeben der zwei orografisch links befindlichen Sensoren.



Abbildung B 2-9: Flussumleitung

Einige Impressionen der an zwei Tagen durchgeführten Arbeiten liefert Abbildung B 2-9. Dabei wurde der Wildbach orografisch linksseitig umgeleitet, um die vier der insgesamt sechs Betonblöcke trocken zu legen. Anschließend wurden alle alten Kabel und Sensoren entfernt. Da die vorhandenen Bohrlöcher in den Betonblöcken mit Sedimenten verstopft waren, mussten alle neuen Kabel aufwendig im vorhandenen Metallrahmen verlegt werden. Um die Sensorkabel vor Beschädigungen zu schützen wurden sie mit einem flexiblen Schlauch ummantelt und verlegt. Der orografisch rechts gelegene Betonblock war durch die schlechte Lage meistens verlandet, weshalb dieser nicht mehr in Betrieb genommen wurde. Um die Messstation vor zukünftigen Hangrutschungen zu schützen, wurde der neue Messkasten direkt an der Konsolidierungssperre mit einem Stahlgestell befestigt. Abbildung B 2-10 zeigt die Konstruktion der neuen robusten Stahlhalterung für den Messkasten und die neu installierte Messstation, welche Anfang Oktober wieder in Betrieb genommen wurde. Dabei wurden drei neue Sensoren, ein neuer Arduino mit passender Software sowie eine neue Batterie verbaut.



Abbildung B 2-10: Stahlgestell (links) Einbau in situ (rechts)

## B 2.4 Standort Schmiedbognerbach

Die Messstation befindet sich bei der Einmündung in den Schöttlbach in unmittelbarer Nähe der Stadt Oberwölz. Hier wurde im künstlichen Gerinne ein Sensor ohne Geschiebekorb installiert (siehe Projektbeschreibung Allgemeiner Teil). Im Juni 2016 kam es aufgrund starker Regenfälle im Bereich des Schmiedbognerbachs zu stärkeren Beschädigungen beim verbauten Gerinne und der Messstation bei der Einmündung zum Schöttlbach. Abbildung B 2-11 (1) zeigt das Ausmaß der Zerstörung flussaufwärts, bei welchem teilweise ganze Teile der Verbauung und der angrenzenden Begrünung zerstört worden sind. Das zweite Bild zeigt die Einmündung zum Schöttlbach, wobei die starke Beanspruchung, durch den Sedimenttransport des Hochwassers auf die Gerinnesohle, Wasserbausteine gelöst, und den installierten Sensor inklusive Verkabelung zerstört hat. Durch den massiven Sedimenttransport kam es zu einer Verlandung des kompletten Messkastens, wie Bild 3 sehr deutlich veranschaulicht.



Abbildung B 2-11: (1) Hangrutschungen (2) Bruch der Gerinnesohle (3) Verschüttung des Messkastens (4) Wasserschaden im Messschrank

Nach einer aufwendigen Freilegung des Messkastens wurde klar, dass die gesamte Messapparatur aufgrund eines Wasserschadens getauscht werden muss. Die Kontakte der Batterie waren so stark korrodiert, sodass nur ein Austausch der kompletten Messeinrichtung vorgenommen werden konnte. Der Arduino inklusive der Operationsverstärkerschaltung wurde vom Wasser verschont und musste nicht getauscht werden. Abbildung B 2-11 (4) zeigt den freigelegten Messkasten.



Abbildung B 2-12: Umlegung des Sensors - Schmiedbognerbach

Da sich weitere Flussbausteine bei der Einmündung lösen könnten, wurde der Sensor am 08. Juli 2016 ca. um 1.5 m flussaufwärts verlegt. Nach einem weiteren Kabelbruch am 05. August 2016, wurde ein Lochblech verbaut, um das Sensor-kabel vor weiteren Beschädigungen zu beschützen.



Abbildung B 2-13: Kabelbruch August 2016



Abbildung B 2-14: Lochblech



### B 3. Kornverteilungsanalyse

Jede entnommene Probe der Geschiebekörbe wurde zeitlich dokumentiert und gewogen. Aufgrund zahlreicher stärkerer Niederschlagsereignisse, befanden sich häufig sehr große Steine ( $> \varnothing 15 \text{ cm}$ ) im Geschiebekorb. Diese Steine wurden lediglich gewogen und nicht in der Korngrößenverteilung berücksichtigt, da sie die Verteilung maßgebend verfälschen würden. Der Grund liegt darin, dass bei einer Gesamtprobe von z. B. 45 kg (inclusive 30 kg Stein mit  $\varnothing 30 \text{ cm}$ ) die Kornverteilung verfälscht wäre, da der Einfluss prozentual zu hoch ist. In diesem Fall würde die Verteilungskurve einen großen Sprung an der Stelle des 63 mm Siebeinsatzes aufweisen. Für die gesamte Geschiebebilanz wird das Gewicht und die Form dieser Steine natürlich berücksichtigt.

Nach der visuellen Kontrolle und manuellen Aussortierung der zu großen Steine, wird die Probe der Rüttelmaschine zugeführt. Dabei kommen standardmäßig die Siebeinsätze mit der Maschenweite von 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5 und 63 mm zum Einsatz (siehe Abbildung B 3-1). Nach 10-minütiger Nasssiebung werden die Proben bei  $105^\circ\text{C}$  bis zur Massenkonstanz getrocknet und anschließend per Hand gerührt und gewogen.

Dadurch kann man sich aus dem Massenanteil pro Korndurchmesser die gewünschte Kornverteilungslinie errechnen. Bei zwei Messproben wurde ebenfalls die Sedimentationsanalyse durchgeführt, um die Zusammensetzung der Feinanteile zu bestimmen. Dabei werden die Feinanteile, welche bei der Nasssiebung durch das feinste Sieb hindurchgehen, aufgefangen und getrocknet. Anschließend werden 40 g des vorhandenen Feinmaterials mit 30 g Natriumdiphosphat vermischt und in einen genormten Zylinder gegeben und bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser befüllt. Dadurch können sich alle Partikel im Feinmaterial auflösen. Dieser Vorgang wird durch eine Mischanlage des Instituts verstärkt. Danach wird der Behälter bis zur Gänze mit destilliertem Wasser aufgefüllt und abgestellt. Das Aräometer<sup>2</sup> muss nun in das Gefäß getaucht und der Skalenwert nach fest- definierten Zeitintervallen einschließlich der Temperaturänderungen abgelesen werden. Mit diesen Messwerten lassen sich mit dem Gesetz nach

---

<sup>2</sup> Senkwaage zur Bestimmung der Dichte oder des Spezifischen Gewichts von Flüssigkeiten

Stokes die Korndurchmesser ermitteln. Im letzten Schritt wird die Korngrößenverteilung als Summenlinie dargestellt, wobei auf die Abszisse die Korngrößen logarithmisch und auf die Ordinate die Massenanteile der Körner linear aufgetragen werden. Eine detaillierte Beschreibung des Versuchs inklusive der verwendeten Formeln findet man in der ÖNORM B 4412. Die genauen Ergebnisse der In-Situ-Messungen sowie die Klassifizierung der Korngrößenverteilungen können dem Anhang entnommen werden.



Abbildung B 3-1: Nasssiebung (li), Trocknung (mitte), Sedimentation (re)

## B 4. Auswertung mittels JAVA- Software

Im Projekt *ClimCatch* wurden in den vergangenen Jahren mehrere SIS- Versionen entwickelt, und ständig verbessert, um die verschiedenen Korngrößen anhand deren Impactintensität zu bestimmen. Prinzipiell wird durch einen Aufprall auf die Sensorplatte eine Spannung im Piezoelement erzeugt und mithilfe einer Operationsverstärkerschaltung verstärkt und anschließend im Analog-Digital-Converter im Arduino gemessen und auf der SD- Karte gespeichert. Eine detaillierte Beschreibung des Messsystems sowie dessen Aufbau kann Kapitel B 2.1 sowie der Oberlechner (2015) entnommen werden.

Die derzeitig verbauten Arduinos besitzen die aktuellste Softwareversion (Frühjahr 2016) und zeichnen folgende Daten auf:

- Datum und Uhrzeit (Unixzeit basierend am Datum 01. Januar 1970, 00:00)
- Millisekunden seit dem Start
- Sensornummer
- Overflow
- Impact\_0 – Impact\_29

Tabelle B 4-1: Rohfile einer Messung mittels Arduino mit aktueller Software

Epoch	milis	Sensor	Over- flow	0	1	2	3	4	5	[...]	26	27	28	29
1441358366	330	S1		135	3	0	0	0	0	[...]	0	0	0	0
1441358371	5643	S1		7	14	0	0	0	0	[...]	0	0	0	0
1441358371	5858	S1		17	47	0	0	0	0	[...]	0	0	0	0

Die vom Piezoelement erzeugte Spannung von 0-5V wird über einen 10bit-A/D Wandler in ein digitales Signal konvertiert. Für diese Spannung ergibt sich daher ein Wertebereich von 0-1023 ( $2^{10} = 1024$ ). Die Anzahl der definierten Samples, welche die eigentlichen Messwerte der Sensoren darstellen, wurden von bisher 20 (impact\_0 – impact\_19) auf 30 (impact\_0 – impact\_29) erweitert. Die derzeitige Datensatzstruktur der Messaufzeichnungen ist in Tabelle B 4-1 dargestellt.

Der in der Software des Arduinos festgelegte Wert des Thresholds, ist neben dem Abfluss im Wildbach für die Datengröße der zu verarbeitenden Rohfiles verantwortlich. Oberlechner (2015) beschreibt die Problematik gängiger Tabellenkalkulationsprogramme wie Microsoft Excel und entwickelte für die Aufbereitung der Messdaten ein Script in der Programmiersprache R, welches sich besonders für statistische Anwendungen und komplexeren Kalkulationen eignet.

#### **B 4.1 Bisheriges R- Script – Bedienung und Funktionsweise**

Die Verwendung des Scripts erfordert die Installation der „open source software“ *R-Studio*. Im R-Script wird der Dateiname, die Start- und Endzeit, der Threshold sowie die Kummulationszeit eingegeben. Danach kann das Script ausgeführt werden, und es werden ein kompletter bearbeiteter Datensatz, sowie ein vereinfachter Datensatz im \*.csv Format ausgegeben. Werden Messungen mit den SIS an mehreren Standorten und Arduinos über einen sehr langen Zeitraum durchgeführt, steigt der Bearbeitungsaufwand sehr schnell an. Dies ist damit zu begründen, da bei jedem Ausfall oder Batteriewechsel neue Files am SD-Shield des Arduinos gespeichert werden.

##### Beispiel:

1 Arduino | 1 Jahr Messzeit | 6 Batteriewechsel | 4 Systemausfälle aufgrund von Kabelbrüchen oder sonstigen Beschädigungen

In diesem Fall würden durch den Arduino in einem Jahr mindestens 10 Files generiert werden, welche anschließend einzeln im vorhandenen Script verarbeitet, und händisch zu einer Gesamtdatei zusammengefügt werden müssten. Aufgrund mehrerer Gespräche mit Martin Oberlechner, entstand die Idee von der Entwicklung einer Software mittels Java, welche diese manuellen Tätigkeiten mithilfe einer einfachen Benutzeroberfläche automatisiert.

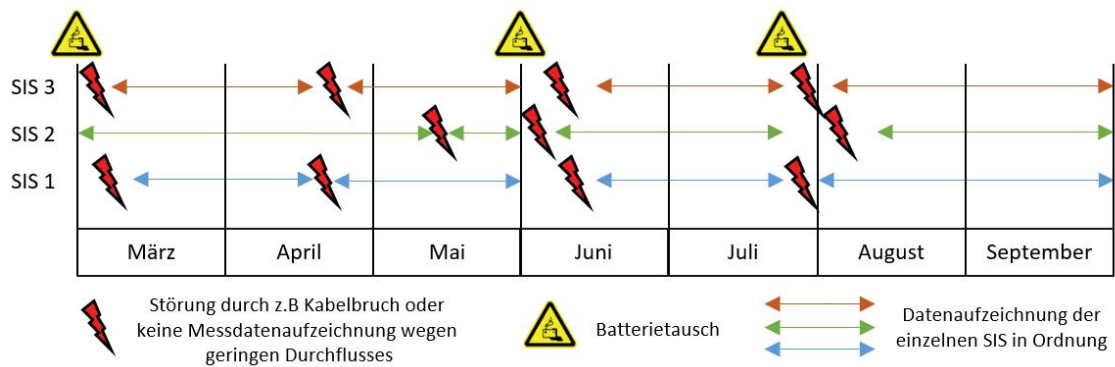


Abbildung B 4-1: Java- Applikation- Probleme

## B 4.2 Java- Script – Funktionsweise, Vorteile und Bedienung

Aufgrund zahlreicher Hardwareprobleme, welche in den meisten Fällen auf Hochwasserereignisse zurückzuführen sind, kommt es in einer gesamten Messperiode oft zu Aufzeichnungsunterbrechungen (Abbildung B 4-1). Die entwickelte Applikation erleichtert dem Benutzer die Auswertung der gesammelten Messdaten über eine längere Messperiode.

Diese Unterbrechungen können durch folgende Probleme entstehen:

- Batterietausch bzw. Fehler in der Stromversorgung
- Kabelbruch der einzelnen Verbindungen mit dem Arduino
- Mechanische Zerstörung der Messeinrichtung
- Fehlerhafte Sensoren

Da sich die Messstationen nicht in unmittelbarer Nähe der technischen Universität Graz befinden (Fahrzeit pro Richtung ca. 2 Stunden), und die Messdaten nicht fernübertragen werden, können Fehler nicht immer zeitnah verifiziert und behoben werden.

**[2] Lückenhafte Messintervalle erkennen und auffüllen**

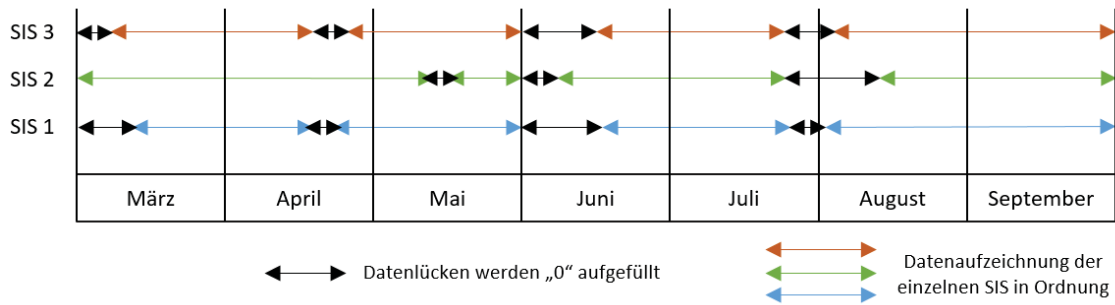


Abbildung B 4-2: Java- Applikation- Messdatenerweiterung

Mithilfe der Benutzeroberfläche, welche in Abbildung B 4-4 dargestellt ist, können im ersten Schritt mehrere Dateien eines Arduinos in das Programm geladen werden. Diese \*.csv Dateien müssen selbstverständlich vom gleichen Arduino stammen und dürfen in dieser Version nicht mehr als vier verschiedene Sensoren in einer Datei enthalten. Dieses Problem kann bei den derzeit installierten Arduinos nicht auftreten, da maximal 3 Sensoren pro Arduino verbaut wurden (der Standort Schöttlkapelle besitzt 5 Sensoren mit 2 Arduinos). Die Applikation korrigiert im ersten Schritt die Unixzeit der Datensätze auf die Zeitzone UTC, damit Sie im nächsten Schritt chronologisch geordnet werden können. Dabei werden Aufzeichnungslücken zwischen den einzelnen Files erkannt und im nächsten Schritt automatisch mit dem Wert „0“ (siehe Abbildung B 4-2) aufgefüllt, damit man eine lückenlose Datei über mehrere Monate generieren kann.

**[3] Zusammenfassung aller Dateien zu 1 Gesamtfile pro Sensor**

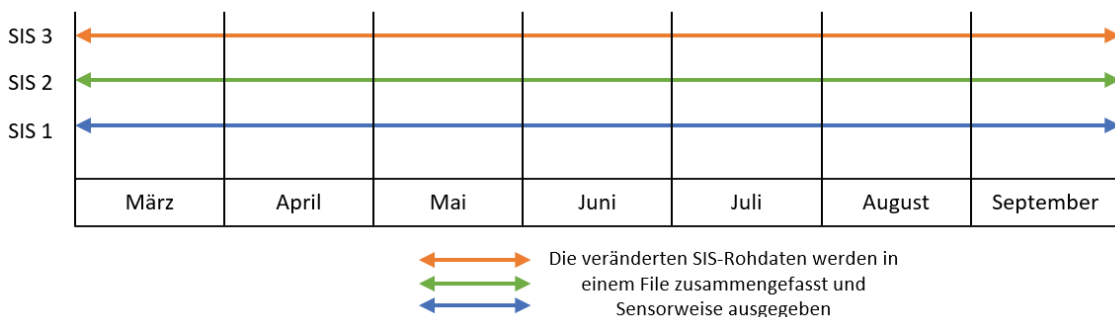


Abbildung B 4-3: Java- Applikation- Ausgabe

Bei genauerer Betrachtung der vorhandenen Daten konnten diverse Probleme bei den aufgezeichneten Daten identifiziert werden. Oberlechner (2015) beschreibt detailliert das Auftreten von *Crosstalks*<sup>3</sup>, wobei er nach näherer Betrachtung der Daten kein eindeutiges Muster der Fehlerquelle feststellen konnte. Ein Beispiel, wie ein solcher Crosstalk in einem Datensatz aussehen könnte, ist in Tabelle B 4-2 ersichtlich. Hier sieht man, dass der Sensor 2 im Abstand von 125 ms einen geringen Impuls registriert hat, wobei es nicht sicher ist, ob es sich tatsächlich um einen Crosstalk handelt. Daher wurde in der folgenden Applikation auf einen automatischen Crosstalk- filter verzichtet, da fälschlicherweise richtige Datensätze gelöscht werden könnten.

Crosstalks können jedoch auch dazu führen, dass ein starker Impact auf einem Sensoreingang einen Messwert an einem anderen, nicht verbundenen, Eingang verursacht. Dies bedeutet, dass bei einem Arduino mit nur einem angeschlossenen Sensor, Datensätze für 2 Sensoren erzeugt werden. Dieser Fehler ist in Tabelle B 4-2 eindeutig ersichtlich. Daher kann der Benutzer in der Bedieneroberfläche alle „erlaubten“ Sensoren einer Messreihe auswählen und die Applikation löscht automatisch fehlerhafte Datensätze.

Tabelle B 4-2: Crosstalk S1/S2 (gelb = Impact; grün = Crosstalk)

1446083169	429747137	S1	256	144	0	0	0	0	0
1446083524	125	S2	3	0	0	0	0	0	0

Des Weiteren kann der Benutzer den Wert des *Thresholds*<sup>4</sup> einstellen. Dabei werden alle Datensätze, die diesen frei definierbaren Grenzwert unterschreiten, automatisch gelöscht. Als letzten Schritt muss der Benutzer ein Zeitintervall definieren, damit die Applikation die Summierung, Mittelwertbildung sowie die Kumulation der Datensätze durchführen kann. Die Benutzeroberfläche erzeugt nach dem Start ebenfalls einen Statusbericht, welcher im Fenster „Programm Output“ ersichtlich ist. Dieser Bericht beinhaltet neben der Anzahl der verarbeiteten Daten auch die Anzahl der gelöschten Datensätze sowie weiterer wichtiger Informationen.

<sup>3</sup> Elektronisches Übersprechen von Messdaten

<sup>4</sup> Definierter Schwellenwert

Wurden die Daten richtig eingelesen, erzeugt die Applikation je nach Anzahl der verarbeiteten Sensoren verschiedene Files im Format \*.csv, welche nun „einfach“ in einem Tabellenkalkulationsprogramm weiterverarbeitet werden können.

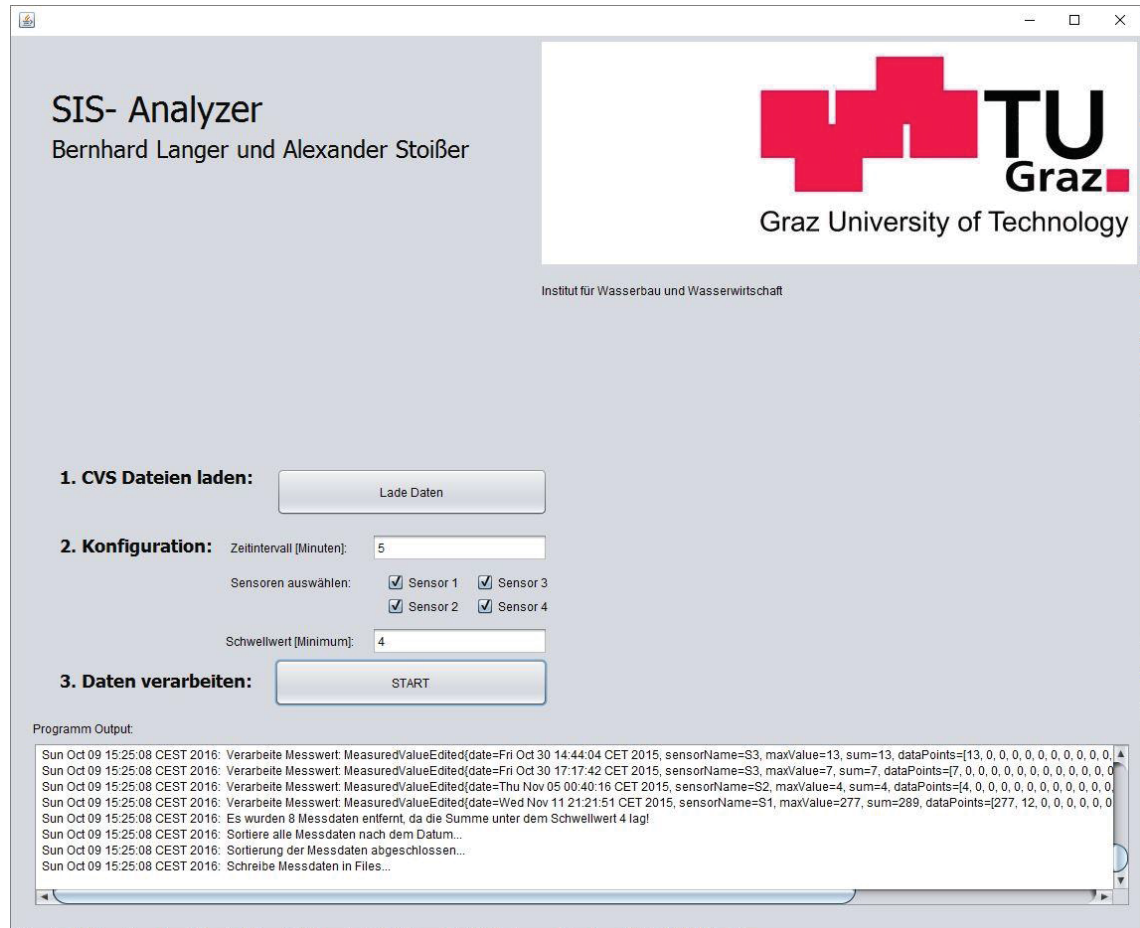


Abbildung B 4-4: Java- Applikation- Benutzeroberfläche

Als Kontrolle wurde zusätzlich ein Status-Manager implementiert, welcher alle getätigten Schritte wie (i) die Anzahl der verarbeiteten Daten, (ii) die Anzahl der gelöschten Datensätze etc. dokumentiert und anzeigt.

```

Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Verarbeite Messwert: MeasuredValueEdited{date=Fri Oct 30 14:44:04 CET 2015, sensorName=S3, maxValue=13, sum=13, dataPoints=[13, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Verarbeite Messwert: MeasuredValueEdited{date=Fri Oct 30 17:17:42 CET 2015, sensorName=S3, maxValue=7, sum=7, dataPoints=[7, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Verarbeite Messwert: MeasuredValueEdited{date=Thu Nov 05 00:40:16 CET 2015, sensorName=S2, maxValue=4, sum=4, dataPoints=[4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Verarbeite Messwert: MeasuredValueEdited{date=Wed Nov 11 21:21:51 CET 2015, sensorName=S1, maxValue=277, sum=289, dataPoints=[277, 12, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]}
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Es wurden 8 Messdaten entfernt, da die Summe unter dem Schwellwert 4 lag!
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Sortiere alle Messdaten nach dem Datum...
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Sortierung der Messdaten abgeschlossen...
Sun Oct 09 15:25:08 CEST 2016: Schreibe Messdaten in Files...

```

Abbildung B 4-5: Programm Output



### B 4.3 Java- Script 2.0 Implementierung (Pegelstände bzw. Pegelkurve)

Im Zuge der Auswertungen hat sich herausgestellt, dass die Beziehung zwischen den Wasserständen, den Durchflüssen und den SIS- Daten aus der Applikation 1.0 sehr aufschlussreiche Ergebnisse liefert. Dieser Vergleich ist aber nur möglich, wenn man die Rohdaten der Pegelmessungen mit den bearbeiteten Rohfiles kombiniert, und folgende Operationen manuell durchführt.

- Pegelstände im betrachteten Zeitraum öffnen
- Anhand des Pegelschlüssels den dazugehörigen Durchfluss berechnen
- Bearbeitete SIS – Daten der Applikation 1.0 öffnen
- Uhrzeiten der SIS Daten korrigieren (Rundung auf 5 Minuten)
- SIS Daten + Wasserstände + Durchflüsse aufwendig manuell kombinieren

Diese manuellen Operationen sind in einem Tabellenkalkulationsprogramm sehr leicht durchzuführen, bei einer großen Anzahl an Daten ist es aber sehr zeitraubend und monoton. Aus diesem Grund wurden diese Operationen in der Java- Applikation 2.0 nachträglich implementiert, um künftigen Diplomanden die Auswertung erheblich zu erleichtern (Abbildung B 4-6).

**SIS- Analyzer**  
Bernhard Langer und Alexander Stoißer

**TU Graz**  
Graz University of Technology

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

**1. SIS Dateien laden:**

**2. Pegelstände laden:**

**3. Konfiguration:** Zeitintervall [Minuten]:  Pegelstand Multiplikator:   
Sensoren auswählen:  Sensor 1  Sensor 3  
 Sensor 2  Sensor 4  
Pegelstand Hochzahl:   
Schwellwert [Minimum]:

**4. Daten verarbeiten:**

Abbildung B 4-6: Java- Applikation 2.0 – Benutzeroberfläche

Zusätzlich zu den SIS-Dateien kann man nun auch die Pegelstände in die Applikation laden. Nach Eingabe der Pegelkurvenparameter (Formel B 3-1) werden alle SIS- Daten und Pegeldaten verarbeitet, und in jeweils eine Datei je nach Anzahl der Sensoren geschrieben (Abbildung B 4-7). Die Eingangsparameter der Pegelkurve werden in Teil D näher beschrieben.

$$Q = \text{Multiplikator} * \text{Pegelstand}^{\text{Exponent}} \quad (\text{B 3-1})$$



Abbildung B 4-7: Daten-Ausgabe (1 File je Sensor incl. Wasserstand und Durchfluss)

Jedes Ausgabefile besitzt die gleiche Struktur (Abbildung B 4-8), mit welcher einer Auswertung Messdaten sehr einfach und schnell durchzuführen ist.

```
DatumPegelStand|PegelStand|Durchfluss| - |DatumSIS|DatumSIS-Gerundet|Sensor|MaximalWert|Summe
```

Abbildung B 4-8: \*.CSV Dateistruktur\_ final

Da diese Applikation verbessert und erweitert werden kann, wird der Programmcode der CD bzw. im Anhang mit Anmerkungen bzw. Verbesserungsvorschlägen angehängt.

### Nachteil

Alle verbauten Arduinos sind schon seit mehreren Jahren im Einsatz, wobei die Kapazität der Bios-Batterie sehr gelitten hat. Nach Beendigung der Messreihen wurde festgestellt, dass alle Zeitstempel der Datensätze fehlerhaft sind. Diese Zeitstempel der Rohfiles müssen händisch korrigiert werden, bevor sie in der Java- Applikation verarbeitet werden können. Eine Automatisierung wurde nicht durchgeführt, da die Fehlerwahrscheinlichkeit einfach zu hoch wäre. Daher wird dringen empfohlen, die Bios- Batterien zu wechseln, und die Unixtime der Arduinos neu einzustellen.

## Abbildungsverzeichnis Teil B

Abbildung B 1-1: Schematischer Aufbau eines Geophons.....	74
Abbildung B 1-2: Automatisierte Fangkörbe im Erlenbach .....	77
Abbildung B 1-3: Schematische Darstellung einer Geophonplatte.....	77
Abbildung B 1-4: Visualisierung Erlenbach Messsystem .....	78
Abbildung B 1-5: Versuchsaufbau Kalibriermessungen .....	79
Abbildung B 1-6: Hydrophon mit Geschiebefalle am Ashiarai-dani Wildbach ..	81
Abbildung B 1-7: Messdatenverstärkung Hydrophon .....	82
Abbildung B 1-8: Akustische Energie+ Impulse (Mizuyama, 2008).....	82
Abbildung B 1-9: 5-tages Messdatenreihe Ashiarai-dani .....	83
Abbildung B 1-10: manuelle Hydrophonmessung im Isere Wildbach (links); Messungen mit einer Stützapparatur im Saint Pierre Wildbach (mitte und rechts) (.....)	84
Abbildung B 1-11: Messsignal eines passiven Hydrophons.....	84
Abbildung B 1-12: Bearbeitetes Rohsignal.....	85
Abbildung B 2-1: Messsystem am Beispiel des Standortes Schöttlkapelle .....	87
Abbildung B 2-2: Geschiebekorb alt.....	88
Abbildung B 2-3: 3D- Visualisierung Geschiebekörbe.....	88
Abbildung B 2-4: Geschiebekörbe neu.....	88
Abbildung B 2-5: KW Schöttelbach-Talweg   WLV-Sperre .....	89
Abbildung B 2-6: SIS- Messstation zerstört.....	90
Abbildung B 2-7: Leitungsverlegung (links) Riss in der Zufahrtsstraße (rechts)	91
Abbildung B 2-8: Flussumleitung WLV-Sperre .....	92
Abbildung B 2-9: Flussumleitung.....	93
Abbildung B 2-10: Stahlgestell (links) Einbau in situ (rechts) .....	94
Abbildung B 2-11: (1) Hangrutschungen (2) Bruch der Gerinnesohle (3) Verschüttung des Messkastens (4) Wasserschaden im Messschrank .....	95

Abbildung B 2-12: Umlegung des Sensors - Schmiedbognerbach.....	96
Abbildung B 2-13: Kabelbruch August 2016 .....	96
Abbildung B 2-14: Lochblech .....	96
Abbildung B 3-1: Nasssiebung (li), Trocknung (mitte), Sedimentation (re).....	98
Abbildung B 4-1: Java- Applikation- Probleme .....	101
Abbildung B 4-2: Java- Applikation- Messdatenerweiterung .....	102
Abbildung B 4-3: Java- Applikation- Ausgabe .....	102
Abbildung B 4-4: Java- Applikation- Benutzeroberfläche .....	104
Abbildung B 4-5: Programm Output .....	104
Abbildung B 4-6: Java- Applikation 2.0 – Benutzeroberfläche .....	105
Abbildung B 4-7: Daten-Ausgabe (1 File je Sensor incl. Wasserstand und Durchfluss).....	106
Abbildung B 4-8: *.CSV Dateistruktur_ final .....	106

**Tabellenverzeichnis Teil B**

Tabelle B 3-1: Rohfile einer Messung mittels Arduino mit aktueller Software .. 99

Tabelle B 3-2: Crosstalk S1/S2 (gelb = Impact; grün = Crosstalk) ..... 103

## Literaturverzeichnis Teil B

- Belleudy, P., Valette, A., & Graff, B. (2010). *Passive Hydrophone Monitoring of bedload in River Beds: First Trials of Signal Spectral Analyses*. U.S. Geological Scientific Investigations Report 2010-5091.
- Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landwirtschaft WSL. (2016).  
Abgerufen am 15. 06 2016 von <http://www.wsl.ch>
- Gajewski, D. (2013). *Angewandte Geophysik 1*. Vorlesungsskriptum, Hamburg.
- Gomi, T., & Sidle, R. (2003). *Bed load transport in managed steep gradient headwater streams of sotheastern Alaska*. Water Resources Research.
- Hegg, C., & Rickenmann, D. (2002). *Geschiebetransport in Wildbächen- Erfahrungen aus 15 Jahren zeitlich hochaufgelösten Messungen*. Internationales Symposium 2002 in Zürich.
- Knödel , K., Krummel, H., & Lange, G. (2013). *Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten: Band 3*. Springer Verlag.
- Leibnitz, O. (2014). *Labormappe SS2014*. Institut für Bodenmechanik und Grundbau.
- BMLFUW, Ministerium für ein Lebenswertes Österreich. (2007-2012). *Geschiebemessung an Drau und Isel* . Wien: Zentrale Kopierstelle des BMLFUW.
- Mizuyama, T. (2009). Sediment monitoring in Japan - Bedload measurement with Hydrophon. Japan.
- Mizuyama, T., Ryosuke , H., Ken'ichiro , K., Daizo, T., & Michinobu, N. (2011). *Sediment monitoring with a hydrophone in mointain torrents*. International Journal of Erosion Control Engineering Vol.4, No.2.

- Mizuyama, T., Satofuka, Y., Laronne, J., Nonake, M., & Matsuoka, M. (2008). *Monitoring Sediment Transport in Mountain Torrents*. Interpraevent 2008 - Conference Proceedings, Vol.1.
- Oberlechner, M. J. (2015). *Zusammenhänge zwischen Niederschlag, Abfluss und Sedimenttransport im Einzugsgebiet des Schöttelbaches in Oberwölz mittels Analyse von Klima-, Pegel und Sediment-Impact-Sensor Daten*. Masterarbeit an der KF Uni Graz.
- Rickenmann, D., Turowski, J., Fritschi, B., Klaißer, A., & Ludwig, A. (2012). *Bedload transport measurements at the Erlenbach stream with geophones and automated basket samplers*.
- Rickenmann, D., Wyss, C., Turowski, J., Weitbrecht, V., & Boes, R. (2014). *Geschiebemessungen mit Geophonsensoren. Ableitung der Kalibrierfunktion durch Messungen im Feld und Labor*. Zürich: Tagungsverband Internationales Symposium 2014.
- Sass, O., Harb, G., Truhetz, H., Stangl, J., & Schneider, J. (2015). *Abschlussbericht Projekt ClimCatch*. Graz: Klima- und Energiefonds Projekt B175084.
- Schuerch, P., Densmore, A., McArdeell, B., & Molnar, P. (2006). *The influence of landsliding on sediment supply and channel change in a steep mountain catchment*.
- Travaglini, E., & Bardou, E. (2015). *Measuring Bedload with Geophones, Navisence River*. CREALP - Zentrum für alpine Umweltforschung.
- Turowski, J., Badoux, A., Rickenmann, D., & Fritschi, B. (2008). *Erfassung des Sedimenttransportes in Wildbächen und Gebirgsflüssen - Anwendungsmöglichkeiten von Geophonmessenanlagen*. CH-5401 Baden: Wasser Energie Luft.

*Wissen.de* (2016). Abgerufen am 26. 06 2016 von <http://www.wissen.de>



## **Teil C**

# **Radio – Frequency - Identification und Telemetrie**

Alexander Stoißer, BSc

## C 1. Radio Frequency Identification (RFID)

Bei RFID handelt es sich um eine kontaktlose Kommunikationstechnik. Dabei wird ein elektromagnetisches Signal zwischen einem Datenträger (Transponder oder *Tag*) und einem elektronischen Schreib/Lesegerät mit Antenne gesendet. Dieses System arbeitet mit schwachen elektromagnetischen Wellen. Wird ein Transponder in Reichweite dieser Antenne gebracht, können die Informationen jenes Transponders berührungslos übertragen werden (TAGnology, 2003).

Abbildung C 1-1 stellt die Funktionsweise eines RFID Systems dar. Das Lesegerät (Reader) baut über die Antenne ein elektromagnetisches Feld (Energy) auf. Sobald der Transponder dieses Magnetfeld erreicht, wird der verbaute Mikrochip im Transponder aktiv und mit Energie versorgt. Dadurch können die Daten kontaktlos an das Lesegerät gesendet werden. Verlässt dieser wieder das Magnetfeld wird der Transponder inaktiv, die Daten (wie Identifikationsnummer des Transponders) bleiben jedoch am Mikrochip gespeichert (TAGnology, 2003).

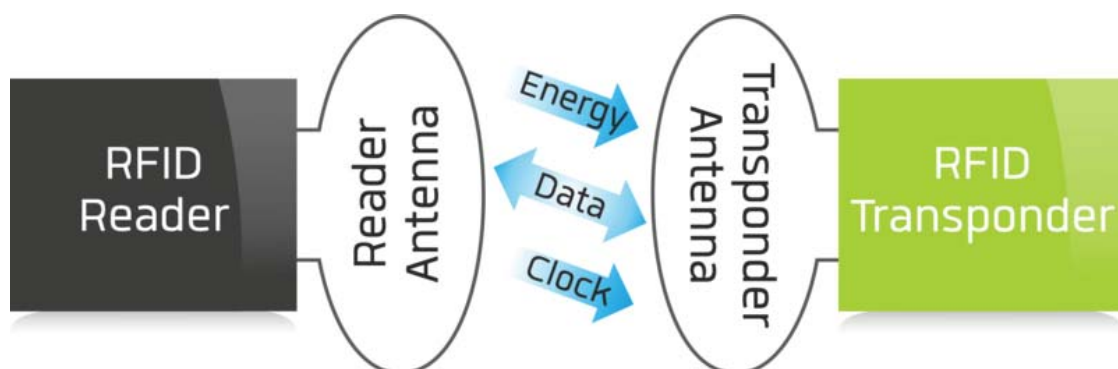


Abbildung C 1-1: Funktionsweise RFID (TAGnology, 2003)

Unterschieden wird zwischen zwei Arten von Transpondertechniken:

**Passive Transponder** besitzen keine integrierte Spannungsversorgung und bekommen ihre Energie direkt aus dem magnetischen Feld, aufgrund dessen sind sie wartungsfrei. Die Reichweite ist abhängig von der Antenne, der Größe des Transponders sowie der Frequenz (TAGnology, 2003).

**Aktive Transponder** haben eine größere Lesereichweite als passive Transponder. Dies ermöglicht eine integrierte Spannungsversorgung (Batterie, Akku), dadurch stellt sich der Aufbau des Transponders als wesentlich komplexer dar. Durch die integrierte Spannungsversorgung besitzt der *Tag* eine begrenzte Lebensdauer und ist in der Herstellung ein Vielfaches höher als der passive Transponder (TAGnology, 2003).

## C 1.1 Einsatzgebiet RFID

Dieses Kapitel soll nur einen kurzen Überblick geben, in wie vielen verschiedenen Bereichen RFID – Systeme angewandt werden.

Durch den technischen Fortschritt beeinflusst RFID inzwischen viele Anwendungsgebiete. RFID – Systeme werden nahezu in allen Bereichen wie

- Fahrzeugidentifikation
- Banknoten
- Bezahlkarten
- Echtheitsmerkmale für Medikamente
- Textilien und Bekleidung
- Kontaktlose Chipkarten
- Waren und Bestandsmanagement eingesetzt.

Einen großen Nutzen von diesem System hätten auch die Fluggesellschaften für schnelleres Auffinden von Gepäckstücken. Zum Beispiel transportiert die Fluggesellschaft Delta zwischen 35 und 85 Mio. Gepäckstücke pro Jahr und von diesen werden nur weniger als ein Prozent fehlgeleitet. Durch diese Fehlleitung entstehen Kosten in Höhe von 100 Mio. US Dollar pro Jahr und würde man ein RFID – System Implementieren würde es 25 Mio. US Dollar veranschlagen (BSI, 2004).

Auch in der Baubranche wurden bereits die ersten Forschungsprojekte mittels RFID - Systemen durchgeführt, so wurden zum Beispiel mobile RFID – Gates bei den Baustellen an Zu - bzw. Ausfahrten aufgestellt, um die Identifikation und Verfolgung von Betriebsmittel zwischen Baustellen und Werken festzuhalten (Günther & Schneider, 2008).

Laut einer Studie der TU München nutzen nur etwa 5 % der Bauunternehmen ein RFID – System zum Identifizieren von Baumitteln. Durch den steigenden Wettbewerbsdruck wird sich dieser Wert in den nächsten 5 Jahren auf 15 % erhöhen (Günther & Schneider, 2008).

### C 1.1.1 Einsatzgebiet in der Gewässerökologie

RFID wird in der Gewässerökologie hauptsächlich zur Tieridentifikation verwendet. Dabei wird mit Injektionsnadel und Spritze das jeweilige Tier subkutan mit einem passiven *Tag* injiziert. Durch diese Forschungsmethode ergeben sich viele Vorteile, wie zum Beispiel die Reduzierung der Fehler bei der Aufzeichnung von Daten, schnelle Datenerfassung und langfristige Zuverlässigkeit (Biomark, 2016).

### C 1.2 Aufbau eines RFID – Systems

Die folgenden Kapitel beschreiben die Hauptbestandteile eines RFID – Systems.

Das RFID – System besteht im Wesentlichen aus 3 Hauptkomponenten.

- Lesegerät und Steuereinheit (Reader)
- Antenne
- Transponder (*Tag*)

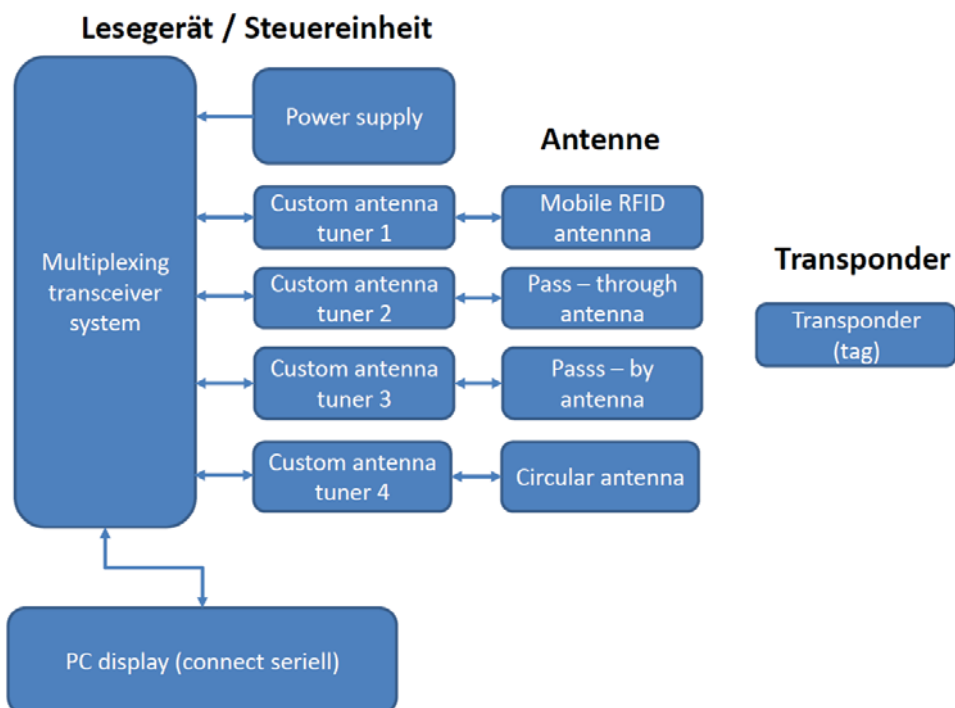


Abbildung C 1-2: Aufbau RFID – System (Biomark, 2016)

### C 1.2.1 Lesegerät und Steuereinheit (Reader)

Das Lesegerät oder auch Steuereinheit genannt (Abbildung C 1-3), besteht aus mehreren Komponenten. Das Hauptelement ist das **multiplexing transceiver system** (rot markiert) welches für die Steuerung des ganzen Systems zuständig ist. Über eine Serielle Schnittstelle kann das Lesegerät auch vom einem Computer angesteuert und alle wichtigen Einstellungen getroffen werden. Alle Parameter werden somit in Echtzeit am Monitor angezeigt. Für die feine Adjustierung des Magnetfeldes in der Antenne ist die Komponente **custom antenna** (blau markiert) zuständig.



Abbildung C 1-3: RFID – Reader von der Firma Biomark

### C 1.2.2 RFID Antennen

In diesem Abschnitt werden beispielhaft die einzelnen Antennentypen von *Biomark*, die in der Gewässerökologie zur Überwachung von Tieren bzw. Sedimenttransport eingesetzt werden, vorgestellt. Jede Antenne wird geschweißt, druckgeprüft und auf Funktion in einem eigenen Hochfrequenz-Raum getestet, um eine optimale Leistung zu gewährleisten (Biomark, 2016).

## PASS – THROUGH und PASS – BY Antenne

Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen zwei Antennentypen, einerseits die **PASS - THROUGH Antenne** und andererseits die **PASS - BY Antenne** (Biomark, 2016).

PASS – THROUGH Antennen (Abbildung C 1-4) detektieren PIT – *Tags* beim Passieren der Antennenöffnung. Bei der PASS - BY Antenne (Abbildung C 1-5) werden die *Tags* in einem gewissen Abstand ober- oder unterhalb der Antennenoberfläche erfasst. Je nach der Umgebung bzw. Lage kann die Antenne mit oder ohne Abschirmung konstruiert werden. Durch den Schirm werden gegebenenfalls elektromagnetische Störungen reduziert, welche die Antennenleistung beeinflussen (Biomark, 2016).

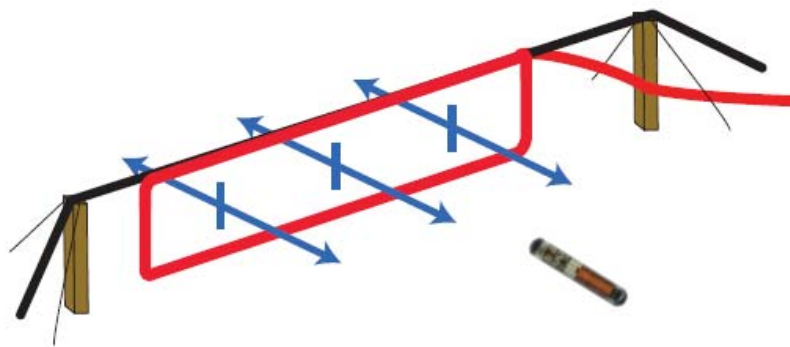


Abbildung C 1-4: Funktionsweise PASS - THROUGH Antenne (Oregon, 2009)

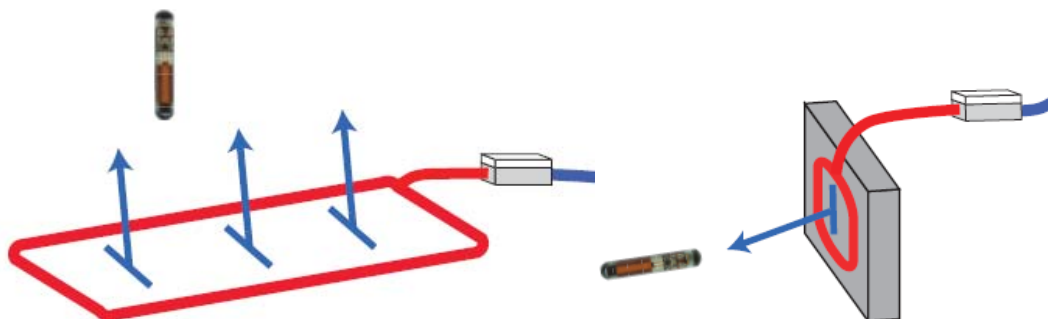


Abbildung C 1-5: Funktionsweise PASS – BY Antenne (Oregon, 2009)

## FLOATING - und CIRCULAR Antennen

**FLOATING Antennen** werden eingesetzt, um markierte Fische zu erfassen, die unter diesen Antennen durchschwimmen. Dafür fertigte die Firma *Biomark* zwei Modelle an, die in den nachfolgenden Abbildung C 1-6 und Abbildung C 1-7 dargestellt sind (Biomark, 2016).



Abbildung C 1-6: FLOATING Antenne fixiert (Biomark, 2016)



Abbildung C 1-7: FLOATING Antenne aufblasbar (Biomark, 2016)

**CIRCULAR Antennen** können optimal bei Düker eingesetzt werden, da die Düker eine klar definierte Form haben. Um die Bewegungsrichtung bestimmtem zu können, werden zwei Antennen zum Vergleich der Erfassungszeiten verwendet (Oregon, 2009).

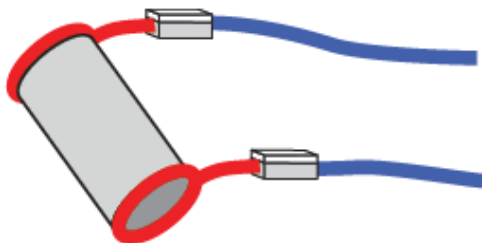


Abbildung C 1-8: Funktionsweise CIRCULAR Antenne (Oregon, 2009)



Abbildung C 1-9: CIRCULAR Antenne (Düker) (Oregon, 2009)



### C 1.2.3 Pit Tag

PIT – *Tags* (passive integrated Transponder) arbeiten je nach Typ im Bereich der Langwelle<sup>1</sup> (Frequenzbereich zwischen 30 kHz und 300 kHz) und jeder *Tag* hat einen eindeutigen individuellen Code, den er an ein Lesegerät überträgt.

Die Entfernung, die von einem *Tag* gelesen wird, ist abhängig vom Lesebereich<sup>2</sup>. Es gibt Umwelt- und Anwendungsfaktoren, die die Lesereichweite einschränken. Optimale Bedingungen bestehen in einer Luftumgebung, wobei der *Tag* senkrecht zum Antennenfeld angeordnet werden sollte (Abbildung C 1-10). Auch wie in Abbildung C 1-11 aufzeigt, sollte der *Tag* detektiert werden, wenn er sich über der Antenne befindet und die lange Achse parallel zur der Antennenebene steht (Biomark, 2016).

Faktoren wie *Tag* – Frequenz oder elektromagnetische Störungen und Antennenleistungen beeinflussen ebenfalls den Lesebereich. Eine weitere wichtige Rolle spielt durchaus die Größe des Tags. Je größer der *Tag*, desto größer die Lesereichweite. Die Transponder können durch Materialien wie Wasser, Holzprodukte, tierische Gewebe, Glasfaser, Steine und Nichteisenmetalle detektieren (Biomark, 2016).

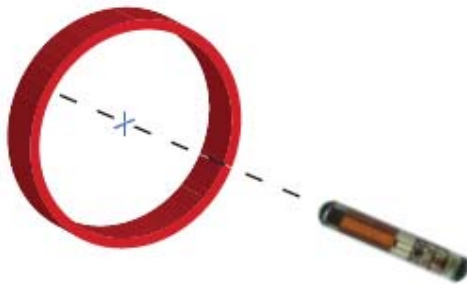


Abbildung C 1-10: *Tag* Orientierung optimal (Oregon, 2009)



Abbildung C 1-11: *Tag* Orientierung nicht optimal (Oregon, 2009)

<sup>1</sup> Langwelle: elektromagnetische Wellen mit Wellenlängen zwischen 1000 und 10.000 Meter

<sup>2</sup> Lesebereich: ist jener Bereich, in dem der *Tag* detektiert wird

### Arten von PIT – Tags der Firma Biomark

In der nachfolgende Abbildung C 1-12 stellt die von Biomark hergestellten PIT – Tags dar. Für die Versuche an der TU Graz wurden die PIT – Tags „HPT12“ verwendet. Diese Tags arbeiten in einem Niederfrequenzbereich von 134,2 kHz.



Abbildung C 1-12: Arten der PIT – Tags (Biomark, 2016)

#### C 1.2.4 Markierung der Steine mittels PIT - Tag

Die Markierung der Steine erfolgte bei diesen Versuchen mit einem „Biomark HPT12“ PIT – Tag (Abbildung C 1-13), da die RFID – Tags der Firma Biomark zurzeit die leistungsstärksten Tags für Fisch und Wildtierforschung auf dem Markt sind. Diese Tags werden in biokompatibles Glas eingekapselt, bieten eine 100 % Identifizierung und sind in verschiedenen Größen und Leistungsstufen erhältlich.

Der Stein wurde mit einem Winkelschleifer und dazugehöriger Diamanttrennscheibe an geschlitzt. Danach wurde der Tag mit Plastilin in den Schlitz verklebt (Abbildung C 1-14).



Abbildung C 1-13: PIT – Tag „HPT 12“



Abbildung C 1-14: Steine mit eingebauten Tags

### C 1.2.5 Pocket Reader

Der Pocket Reader ist ein tragbares Handlesegerät für die Identifikation der Codes der einzelnen PIT – Tags. Die Handlesegeräte verfügen über einen 3000 Tag Code Speicher und enthalten einen Zeit - / Datumsstempel. Der Speicher kann einfach mit der Software Biomark Tag Manager heruntergeladen werden.

## C 2. RFID – Versuchsdurchführung an der TU Graz

In diesem Kapitel wird die Versuchsdurchführung eines RFID – Systems an der TU Graz näher erläutert.

Das RFID – Equipment wurde von der Firma *ezb – TB Zauner GmbH* zur Verfügung gestellt. Die Firma *ezb* hat Erfahrungen bei Untersuchungen des Fischverhaltens mit dem RFID – System. Es gibt keine Erfahrung seitens der Firma, wie sich das System in Bezug auf die Verwendung für Untersuchungen des Geschiebetransports verhält.

### C 2.1 Versuchsaufbau Rücklaufgerinne

Abbildung C 2-1 zeigt den Aufbau des RFID – Systems, das im Labor für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Graz aufgebaut wurde. Da im Labor der Querschnitt des bestehenden Gerinnes zu klein für die benötigten Rahmen – Antennen war, musste das System angepasst werden. Um einen Umbau des bestehenden Gerinnes zu entgehen, wurden die Antennen im vorhandenen Rücklaufgerinne des Wasserbaulaborgebäudes eingebaut, welches den gleichen Querschnitt wie die Antennen besitzt.

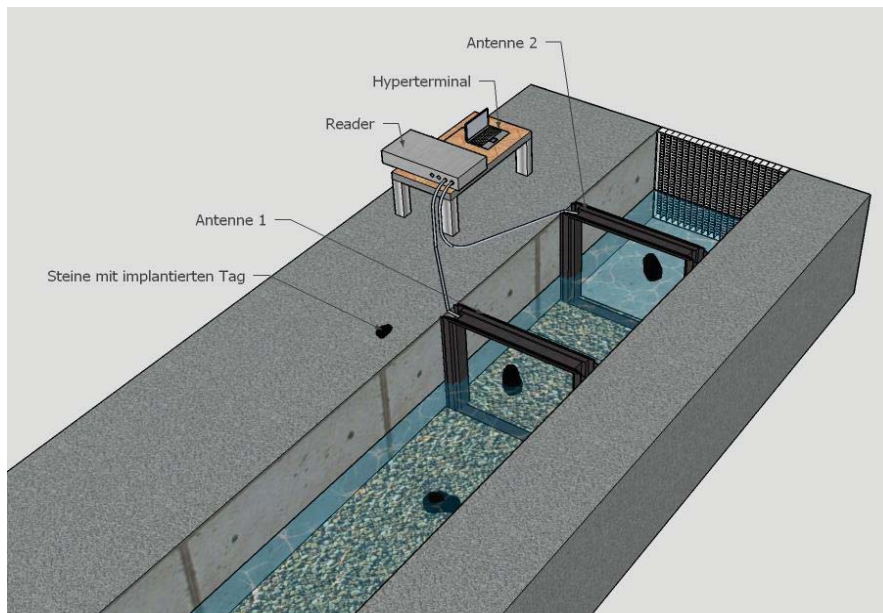


Abbildung C 2-1: Versuchsaufbau im Gerinne

Das Gerinne weist die Abmessungen von 78 cm Breite und 62 cm Höhe auf. Die quadratischen Außenmaße der Antenne betragen 78 x 78 cm (Abbildung C 2-3) und sind in einem Abstand von etwa 1 Meter montiert. Abbildung C 2-2 stellt die Steuereinheit (Reader mit Computer über serielle Schnittstelle verbunden) dar. Um die Rauigkeit zu erhöhen und damit naturnähere Bedingungen herzustellen, wurden Fertigelemente mit einem Rauigkeitsbeiwert von  $43 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  nach Strickler am Gerinneboden befestigt.



Abbildung C 2-2: Steuereinheit RFID



Abbildung C 2-3: Gerinne mit eingebauten Antennen

## C 2.2 Versuchsaufbau Freier Fall und PASS - THROUGH & PASS – BY

Die Abbildung C 2-4 stellt den Versuchsaufbau Freier Fall dar. Mit diesem Versuch wurde untersucht, welche Auswirkung die Geschwindigkeit auf die Detektionsrate hat.

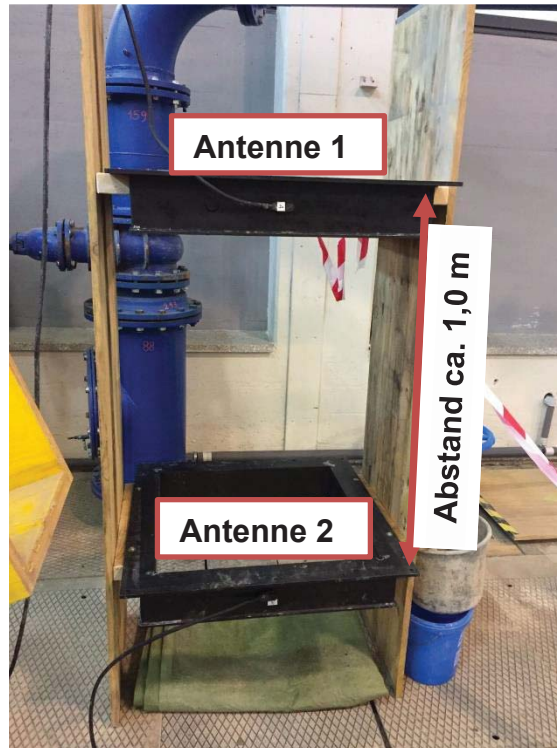


Abbildung C 2-4: Versuchsaufbau Freier Fall

Beim Versuch PASS – THROUGH & PASS – BY (Abbildung C 2-5) wurde die Rahmen – Antenne 1 orthogonal am Gerinne aufgebaut (PASS – THROUGH) und die Rahmen - Antenne 2 parallel an der Gerinnesohle (PASS – BY) befestigt.

Dieser Versuchsaufbau soll die zwei wesentlichen Antennentypen aus Kapitel C 1.2.2 darstellen. Alle Ergebnisse der Versuche sind Teil D zu entnehmen.

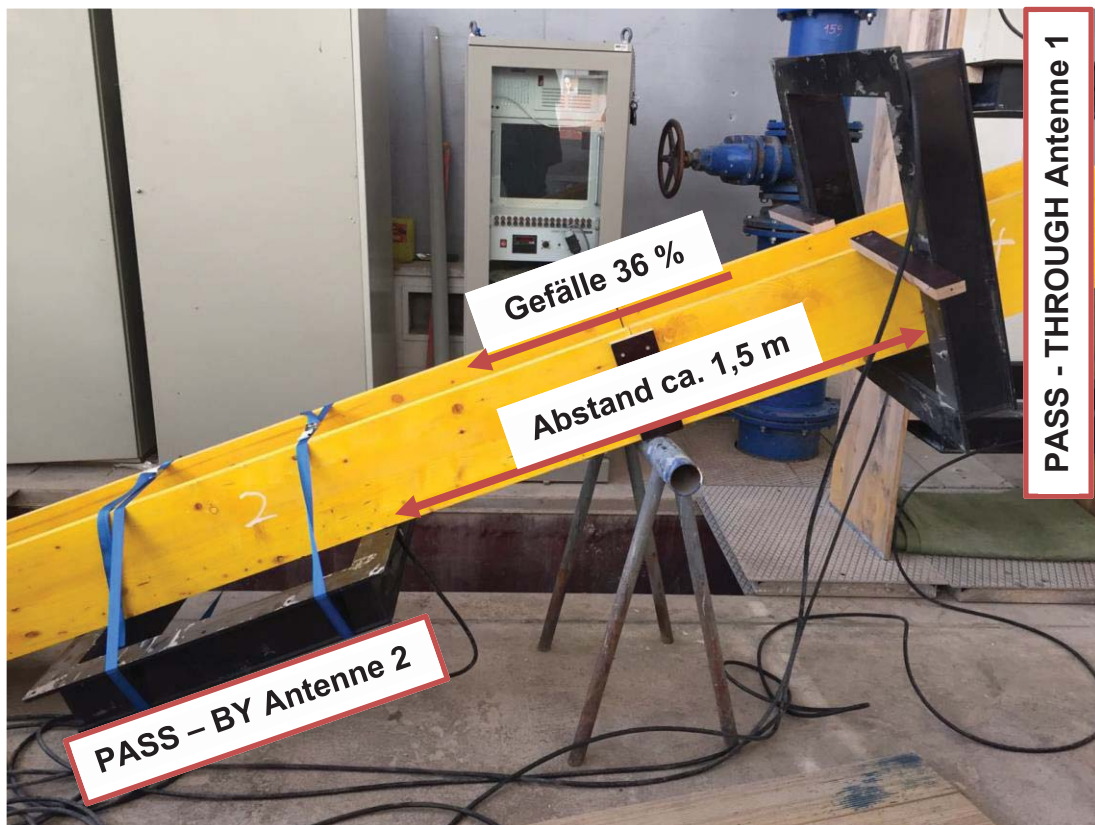


Abbildung C 2-5: Versuchsaufbau PASS – THOUGH & PASS – BY

### C 2.2.1 Identifizierung des PIT – Tags

Jeder PIT – Tag besitzt seinen eigenen Identifikationscode. Um diesen Code lesen bzw. übertragen zu können, benötigt man einen Pocket Reader. Die Bedienung des Pocket Readers (Abbildung C 2-7) funktioniert im Prinzip relativ einfach. Während die Taste gedrückt wird, muss der Mikrochip unter dem Scan – Bereich, der sich an der Rückseite des Readers befindet, gehalten werden (Abbildung C 2-6). Nach diesem Scan erscheint der individuelle Code des jeweiligen PIT – Tags am Bildschirm des Gerätes.

Der Code des PIT - *Tags* kann aber auch über einen Hyperterminal am Computer abgerufen werden. Die Herausforderung dabei ist die richtigen Kommunikationseigenschaften (Baud Rate, Data Bits, Parity, Stop bits und Flow Control) einzustellen.

Computer und Monitore, die in Betrieb sind, sowie Ketten oder andere metallische Dinge, können innerhalb von 3 Metern den Lesebereich des Scanners reduzieren. Es muss darauf geachtet werden, dass solche Gegenstände aus dem Bereich entfernt werden bis der Vorgang des Lesens der Mikrochips abgeschlossen ist.

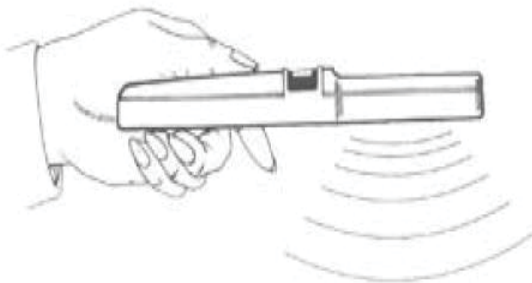


Abbildung C 2-6: Lesevorgang Pocket Reader

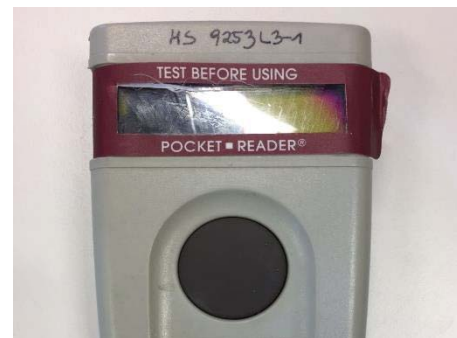


Abbildung C 2-7: Pocket Reader

### C 2.2.2 Kalibrierung der Einstellungen

Für die Durchführung der Versuche wurde die Freeware „*BioTerm*“ von der Firma *Biomark* verwendet. *BioTerm* ist ein einfaches Kommunikationsprogramm, das den Benutzer praktische Funktionen für Protokollierung der Daten von einem Lesegerät direkt an einen Computer ermöglicht.

Die ersten Versuche wurden im Trockenen durchgeführt, wo mittels Aufstellung einer Rahmen – Antenne versucht wurde, den Abstand für die Detektierung des *Tags* zu ermitteln. Nach mehreren Versuchen mit vorab eingestellten Parametern, konnte eruiert werden, dass keine regelmäßige Erfassung der *Tags* zustande kam. Der Reader wurde daraufhin zurückgesetzt und die Einstellungen neu variiert.



Abbildung C 2-8 zeigt den Ausschnitt aus dem Programm „BioTerm“ von den Einstellungen der Antennen. Zuerst wurde die Stromstärke (rot markiert), welche pulsierend – oder auch dynamisch genannt (blau markiert) eingestellt war, geändert. Diese Einstellung bedeutet, dass sich das Magnetfeld nicht mehr ändert und immer einen konstant Wert besitzt (DynTun OFF), ansonsten würde sich das Magnetfeld immer wieder pulsierend auf und abbauen (DynTun ON).

```
DynTun ON VTT OFF Lev 0 Tuned Ph 598  
AntZ Cap 0x0442 Ph 5 Slope 5.0 Cur 2.44A (286) Noi 15% Eff 0 Header 0  
Manual Tuning done!
```

Abbildung C 2-8: Ausschnitt BioTerm - Antenneneinstellungen

Nach diesen Änderungen wurde die Stromstärke auf ein Maximum erhöht und die nächsten Trockenversuche durchgeführt. Bei dieser Versuchsreihe wurde der *Tag* jedes Mal von der Antenne erkannt.

Die nächste Einstellung, die getroffen wurde, war den *unique mode* zu ändern. Ist dieser Modus aktiviert, werden die Ankündigung und Speicherfunktionen nur ausgeführt, wenn die aktuelle erkannte *Tag* - ID sich mit der vorherigen *Tag* – ID unterscheidet. Dieser Modus wurde deshalb gewählt, weil sich in der Natur das Geschiebe nicht wieder flussaufwärts bewegen kann.

Die Optimierung der Einstellungen führte schlussendlich dazu, dass die Ergebnisse nach einiger Zeit und einigen Trockenversuchen sehr zufriedenstellend waren. Bei den Nassversuchen wurde das Hauptaugenmerk daraufgelegt, ob die verwendeten Einstellungen der Trockenversuchen auch für die Nassversuche verwendet werden können, oder ob diese Einstellungen angepasst werden müssen. Hierbei zeigte sich, dass die Einstellungen sowohl für Trocken – als auch für Nassversuche geeignet sind.

Die *Tag* – ID wird direkt am LCD – Display am Reader (Abbildung C 2-9) (oder auch am Computer Bildschirm) angezeigt. Zuerst die Antennennummer (blau markiert), dann die Hersteller – ID gefolgt vom Universal Code (rot markiert).

Der Universal Code wird am Reader sowie wie im Software Programm als Hexadezimalzahl<sup>3</sup> dargestellt. Hingegen erscheint die ID im Pocket Reader in einer einfachen Zahlenkombination.

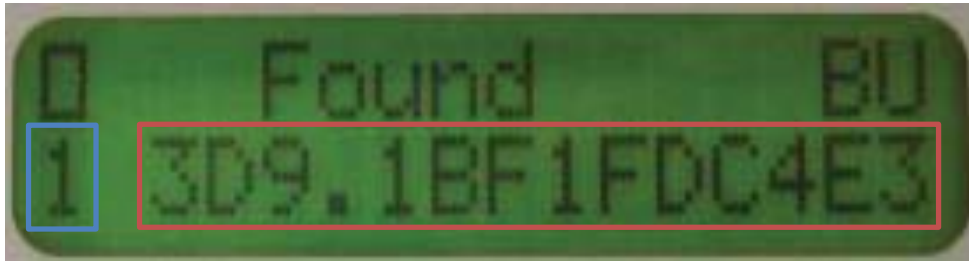


Abbildung C 2-9: Ausschnitt LCD - Display

### C 2.2.3 Darstellung des erfassten Tags

Um einen kurzen Überblick zu geben, wird in Abbildung C 2-10 die *Tag* Aufzeichnung in der Software BioTerm gezeigt. Wie auch in der Abbildung C 2-9 wird die Antennennummer, in diesem Fall 04 und 02 (blau markiert) und die *Tag* – ID (rot markiert) ersichtlich. Zusätzlich wird noch das Datum und die Uhrzeit aufgezeichnet (grün markiert).

Somit kann genau ermittelt werden, wann der markierte Stein die Antennen passiert.

```
FF> MESSAGE: Reader is in scan mode
FF 04 3D9.1C2D6C4D99 26-09-2016 09:50:32
FF 02 3D9.1C2D6C4D99 26-09-2016 09:50:41
```

Abbildung C 2-10: Ausschnitt BioTerm – *Tag* Aufzeichnung

Alle *Tag* – ID's werden in einem internen Speicher abgespeichert und können nachfolgend über einen sogenannten Buffer abgerufen bzw. heruntergeladen werden.

<sup>3</sup> Hexadezimalzahl: ist eine Zahlenkombination mit den Zahlen 0 – 9 und Ziffern A - F

### C 3. RFID – Einsatz in Wildbächen

Für die Beurteilung von Naturgefahren ist Sedimenttransport ein wichtiger Faktor. Durch die Komplexität der Systeme ist die Vorhersagbarkeit sehr eingeschränkt, dies ist vor allem bei Gebirgsflüssen der Fall. Mit sogenannten Tracing – Techniken werden die Untersuchungen von Sediment – und Geschiebetransport untersucht. Mit einem besseren Verständnis über die Gefahr „Hochwasser“ können diese Naturgefahr, Risiken und potenzielle Folgeschäden vermindert werden. Messungen bzw. Aufnahmen von Geschiebetransportraten sind eher selten. Zudem sind die Prozesse in alpinen Regionen schwer zu verstehen, somit ist die Vorhersage der Transportraten schwierig (Schneider, et al., 2010).

Für Untersuchungen des Sedimenttransports wurden Tracermethoden entwickelt. Diese Methoden können Daten mit hoher Qualität für die Modellentwicklung und Validierung liefern. Sie geben auch Informationen über die Flusstransportraten und Transportwege von Sedimenten (Schneider, et al., 2010).

#### C 3.1 RFID – Beispiel: Erlenbach

Eine genauere Beschreibung des Projektgebietes ist im Teil A zu entnehmen.

Bei den Feldversuchen wurden 298 markierte Steine in sechs Gewichtsklassen unterteilt. Die Gewichtsklassen liegen im Bereich von 50 – 1600 g. Nach dem ersten Hochwasserereignis wurden zusätzlich 127 markierte Steine eingefügt. Der Beobachtungszeitraum lief von 15.06.2009 bis 10.08.2009 und lieferte insgesamt acht Hochwasserereignisse (Schneider, et al., 2010).

Die Wiederfindungsrate der *mobile particle tracking* im Erlenbach lag bei 30 Prozent. Da diese Wiederfindungsrate laut Lamarre et al. (2005) nicht so hoch war mit vergleichbaren Studien wurde nach den Gründen geforscht.

Die Gründe dieser niedrigen Wiedergewinnungsrate könnte sein, dass (i) die markierten Steine häufig begraben oder in einer größeren Tiefe als der Erfassungsbereich der Antenne lagen, (ii) die Steine zu dicht beieinander abgelagert wurden, so dass einzelne Erfassung jedes Steins nicht möglich war, (iii) die Steine aus der Studie während der ersten zwei Hochwasserereignisse zu Beginn der Feldkampagne gespült wurden (Schneider, et al., 2010).

## Ergebnisse

Trotz der niedrigen Wiederfindungsrate können einige Ergebnisse noch dargestellt werden, insbesondere in Bezug auf die Partikelführung und Transportwege. Die kritische Shields Stress wird häufig verwendet, um die Einleitung der Bewegung für ein gleichmäßiges Schichtmaterial zu beschreiben. Die Mitnahme von fluvialen abgeschiedenen Steinen bei Hochwasserereignissen folgt eine zunehmende Funktion des kritischen Shields Stresses. Dies deutet daraufhin, dass kleinere Partikel leichter als größere Partikel mitgerissen werden. Unabhängig von den maximalen Abflüssen wurden fast alle manuell ausgesetzten Partikel von der Flut mitgezogen (Abbildung C 3-1) (Schneider, et al., 2010).

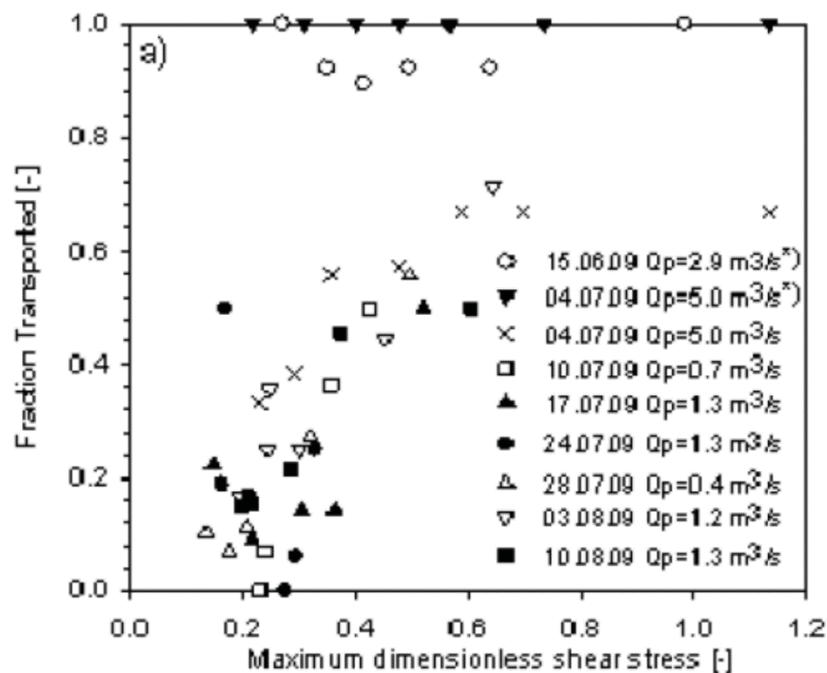


Abbildung C 3-1: Fraktion der transportierten Steine (Schneider, et al., 2010)

Die Transportwege der Partikel während der Hochwasserereignisse werden mit den gesamten transportierten Geschiebevolumen korreliert und sind in abhängig vom größten Abfluss (Abbildung C 3-2 und Abbildung C 3-3).

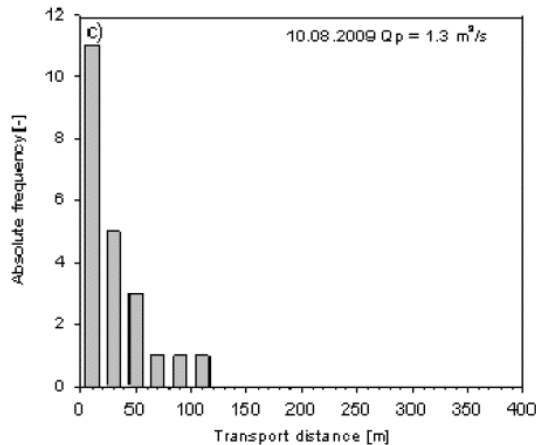


Abbildung C 3-2: Häufigkeitsverteilung der Transportstrecke von 10.08.2009 (Schneider, et al., 2010)

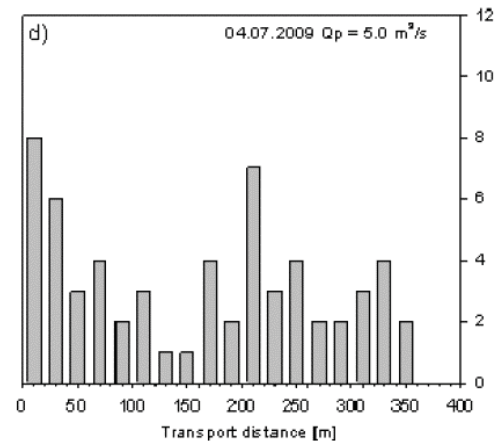


Abbildung C 3-3: Häufigkeitsverteilung der Transportstrecke von 04.07.2009 (Schneider, et al., 2010)

### C 3.2 RFID – Beispiel: Riedbach

Im Riedbach in der Schweiz (Matterhorn – Tal, Kanton Wallis) wurden die ersten Versuche einer stationären RFID – Antenne (Pass – by) im Sommer 2009 durchgeführt. Der Riedbach besitzt ein Einzugsgebiet von 18 km<sup>2</sup>. Die Steigung im Riedbach ist um ein vielfaches höher als im Erlenbach und beträgt ca. 40 Prozent. Das Abflussregime zeigt typische Spitzenabflüsse in den späten Nachmittag mit bis zu ca. 3 m<sup>3</sup>/s im Juli und August. Die stationäre Antenne war rechteckig ausgerichtet und besaß eine Strömungslänge von 0,6 m und eine Breite von 3,4 m. Die Antenne wurde hinter einem Tiroler Wehr eingebaut. Aufgrund der steilen Gradienten des Kanals und der lokalen Geometrie des Wehrs erreichte das Sediment sehr hohe Geschwindigkeiten und war oft weit von der Antenne entfernt (Schneider, et al., 2010).

Es wurden insgesamt 270 markierte Steine 40 m vor der Antenne eingefügt. In der einem monatigen Testphase sind 58 der 278 eingesetzten Kieselsteine unter der Wasseraufnahme gefunden worden und nur 23 wurden von der Antenne registriert. Die kleine Anzahl von Daten ermöglicht derzeit keine weitere Analyse (Schneider, et al., 2010).

Grund für die geringe Registrierungsrate könnte sein, (i) die sehr hohe Geschwindigkeit der transportieren Steine, (ii) die transportierten Kieselsteine aus dem Erfassungsbereich der Antenne fliegen, (iii) durch die Transponderorientierung (Schneider, et al., 2010).

## C 4. Farbtracersteine

Um den Geschiebetransport in einem Wildbach oder anderen Flüssen zu erfassen, gibt es mehrere Methoden. Einerseits mit Geschiebekörben wie in Teil A beschrieben und andererseits mit Tracersteinen.

Tracersteine sind aus dem Flussbett entnommene und farblich markierte Steine. Diese werden nach Markierung, wie Wägung, Abmessungen, Markierung mit leuchtenden Farben wieder im Flussbett ausgesetzt um das Transportgeschehen vom Geschiebe zu untersuchen.

Für den Geschiebetrieb spielt ein Hochwasserereignis mit hohen Abflüssen eine wichtige Rolle. Durch diese Ereignisse werden die Steine talabwärts transportiert, wodurch aufgrund der zurückgelegten Strecke nachvollzogen werden kann, wie weit ein Stein mit einer gewissen Masse transportiert wird. Mit den gesammelten Daten wird eine Beziehung zwischen dem Transportweg in Abhängigkeit mit der Masse des Steins und dem vorhandenen Abfluss dargestellt. Die Auswertung der Tracersteine erfolgt im Teil C dieser Arbeit.

### C 4.1 Herstellung der Farbtracersteine

Da in Wildbächen hohe Abrasionskräfte herrschen, war bei der Herstellung der Farbtracersteine mit besonderer Sorgfalt vorzugehen. Die Steine mussten so vorbereitet werden, dass sie den hohen Anforderungen des Wildbaches möglichst unbeschadet bestehen.

Bei der **Herstellung im Jahr 2013** wurden die Steine im ersten Schritt grundiert und getrocknet. Im Anschluss wurden sie mit verschiedenen Neonfarben markiert und nummeriert. Nach einem Jahr im Bachbett waren die Steine größtenteils abgeschliffen und konnten nur mehr durch deren bekanntes Gewicht bzw. deren Abmessungen wieder identifiziert werden (Barbas, 2014).

Bei **Herstellung im Jahr 2014** wurden die Farbtracersteine mit 2 Schichten Tiefgrundierung (Haftvermittler) lackiert. Anschließend folgten 2 Schichten Lack und 2 Schichten Multi Wax Transparent. Die Charakterisierung der Steine erfolgte über eine Nummerierung, Signalfarbe und Seitenlängen (Spreitzer, 2014).

### C 4.1.1 Herstellung 2016

Für die Herstellung wurden als erster Schritt dem natürlichen Gewässer Steine mit unterschiedlichen Gewicht nach Zufall entnommen und ins Labor der TU Graz transportiert.

Anschließend wurden die Steine im Labor gewaschen und mit einer Drahtbürste (Abbildung C 4-1) die letzten verwitterten Stellen der Steinoberfläche beseitigt, um eine gute Verbindung zwischen Lack und Stein herzustellen. Um die Steine vom letzten Feinstaub zu befreien, wurden sie mit Druckluft und Bremsenreiniger behandelt, dadurch erhält man reine Oberfläche (Abbildung C 4-2).

Nach diesen ersten Schritten folgte die Hauptarbeit, die Grundierung, die Markierung und Charakterisierung der Steine. Eine Multifunktionsgrundierung diente als Unterschicht (Abbildung C 4-3 & Abbildung C 4-4). Sie ist die Haftbrücke zwischen Steinoberfläche und Lackierung. Für die farbliche Markierung wurde ein neon - farbener Baumarkierungsspray verwendet. Die letzten zwei Schritte erfolgten nach der Trocknung, die Nummerierungen und das Abwiegen der Steine (Abbildung C 4-5). Zusätzlich können die Steine auch noch Abgemessen werden, um ihre Kornform zu bestimmen.



Abbildung C 4-1: Reinigung der Farbtracersteine mittels Drahtbürste



Abbildung C 4-2: Farbtracersteine nach Reinigung mittels Bremsenreiniger und Druckluft





Abbildung C 4-3:  
Multifunktionsgrundierung



Abbildung C 4-4: Zustand der Farbtracersteine nach  
der Grundierung



Abbildung C 4-5: Fertigstellung der Tracersteine

In der folgenden Tabelle C 4-1 werden alle hergestellten Farbtracersteine der vorliegenden Masterarbeit mit Nummerierung und Masse dargestellt.

Tabelle C 4-1: Charakterisierung der Farbtracersteine (Pink und Gelb)

Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]
1	Pink	6.55	1	Gelb	15.60
2	Pink	4.90	2	Gelb	5.95
3	Pink	1.75	3	Gelb	5.15
4	Pink	2.50	4	Gelb	8.90
5	Pink	1.40	5	Gelb	2.65
6	Pink	1.00	6	Gelb	2.50
7	Pink	2.95	7	Gelb	1.35
8	Pink	0.90	8	Gelb	2.40
9	Pink	0.45	9	Gelb	3.00
10	Pink	0.90	10	Gelb	0.80
11	Pink	0.70	11	Gelb	1.40
12	Pink	0.80	12	Gelb	1.35
13	Pink	0.40	13	Gelb	1.25
14	Pink	0.65	14	Gelb	2.20
15	Pink	0.20	15	Gelb	2.75
16	Pink	0.25	16	Gelb	2.25
17	Pink	4.50	17	Gelb	4.30
18	Pink	4.80	18	Gelb	1.65
19	Pink	0.95	19	Gelb	1.80
20	Pink	0.80	20	Gelb	3.60
21	Pink	8.15			
22	Pink	1.20			
23	Pink	0.80			
24	Pink	6.75			
25	Pink	7.10			

## C 5. Telemetriesteine

Zusätzlich zu den Farbtracersteinen (Kapitel C 4) wurden sogenannte Telemetriesteine hergestellt. Die Herstellung der Steine, der verwendete Handscanner sowie genutzte Sensoren werden in diesem Kapitel beschrieben.

### C 5.1 Herstellung Telemetriesteine

Telemetriesteine dienen zur Untersuchung des Geschiebetransports. Die Herstellung der Telemetriesteine erfolgt analog zu den Farbtracersteinen (siehe Kapitel C 4.1). Der einzige Unterschied besteht darin, dass in der Mitte des Steins ein ca. 8 Zentimeter tiefes Loch gebohrt wird, in welches der Sender platziert (Abbildung C 5-1) und mit Karosseriespachtelmasse verschlossen wird. (Abbildung C 5-3). Im Bohrloch wurde zum Schutz des Senders zusätzlich Schaumstoff eingearbeitet (Abbildung C 5-2).



Abbildung C 5-1: Telemetriestein mit Sensor



Abbildung C 5-2: Telemetriestein mit Schaumstoff



Abbildung C 5-3: Telemetriestein verschlossen mit Karosseriespachtelmasse

In der folgenden Tabelle C 5-1 werden alle im Rahmen dieser Masterarbeit hergestellten Telemetriesteine mit Frequenznummer und Masse dargestellt.

Tabelle C 5-1: Charakterisierung der Telemetriesteine (Grün)

Frequenznummer	Farbe	Masse [kg]
150.191	Grün	6.90
150.041	Grün	2.60
150.261	Grün	4.70
150.271	Grün	3.70
150.241	Grün	4.50
150.051	Grün	4.65
150.101	Grün	2.00
150.291	Grün	8.65

### C 5.1.1 Handscanner VR – 500 von YAESU

Um die ausgesetzten Telemetriesteine wieder zu finden wurde ein Handscanner von der Firma YAESU verwendet.

Barbas (2014) weist darauf hin, dass in einem Gebiet wie Oberwölz der Handscanner durch die steilen Talflanken nicht ideal funktioniert. Durch die Form des Tales bzw. des Wildbaches kommt es bei Schallausbreitungen zu starken Reflexionen, durch welche die exakte Wiederauffindbarkeit der Telemetriesteine nicht gewährleistet ist.

In der vorliegenden Arbeit wird die Methode nochmals angewandt, um allfällige Unklarheiten auszuschließen und zu testen, ob die Anwendbarkeit tatsächlich nicht gegeben ist.

Auch bei diesem System besitzt jeder Sender seine eigene Frequenz, die im Gerät eingespeichert und/oder manuell eingegeben werden kann.

### *C 5.1.2 Sender*

Die Sender haben eine Länge von ungefähr fünf Zentimeter und eine Breite von ca. 1 Zentimeter. Dadurch, dass die Sender schon längere Zeit im Einsatz waren mussten die Batterien getauscht und neu angelötet werden. Danach wurden sie mit einem Schrumpfschlauch versiegelt und somit wasserdicht und gegen Beschädigung geschützt.

## C 6. Durchflussmessung

Durchflussmessungen dienen dazu, eine Beziehung zwischen Abfluss und Wasserstandshöhe, bei einem bekannten Pegelprofil herzustellen. Des Weiteren wurde mit den ermittelten Daten eine Pegelkurve erstellt bzw. angepasst. Die Auswertung der Pegelkurve wird im Teil C dieser Arbeit erläutert.

Für die Durchflussmessung wurde eine elektromagnetische Messsonde herangezogen. Das erste magnetisch – induktive Durchfluss – Messgerät kam 1939 zum Einsatz, dass beim einem leitfähigen Metallstab mit einer gewissen Länge  $L$ , eine bestimmte Geschwindigkeit  $v$  durch ein Magnetfeld  $B$  bewegt wird. Durch diese Bewegung entsteht eine elektrische Spannung  $U$  von einigen Millivolt (Pertl, 2004).

$$U = B * L * v \text{ [H]} \quad (\text{C 6-1})$$

$U$  = induzierte Spannung

$B$  = Stärke Magnetfeld

$L$  = Länge des elektrischen Leiters, welche dem Elektrodenabstand entspricht

$v$  = Geschwindigkeit des Leiters, welche der Fließgeschwindigkeit entspricht

Wenn die Magnetfeldstärke  $B$  konstant ist, ist die Größe der induzierten Spannung  $U$  direkt proportional zur Durchflussgeschwindigkeit  $v$ . So kann bei einem bekannten Messquerschnitt  $A$  der Durchfluss  $Q$  errechnet werden (Pertl, 2004).

$$L \quad L : / \quad ; \quad \frac{7}{H} I \quad (\text{C 6-2})$$

## C 6.1 Messvorgang

Für diese Messung wurde ein magnetisch induktiver Sensor (Nautilus) der Firma OTT verwendet. Der Nautilus – Sensor wird auf einer Stange montiert und in Stromrichtung ausgerichtet (Abbildung C 6-1 & Abbildung C 6-2).



Abbildung C 6-1: Nautilus Messung



Abbildung C 6-2: Messung Schöttlbach

Die Fließgeschwindigkeit wird direkt am Ausgabegerät in m/s angezeigt. Diese Messsonde kann eine Fließgeschwindigkeit bis 2,5 m/s messen und die Messzeit ist von 0 bis 60 Sekunden variabel einstellbar.

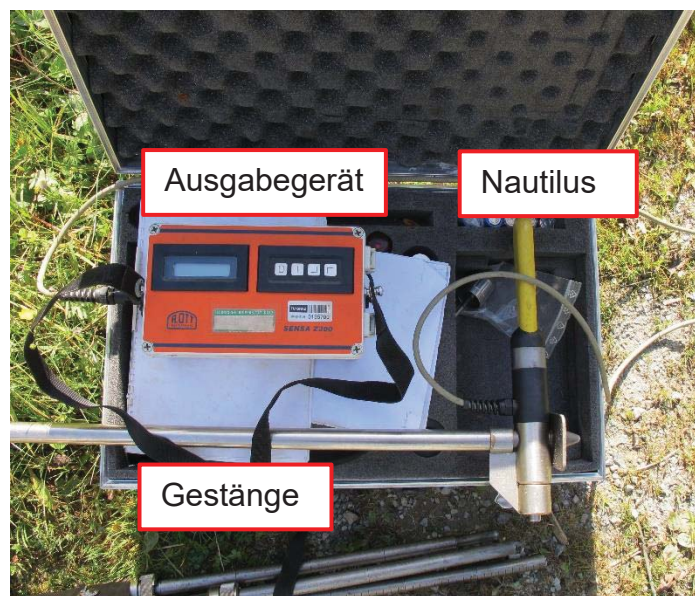


Abbildung C 6-3: Messausrüstung Nautilus

## C 6.2 Auswertung der Messung

Bei dieser Messung wurde der Fließquerschnitt nach Schweitzer eingeteilt. Es wird das entsprechende Messprofil in 24a unterteilt (Abbildung C 6-4) und danach in sieben Teilflächen aufgeteilt (a, 3a, 5a, 6a, 5a, 3a, a). Im Anschluss wird nach der vorgegebenen Lage der Messlotrechten die Abflussmessungen durchgeführt. Wie viele Messungen in der Lotrechten durchgeführt werden, können ist von der Wassertiefe und Flussbett abhängig. Am Ende werden die einzelnen Teilflächen aufsummiert und somit der Durchfluss in  $\text{m}^3/\text{s}$  berechnet (Knoblauch & Schneider, 2014).

Ein großer Vorteil dieses Messsystem ist, dass eine Durchführung mit brauchbaren Ergebnissen auch bei einem niedrigen Wasserstand möglich ist.

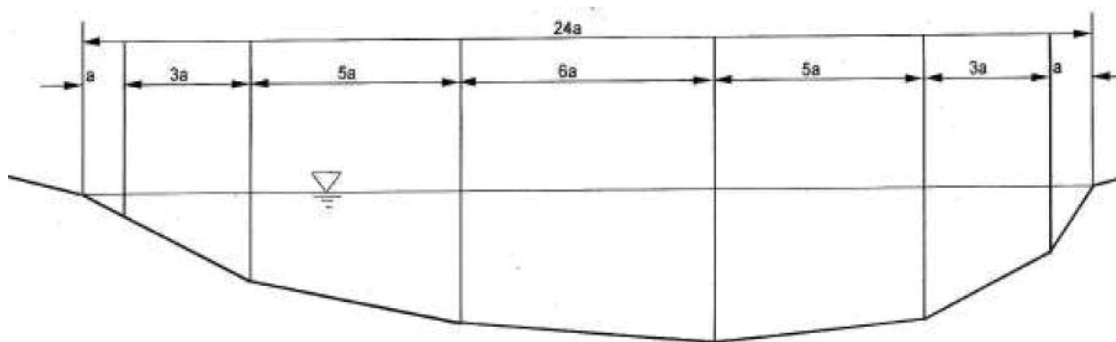


Abbildung C 6-4: Einteilung des Fließquerschnitts nach Schweitzer (Knoblauch & Schneider, 2014)



## Abbildungsverzeichnis Teil C

Abbildung C 1-1: Funktionsweise RFID .....	114
Abbildung C 1-2: Aufbau RFID – System.....	117
Abbildung C 1-3: RFID – Reader von der Firma Biomark .....	118
Abbildung C 1-4: Funktionsweise PASS - THROUGH Antenne.....	119
Abbildung C 1-5: Funktionsweise PASS – BY Antenne .....	119
Abbildung C 1-6: FLOATING Antenne fixiert.....	120
Abbildung C 1-7: FLOATING Antenne aufblasbar.....	120
Abbildung C 1-8: Funktionsweise CIRCULAR Antenne .....	120
Abbildung C: 1-9: CIRCULAR Antenne (Düker).....	120
Abbildung C 1-10: <i>Tag</i> Orientierung optimal .....	121
Abbildung C 1-11: <i>Tag</i> Orientierung nicht optimal.....	121
Abbildung C 1-12: Arten der PIT – <i>Tags</i> .....	122
Abbildung C 1-13: PIT – <i>Tag</i> „HPT 12“ .....	123
Abbildung C 1-14: Steine mit eingebauten <i>Tags</i> .....	123
Abbildung C 2-1: Versuchsaufbau im Gerinne .....	124
Abbildung C 2-2: Steuereinheit RFID .....	125
Abbildung C 2-3: Gerinne mit eingebauten Antennen .....	125
Abbildung C 2-4: Versuchsaufbau Freier Fall.....	126
Abbildung C 2-5: Versuchsaufbau PASS – THOUGH & PASS – BY .....	127
Abbildung C 2-6: Lesevorgang Pocket Reader .....	128
Abbildung C 2-7: Pocket Reader.....	128
Abbildung C 2-8: Ausschnitt BioTerm - Antenneneinstellungen .....	129
Abbildung C 2-9: Ausschnitt LCD - Display .....	130
Abbildung C 2-10: Ausschnitt BioTerm – <i>Tag</i> Aufzeichnung.....	130
Abbildung C 3-1: Fraktion der transportierten Steine .....	132

Abbildung C 3-2: Häufigkeitsverteilung der Transportstrecke von 10.08.2009	133
Abbildung C 3-3: Häufigkeitsverteilung der Transportstrecke von 04.07.2009	133
Abbildung C 4-1: Reinigung der Farbtracersteine mittels Drahtbürste .....	136
Abbildung C 4-2: Farbtracersteine nach Reinigung mittels Bremsenreiniger und Druckluft.....	136
Abbildung C 4-3: Multifunktionsgrundierung .....	137
Abbildung C 4-4: Zustand der Farbtracersteine nach der Grundierung.....	137
Abbildung C 4-5: Fertigstellung der Tracersteine .....	137
Abbildung C 5-1: Telemetriestein mit Sensor .....	139
Abbildung C 5-2: Telemetriestein mit Schaumstoff .....	140
Abbildung C 5-3: Telemetriestein verschlossen mit Karosseriespachtelmasse .....	140
Abbildung C 6-1: Nautilus Messung .....	143
Abbildung C 6-2: Messung Schöttlbach .....	143
Abbildung C 6-3: Messausrüstung Nautilus .....	143
Abbildung C 6-4: Einteilung des Fließquerschnitts nach Schweitzer.....	144

**Tabellenverzeichnis Teil C**

Tabelle C 4-1: Charakterisierung der Farbtracersteine (Pink und Gelb) ..... 138

Tabelle C 5-1: Charakterisierung der Telemetriesteine (Grün)..... 140

## Literaturverzeichnis Teil C

Barbas, T. (2014). *Untersuchung des Geschiebetransports in Wildbächen mittels Tracerverfahren*. Masterarbeit an der TU Graz.

Biomark, S. (2016). *Product Catalog*. Idaho.

BSI. (2004). *Risikien und Chancen des Einsatzes von RFID - Systemen*. SecuMedia.

Günther, W., & Schneider, O. (2008). *RFID - Einsatz in der Baubranche: Entwicklung eines RFID - Systems mit mobilen Gates auf Baustellen zur schnellen Identifikation und Verfolgung von Betriebsmittel zwischen Baustellen und Werken*. TU München.

Koblauch, H., & Schneider, J. (2014). *Fluss- und Sedimenthydraulik*. TU Graz.

Lamarre, H., MacVicar, B., & Roy, A. (2005). *Using Passive Integrated Transponder (PIT) Tags to Investigate Sediment Transport in Gravel - Bed Rivers*. Journal of Sedimentary Research.

Oregon, R. (2009). *Installation Guide*. Oregon.

Pertl, A. (2004). *Vergleich von Methoden und Messgeräten für die Durchflussmessungen an Oberflächengewässern*. Graz.

Rickenmann, D., & McArdell, B. (2007). *Continuous measurement of sediment transport in the Erlenbach stream using piezoelectric bedload impact sensors*. Earth Surface Processes and Landforms.

Schneider, J., Hegglin, R., Meier, S., Turowski, J., Nitsche, M., & Rickenmann, D. (2010). *Studying sediment transport in mountain rivers by mobile stationary RFID antennas*. Switzerland.

Spreitzer, G. (2014). *Untersuchung des Sedimenttransports sowie des Abflussverhaltens von Wildbächen in einem alpinen Einzugsgebiet mittels Feldmessungen*. Masterarbeit an der TU Graz.

TAGnology, I. (2003). <http://www.tagnology.com/>. Abgerufen am 20. September 2016 von <http://www.tagnology.com/rfid/was-ist-rfid.html>

## **Teil D**

# **Auswertung und Analyse der Messergebnisse**

Bernhard Langer, BSc | Alexander Stoißer, BSc

## D 1. Pegelstandmessungen

Für die Erhebung der Fließgeschwindigkeit, des Wasserstands und andere wichtige Daten, werden an verschiedenen Standorten Abflussmessstationen angebracht (siehe Allgemeine Projektgebietsbeschreibung).

Um lückenlose Messreihen des Abflusses in verschiedenen Wildbächen ermitteln zu können, sollten Querprofile verwendet werden, die eine trapezförmige Form besitzen.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass die Pegelstände von 2012 bis 2014 mit einem anderen Tabellenkalkulationsprogramm erstellt wurden, als in den Jahren 2015 und 2016.

### D 1.1 Pegelstand über die Zeit - Schöttlkapelle

Die Abbildung D 1-1 bis Abbildung D 1-5 zeigen den Pegelstand am Schöttlbach von 2012 bis 2016.

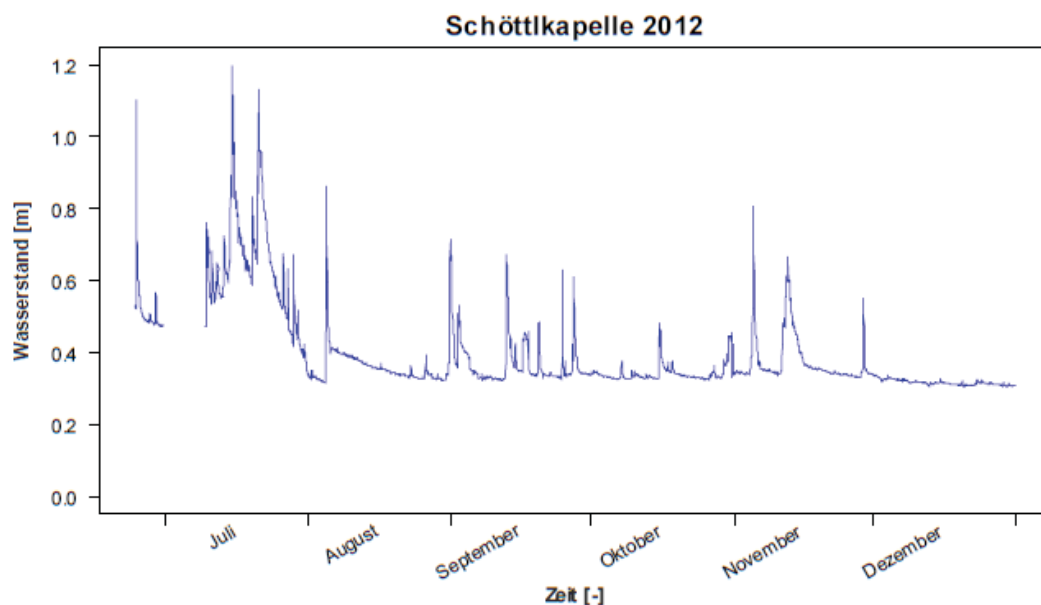


Abbildung D 1-1: Pegelstand Schöttlkapelle 2012 (Barbas, 2014)

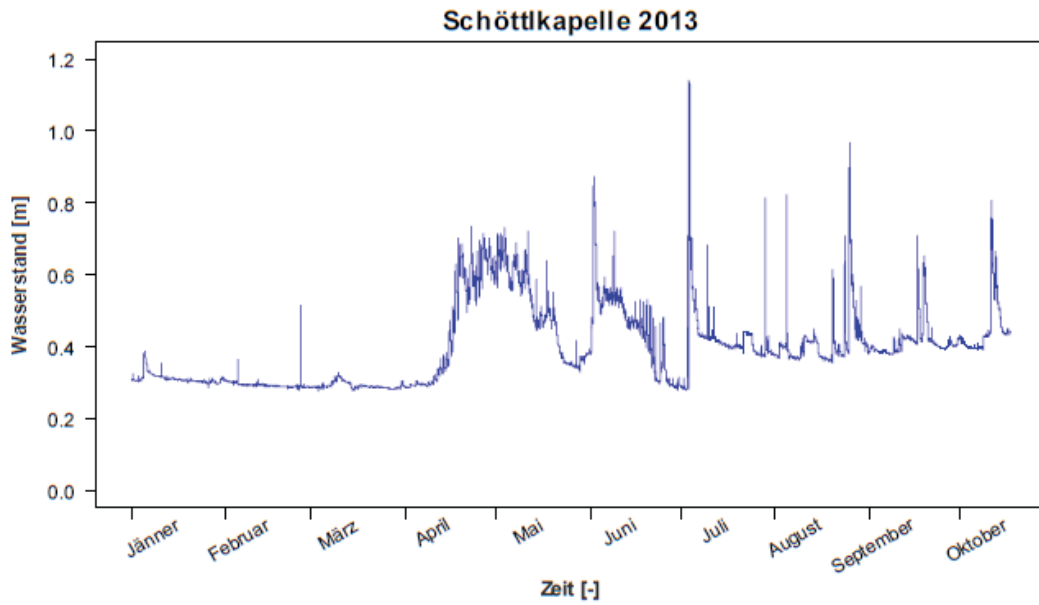


Abbildung D 1-2: Pegelstand Schöttlkapelle 2013 (Barbas, 2014)

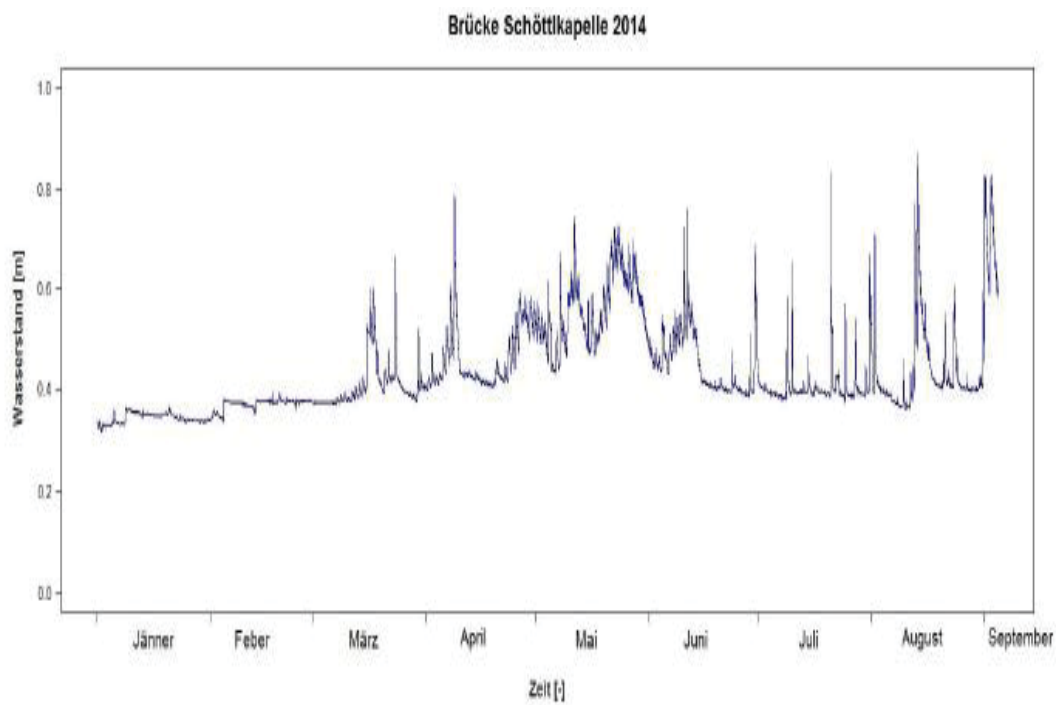


Abbildung D 1-3: Pegelstand Schöttlkapelle 2014 (Spreitzer, 2014)



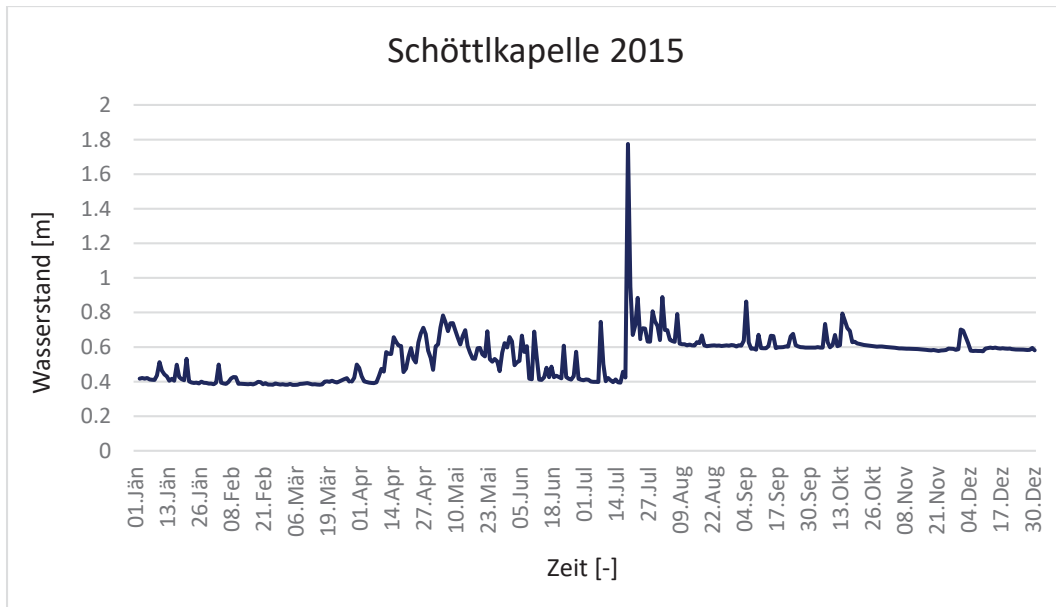


Abbildung D 1-4: Pegelstand Schöttlkapelle 2015

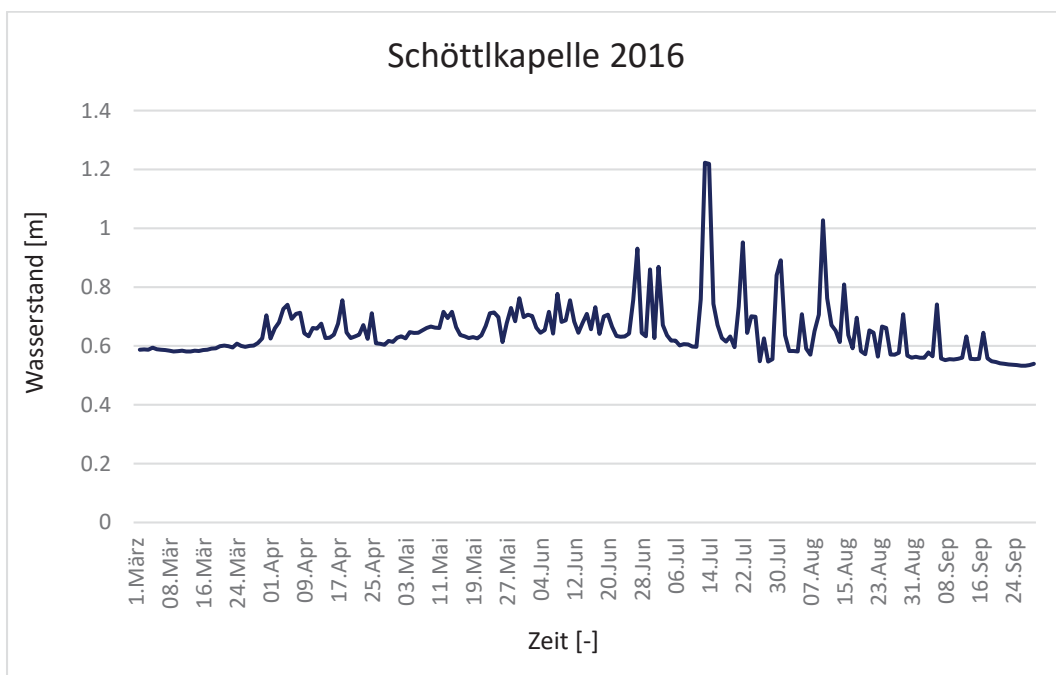


Abbildung D 1-5: Pegelstand Schöttlkapelle 2016

Abbildung D 1-4 stellt den höchsten Pegelstand in den letzten 4 Jahren von 1,78 Metern am 19.07.2015 um 20:50 Uhr dar. Der Pegelstand stieg innerhalb von 2 Stunden um 1,37 Meter an. Nachdem sich der Höchststand wieder verringert hatte stellte sich ein Pegelstand von ca. 1 Meter über mehrere Stunden ein.

Die höchsten Wasserstände im Jahr 2012 (Abbildung D 1-1) und 2013 (Abbildung D 1-2) traten im Monat Juli mit einem ungefähren Pegelstand von 1,2 Metern auf.

Der niedrigste Höchststand der Pegel wurde in den letzten 4 Jahren im Jahr 2014 aufgezeichnet. Auf Abbildung D 1-3 ist zu sehen, dass der Pegelstand bei 0,84 Metern im August lag.

Laut Abbildung D 1-4 gab es nach einem Hochwasserereignis im Juli 2015 eine Verschiebung des Basisabflusses von 0,4 auf 0,6 Meter.

Im Betrachtungszeitraum dieser Arbeit war der höchste Wasserstand am 13.7.2016 um 23:55 Uhr mit einem Pegelstand von 1,223 Meter zu beobachten (Abbildung D 1-5).

Vergleicht man die Pegelstände vom Schöttlbach (Abbildung D 1-5) und dem Krumeggerbach (Abbildung D 1-10) aus dem Jahr 2016, so ist zu sehen, dass der höchste Pegel am Schöttlbach im Juli und beim Krumeggerbach im August aufgetreten ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Einzugsgebiete eine unterschiedliche Größe haben (Schöttlbach 70 km<sup>2</sup>, Krumeggerbach 16 km<sup>2</sup>).

## D 1.2 Pegelstand über die Zeit - Krumeggerbach

Die Abbildung D 1-6 bis Abbildung D 1-10 zeigen den Pegelstand am Krumeggerbach von 2012 bis 2016.

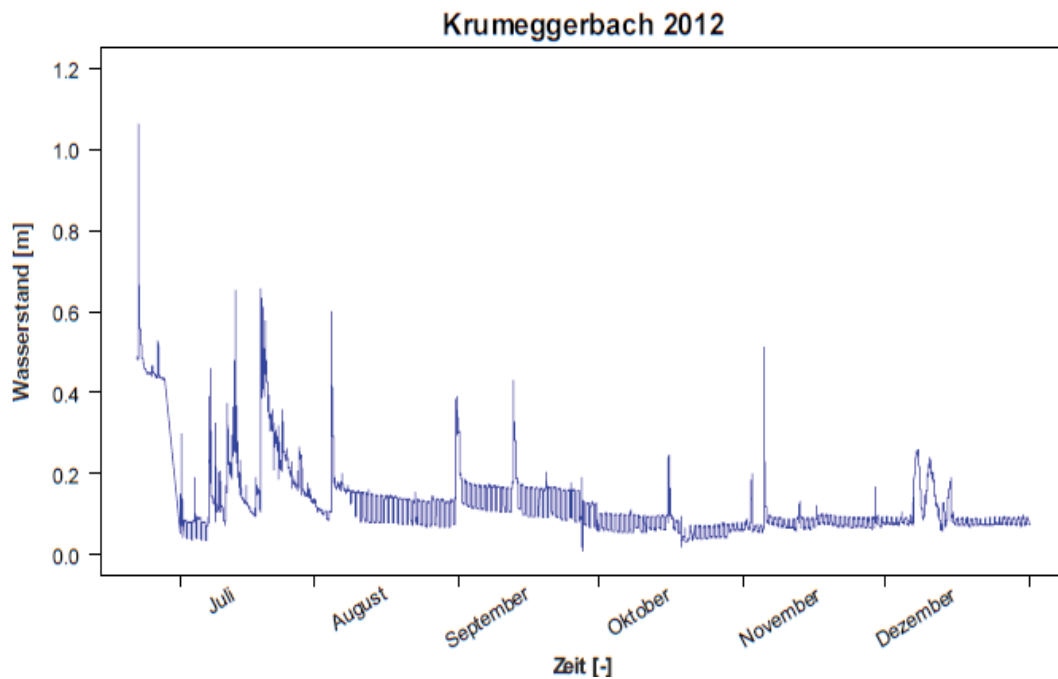


Abbildung D 1-6: Pegelstand Krumeggerbach 2012 (Barbas, 2014)

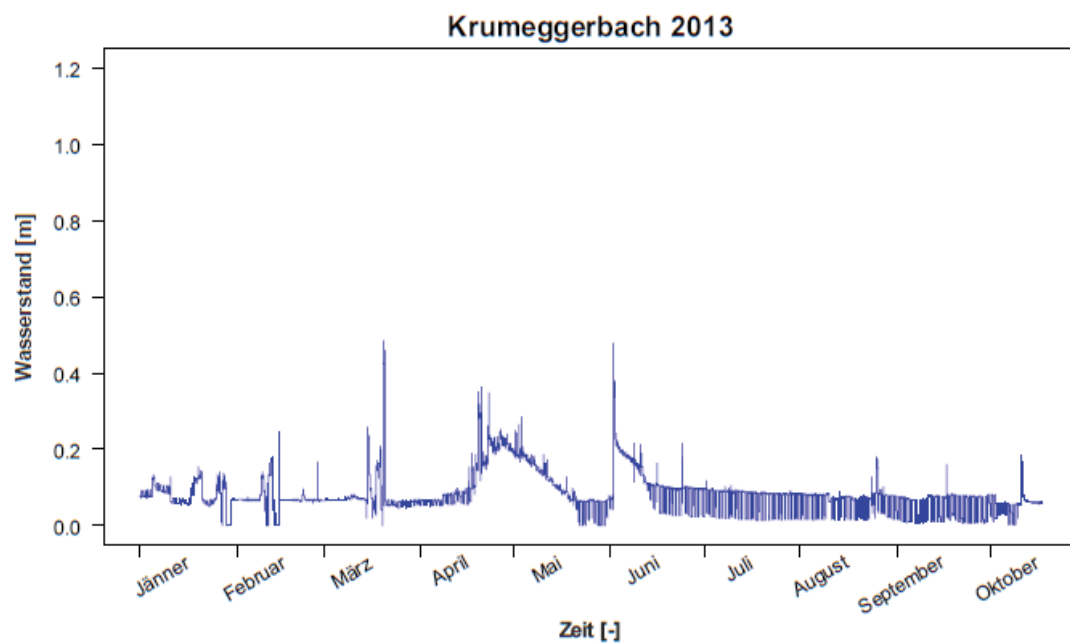


Abbildung D 1-7: Pegelstand Krumeggerbach 2013 (Barbas, 2014)

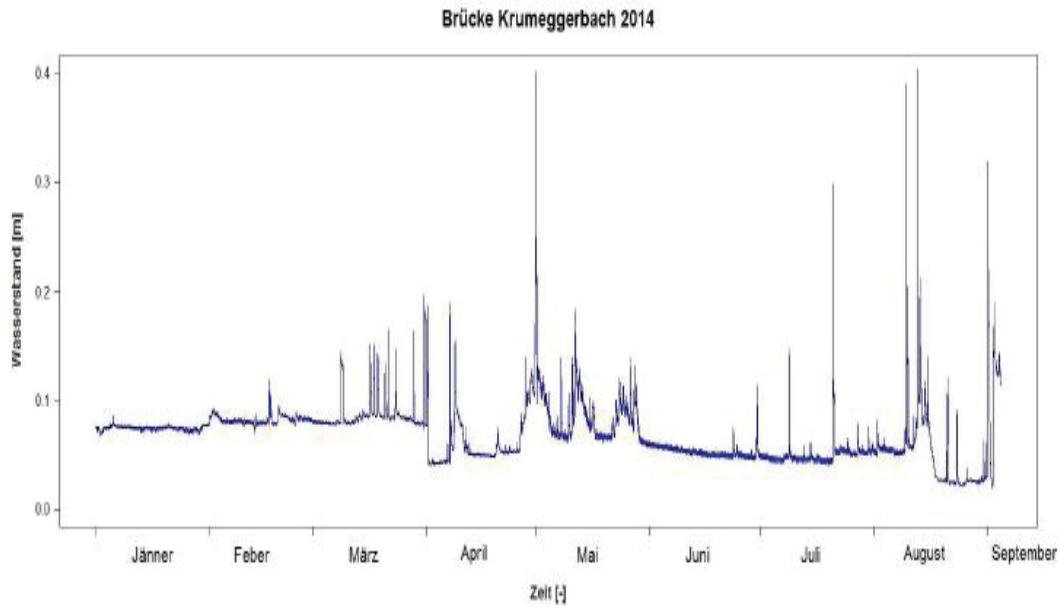


Abbildung D 1-8: Pegelstand Krumeggerbach 2014 (Spreitzer, 2014)

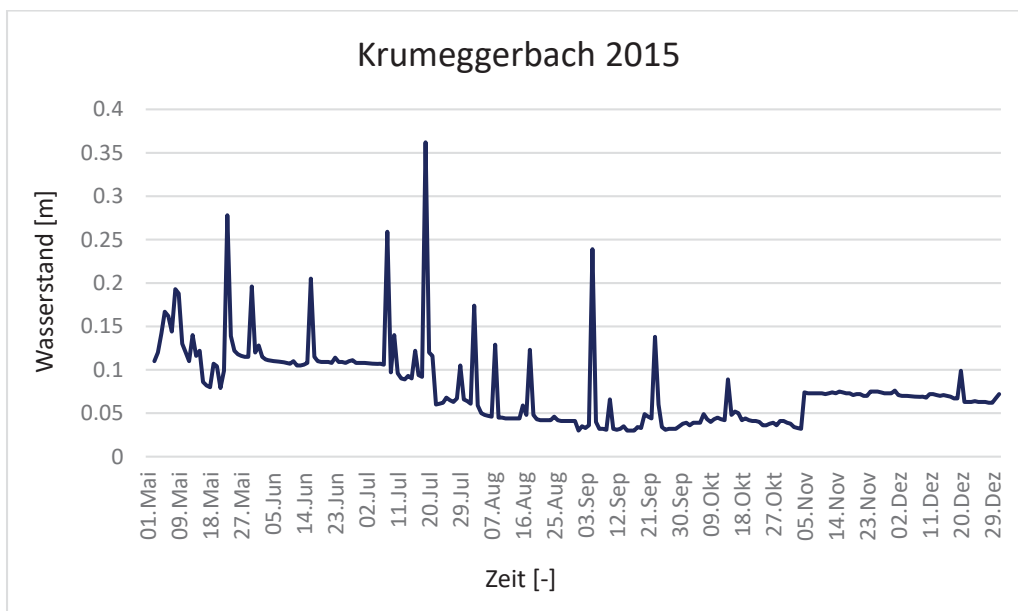


Abbildung D 1-9: Pegelstand Krumeggerbach 2015

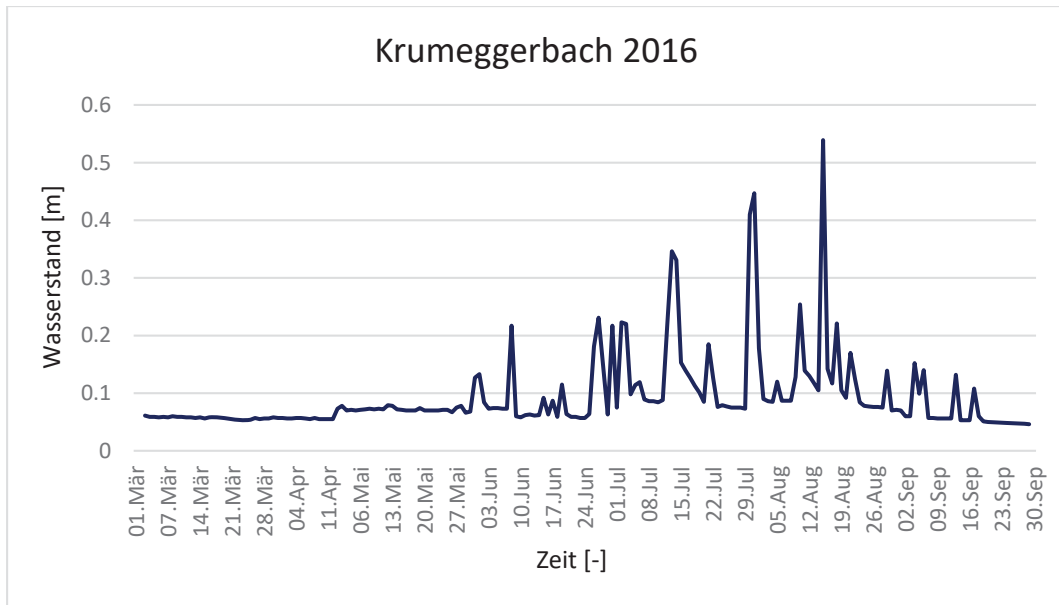


Abbildung D 1-10: Pegelstand Krumeggerbach 2016

Die Wasserstandshöhen am Krumeggerbach erreichten in den letzten 4 Jahren ihren Höchststand im Jahr 2012 (Abbildung D 1-6) und der Wert betrug 1,061 Meter um 13 Uhr. Weitere größere Ausschläge gab es am 15.07.2012 mit 0,653 Metern, am 21.07.2012 mit 0,632 Metern, am 04.08.2012 mit 0,599 Metern und am 5.11.2012 mit 0,512 Metern.

Im Jahr 2013 (Abbildung D 1-7) gab es zwei größere Ausschläge. Am 20.03.2013 und 02.06.2013 wurden Wasserstandshöhen von 0,486 Meter bzw. 0,477 Metern gemessen.

Die Pegelstandskurve im Jahr 2014 (Abbildung D 1-8) weist Ende April und Mitte Juli einen höheren Wasserstand auf. Nach einem Regenereignis stieg der Wasserspiegel auch im August auf 0,412 Meter.

Im Sommer 2015 (Abbildung D 1-9) herrschten eher ruhige Verhältnisse am Krumeggerbach. Der größte Pegelstand weist eine Höhe von 0,362 Meter am 19. Juli 2015 auf.

Die Abbildung D 1-10 stellt den Pegelstand im Zeitraum März bis Ende September 2016 dar. Dies ist jener Zeitraum, in der die Untersuchungen für dieses Projekt durchgeführt wurden.

Der höchst gemessene Wasserstand datiert auf den 15.08.2016 um 12:35 Uhr und betrug 0,539 Metern.

In den Monaten Juni bis August wurden im betrachteten Zeitraum (März 2016 bis Ende September 2016) die größten Abflüsse beobachtet.

## **D 2. Pegelschlüssel**

Um an einem Gewässerquerschnitt den Durchfluss zu ermitteln, benötigt man eine möglichst kontinuierliche Wasserstandsaufzeichnung an einem fixen Punkt des Messquerschnitts. Mit einer Wasserstand – Durchflussbeziehung kann der Durchflusswert einfach ermittelt werden. Dieser Wert gilt für den jeweiligen Querschnitt und beschreibt die hydraulische Situation. Die graphische Darstellung der Wasserstand – Durchflussbeziehung wird als Pegel - oder Schlüsselkurve bezeichnet. Die Pegelkurve kann hydraulisch berechnet werden, wobei dazu ein größerer Aufwand betrieben werden muss. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Pegelkurven mittels Durchflussmessungen (Nautilusmessungen) ermittelt bzw. kalibriert. Aufgrund selten auftretender Hochwasserabflüsse fehlen demnach hohe Durchflussmesswerte, weswegen die Pegelkurve extrapoliert wird (Lebensministerium, 2011).

Für das Ermitteln der Pegelkurven wurde für diese Arbeit das Open Source Programm Bed - Load Analyzer, welches am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Graz entwickelt wurde, verwendet. Dabei wird vereinfacht angenommen, dass es sich um einen gleichförmigen Abfluss handelt. Somit wird das Reibungsgefälle gleichgesetzt mit dem Sohlgefälle. Das entspricht jedoch nicht den tatsächlichen Gegebenheiten während eines Hochwasserereignisses und daher sind die Ergebnisse auch mit einer Ungenauigkeit behaftet.

### **D 2.1 Pegelkurve Schöttlkapelle**

Die nachfolgende Abbildung D 2-1 zeigt das schematische Querschnittsprofil des Schöttlbachs, welches im Bed – Load Analyzer erstellt wurde.

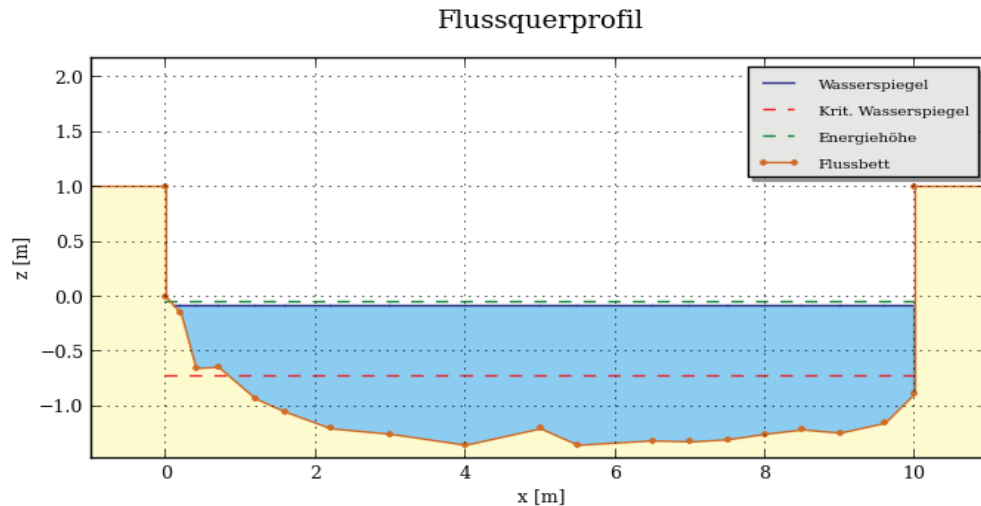


Abbildung D 2-1: Querprofil im Bed - Load Analyzer an der Schöttlkapelle (Abfluss  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Mit den erforderlichen Eingaben, wie Abfluss, Gefälle, Stricklerbeiwert, Kornverteilung und der Geometrie des Querschnitts, wird die Pegelkurve im Bed – Load Analyzer erstellt. Die Pegelkurve (Abbildung D 2-2) wurde mit den Nautilusmessungen aus dem Jahr 2014 und 2016 kalibriert. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass im Jahr 2014 mehrere Nautilusmessungen durchgeführt wurden, aber es wurden nur jene mit einer guten Korrelation verwendet (Spreitzer, 2014).

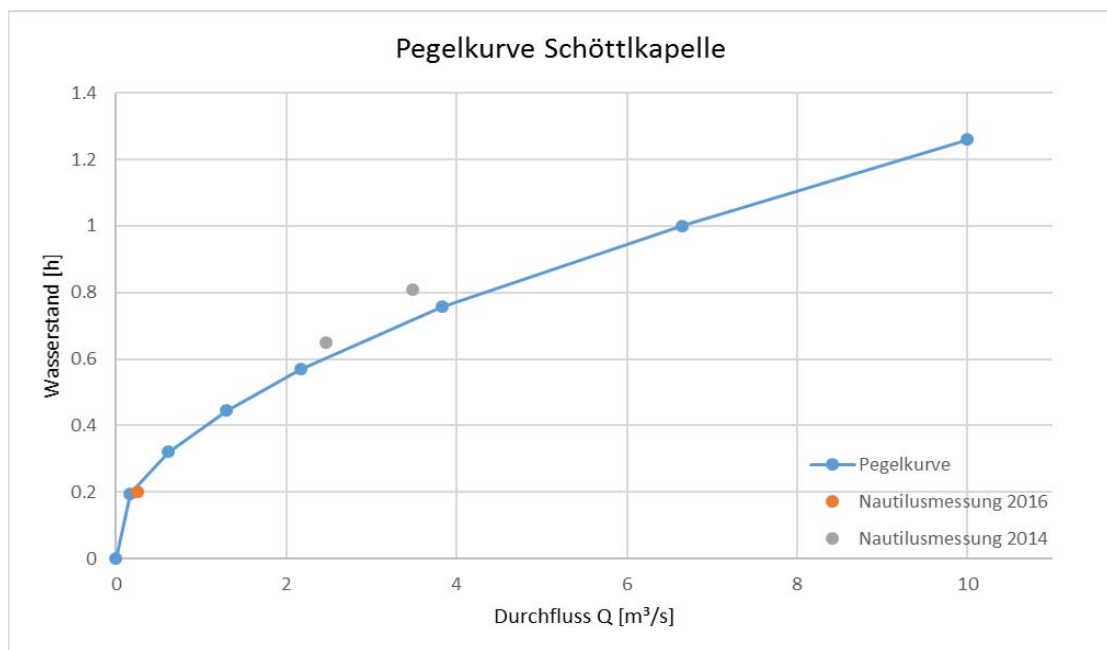


Abbildung D 2-2: Darstellung der Pegelkurve an der Schöttlkapelle



Die Abweichung der Nautilusmessungen aus dem Jahr 2014 sind darauf zurückzuführen, dass die Kalibrierungsmessung im Jahr 2016 bei niedrigem Wasserstand durchgeführt wurde.

Daraus folgt die potentielle Funktion (Formel D 2-1) der Pegelkurve mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0.995$ :

$$Q = 6,845 \times h^{2,4872} \quad (D\ 2-1)$$

## D 2.2 Pegelkurve Hintereggertor und Krumeggerbach

Die Pegelkurve für das Hintereggertor und den Krumeggerbach wurde aus der Masterarbeit Spreitzer (2014) entnommen. Die aus dieser Arbeit entnommenen Kurven wurden ebenfalls mit dem Bed - Load Analyzer erstellt.

### Pegelkurve Hintereggertor

Mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0.9499$  folgt die Potenzfunktion (Formel D 2-2) mit:

$$Q = 11,1138 \times h^{2,3104} \quad (D 2-2)$$

### Pegelkurve Krumeggerbach

Die potentielle Funktion (Formel D 2-3) mit einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,9377$  ergibt sich zu:

$$Q = 21,014 \times h^{1,8396} \quad (D 2-3)$$

## **D 3. Durchflussmengen**

Mit den erstellten Pegelkurven (Kapitel D 2) und den dazugehörigen Pegelständen (Kapitel D 1) werden in diesem Kapitel die Durchflussmengen für das Jahr 2016 erstellt.

Die Durchflussmengen aus den Jahren 2012 bis 2015 sind im Anhang beigefügt.

### **D 3.1 Durchfluss über die Zeit – Schöttlkapelle und Krumeggerbach**

In der nachfolgenden Abbildung D 3-1 und Abbildung D 3-2 wird die Durchflussmenge des Schöttlbachs und des Krumeggerbachs über die Zeit dargestellt.

Abbildung D 3-1 zeigt, dass der höchste Abfluss am Schöttlbach bei  $11.30 \text{ m}^3/\text{s}$  am 13.07.2016 um 23:55 Uhr lag.

Am Krumeggerbach stellte sich dagegen der höchste Abfluss von  $6.74 \text{ m}^3/\text{s}$  am 15.08.2016 um 12:55 Uhr ein (Abbildung D 3-2).

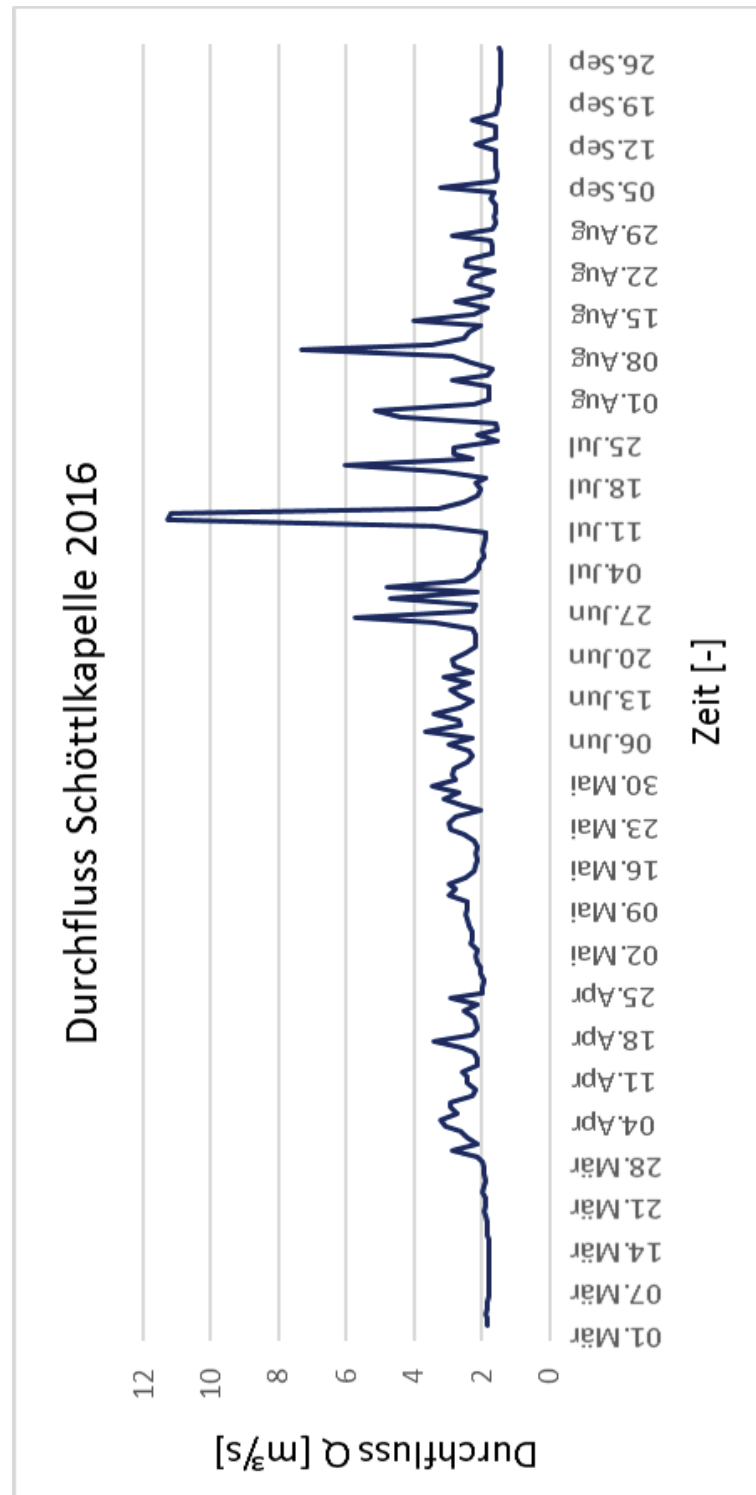


Abbildung D 3-1: Durchfluss Schöttlikapelle 2016

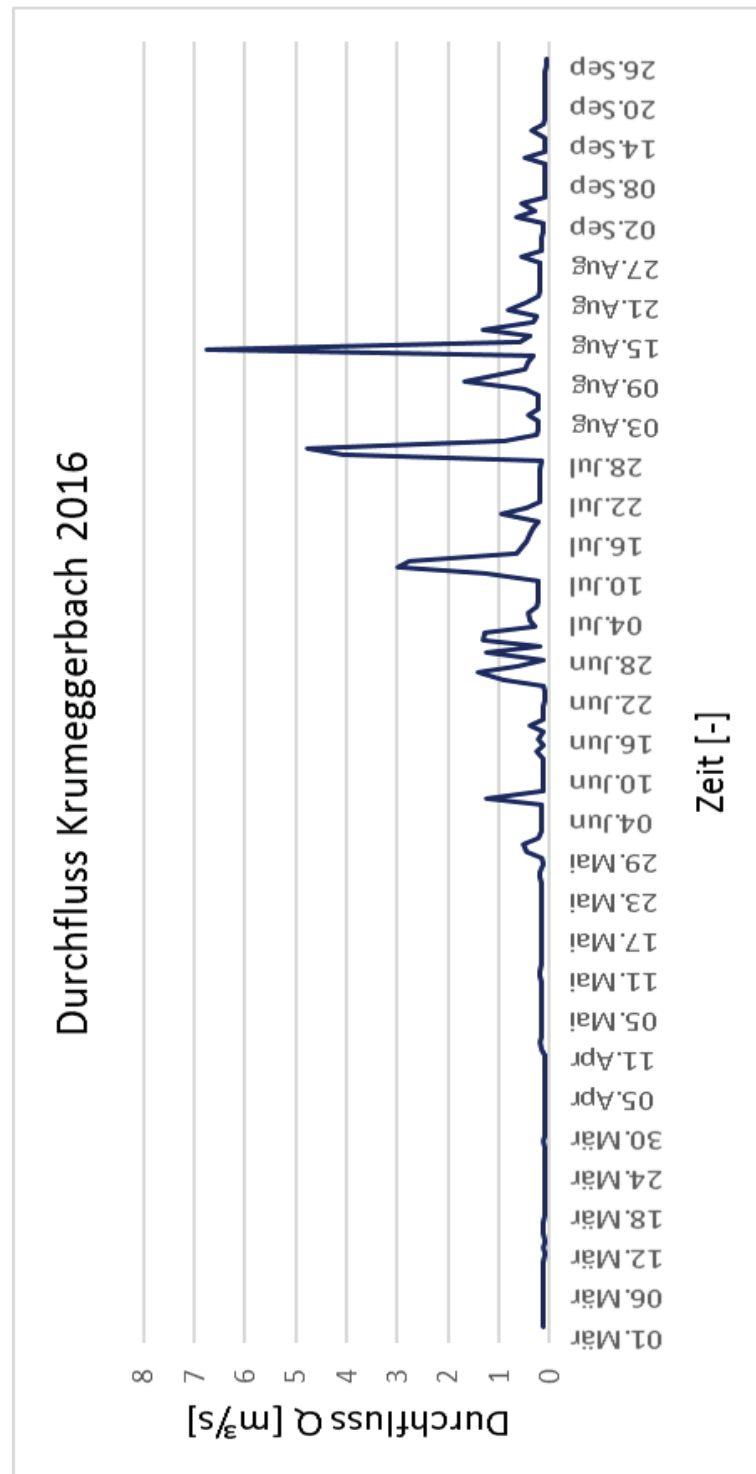


Abbildung D 3-2: Durchfluss Krumegegerbach 2016

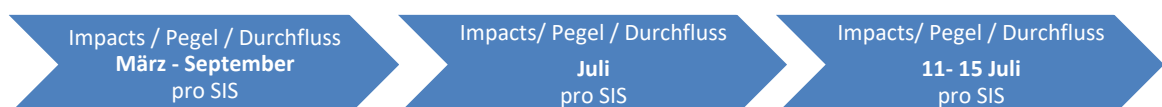
## D 4. Sediment Impact Sensoren SIS

Der Betrachtungszeitraum dieser Arbeit beschränkt sich auf die Monate März bis September 2016, da in diesem Zeitraum bei den Standorten Schöttlkapelle, Salchauerbach und Krumegegerbach kontinuierlich Messdaten generiert werden konnten. Bei den Messstandorten WLV- Sperre und Schmiedbognerbach konnten aufgrund technischer Probleme keine verwertbaren Messdaten gesammelt werden.

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Sediment-Impact- Sensor- Daten den vorhandenen Pegelmessungen gegenübergestellt und verglichen. Dabei ist anzumerken, dass sämtliche Rohdaten hinsichtlich der Zeitstempel händisch korrigiert wurden (eine detaillierte Beschreibung kann Teil B entnommen werden). Aus diesem Grund können die nachfolgenden Visualisierungen der Abflussdaten in Kombination mit den SIS- Impacts zeitliche Abweichungen von +/- einer Stunde aufweisen.

Des Weiteren wird am Beispiel der Schöttlkapelle eine Auswertung der vorhandenen Daten hinsichtlich der Geschiebemenge durchgeführt, da an diesem Standort drei Geschiebekörbe verbaut wurden. Die entnommenen Proben wurden im Labor auf deren Zusammensetzung analysiert und sind dem Anhang zu entnehmen.

Um die Messergebnisse besser miteinander vergleichen zu können, wird nachfolgende Unterkapitelstruktur angewandt. Dabei ist zu beachten, dass am **30. März, 27. Mai, 8. Juli, 20 Juli, 5. August, 11. August sowie am 29. September** Funktionstests bei den SIS vorgenommen wurden. Aus diesem Grund gibt es an diesen Tagen erhöhte SIS- Werte!



## D 4.1 Ergebnisse Schöttlbach

Die Messstation am Schöttlbach umfasst 5 Sensoren, nachfolgend werden aber nur Sensor 1, Sensor 3 und Sensor 4 näher betrachtet, da bei diesen Kalibriermessungen mit Geschiebekörben durchgeführt worden sind. Die Ergebnisse der Sensoren 2 und 5 können dem Anhang entnommen werden.

### D 4.1.1 SIS Sensor 1

Die Tagessummen des ersten Sensors S1 (orografisch linkes Ufer) inklusive der dazugehörigen Pegelstände im Zeitraum von März bis September sind in Abbildung D 4-1 und Abbildung D 4-2 dargestellt. Im gesamten Betrachtungszeitraum ist erkennbar, dass der höchste Abfluss mit über  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  am 13 Juli stattgefunden hat. In den Monaten März bis Mitte Juni, sowie Mitte August bis Ende September kam es zu keinen signifikanten Änderungen des Wasserstandes bzw. des Durchflusses. Dies spiegelt sich auch in den aufgezeichneten Impacts des Sensors wieder. Die rot gekennzeichneten Impactintensitäten lassen sich auf die durchgeführten Funktionstests der Sensoren zurückführen und dürfen vernachlässigt werden. Da diese Tests bei jedem Sensor durchgeführt worden sind, wird auf diese Impacts bei den Sensoren S3 und S5 nicht näher eingegangen.

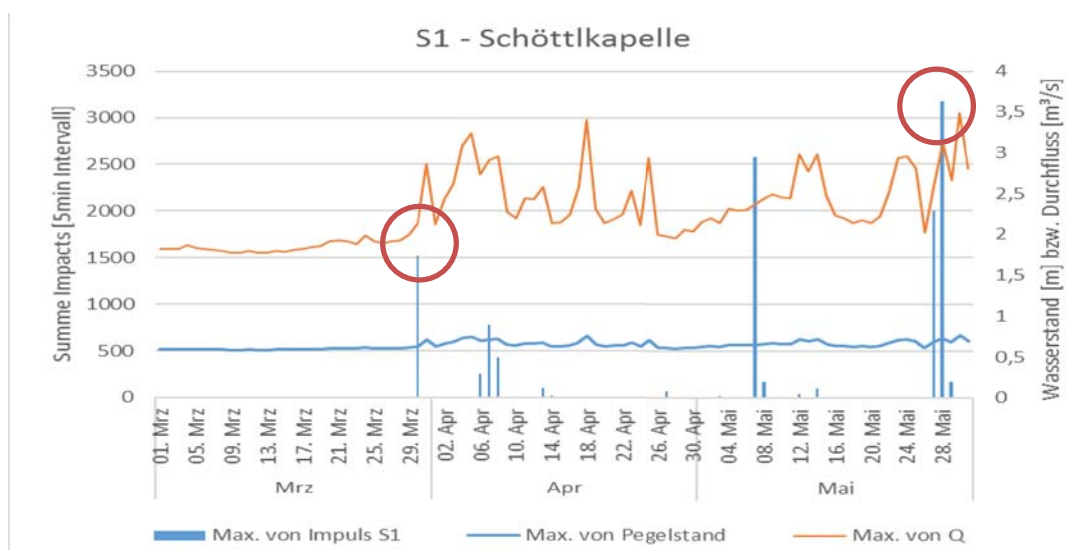


Abbildung D 4-1: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016)

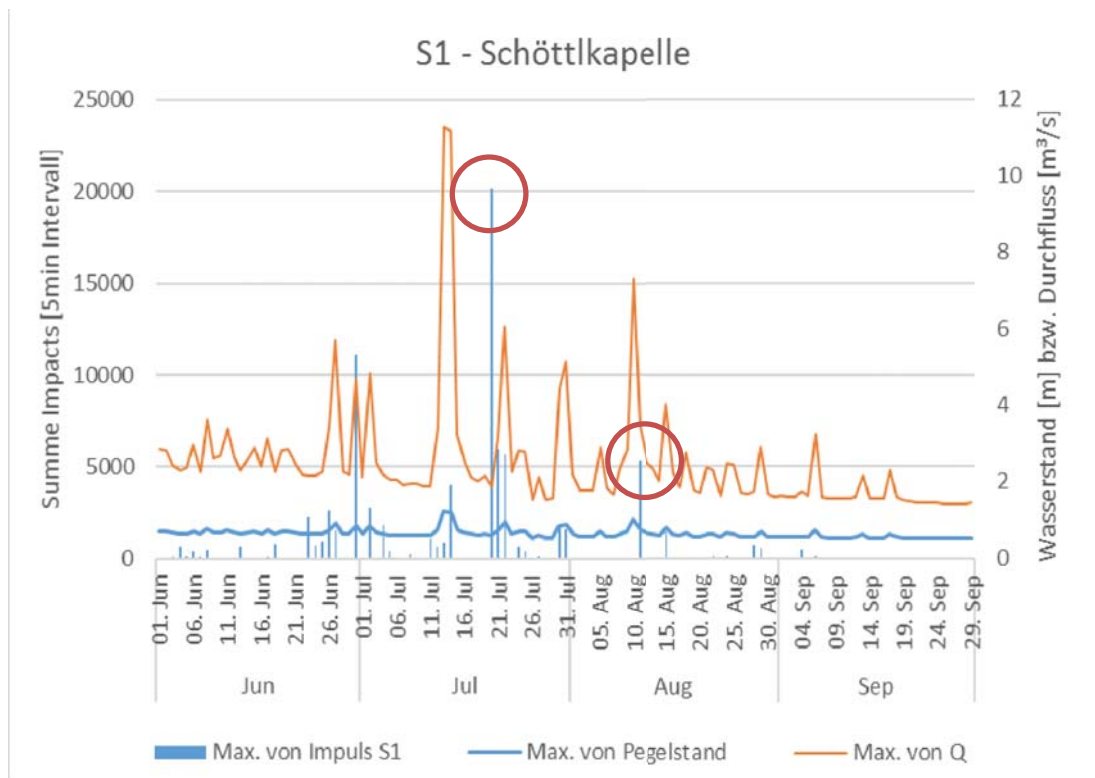


Abbildung D 4-2: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)

Im Juli 2016 kam es aufgrund von starken Niederschlägen im Einzugsgebiet des Schöttlbaches zu starken Erhöhungen des Abflusses. Um das Zusammenspiel von Durchfluss und Impactsummen des Sensors besser vergleichen zu können, wurde der Monat Juli (Abbildung D 4-3) sowie dessen Hochwassertage 11- 15 Juli (Abbildung D 4-4) detailliert dargestellt. Dabei erkennt man, dass der Sensor bei einem Abfluss von ca. 1.8 - 2.0 m<sup>3</sup>/s beginnt, Impacts aufzuzeichnen. Bei näherer Betrachtung der Messdaten der Sensoren S2- S5 ist dieser Grenzwert ebenfalls identisch.



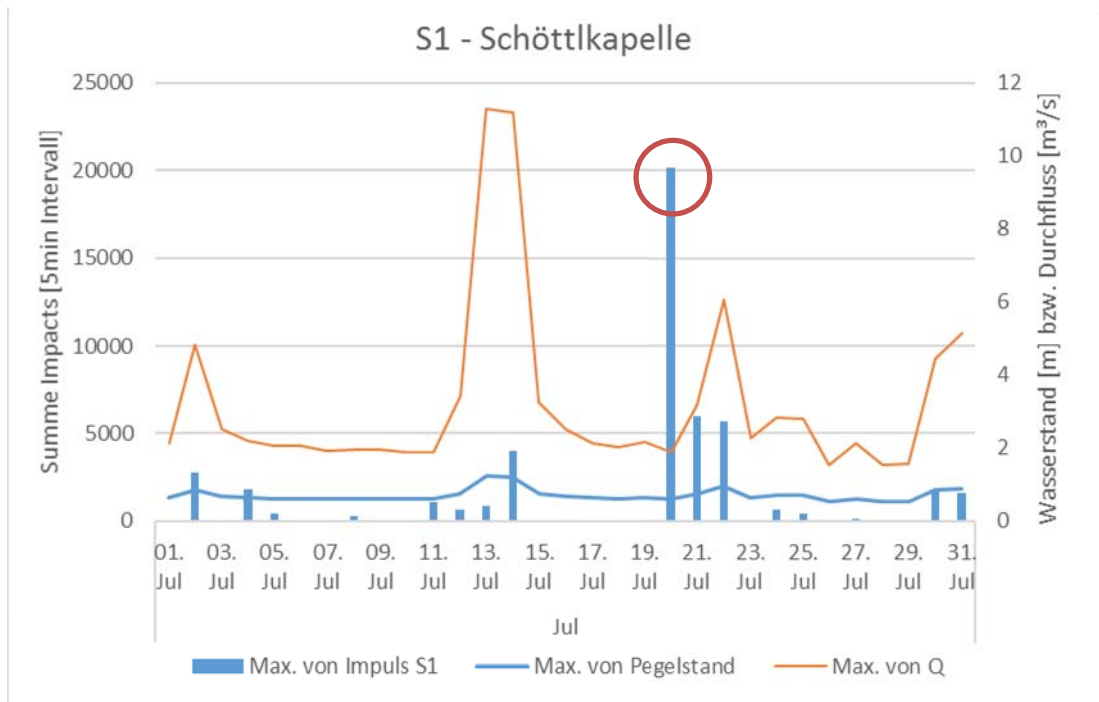


Abbildung D 4-3: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016)

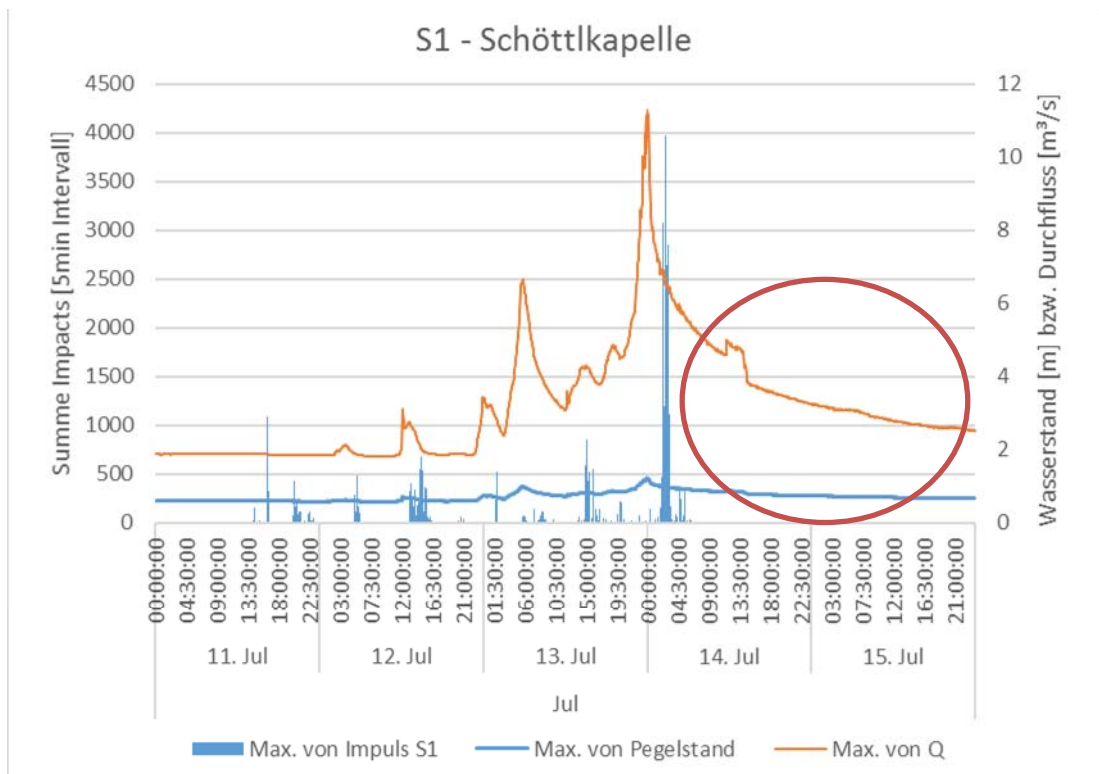


Abbildung D 4-4: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016)

Am 11. Juli erkennt man, dass Impacts vom Sensor registriert wurden, obwohl es zu keiner signifikanten Steigerung des Durchflusses kam, was wiederum nicht leicht zu erklären ist. Der höchste Abfluss von über  $11 \text{ m}^3/\text{s}$  in der Nacht vom 13. Juli führte kurz darauf zu sehr starken Impacts des Sensors (5-min Impactsummen von ca. 4000). Die zeitliche Abweichung zwischen dem höchsten Durchfluss und den registrierten Impulsen könnte an der händischen Korrektur der Zeitstempel der Arduinos liegen. Am 14. Juli kam es zu einer kurzen Steigerung des Durchflusses (ca.  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), es wurden jedoch von Sensor 1 keine Einschläge registriert.

D 4.1.2 SIS Sensor 3

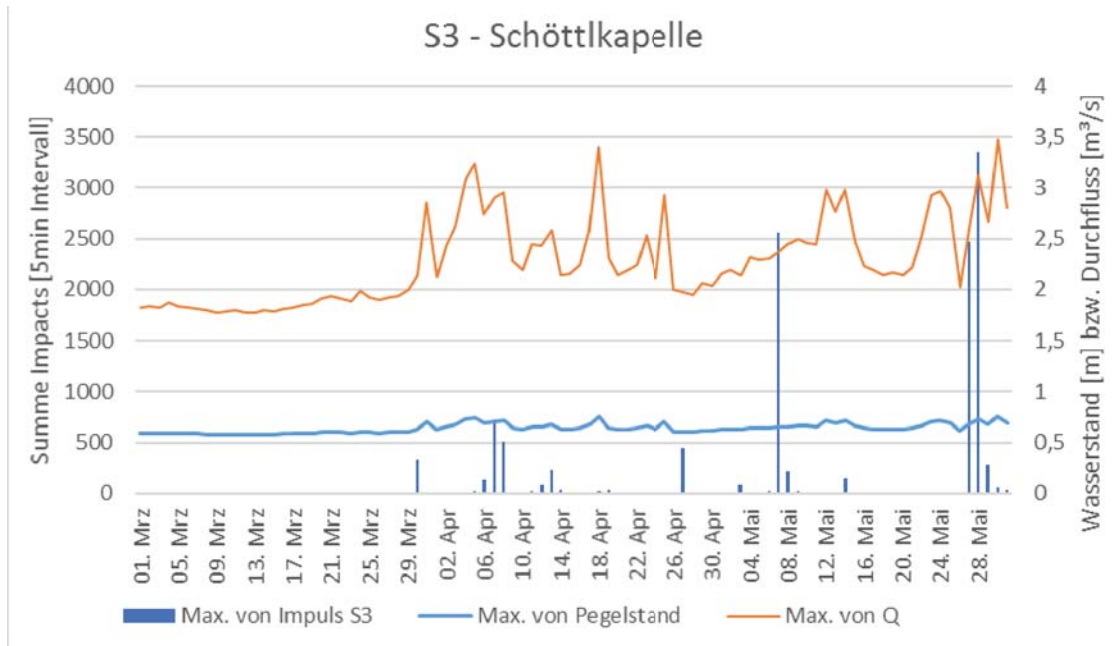


Abbildung D 4-5: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März -Mai 2016)

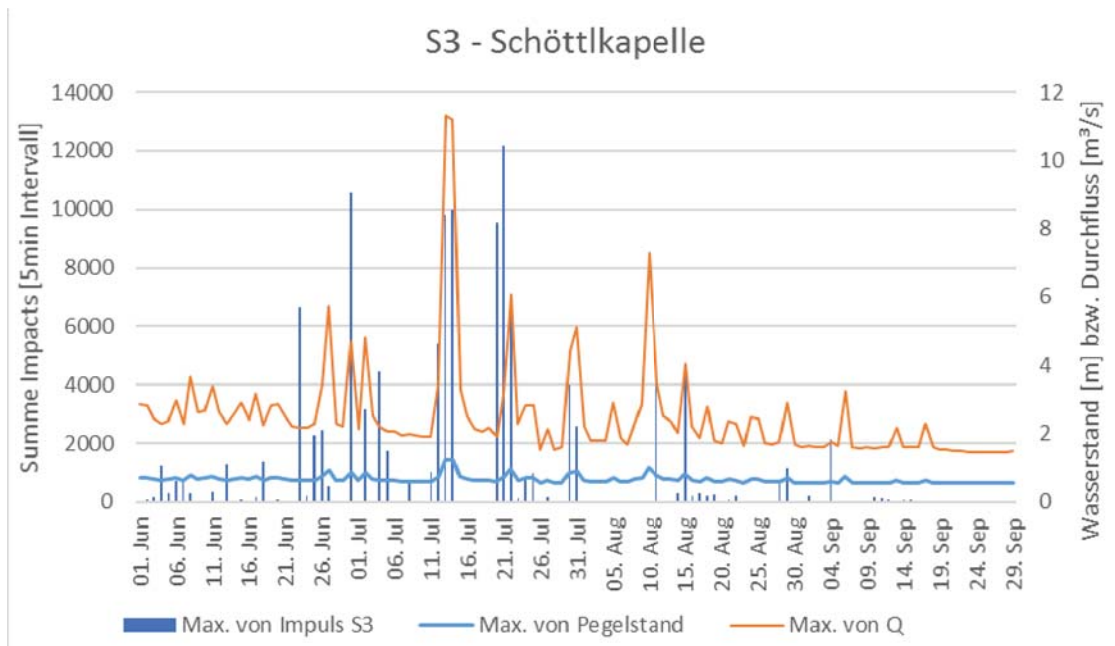


Abbildung D 4-6: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)

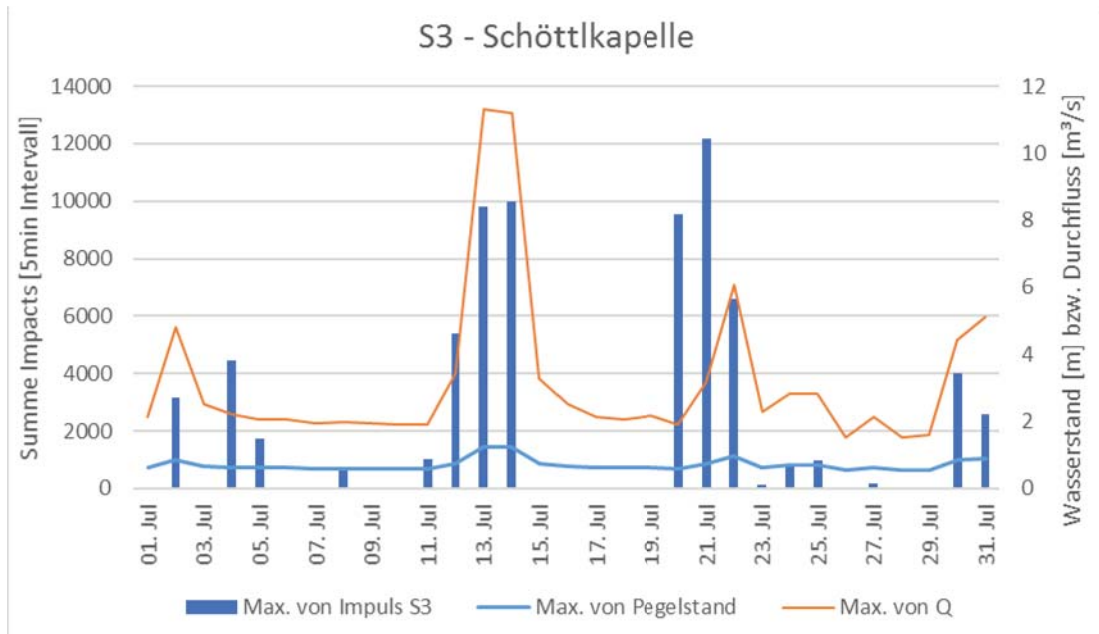


Abbildung D 4-7: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016)

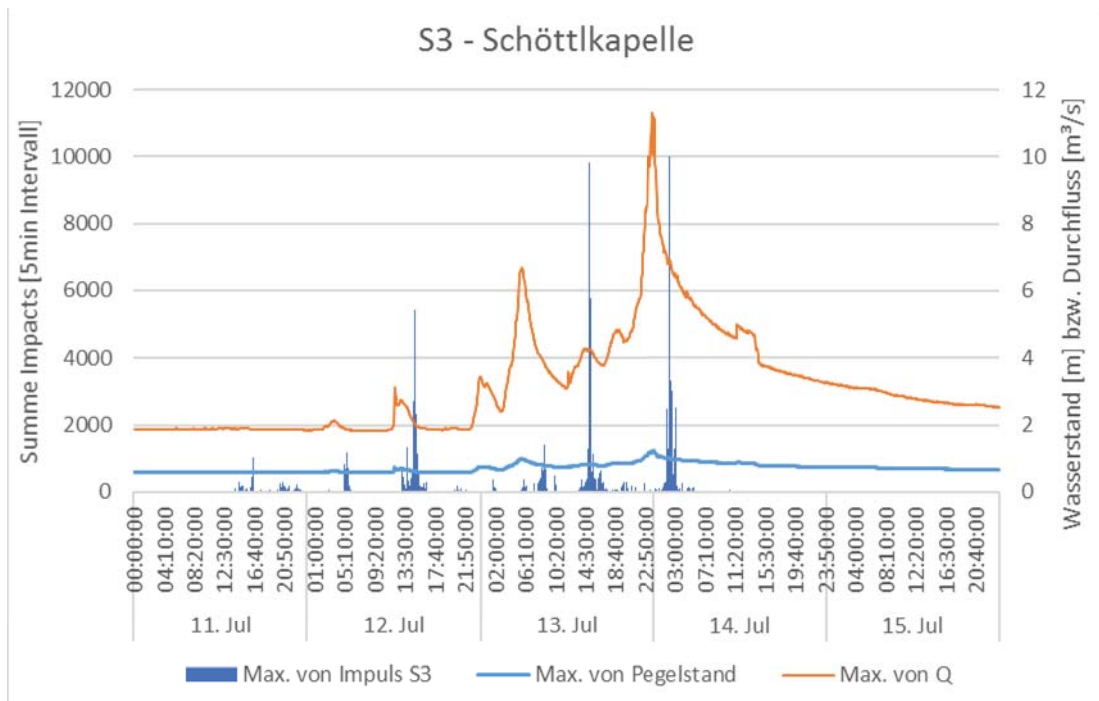


Abbildung D 4-8: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11-15 Juli)

D 4.1.3 SIS Sensor 4

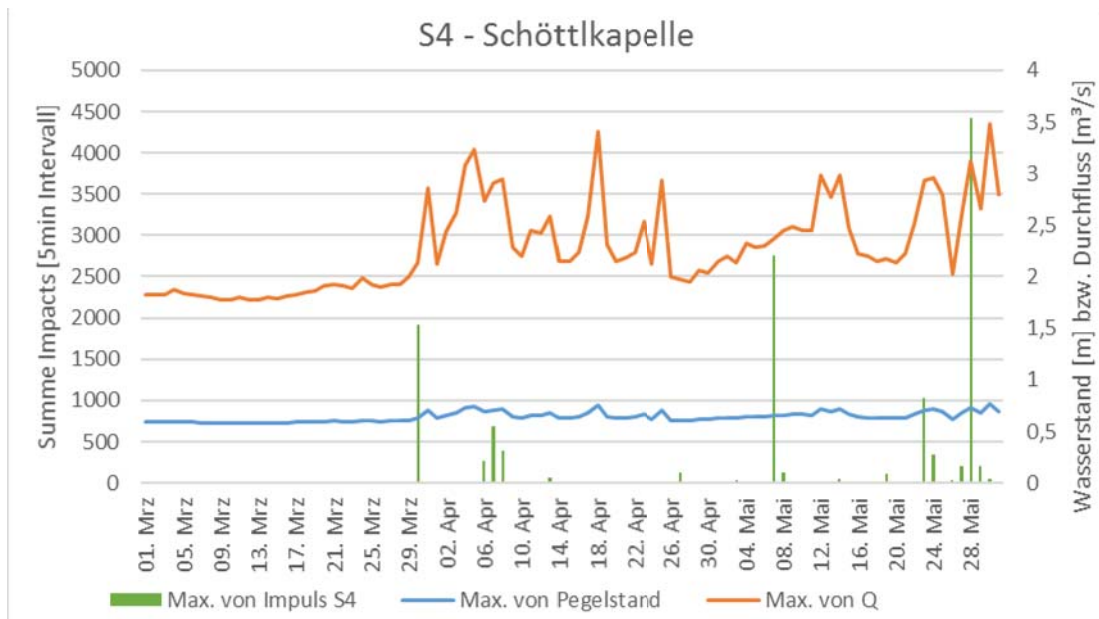


Abbildung D 4-9: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März -Mai 2016)

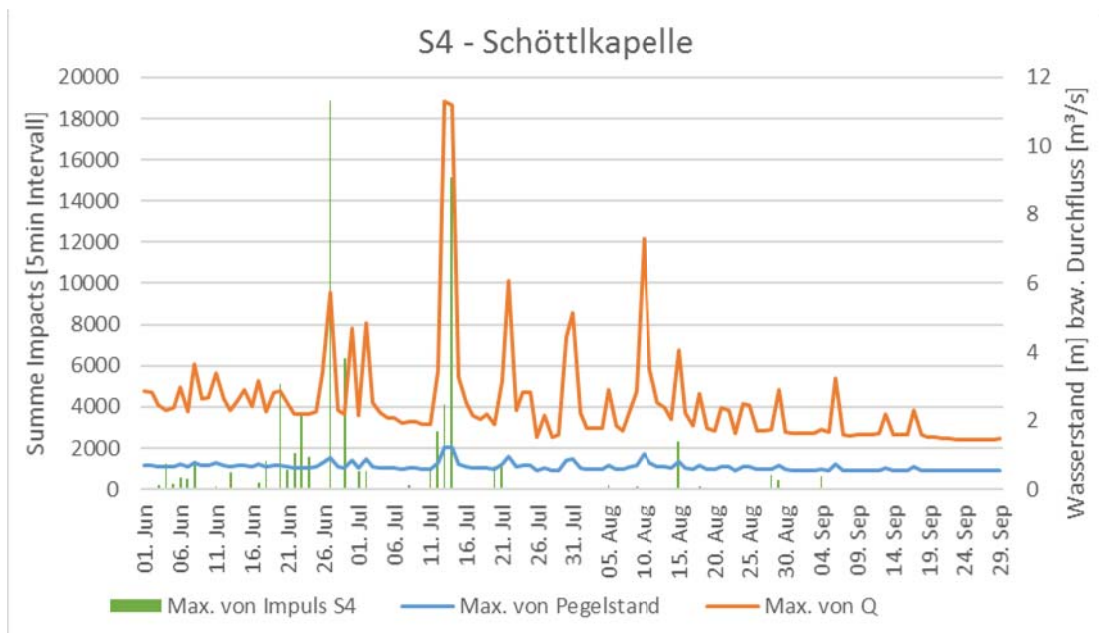


Abbildung D 4-10: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)

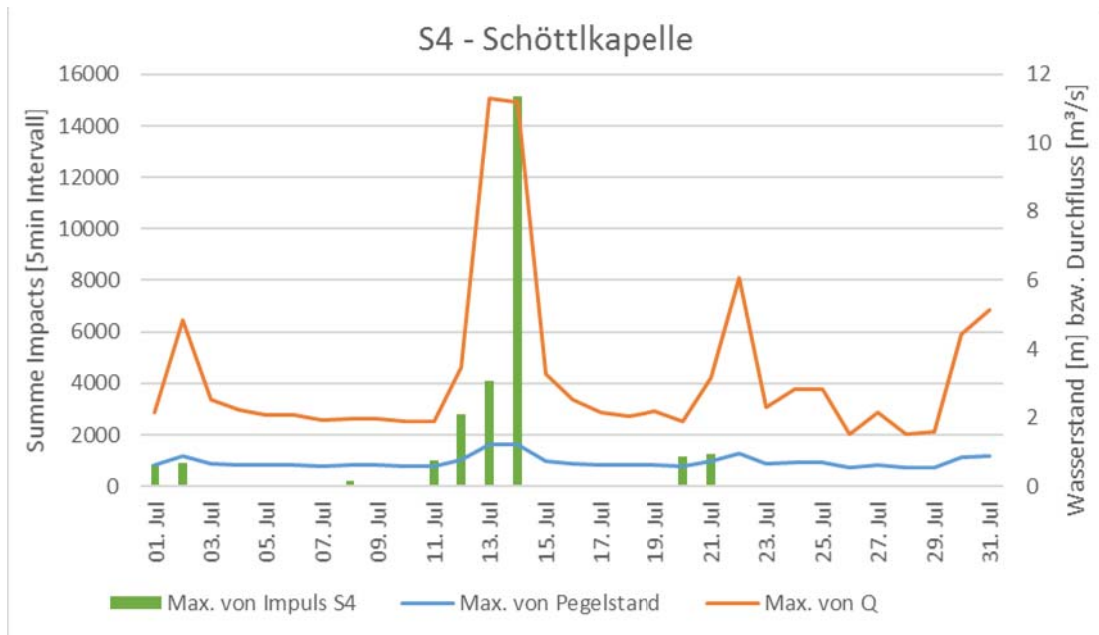


Abbildung D 4-11: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016)

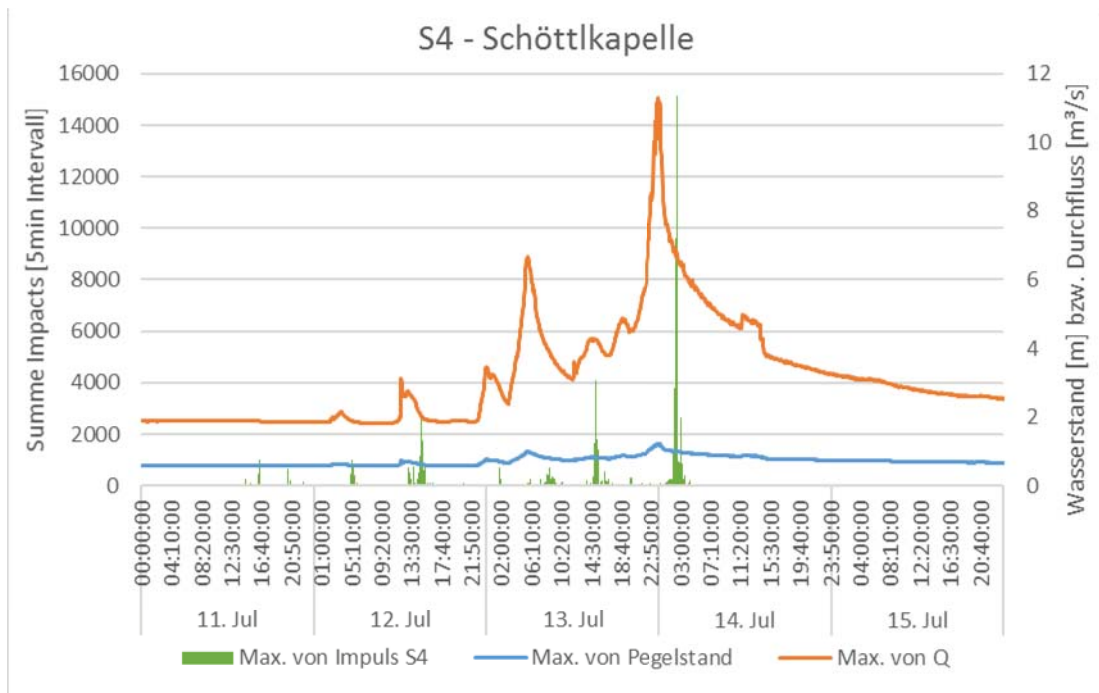


Abbildung D 4-12: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11-15 Juli)

#### *D 4.1.4 Vergleich der Messdaten S1, S3 und S4*

In Unterkapitel D 4.1.2 sowie D 4.1.3 wurde bewusst auf eine Beschreibung der Abbildungen verzichtet, da die Ergebnisse sehr ähnlich zu interpretieren sind. Es sind analog zu Sensor 1 die Impactsummen, die Pegelstände und Durchflüsse für den gesamten Messzeitraum und detailliert vom Monat Juli angeführt (Abbildung D 4-5 - Abbildung D 4-8 und Abbildung D 4-9 - Abbildung D 4-12).

Vergleicht man jedoch die Intensität der aufgezeichneten Impulse im gesamten Betrachtungszeitraum, so erkennt man, dass Sensoren die Impulse unterschiedlich stark aufzeichnen. Am 13. Juli herrschte ein Abfluss von ca.  $11 \text{ m}^3/\text{s}$ , wobei folgende Messdaten der einzelnen Sensoren registriert wurden:

- Sensor 1: Tagesspitzen bis 4.000
- Sensor 2: Tagesspitzen bis 10.000
- Sensor 3: Tagesspitzen bis 15.000

Diese Unterschiede könnten darauf hindeuten, dass alle 3 Sensoren unterschiedlich verbaut worden sind (nicht gleiches Drehmoment der Befestigungsschrauben). Dies ist jedoch nur eine Vermutung und kann nicht bewiesen werden. Diese Messdaten lassen sich schwer mit den Korbentleerungen (siehe Kapitel D 4.1.5) vergleichen, da die Entleerungsintervalle zu lange waren.

Die Darstellungen der Impulse aller Monate zeigen ebenfalls sehr gut, dass der Fluss Ende Juli linksseitig umgeleitet worden ist, da Sensor 4 ab diesem Zeitpunkt keine relevanten Impulse aufgezeichnet hat.

Des Weiteren liegt der minimale Abfluss für die Impulsregistrierung aller Sensoren im Schöttlbach bei ca.  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dies bedeutet, dass der Abfluss über  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  liegen muss, damit der Geschiebetransport von den verbauten SIS gemessen werden kann.

### D 4.1.5 Geschiebekorbentleerungen

Im Zuge dieser Arbeit wurden die Geschiebekörbe am Schöttlbach 6-mal entleert und im Labor analysiert. Dabei zeigt sich, dass es im Betrachtungszeitraum von 23. Juni bis 05. August zu einem signifikanten Anstieg der Geschiebefracht gekommen ist, was sich wiederum sehr gut mit den Abflussdaten und dem dazugehörigen Abfluss in diesem Zeitraum deckt (Abbildung D 4-13). Aufgrund einer Bachbettumlegung (kurz vor dem 05. August) wurden Korb 2 (teilweise) und Korb 3 (komplett) trockengelegt. Aus diesem Grund gab es so gut wie keine Geschiebefracht auf der orografisch rechten Seite des Wildbaches. Im Zeitraum von 11. August bis 09. September wurde eine Probe von rund 28 kg aus Korb 2 entnommen, obwohl der komplette Abfluss über Korb 1 geleitet wurde. Diese Tatsache korreliert auch nicht mit den gemessenen Impulsen der Sensoren S3 und S4, da diese ebenfalls kaum Messwerte in diesem Zeitraum aufzeichneten.

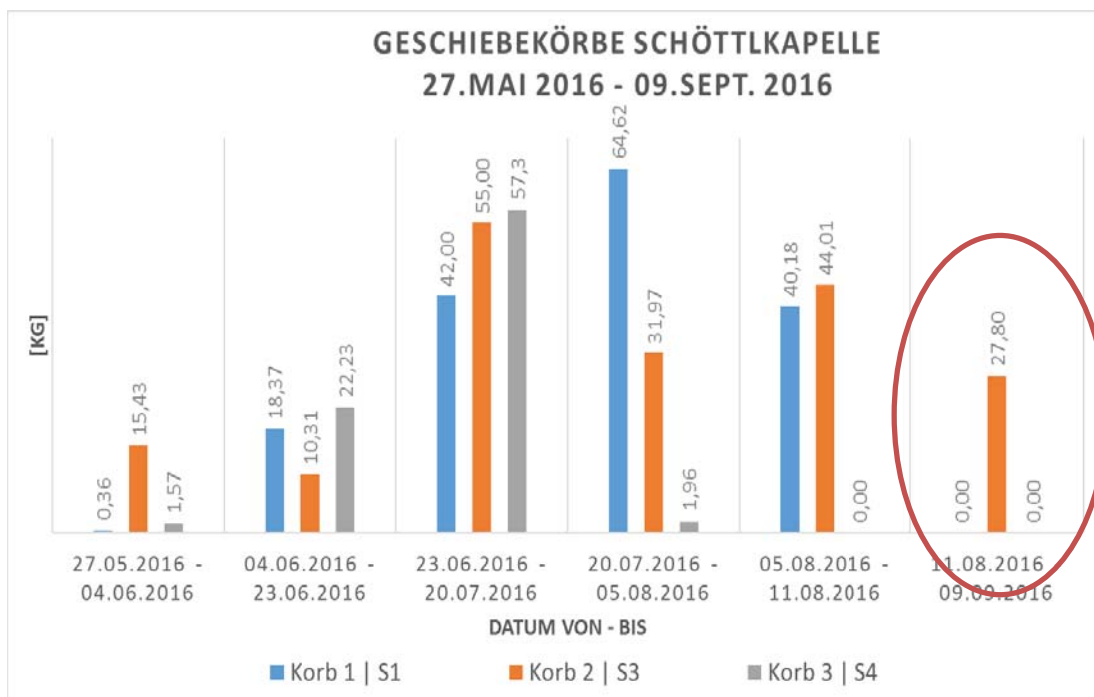


Abbildung D 4-13: Geschiebekorbentleerungen



#### D 4.1.6 Korrelation Impactsummen - Geschiebefrachten

Anhand einer Korrelation zwischen den aufgezeichneten Impulsen und den dazugehörigen Geschiebefrachten pro Betrachtungszeitraum ist es möglich, verschiedene Sensoren miteinander zu vergleichen (Abbildung D 4-14 bis Abbildung D 4-16). Unter optimalen bzw. gleichen Einbaubedingungen sollten die aufgezeichneten Impulse mit den gesammelten Geschiebefrachten gut korrelieren.

Die Beziehung von Korb 1 /Sensor 1 zeigt, dass der Sensor im direkten Vergleich mit Sensor 3 und Sensor 4 nicht so viele Impulse bei ähnlicher Geschiebefracht aufzeichnet. Die rote Markierung verdeutlicht auch das Problem, dass trotz einer 40 kg Geschiebeprobe keine Impacts im Betrachtungszeitraum aufgezeichnet wurden. Des Weiteren erzeugte eine Geschiebeprobe von über 40 kg eine fast identische Impactsumme wie eine 65 kg Probe (blaue Markierungen). Dieses Phänomen lässt sich wahrscheinlich damit erklären, dass bei höheren Abflüssen nicht alle Steine auf den Sensor prallen, aber trotzdem im Geschiebekorb gesammelt werden.

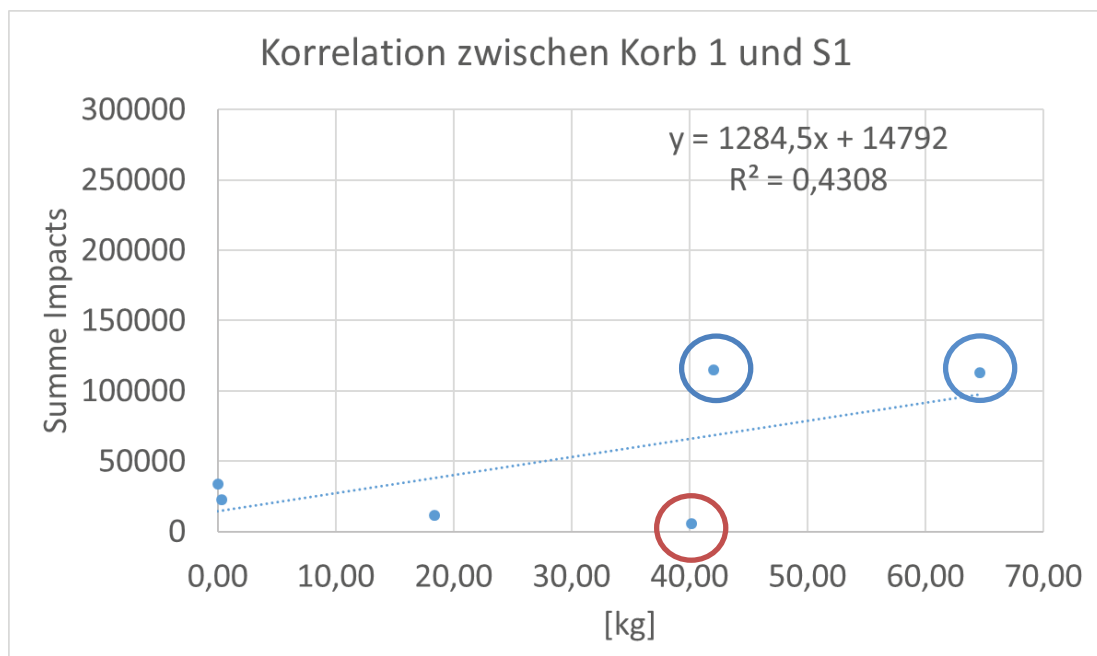


Abbildung D 4-14: Korrelation SIS S1 Impacts mit Korb 1 Entleerungen

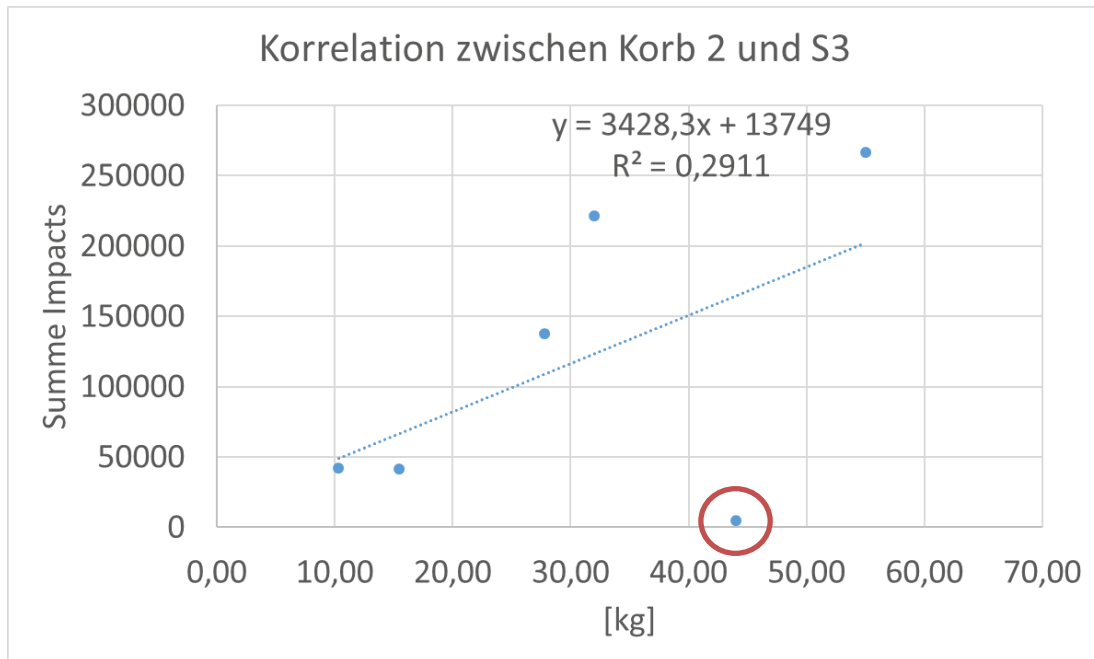


Abbildung D 4-15: Korrelation SIS S3 Impacts mit Korb 3 Entleerungen

Ein Bestimmtheitsmaß von nur 0,29 bei der Korrelation von Korb 2 und Sensor 3 lässt sich auf den Ausreißer (rote Markierung) zurückführen. In diesem Fall wurden wieder keine Impacts von Sensoren aufgezeichnet, obwohl die Geschiebeprobe mit über 40kg sehr hoch war. Es zeigt sich ebenfalls, dass der Sensor viel sensibler auf den Geschiebetransport reagiert, da eine Probe mit rund 55 kg eine Impactsumme von über 250.000 erzeugt.

Der Vergleich von Korb 3 mit den Messdaten des Sensors 4 liefert mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,95 die auf den ersten Blick genauesten Ergebnisse (Abbildung D 4-16). Diese Genauigkeit ist aber mit Vorsicht zu genießen, da es quasi nur 2 verwertbare Messungen (rote Markierung) gegeben hat, da dieser Bereich des Wildbaches über einen längeren Zeitraum kein Wasser führte (Flussumleitung). Der direkte Vergleich der Korrelationen von S3 und S4 zeigt, dass es so gut wie keinen Unterschied in den linearen Annäherungen gibt. Aus diesem Grund können bei Auswertungen die Sensoren 3 und 4 sehr gut miteinander verglichen werden, da die Sensibilität annähernd gleich ist.

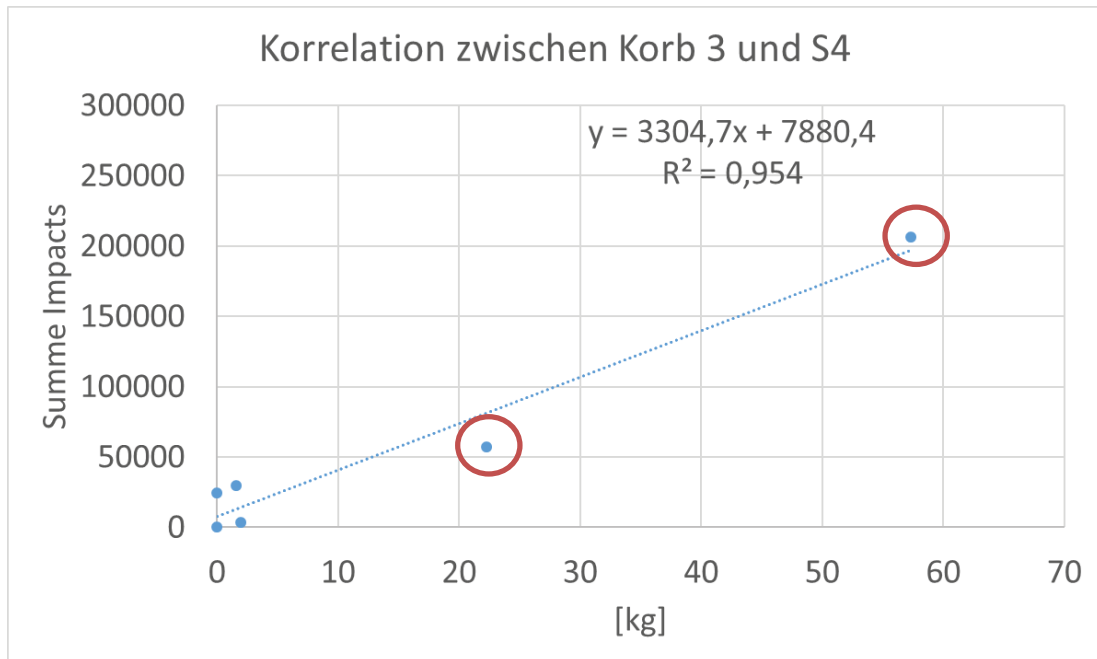


Abbildung D 4-16: Korrelation SIS S3 Impacts mit Korb 3 Entleerungen

#### D 4.1.7 Berechnung der Geschiebefracht (27.Mai – 09. Sept)

Als Grundlage für die grobe Berechnung der Geschiebefracht im gesamten Betrachtungszeitraum dienen die gesammelten Proben der einzelnen Geschiebekörbe. Der erste Korb ist ca. 2 m, der mittlere Korb 6 m und der rechte Korb 9 m vom orografisch linken Ufer entfernt, wobei jeder eine Breite von 35 cm aufweist.

#### Berechnungsschritte

- Einteilung der Gesamtbreite in 35-cm-Intervalle
- Geschiebefrachten von jedem Korb auf die Ordinate auftragen
- Spline- Funktion interpolieren (drei bekannte Punkte)  
→ Abbildung D 4-17 bis Abbildung D 4-22
- Integration der Geschiebefrachten über den gesamten Querschnitt

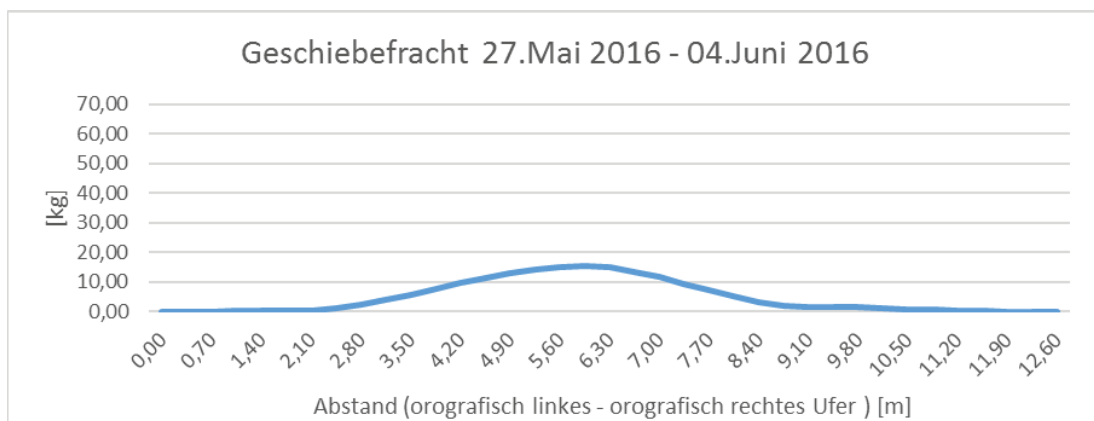


Abbildung D 4-17: Geschiebefracht 27. Mai – 04. Juni

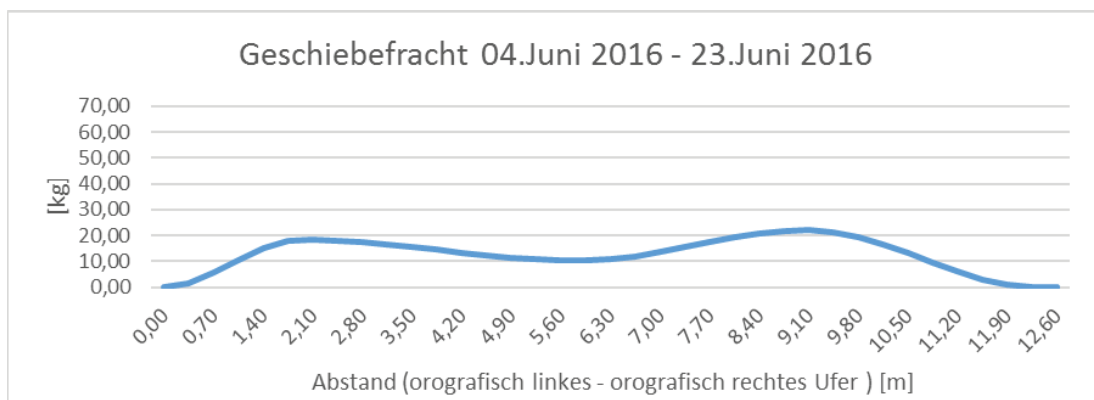


Abbildung D 4-18: Geschiebefracht 04. Juni – 23. Juni

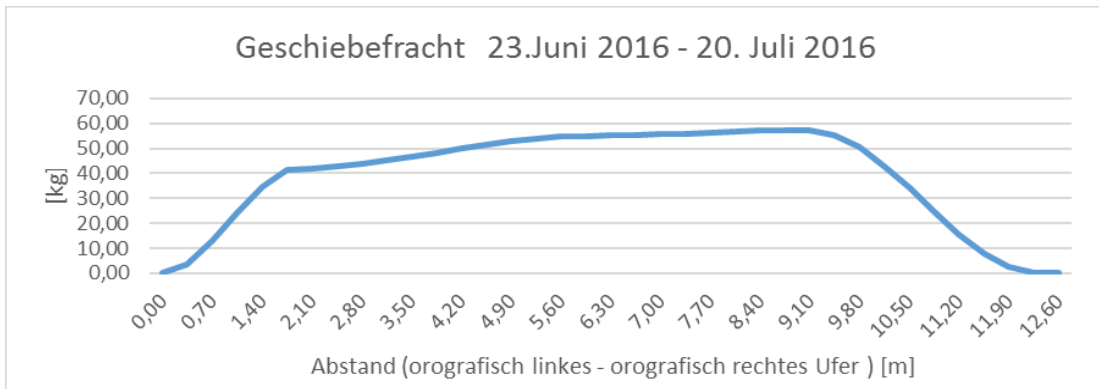


Abbildung D 4-19: Geschiebefracht 23. Juni – 20. Juli

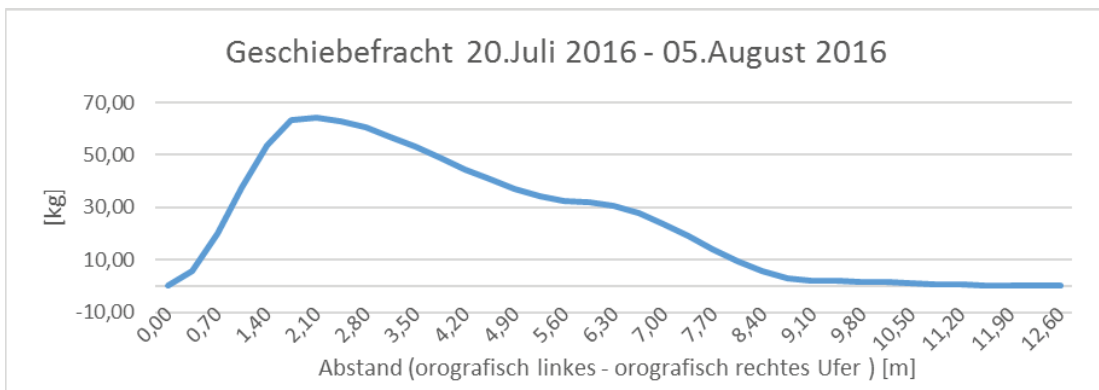


Abbildung D 4-20: Geschiebefracht 20. Juli – 05. August

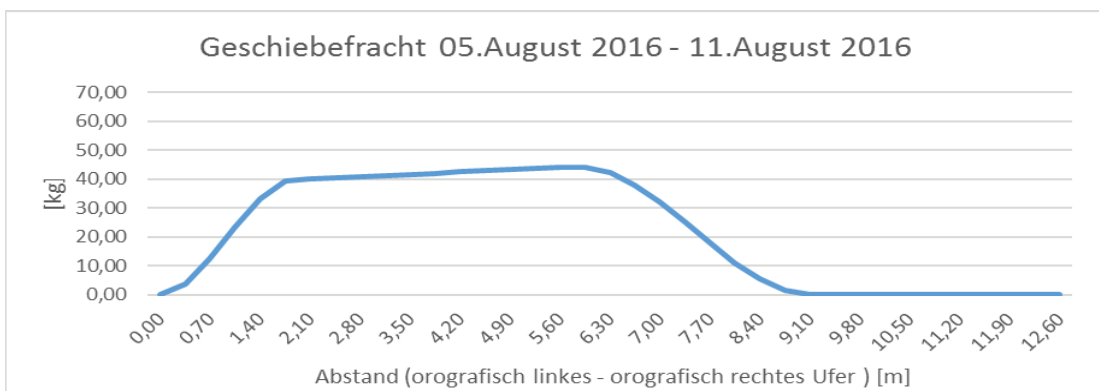


Abbildung D 4-21: Geschiebefracht 05. August – 11. August

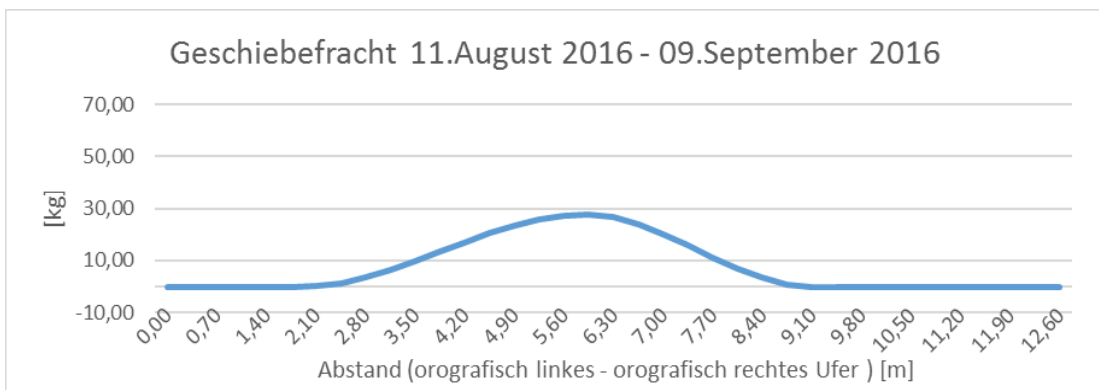


Abbildung D 4-22: Geschiebefracht 05. August – 09. September

Zeitraum [VON – BIS]	Korbentleerung [kg]	Geschiebefracht [kg / Zeitraum]
27. Mai – 04. Juni 2016	17,36	61,64
04. Juni – 23. Juni 2016	50,91	162,34
23. Juni – 20. Juli 2016	154,3	505,25
20. Juli – 05. August 2016	98,55	312,01
05. August – 11. August 2016	84,19	276,98
11. August – 09. September 2016	27,8	100,08
<b>∑ Geschiebe</b>	<b>433,11 kg</b>	<b>1418,31 kg</b>

Abbildung D 4-23 Geschiebefrachtberechnung

Mit Hilfe der interpolierten Geschiebefrachten pro Zeitraum, kann durch Integration über die Breite die Geschiebefracht pro Betrachtungszeitraum berechnet werden. Die Aufsummierung ergibt eine gesamte Geschiebefracht von **ca. 1420 kg zwischen 27. Mai und 09. September** (Abbildung D 4-23). Dieser errechnete Wert ist natürlich sehr stark von der Form der interpolierten Kurve zwischen den vorhandenen Geschiebekörben abhängig, er bewegt sich aber (je nach Kurvenform) zwischen 1200 und 2000 kg.

Die kritische Schubspannung nach Meyer-Peter Mülletr liegt bei 22,5 N/m<sup>2</sup> und der kritische Abfluss wird bei 4,2 m<sup>3</sup>/s erreicht. Messungen mit dem Helly-Smith-Geschiebefänger ergaben bei einem Abfluss von 900 l/s einen Tagesgeschiebetransport von 1,5 t im Bereich der Schöttlkapelle (Spreitzer, 2014). Im Zuge dieser Arbeit wurde festgestellt, dass der kritische Abfluss (SIS-Aufzeichnung beginnt) bei ca. 2 m<sup>3</sup>/s liegt, und die gemessenen Daten (Geschiebefrachten über längere Zeiträume) nicht mit vorangegangenen Arbeiten korrelieren.

### D 4.2 Ergebnisse Salchauerbach

Die Messstation am Salchauerbach besitzt einen Sensor S1, welcher auf der orografisch linken Hälfte des Baches verbaut ist. Da es an diesem Standort keine Pegelmessstation gibt, können nachfolgend keine Beziehungen zwischen der Pegelhöhe, dem Durchfluss und den aufgezeichneten Impulsen des Sensors aufgestellt werden. Der zeitliche Verlauf der Impactintensitäten im Betrachtungszeitraum zeigt, dass es von 01. März bis Mitte Mai, sowie im Juni und August keine nennenswerten Impacts auf der verbauten Sensorplatte gegeben hat (Abbildung D 4-24 und Abbildung D 4-25). Die erhöhten Messwerte, welche auf die Funktionstests zurückzuführen sind, sind nachfolgend rot markiert worden.

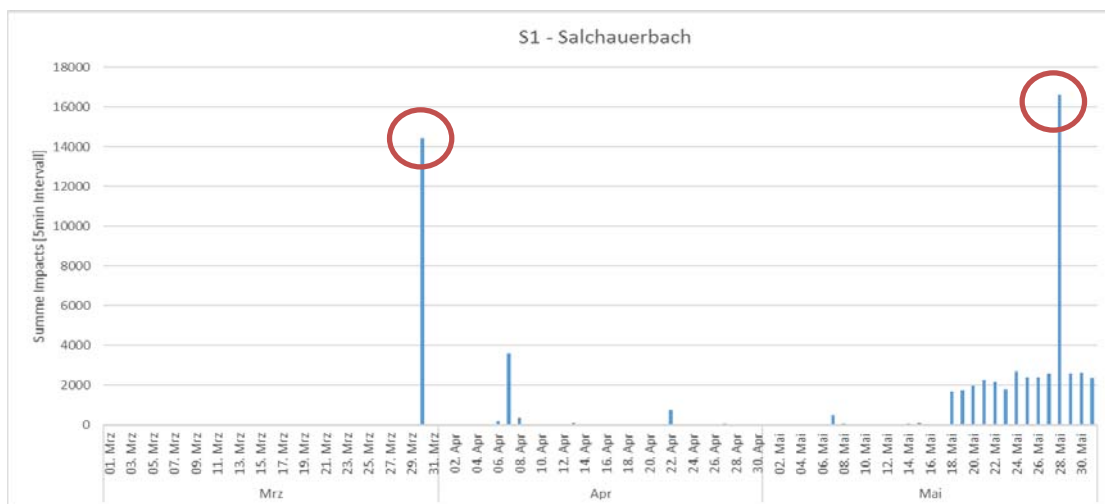


Abbildung D 4-24: S1 Impacts Salchauerbach (März - Mai 2016)

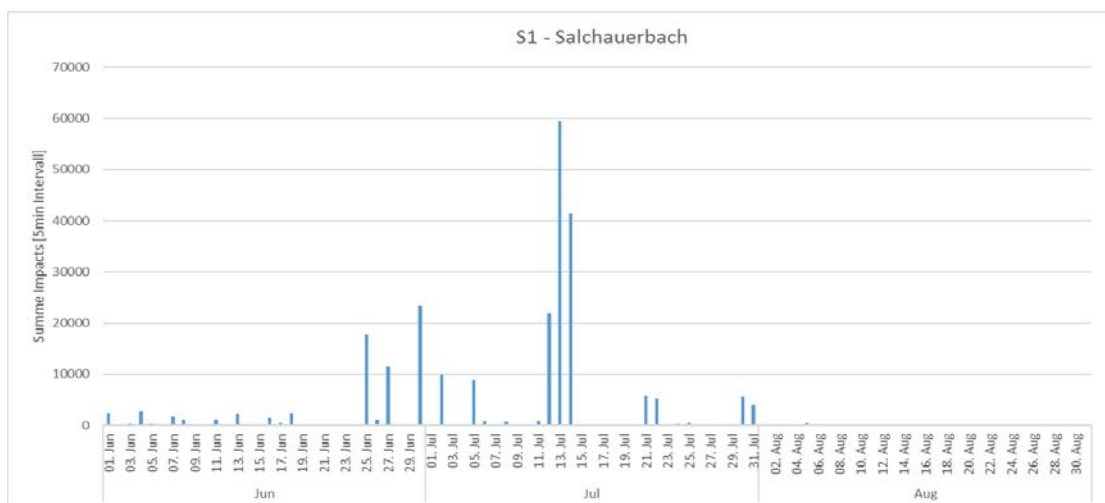


Abbildung D 4-25: S1 Impacts Salchauerbach (Juni - August 2016)

Die Pegelmessungen am Schöttlbach und Krumeeggerbach zeigen, dass der höchste Abfluss im Juli 2016 stattgefunden hat. Da sich das Einzugsgebiet des Salchauerbaches in unmittelbarer Nähe zu diesen Pegelmessstationen befindet, kann man davon ausgehen, dass sich auch hier der höchste Abfluss im Juli eingestellt haben muss. Diese Annahme bestätigt sich, da die aufgezeichneten Impulse des Sensors zwischen 11. und 15. Juli ihr Maximum erreichen (Abbildung D 4-26).

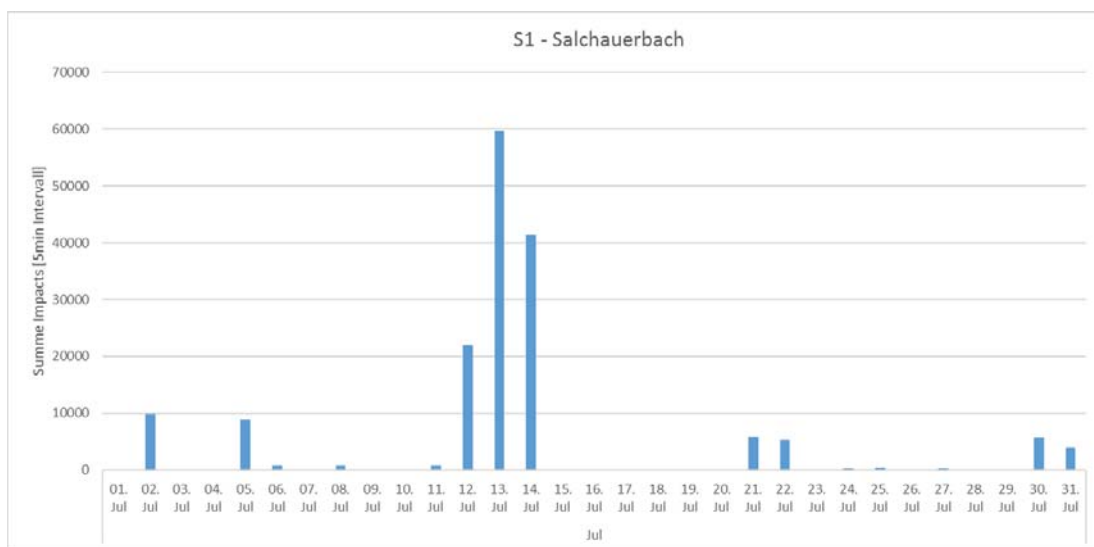


Abbildung D 4-26: S1 Impacts Salchauerbach (Juli 2016)

Bei einer detaillierteren Betrachtung dieses Zeitraumes stellt man fest, dass sich der Abfluss am 13. Juli um 15:00 sehr stark erhöht haben muss, da es hier zu den stärksten Impulsen auf der Sensorplatte gekommen ist (Abbildung D 4-27). Dieser erhöhte Durchfluss führte zu einem massiven Geschiebetransport in einem Zeitraum von einem halben Tag. Aufgrund fehlender Kalibriermessungen mittels Geschiebekörben kann leider keine klare Aussage über die Geschiebefracht getroffen werden. Die Eignung für die Beobachtung von geschiebetransportrelevanten Ereignissen mittels SIS hat sich jedoch auch in diesem Fall bestätigt. Qualitativ konnten Ereignisse dokumentiert werden.



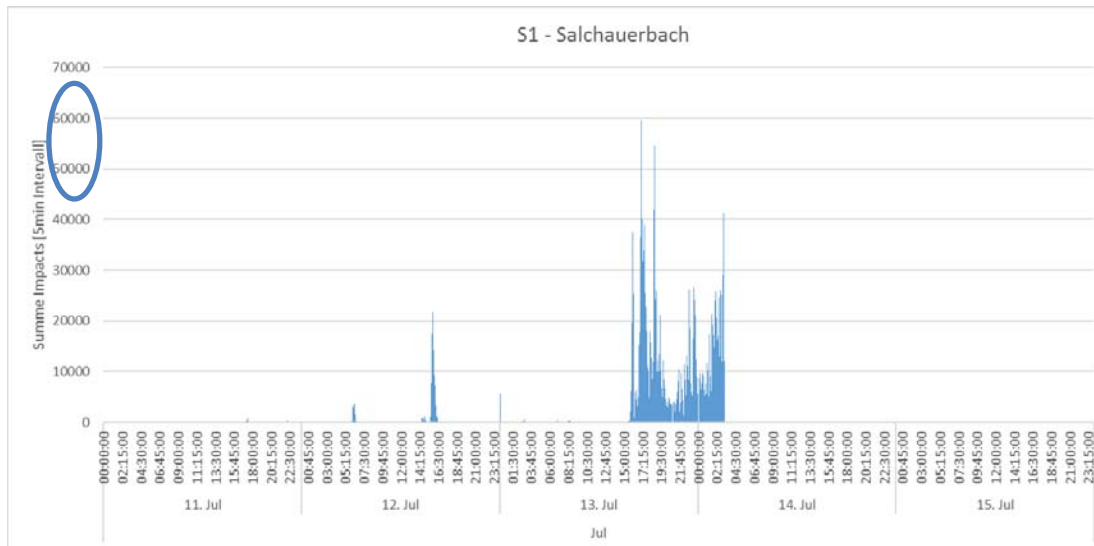


Abbildung D 4-27: S1 Impacts Salchauerbach (11 – 15 Juli 2016)

Hinsichtlich der Impactintensitäten fällt sofort auf, dass diese im Vergleich zu den Standorten Schöttlkapelle und Krumeggerbach um den Faktor 5-6 höher sind (blaue Markierung). Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich direkt vor dem verbauten Sensor eine künstliche Sohlschwelle befindet. Diese Erhöhung führt zu viel höheren und intensiveren Impulsen am Sensor. Das Beispiel verdeutlicht sehr gut, dass jeder Sensor zur gleichen Zeit Impulse aufgrund des Geschiebetransportes registriert, sich aber die Sensoren nicht ohne weiteres untereinander vergleichen lassen. Aufgrund der unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten bei allen Messstationen ist eine einfache Hochrechnung der Impulse in eine Geschiebefracht, ohne Kalibrierungsmessungen, nicht durchführbar.

### D 4.3 Ergebnisse Krumeggerbach

Die Messstation am Krumeggerbach besitzt 2 Sensoren an der orografisch rechten und linken Seite des Baches. Zusätzlich befindet sich auf gleicher Höhe eine Pegelmessstation, mit welcher sich der Durchfluss im Messquerschnitt berechnen lässt. Daher werden nachfolgend der Wasserstand und der Durchfluss mit den Impulsen der verbauten Sensoren verglichen. Auch hier sind die Fehlmessungen, hervorgerufen durch die Manipulation der Sensoren, mittels roter Kreise markiert.

#### D 4.3.1 SIS Sensor 1

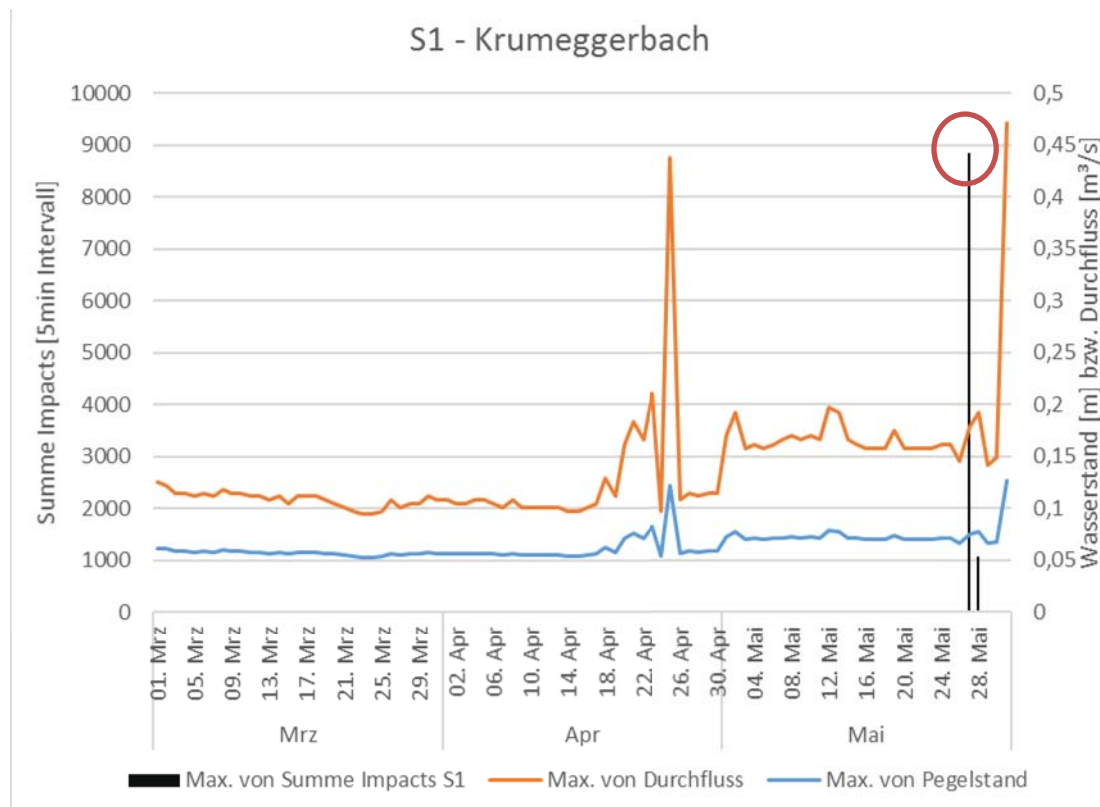


Abbildung D 4-28: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016)

Der zeitliche Verlauf der Wasserhöhe und des Durchflusses in Kombination mit den Impulsen des ersten Sensors (orografisch linke Seite) im Betrachtungszeitraum März bis September zeigt, dass von März bis Ende Mai und Mitte August bis September keine Messdaten aufgezeichnet werden konnten (Abbildung D 4-28 Abbildung D 4-29). Die Datenlücken von März bis Mai lassen sich auf technische Probleme der Messstation zurückführen (Kabelbruch).

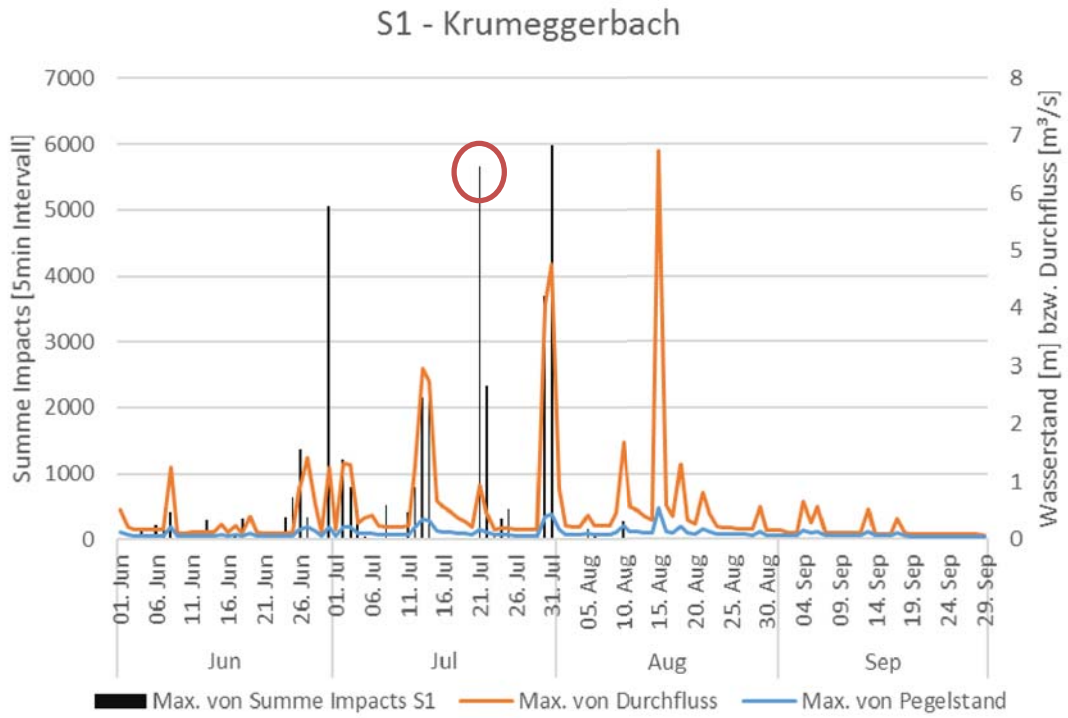


Abbildung D 4-29: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)

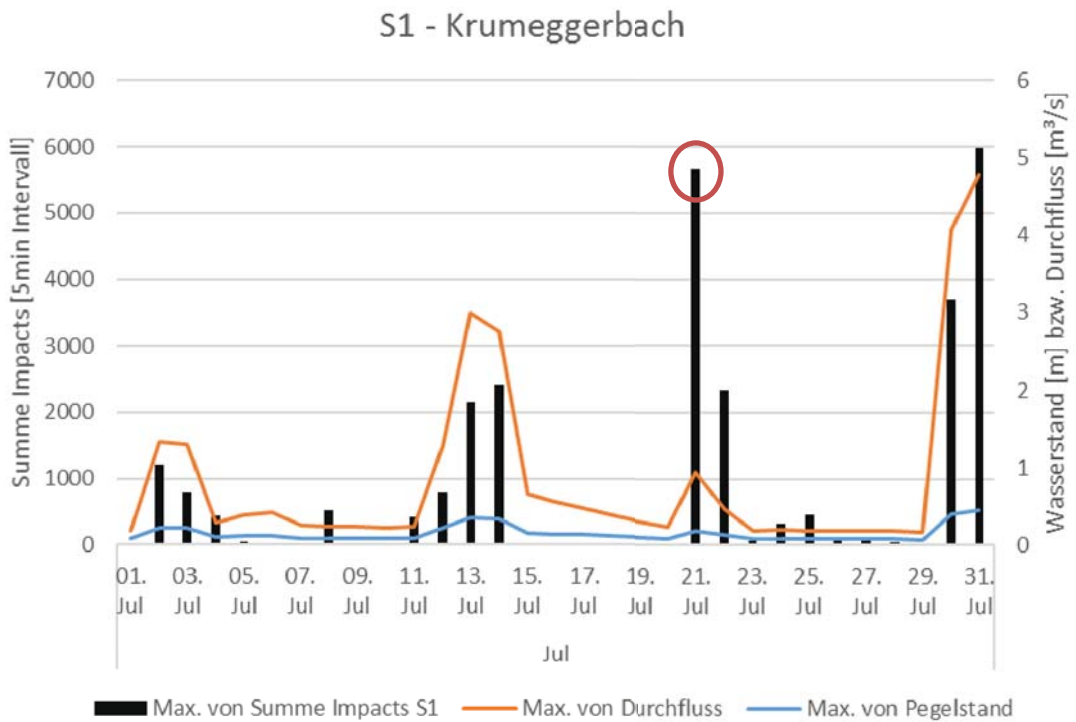


Abbildung D 4-30: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016)

Im Betrachtungszeitraum Juli ist ersichtlich, dass es bei diesem Sensor keine starken Abweichungen zwischen den Impulsen und den dazugehörigen Abflüssen gibt. Der Ausschlag am 21. Juli lässt sich auf einen Funktionstest zurückführen und darf vernachlässigt werden (rote Markierung) (Abbildung D 4-30).

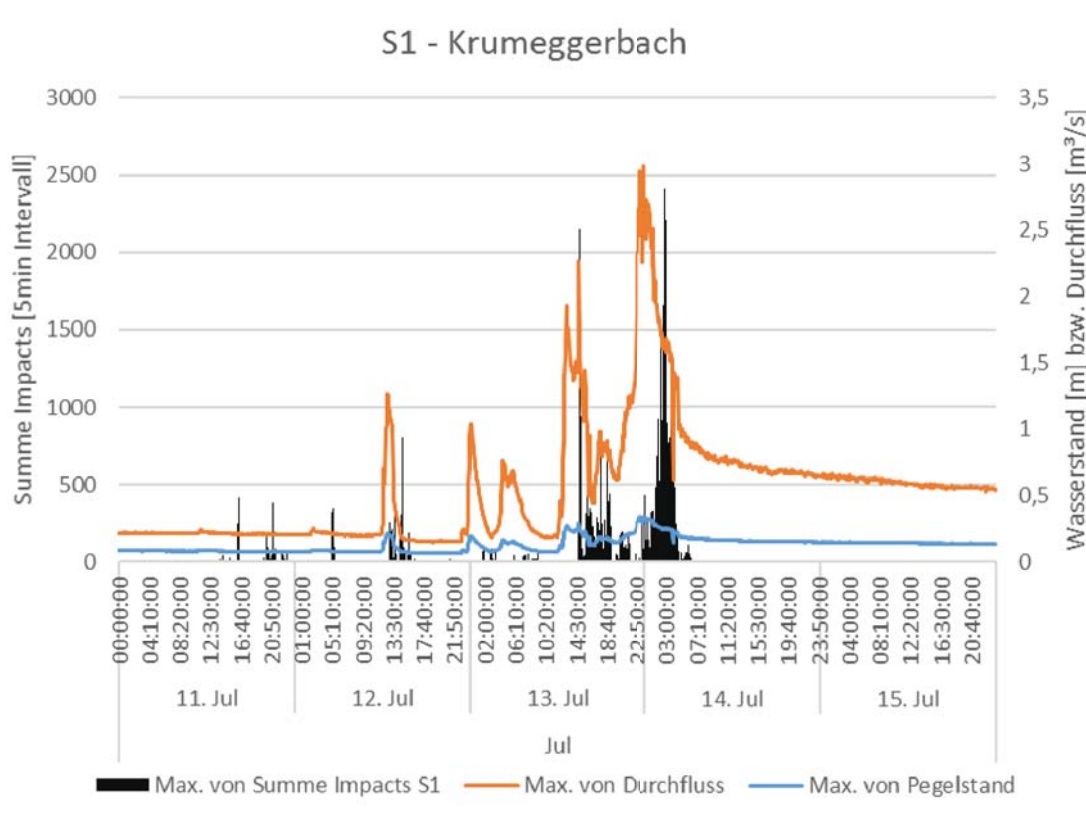


Abbildung D 4-31: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016)

Obwohl der maximale Abfluss im Bereich dieser Messstation Mitte August stattgefunden hat, wird der 11. – 15. Juli zur genaueren Betrachtung herangezogen, damit man die Werte mit den Ergebnissen der anderen Messstationen (Schöttlbach und Salchauerbach) besser vergleichen kann (Abbildung D 4-31). Die Darstellung verdeutlicht, dass der Geschiebetransport ab einem Abfluss von ca. 2 m³/s von dem Sensor registriert wird.

### D 4.3.2 SIS Sensor 2

Der orografisch rechte Sensor 2 wird nachfolgend ident wie Sensor 1 dargestellt (Abbildung D 4-32 bis Abbildung D 4-35). Dabei erkennt man sofort, dass die beiden verbauten Sensoren unterschiedlich sensibel auf den Geschiebetransport reagieren. Bei einem Abfluss von ca.  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  am 14. Juli betrug die maximale Impactsumme des ersten Sensors ca. 2500, wobei Sensor 2 im gleichen Zeitraum maximale Werte von 25000 erreicht. Ein Vergleich während des gesamten Betrachtungszeitraum der Messdaten beider Sensoren zeigt, dass der SIS S2 generell sensibler auf Geschiebe reagiert. Diese Eigenschaft lässt sich durch die teils unterschiedlichen Einbaubedingungen erklären, obwohl beide Sensoren gegen die neueste Version der SIS ausgetauscht und getestet worden sind. Daher ist es zwingend notwendig, Kalibriermessungen durchzuführen. Aufgrund der optimalen örtlichen Gegebenheiten eignet sich der Standort sehr gut für eine Installation der neu konstruierten Geschiebekörbe.

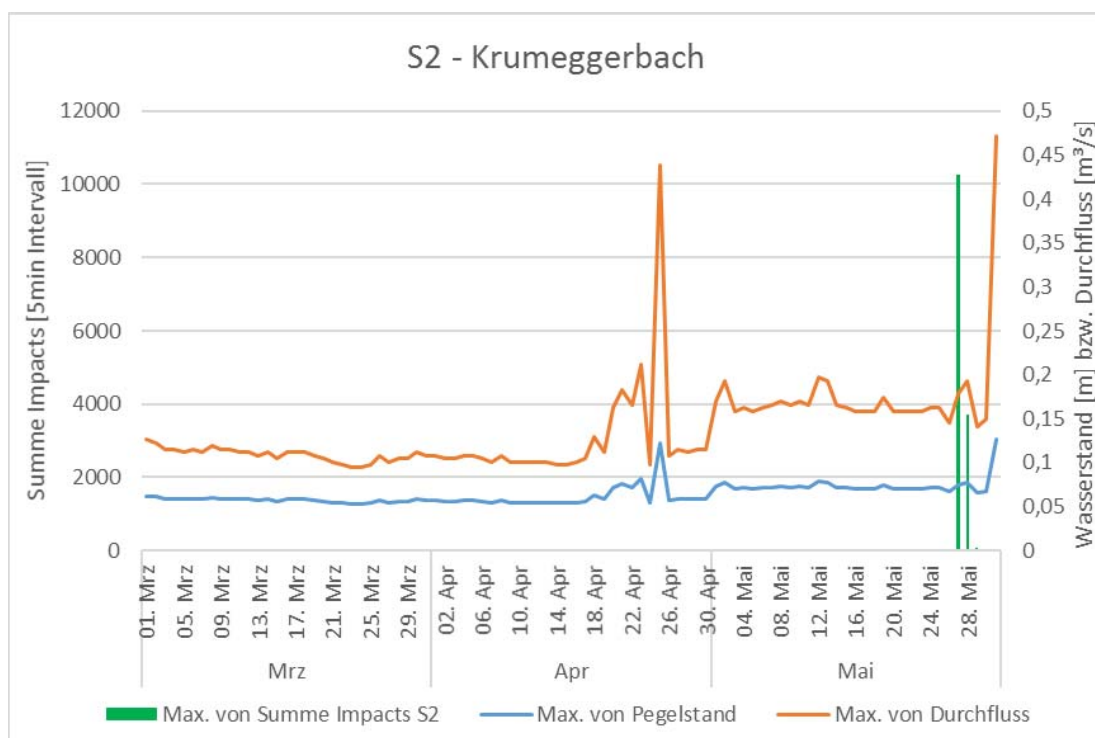


Abbildung D 4-32: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016)

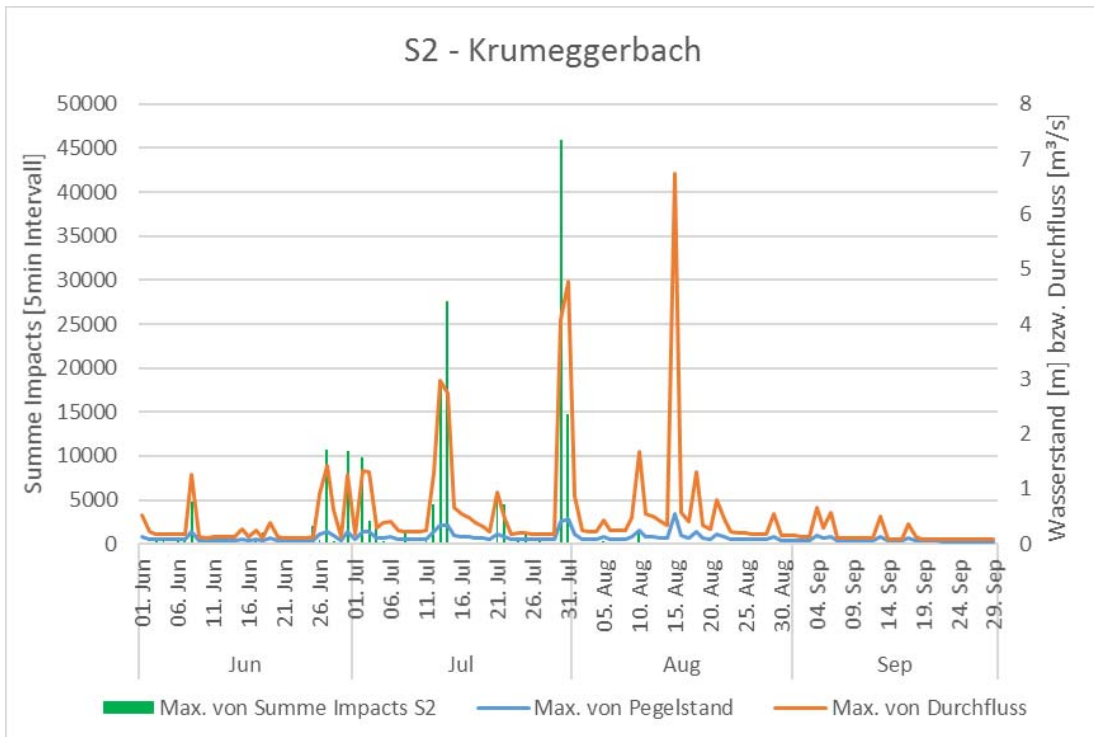


Abbildung D 4-33: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)

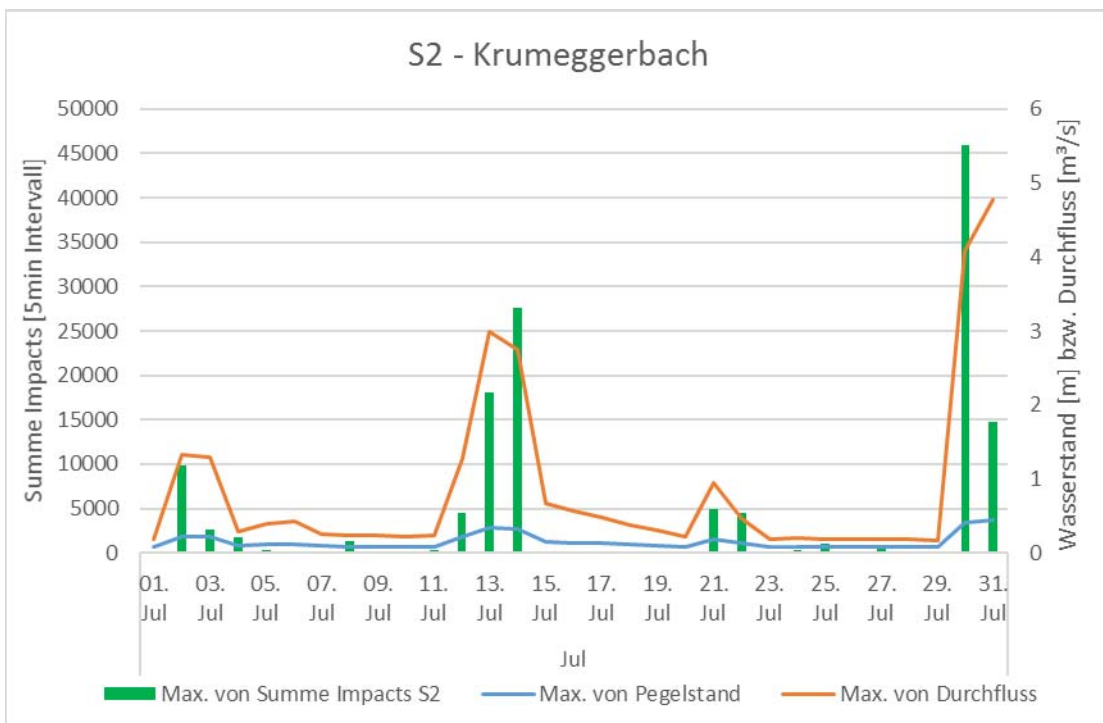


Abbildung D 4-34: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016)

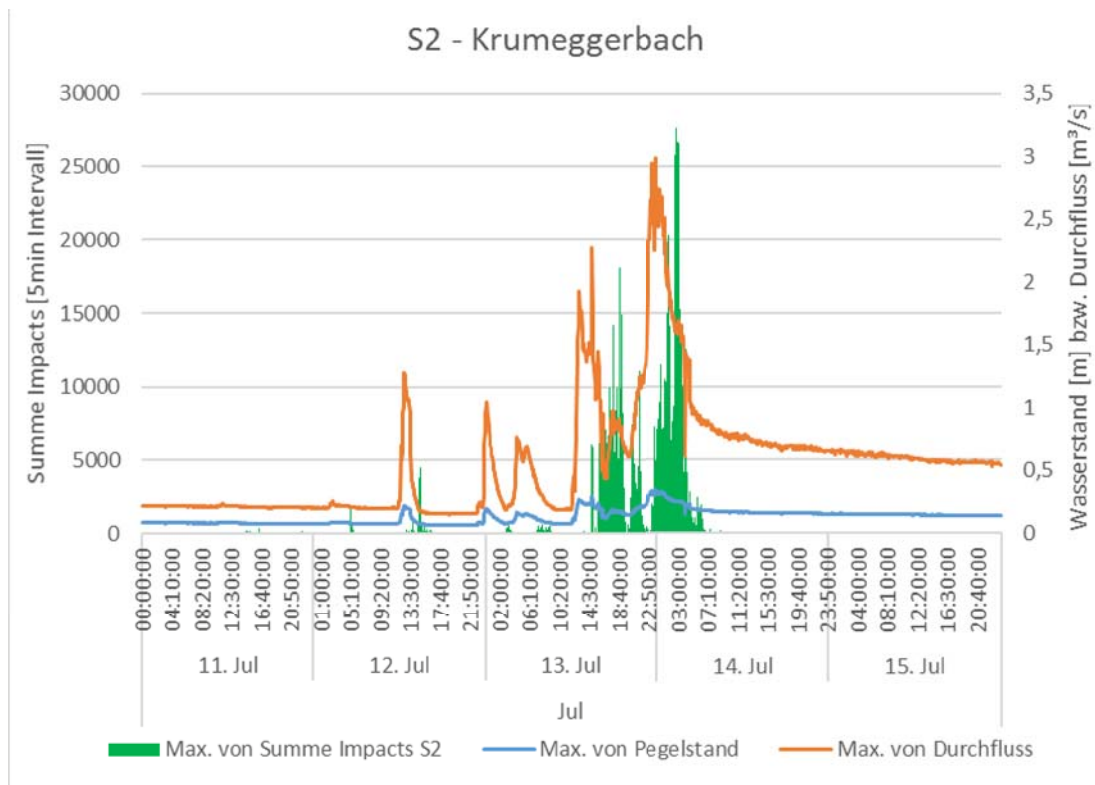


Abbildung D 4-35: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016)

#### D 4.4 Ergebnisse WLV Sperre und Schmiedbognerbach

Im Zuge dieser Arbeit konnten bei der WLV- Sperre sowie am Schmiedbognerbach keine verwertbaren Daten aufgezeichnet werden, da immer wieder technischen Probleme aufgetreten sind. Sämtliche Rohdaten der lückenhaften Aufzeichnungen können dem Anhang entnommen und verwertet werden. Detaillierte Informationen zu den Datenlücken und den aufgetretenen technischen Problemen dieser Standorte sind im Teil B dieser Arbeit angeführt.

## **D 5. Geschiebetransport im Schöttlbach**

Für die Untersuchung des Geschiebetransports wurden im Schöttlbach Farbtracersteine und Telemetriesteine ausgesetzt. Der Aussetzpunkt der Steine liegt bei der Brücke Schöttlkapelle, bei der auch die Drucksonde der Pegelmessstation installiert ist. In regelmäßigen Abständen bzw. nach Hochwasserereignissen wurde nach den Tracersteinen gesucht, um ihre Transportweite zu kartieren.

Um die Fundorte der Tracersteine aufnehmen zu können, wurden die GPS Punkte mittels eines Outdoor GPS Geräts gespeichert und später ausgelesen. Die ausgelesenen GPS Punkte wurden in eine kml – Datei geladen und danach in Google Earth dargestellt (die kml – Datei ist auf der beigefügten CD dieser Arbeit enthalten).

Im Anhang befindet sich auch eine detaillierte Darstellung der gefundenen Tracersteine mit dazugehörigen Koordinaten und Transportdistanz.

### **D 5.1 Bewegungsvorgang der Tracersteine**

Die ersten Telemetriesteine (Grün) wurden am 4.7.2016 und die 25 Farbtracersteine (Pink) am 8.7.2016 platziert. Zusätzlich wurde vor dem ersten Aufsuchen eine weitere Farbtracerreihe mit 20 Steinen (Gelb) am 22.7.2016 ausgesetzt.



*D 5.1.1 Betrachtungszeitraum 04.07.2016 - 22.07.2016*

Bei der ersten Begehung am 22.07.2016 wurde nach den ausgesetzten Telemetriesteinen vom 04.07.2016 und den pink markierten Farbtracersteinen vom 08.07.2016 gesucht. Des Weiteren wurden noch 20 gelb markierte Tracersteine ausgesetzt. Im Zeitraum zwischen dem 04.07.2016 und dem 22.07.2016 lag der größte Abfluss am 13.07.2016 bei 11,30 m<sup>3</sup>/s (Tabelle D 5-1).

Von den insgesamt 33 ausgesetzten Tracern wurden lediglich 11 wieder aufgefunden. Die aufgefundenen Tracer setzten sich aus 3 Telemetriesteinen und 8 Farbtracersteinen zusammen, dabei handelte es sich vorwiegend um schwere Tracersteine.

Durch den großen Geschiebetransport war es auch schwer möglich die Telemetriesteine wieder aufzufinden, da diese unter dem Sediment und Geschiebe komplex zu orten waren. Auch durch die Geländeform wurde die Ortung nicht erleichtert, da große Reflexionen der Signale auftraten.

Abbildung D 5-1 und Abbildung D 5-2 stellen die Kartierung der Farbtracersteine, sowie die Kartierung der Telemetriesteine dar.

Alle Tracersteine haben den selben Aussetzort.

Tabelle D 5-1: Höchster Abfluss von 04.07.2016 bis 22.07.2016

Betrachtungszeitraum		04.07.2016 – 22.07.2016	
Abflussdaten	Pegelstand [m]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	
Maximalwert am 13.07.2016	1,23	11,30	



Abbildung D 5-1: Fundorte der Farbtracersteine – Pink am 22.07.2016



Abbildung D 5-2: Fundorte der Telemetriesteine – Grün am 22.07.2016

*D 5.1.2 Betrachtungszeitraum 22.07.2016 – 09.09.2016*

Bei den Untersuchungen am 09.09.2016 wurde ein geringerer Transport der Tracersteine festgestellt. Dies lag auch daran, dass der höchste Abfluss im Betrachtungszeitraum mit 7,31 m<sup>3</sup>/s (Tabelle D 5-2) registriert wurde.

Von den am 22.07.2016 ausgesetzten gelben Farbtracern, wurden die Steine mit den Nummern 1,5,4,8 und 10 am Aussetzort wiedergefunden. Diese wurden nicht in der Abbildung D 5-5 dargestellt.

Die pink markierten Farbtracersteine 21,25 und 18 wurden an der gleichen Stelle aufgefunden. Die mit den Nummern 17, 24 und 6 markierten Steine wurden nicht mehr aufgefunden, dafür wurden neue Tracersteine kartiert (Abbildung D 5-3).

Bei den Telemetriesteinen wurde ein neuer Tracer detektiert (Abbildung D 5-4).

Tabelle D 5-2: Höchster Abfluss von 22.07.2016 bis 09.09.2016

<b>Betrachtungszeitraum</b>		
<b>22.07.2016 – 09.09.2016</b>		
<b>Abflussdaten</b>	<b>Pegelstand [m]</b>	<b>Abfluss [m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Maximalwert am 10.08.2016</b>	1,02	7,31



Abbildung D 5-3: Fundorte der Farbtracersteine – Pink am 09.09.2016



Abbildung D 5-4: Fundorte der Telemetriesteine – Grün am 09.09.2016



Abbildung D 5-5: Fundorte der Farbtracersteine – Gelb am 09.09.2016

*D 5.1.3 Betrachtungszeitraum 09.09.2016 – 29.09.2016*

Da im Betrachtungszeitraum von 09.09.2016 bis 29.09.2016 nur ein geringer Anstieg des Abflusses aufgetreten ist (Tabelle D 5-3), kam es zu keinem signifikanten Unterschied des Transportweges.

Lediglich die pink markierten Tracersteine (18,11,2) wurden nicht mehr gefunden, was wahrscheinlich auf eine Überdeckung des Geschiebes oder den Verlust der Markierungsfarbe zurückzuführen ist. Bei den restlichen 6 Tracersteinen kam es zu keiner Veränderung der Lage (Abbildung D 5-6, Bild rechts).

Bei den Telemetriesteinen (Grün) wurde ein weiterer Tracer ungefähr 130 Meter nach dem Aussetzpunkt entdeckt (Abbildung D 5-7). Die 3 anderen Telemetriesteine wurden auf denselben Ort kartiert, wie bei der Begehung am 09.09.2016.

Bei Aufsuchen der gelb markierten Tracersteine wurde auch keine Änderung der Lage festgestellt und es wurden 9 der zuletzt 11 kartierten Tracersteine wiedergefunden (Abbildung D 5-8).

Tabelle D 5-3: Höchster Abfluss von 09.09.2016 bis 29.09.2016

Betrachtungszeitraum		09.09.2016 – 29.09.2016	
Abflussdaten	Pegelstand [m]	Abfluss [m <sup>3</sup> /s]	
<b>Maximalwert am 17.09.2016</b>	0,65	2,30	

Fundorte 22.07.2016

Fundorte 09.09.2016

Fundorte 29.09.2016



Abbildung D 5-6: Fundorte der Farbracersteine – Pink von 22.7.2016 bis 29.09.2016



**Fundorte 22.07.2016**

**Fundorte 09.09.2016**

**Fundorte 29.09.2016**

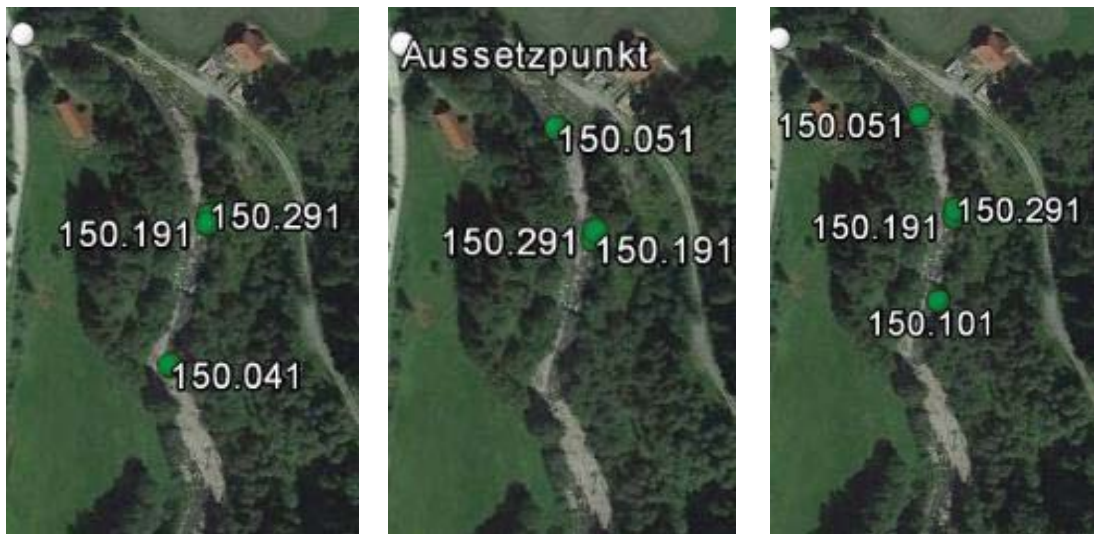


Abbildung D 5-7: Fundorte der Telemetriesteine – Grün von 22.7.2016 bis 29.09.2016

**Fundorte 09.09.2016**

**Fundorte 29.09.2016**



Abbildung D 5-8: Fundorte der Farbtracersteine – Gelb von 22.7.2016 bis 29.09.2016

## D 5.2 Transportdistanz

Da die Transportweite der Tracersteine von ihrer Masse abhängt, werden sie in insgesamt 4 Gewichtsklassen unterteilt.

Die Einteilung der 4 Gewichtsklassen wurde nach Barbas (2014) vorgenommen:

- XS: 0,0 – 0,5 kg
- S: 0,5 – 3,0 kg
- M: 3,0 – 8,0 kg
- L: 8,0 – 16,0 kg

Die nachfolgende Abbildung D 5-9 zeigt die durchschnittliche Transportweite der Tracersteine in Abhängigkeit ihrer Gewichtsklasse und des Abflusses.

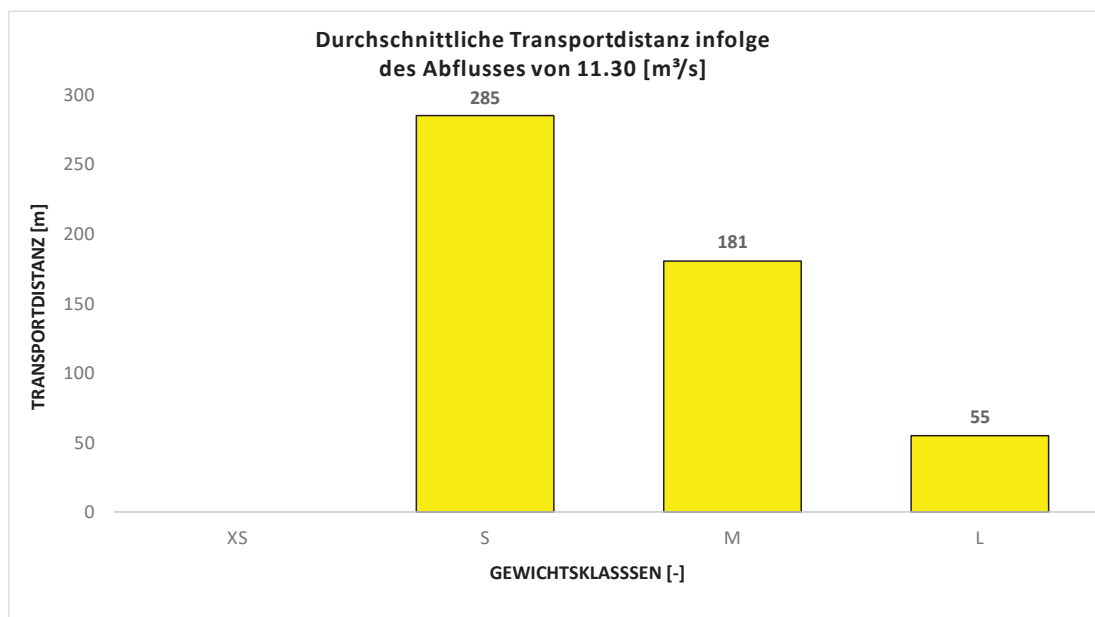


Abbildung D 5-9: Durchschnittliche Transportdistanz infolge des Abflusses von 11,30 m³/s

Die Abbildung D 5-10 stellt den Transportweg infolge des Abflusses von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$  am 10.08.2016 dar.

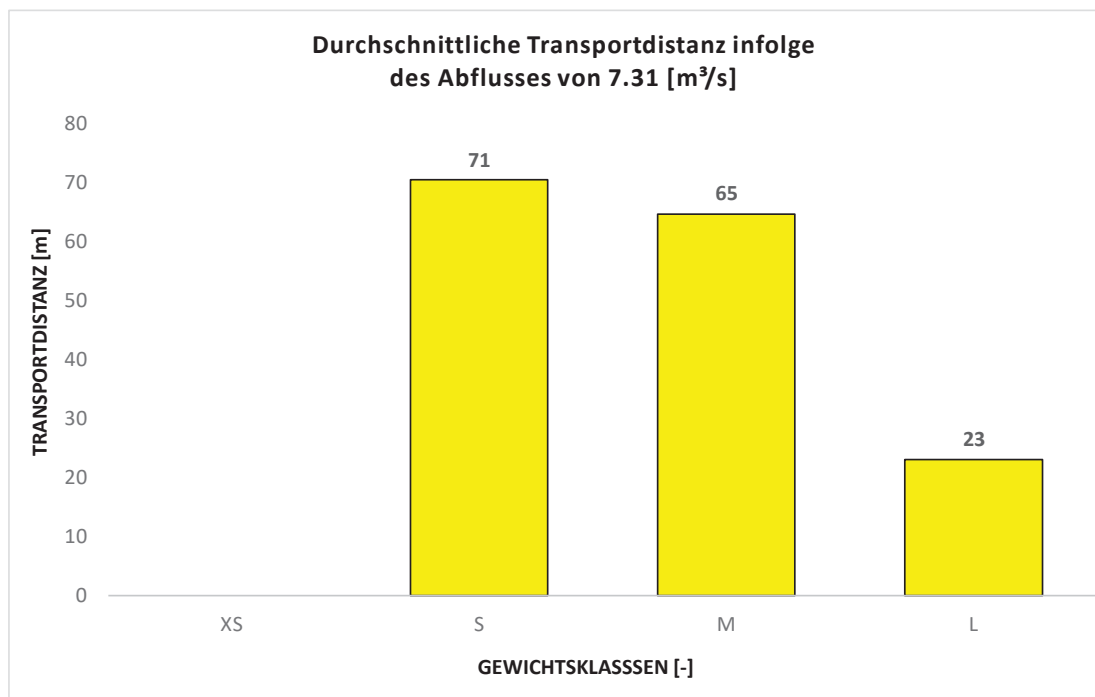


Abbildung D 5-10: Durchschnittliche Transportdistanz infolge des Abflusses von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$

Laut Barbas (2014) wurde ein Spitzenabfluss von  $7,77 \text{ m}^3/\text{s}$  im Jahr 2013 gemessen und die Transportdistanz der Gewichtsklasse „L“ betrug 70 Meter. Im Vergleich dazu herrschte im Jahr 2016 im August ein Abfluss von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$  und die durchschnittliche Transportdistanz der Gewichtsklasse „L“ liegt bei 23 Meter. Tracersteine der Kategorie „M“ bewegten sich bei Barbas (2014) im Durchschnitt 90 Meter weit und jene der Kategorie „S“ 215 Meter.

Diese Abweichung könnte darauf zurückzuführen sein, dass im Jahr 2013, in den jeweiligen Gewichtsklassen, mehrere Tracersteine wiedergefunden worden sind.

### D 5.3 Transportbeginn

Abbildung D 5-11 stellt den vermutlichen Transportbeginn der Tracersteine dar. Die Einteilung der Gewichtsklassen erfolgt analog wie in Kapitel D 5.2. Durch das Bewegungsverhalten während der verschiedenen Betrachtungszeiträume kann auf den wahrscheinlichen Transportbeginn geschlossen werden. Zwischen 04.07.2016 und 22.07.2016 herrscht ein Abfluss von  $11,30 \text{ m}^3/\text{s}$  und es wurden Tracersteine mit einer Masse von bis zu  $8,65 \text{ kg}$  transportiert.

Es konnte auch festgestellt werden, dass im zweiten Betrachtungszeitraum ein Abfluss von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$  aufgetreten ist und sich der Tracerstein mit  $15,60 \text{ kg}$  nicht bewegt hat. Tracersteine der Kategorie „S“ bewegen sich ungefähr mit einem Abfluss von  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

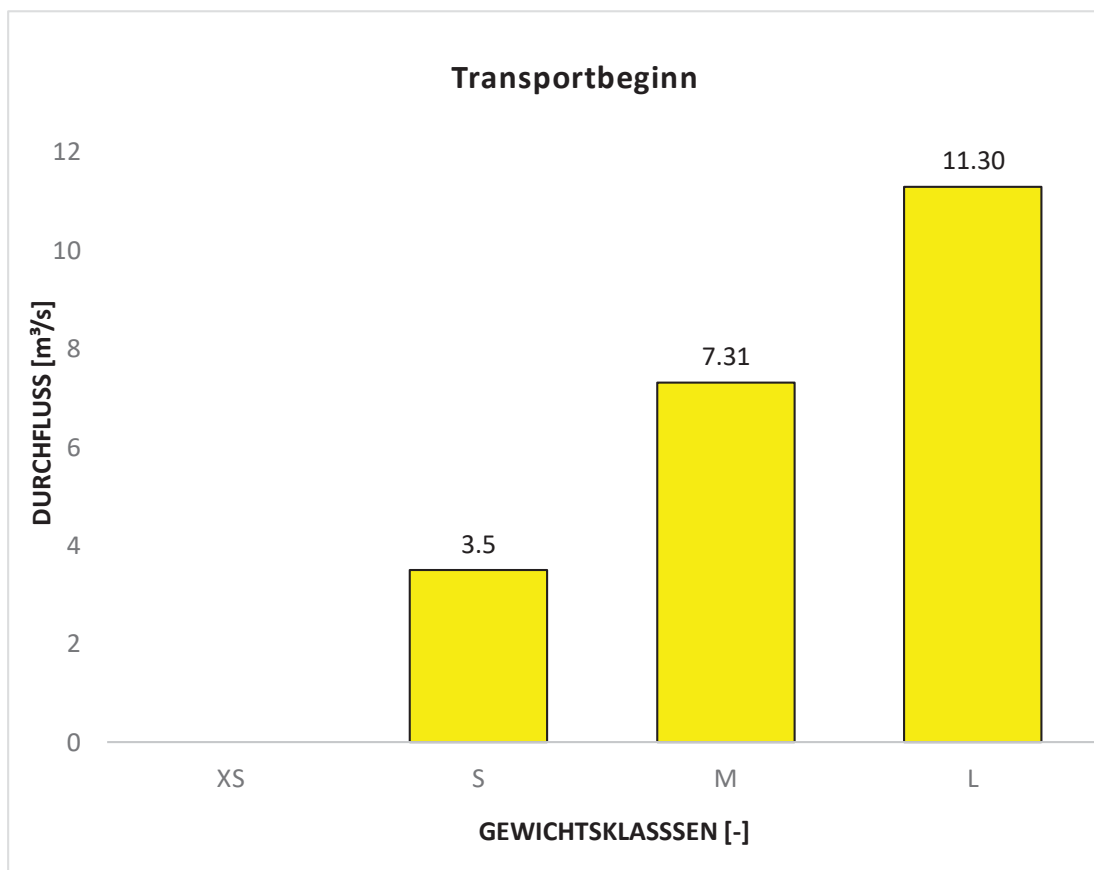


Abbildung D 5-11: Transportbeginn am Schöttlbach

## D 5.4 Wiederfindwahrscheinlichkeit

Durch hohe Abflüsse und die damit zusammenhängenden auftretenden Kräfte im Fließgewässer, verlieren die Tracersteine schnell ihre Farbe und die Wiederfindbarkeit sinkt. Algenbewuchs, Abrasion, das Lösen der Markierung und Überlagerungen des Gerölls sind die am häufigsten auftretenden Gründe, die zum Verlust der Tracersteine führen.

In der Abbildung D 5-12 ist zu sehen, dass die Wiederfindwahrscheinlichkeit mit der Zeit sinkt. Im Zeitraum von 04.07.2016 bis 09.09.2016 wurden über 30 Prozent der pink markierten Tracersteine gefunden. Betrachtet man den Zeitraum von 09.09.2016 bis 29.09.2016, sind es lediglich nur mehr 20 Prozent. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Markierung, durch die im oberen Absatz erwähnten Gründe, von den Steinen löst.

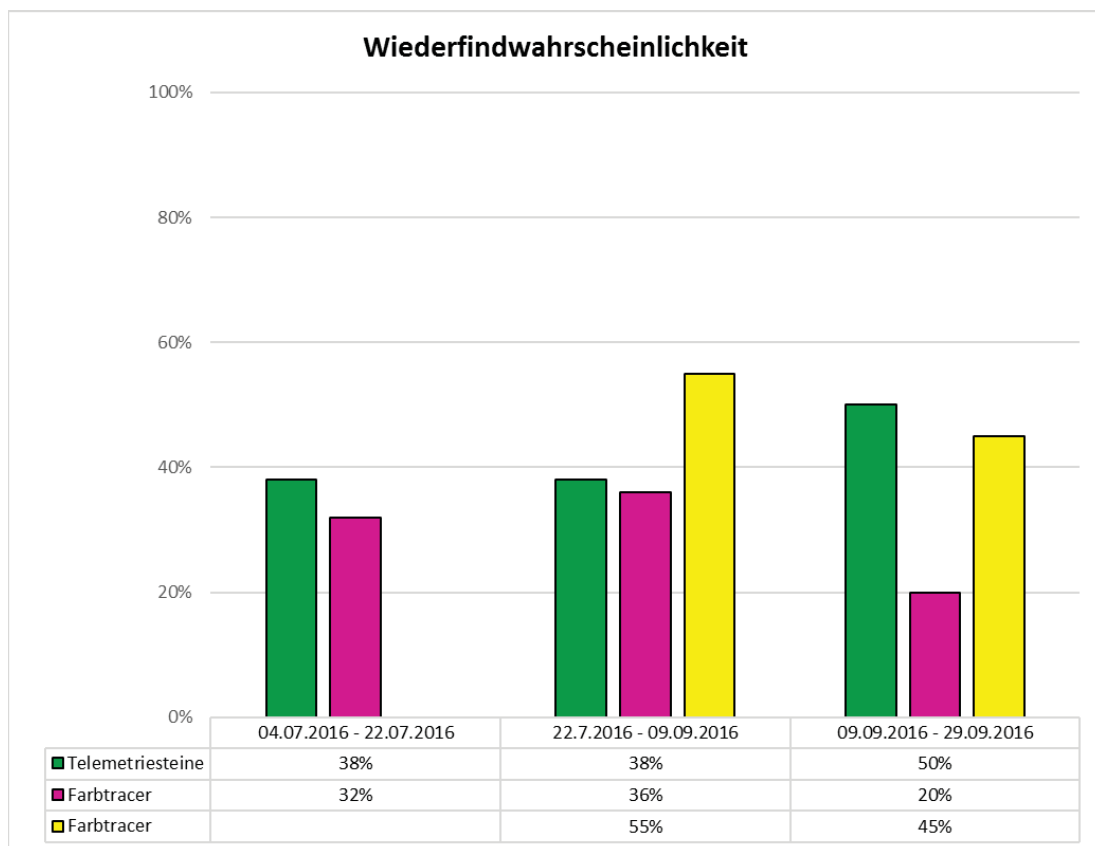


Abbildung D 5-12: Wiederfindwahrscheinlichkeit der Tracer und Telemetriesteine

In den Jahren 2012, 2013 und 2014 wurden exakt 101 Farbtracersteine im Bereich der Schöttlkapelle ausgesetzt, von denen wieder 39 Stück aufgefunden wurden. Die Wiederauffindwahrscheinlichkeit liegt somit bei 38,6 %. (Spreitzer, 2014).

Von den 53 ausgesetzten Tracersteinen im Jahr 2016 wurden am 29.09.2016 insgesamt 18 Steine wiedergefunden, dies entspricht einer Wiederauffindwahrscheinlichkeit von 38 %.

## D 6. RFID - Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Versuchsdurchführungen aus Kapitel B 2 beschrieben.

### D 6.1 Rücklaufgerinne

Um die Registrierungsrate von markierten Steinen aufzuzeichnen, wurden die Antennen als „PASS – THROUGH“ Antennen (Kapitel C 1.2.2) eingebaut. Der Durchfluss im Rücklaufgerinne betrug 292 l/s und somit kann mit der Formel nach Manning – Strickler (Formel D 6-1) die Geschwindigkeit berechnet werden:

$$v_m = k_{st} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 1.43 \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (D 6-1)$$

mit  $k_{st} = 43 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$   
 $R = 1.08 \text{ m}$   
 $I = 1 \text{ ‰}$

Die Markierung der Steine erfolgte mit 12 mm PIT – *Tags*.

#### D 6.1.1 Trockenversuch

Beim Trockenversuch wurden die markierten Steine händisch durch die Antenne geführt, um den Einfluss der Orientierung der *Tags* (Teil C Kapitel C 1.2.3) bei der Detektierung zu untersuchen.

Die nachfolgende Tabelle D 6-1 zeigt die Detektion der markierten Steine. Bei den ersten Versuchen wurde der *Tag* senkrecht zum Antennenfeld angeordnet und die Detektionsrate lag bei 100 Prozent. Beim zweiten Test wurde die Orientierung des *Tags* parallel zum Antennenfeld geändert und die Registrierungsrate lag bei 87 Prozent. Eine große Rolle spielt natürlich die Geschwindigkeit, mit der der *Tag* die Antenne passiert, dies wird aber genauer in Kapitel D 6.2 beschrieben.

Tabelle D 6-1: RFID – Trockenversuch Detektion

	Tag	Masse des Steins [kg]	Antennennummer	Detektion
Senkrecht zum Antennenfeld	12	0,950	1	✓
	12	0,950	2	✓
	12	0,065	1	✓
	12	0,065	2	✓
	12	1,300	1	✓
	12	1,300	2	✓
	12	0,100	1	✓
	12	0,100	2	✓
Parallel zum Antennenfeld	12	0,950	1	✓
	12	0,950	2	x
	12	0,065	1	✓
	12	0,065	2	✓
	12	1,300	1	✓
	12	1,300	2	✓
	12	0,100	1	✓
	12	0,100	2	✓

### D 6.1.2 Nassversuch

Beim Nassversuch betrug der Durchfluss ca. 292 l/s, wobei die Wassertiefe im Rücklaufgerinne ca. 20 Zentimeter betrug. Es wurden die markierten Steine einmal direkt vor der Antenne fallen gelassen und im zweiten Versuch circa einen Meter davor. Durch die Fließgeschwindigkeit wurden die Steine mitgerissen und rollten über die Gerinnesohle durch beide Antennenfelder. Die Orientierung der Tags kann somit nicht mehr beeinflusst werden.

Die Ergebnisse der Detektion können der Tabelle D 6-2 entnommen werden. Bei einer Fließgeschwindigkeit von 1,43 m/s wurden 87 Prozent bei einer Einwurfentfernung von 10 cm der markierten Steine erfasst, bei einem Abstand von 1 Meter waren es 100 Prozent.



Tabelle D 6-2: RFID – Nassversuch Detektion

	<i>Tag</i>	Masse des Steins [kg]	Geschwindigkeit des Wassers [m/s]	Antennen-nummer	Detektion
Einwurfabstand zur 1 Antenne 10 cm	12	0,950	1,43	1	x
	12	0,950	1,43	2	✓
	12	0,065	1,43	1	✓
	12	0,065	1,43	2	✓
	12	1,300	1,43	1	✓
	12	1,300	1,43	2	✓
	12	0,100	1,43	1	✓
	12	0,100	1,43	2	✓
Einwurfabstand zur 1 Antenne 100 cm	12	0,950	1,43	1	✓
	12	0,950	1,43	2	✓
	12	0,065	1,43	1	✓
	12	0,065	1,43	2	✓
	12	1,300	1,43	1	✓
	12	1,300	1,43	2	✓
	12	0,100	1,43	1	✓
	12	0,100	1,43	2	✓

## D 6.2 Freier Fall und PASS - THROUGH & PASS - BY

Im Freien-Fall-Experiment war es offensichtlich, dass die Registrierungsrate von der Orientierung des Transponders und auch von der Geschwindigkeit des Steins abhängig ist. Die Steine wurden einen halben Meter über der Antenne fallen gelassen. Dabei kam es zum Ergebnis, dass nur sehr wenige von der ersten Antenne erkannt wurden. Die Detektion der zweiten Antenne, die einen Meter unter der ersten liegt, blieb völlig aus. Dadurch wurde erkannt, dass die Geschwindigkeit eine sehr große Bedeutung hat, je höher die Fallgeschwindigkeit desto geringer ist die Registrierungsrate. In Tabelle D 6-3 werden die einzelnen Ergebnisse nochmals dargestellt.

Tabelle D 6-3: RFID – Freier Fall Detektion

	<i>Tag</i>	Masse des Steins [kg]	Geschwindigkeit des Steins [m/s]	Antennennummer	Detektion
			(ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes)		
Fallhöhe zur 2 Antenne 50 cm	12	0,95	3,13	1	x
	12	0,07	3,13	1	✓
	12	1,30	3,13	1	x
	12	0,10	3,13	1	x
	12	0,76	3,13	1	x
	12	0,43	3,13	1	x
	12	0,22	3,13	1	✓
	12	0,16	3,13	1	x
	12	0,38	3,13	1	x
	12	0,13	3,13	1	x
Fallhöhe zur 2 Antenne 150 cm	12	0,95	5,40	2	x
	12	0,07	5,40	2	x
	12	1,30	5,40	2	x
	12	0,10	5,40	2	x
	12	0,76	5,40	2	x
	12	0,43	5,40	2	x
	12	0,22	5,40	2	x
	12	0,16	5,40	2	x
	12	0,38	5,40	2	x
	12	0,13	5,40	2	x

Darüber hinaus wurde auch noch ein Laborversuch mit einer PASS - THROUGH und PASS - BY Antenne an einem Gerinne durchgeführt. Wie schon im oberen Abschnitt erwähnt, war wieder die Geschwindigkeit der Haupteinflussfaktor. Bei einem rollenden Vorgang der Steine wurden 90 Prozent der *Tags* erkannt, wird aber der Stein zu schnell ins Gerinne geworfen, erfasst keine Antenne ein Signal.

In der Tabelle D 6-4 werden die Ergebnisse des rollenden Vorgangs dargestellt.

Zusammengefasst stellt das RFID – System sehr vielversprechende Methode für die Untersuchungen vom Geschiebetransport dar. Es ist noch zu erwähnen, dass

bei diesen Versuchen die kleinsten *Tags* mit der geringsten Reichweite verwendet wurden. Mit größeren *Tags* vergrößert sich auch die Reichweite des Signals, wodurch die Registrierungsrate steigt.

Tabelle D 6-4: RFID – PASS – THROUGH &amp; PASS – BY Detektion

	<i>Tag</i>	Masse des Steins [kg]	Antennennummer	Detek- tion
PASS - THROUGH Antenne	12	0,95	1	✓
	12	0,07	1	✓
	12	1,30	1	✓
	12	0,10	1	✓
	12	0,76	1	✓
	12	0,43	1	✓
	12	0,22	1	✓
	12	0,16	1	✓
	12	0,38	1	✓
	12	0,13	1	x
PASS - BY Antenne	12	0,95	2	x
	12	0,07	2	✓
	12	1,30	2	✓
	12	0,10	2	✓
	12	0,76	2	✓
	12	0,43	2	✓
	12	0,22	2	✓
	12	0,16	2	✓
	12	0,38	2	✓
	12	0,13	2	✓

## **D 7. Zusammenfassung und Ausblick**

Dieser abschließende Teil der Arbeit soll die gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse zusammenfassen und mögliche Verbesserungsvorschläge für weiterführende Untersuchungen in diesen Bereichen aufzeigen.

### **Sediment Impact Sensoren**

Die Messdaten im Zeitraum von März bis September sind an allen Standorten mit Fehlern behaftet, weshalb gewisse Unsicherheiten und Unschärfen gegeben sind. Aufgrund fehlerhafter Zeitstempel der verwendeten Arduinos mussten alle Rohdaten der Sensoren händisch bestmöglich korrigiert werden. Diese Aufzeichnungsungenauigkeiten würden sich vermeiden lassen, indem man bei jeder Datenauslesung die Systemzeit am Arduino kontrolliert. Eine genaue Betrachtung der Messergebnisse zeigte, dass die Sensibilität der verbauten Sensoren sehr unterschiedlich ist. Diese Unsicherheit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedlichen örtlichen Bedingungen der Messstationen zurückzuführen. Aus diesem Grund sollten die Sensoren in Zukunft sehr sorgsam im Bachbett verlegt, und zwingend mit einem Drehmomentschlüssel eingebaut werden. Um die Qualität der Messdaten erhöhen zu können, sollten alle verwendeten Hardwarekomponenten auf deren Funktionalität und Sensibilität im Labor getestet und gegebenenfalls optimiert werden. Dafür würden sich die Wintermonate anbieten, da in diesem Zeitraum generell wenig Geschiebe transportiert wird. Dadurch wird auch gewährleistet, dass die verbauten Batterien nicht durch die Kälte im Winter beschädigt werden. Die Kalibrierung der Messwerte spielt bei den teils sehr unterschiedlichen Sensibilitäten der Sensoren eine große Rolle. Die im Zuge dieser Arbeit gefertigten Geschiebekörbe eignen sich sehr gut, um eine Beziehung zwischen den Impulsen der Sensoren und der Geschiebefracht herzustellen. Aus diesem Grund sollten unbedingt weitere Körbe gefertigt und bei jedem Sensor verbaut werden. Dies wäre der wichtigste Schritt, um die Geschiebefracht in jedem Messquerschnitt in Zukunft möglichst genau abschätzen zu können.

Trotz der beschriebenen Unsicherheiten und Fehlerquellen der gewonnenen Messdaten, wurde eine Berechnung der Geschiebefracht bei der Schöttlkapelle durchgeführt. Dabei ist anzumerken, dass es sich um eine sehr stark vereinfachte, aber plausible Hochrechnung handelt. Die Geschiebekörbe wurden zwischen 27. Mai und 09. September 6-mal entleert und analysiert. Zwischen 23. Juni und 20. Juli wurden alleine 150 kg in den Körben gesammelt. In diesem Zeitraum gab es auch den höchsten Abfluss von über 11 m<sup>3</sup>/s. Aufgrund der gesamten Masse aller Entleerungen (insgesamt ca. 450 kg) wurde die gesamte Geschiebefracht bei dieser Messstation mit ca. 1.500 kg in diesem Zeitraum beziffert.

Korrelationen zwischen den SIS- Impulsen und den gesammelten Geschiebemassen zeigten, dass die Sensoren sehr unterschiedlich auf Einschläge reagieren. Dies lässt sich damit begründen, dass die Bewegungsform der einzelnen Körner eine sehr große Rolle spielt. Generell wurde aber festgestellt, dass bei allen Messstandorten der minimale Abfluss über 1.8 m<sup>3</sup>/s liegen muss, damit die Sensoren auf das Geschiebe reagieren. Auf eine detaillierte Auswertung hinsichtlich der Geschiebefracht wurde aufgrund der nicht vorhandenen Korbbkalibrierungen an den Standorten Krumeggerbach und Salchauerbach verzichtet.

Eine automatische Auswertung der Rohdaten mit dem entwickelten Java Tool ist sehr hilfreich und zeitsparend, wobei Fehler in den Rohdaten schwer erkannt werden können. Daher ist es sinnvoll, jedes gespeicherte File zuerst auf grobe Messungenauigkeiten zu untersuchen. Dabei sollten die Zeitstempel, mögliche *crosstalks* sowie offensichtliche Aufzeichnungsprobleme händisch korrigiert werden. Von einer kompletten Automatisierung der Auswertung wird dringend abgeraten, da dadurch die bereits ungenauen Messdaten noch mehr verfälscht werden könnten.

## **Farbtracer - und Telemetriesteine**

Um den Geschiebetransport im Schöttlbach zu untersuchen, wurden im Laufe der Arbeit 45 Farbtracer und 8 Telemetriesteine ausgesetzt. Zur Feststellung des Transportverhaltens von den markierten Steinen, wurde nach Hochwasserereignissen in regelmäßigen Abständen nach den Steinen gesucht. Um die Tracersteine leichter zuordnen zu können, wurden die Telemetriesteine mit grüner und die Farbtracersteine mit gelber oder pinker Farbe markiert und charakterisiert.

Für die Herstellung der Telemetriesteine mussten im Vorfeld Löcher in die Steine gebohrt werden, um diese mit Sendern zu versehen. Die Sender geben durchgehend ein Signal aus um die Ortung der Steine zu erleichtern.

Nach dem Aussetzen der ersten zwei Tracerreihen am 04.07.2016 und am 08.07.2016 trat am 13.07.2016 um 23:55 Uhr das größte Hochwasserereignis im Jahr 2016 auf. Dabei betrug der Abfluss  $11,30 \text{ m}^3/\text{s}$  und es wurden alle ausgesetzten Farbtracer und Telemetriesteine transportiert.

Bei der ersten Begehung wurden bereits nur mehr 8 der 25 ausgesetzten Farbtracersteine gefunden. Um die Standorte der gefundenen Tracersteine zu kartieren, wurde ein GPS-Gerät mitgeführt. Die größte Transportdistanz bei dieser Begehung lag bei 421 m und es wurden Steine mit einer Masse von 8,65 kg transportiert.

Nach dem Aussetzen der letzten Tracerreihe am 22.07.2016 mit insgesamt 20 Steinen, trat am 10.08.2016 um 09:30 Uhr das nächste Hochwasserereignis auf, bei dem sich ein Abfluss von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$  einstellte.

Beim nächsten Aufsuchen der Tracersteine wurde festgestellt, dass sich Steine bei einem Abfluss von  $7,31 \text{ m}^3/\text{s}$  mit einer Masse von 9 bis 15 kg nicht bewegen. Mit dieser Beziehung kann auf den vermutlichen Transportbeginn rückgeschlossen werden. Laut Barbas (2014) mobilisierte sich ein Stein (35 kg) bei einem berechneten Abfluss von  $7,77 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die Ergebnisse aus dem Jahr 2014 korrelieren somit nicht mit den Erkenntnissen dieser vorgelegten Arbeit.

Die Wiederfindwahrscheinlichkeit der Tracersteine sinkt natürlich über die Zeit, da durch den Geschiebetransport, Algenbewuchs und Überlagerung des Gerölls das Auffinden erschwert wird. Am Schöttlbach liegt die durchschnittliche Wiederfindwahrscheinlichkeit der Tracersteine bei ca. 20 % im betrachteten Zeitraum von 04.07.2016 bis 29.09.2016. Bei den Telemetriesteinen liegt der Wert bei 50 %.

Im Zuge dieser Arbeit kam es beim Auffinden der Tracersteinen zu folgenden Problemen:

Durch die Talflanken entlang des Wildbaches kam es zu starken Reflexionen der Telemetrietracer, was somit das Suchen erheblich erschwerte. Das Signal wurde so sehr verfälscht, womit ein genaues Bestimmen des Standortes nicht möglich war. Die Aufzeichnungen mit dem verwendeten GPS-Gerät zeigten Abweichungen von den gemessenen zu den natürlichen Standpunkten. Diese Ungenauigkeiten (+/- 3 Meter) sind für die Transportanalyse nicht relevant, da diese nur einen groben Überblick über das Transportverhalten darstellen sollen. Die Herstellung der Farbtracersteine sollte bei zukünftigen Arbeiten einfach gehalten werden, da keine signifikanten Unterschiede zwischen den Herstellungsmethoden festgestellt wurden.

## **RFID**

Im Zuge von verschiedenen Laborversuchen (Gerinne, Freier Fall etc.) konnte festgestellt werden, dass dieses System auch für die Untersuchung des Geschiebetransportes sehr gut geeignet ist.

Ein großer Vorteil dieses Systems besteht darin, dass alle Daten in Echtzeit (Datum, Uhrzeit) aufgezeichnet werden. Der Einsatz dieses Systems in einem Wildbach wäre von großem Nutzen, da der Transportbeginn von unterschiedlichen Gewichtsklassen eindeutig festgestellt werden könnte.

Ein negativer Punkt dieses Systems besteht darin, dass der Einbau sehr aufwendig ist. Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass eine kontinuierliche Stromversorgung vorhanden ist.

## Abbildungsverzeichnis Teil D

Abbildung D 1-1: Pegelstand Schöttlkapelle 2012 .....	151
Abbildung D 1-2: Pegelstand Schöttlkapelle 2013 .....	152
Abbildung D 1-3: Pegelstand Schöttlkapelle 2014 .....	152
Abbildung D 1-4: Pegelstand Schöttlkapelle 2015 .....	153
Abbildung D 1-5: Pegelstand Schöttlkapelle 2016 .....	153
Abbildung D 1-6: Pegelstand Krumeggerbach 2012 .....	155
Abbildung D 1-7: Pegelstand Krumeggerbach 2013 .....	155
Abbildung D 1-8: Pegelstand Krumeggerbach 2014 .....	156
Abbildung D 1-9: Pegelstand Krumeggerbach 2015 .....	156
Abbildung D 1-10: Pegelstand Krumeggerbach 2016 .....	157
Abbildung D 2-1: Querprofil im Bed - Load Analyzer an der Schöttlkapelle (Abfluss 10 m <sup>3</sup> /s).....	160
Abbildung D 2-2: Darstellung der Pegelkurve an der Schöttlkapelle .....	160
Abbildung D 3-1: Durchfluss Schöttlkapelle 2016 .....	164
Abbildung D 3-2: Durchfluss Krumeggerbach 2016 .....	165
Abbildung D 4-1: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016) ..	167
Abbildung D 4-2: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)	168
Abbildung D 4-3: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016).....	169
Abbildung D 4-4: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016).	169
Abbildung D 4-5: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März -Mai 2016) ...	171
Abbildung D 4-6: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016)	171
Abbildung D 4-7: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016).....	172
Abbildung D 4-8: S3 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11-15 Juli).....	172
Abbildung D 4-9: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März -Mai 2016) ...	173



Abbildung D 4-10: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016) .....	173
Abbildung D 4-11: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016).....	174
Abbildung D 4-12: S4 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11-15 Juli).....	174
Abbildung D 4-13: Geschiebekorbentleerungen.....	176
Abbildung D 4-14: Korrelation SIS S1 Impacts mit Korb 1 Entleerungen .....	177
Abbildung D 4-15: Korrelation SIS S3 Impacts mit Korb 3 Entleerungen .....	178
Abbildung D 4-16: Korrelation SIS S3 Impacts mit Korb 3 Entleerungen .....	179
Abbildung D 4-17: Geschiebefracht 27. Mai – 04. Juni .....	180
Abbildung D 4-18: Geschiebefracht 04. Juni – 23. Juni .....	180
Abbildung D 4-19: Geschiebefracht 23. Juni – 20. Juli.....	181
Abbildung D 4-20: Geschiebefracht 20. Juli – 05. August.....	181
Abbildung D 4-21: Geschiebefracht 05. August – 11. August .....	181
Abbildung D 4-22: Geschiebefracht 05. August – 09. September .....	181
Abbildung D 4-23 Geschiebefrachtberechnung.....	182
Abbildung D 4-24: S1 Impacts Salchauerbach (März - Mai 2016).....	183
Abbildung D 4-25: S1 Impacts Salchauerbach (Juni - August 2016).....	183
Abbildung D 4-26: S1 Impacts Salchauerbach (Juli 2016).....	184
Abbildung D 4-27: S1 Impacts Salchauerbach (11 – 15 Juli 2016) .....	185
Abbildung D 4-28: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016)	186
Abbildung D 4-29: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016) .....	187
Abbildung D 4-30: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016).....	187
Abbildung D 4-31: S1 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016)	188
Abbildung D 4-32: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (März - Mai 2016)	189
Abbildung D 4-33: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juni – Sept. 2016) .....	190

Abbildung D 4-34: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (Juli 2016).....	190
Abbildung D 4-35: S2 Impacts + Pegelhöhe + Durchfluss (11 – 15 Juli 2016)	191
Abbildung D 5-1: Fundorte der Farbtracersteine – Pink am 22.07.2016 .....	194
Abbildung D 5-2: Fundorte der Telemetriesteine – Grün am 22.07.2016.....	195
Abbildung D 5-3: Fundorte der Farbtracersteine – Pink am 09.09.2016 .....	197
Abbildung D 5-4: Fundorte der Telemetriesteine – Grün am 09.09.2016.....	198
Abbildung D 5-5: Fundorte der Farbtracersteine – Gelb am 09.09.2016.....	198
Abbildung D 5-6: Fundorte der Farbtracersteine – Pink von 22.7.2016 bis 29.09.2016.....	200
Abbildung D 5-7: Fundorte der Telemetriesteine – Grün von 22.7.2016 bis 29.09.2016.....	201
Abbildung D 5-8: Fundorte der Farbtracersteine – Gelb von 22.7.2016 bis 29.09.2016.....	201
Abbildung D 5-9: Durchschnittliche Transportdistanz infolge des Abflusses von 11,30 m <sup>3</sup> /s.....	202
Abbildung D 5-10: Durchschnittliche Transportdistanz infolge des Abflusses von 7,31 m <sup>3</sup> /s.....	203
Abbildung D 5-11: Transportbeginn am Schöttlbach.....	204
Abbildung D 5-12: Wiederfindwahrscheinlichkeit der Tracer und Telemetriesteine .....	205

## Tabellenverzeichnis Teil D

Tabelle D 5-1: Höchster Abfluss von 04.07.2016 bis 22.07.2016.....	193
Tabelle D 5-2: Höchster Abfluss von 22.07.2016 bis 09.09.2016.....	196
Tabelle D 5-3: Höchster Abfluss von 09.09.2016 bis 29.09.2016.....	199
Tabelle D 6-1: RFID – Trockenversuch Detektion.....	208
Tabelle D 6-2: RFID – Nassversuch Detektion.....	209
Tabelle D 6-3: RFID – Freier Fall Detektion .....	210
Tabelle D 6-4: RFID – PASS – THROUGH & PASS – BY Detektion.....	211

## Literaturverzeichnis Teil D

Barbas, T. (2014). *Untersuchung des Geschiebetransports in Wildbächen mittels Tracerverfahren*. Masterarbeit an der TU Graz.

Lebensministerium. (2011). *Leitfaden, Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserkennwerten*. Wien.

Spreitzer, G. (2014). *Untersuchung des Sedimenttransports sowie des Abflussverhaltens von Wildbächen in einem alpinen Einzugsgebiet mittels Feldmessungen*. Masterarbeit an der TU Graz.

# Anhang

Bernhard Langer, BSc | Alexander Stoißer, BSc

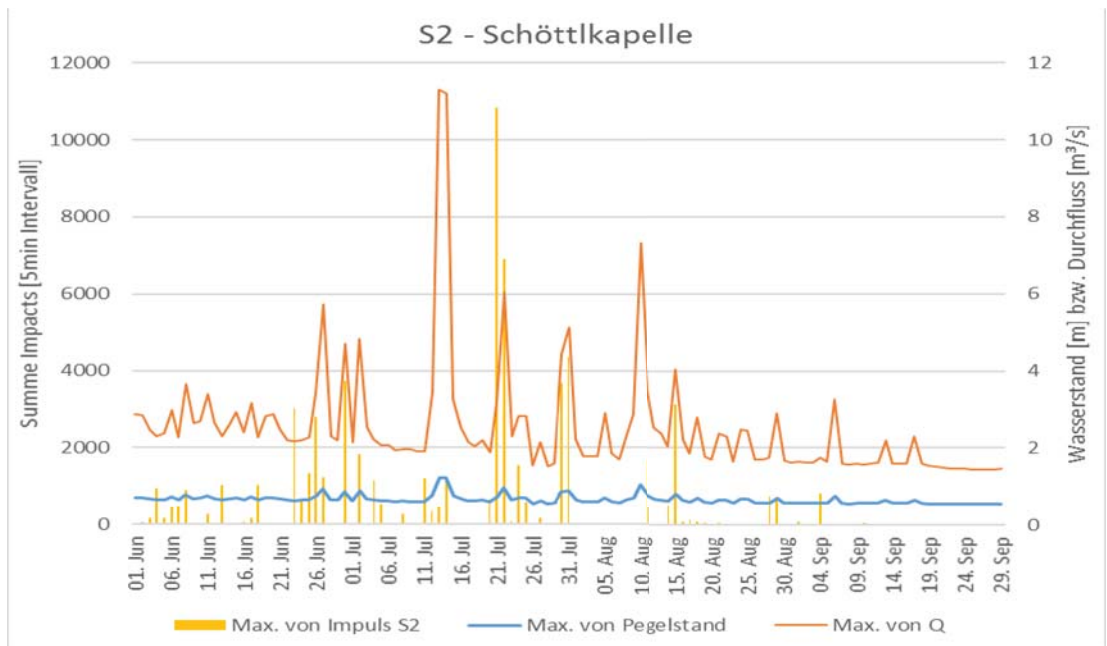
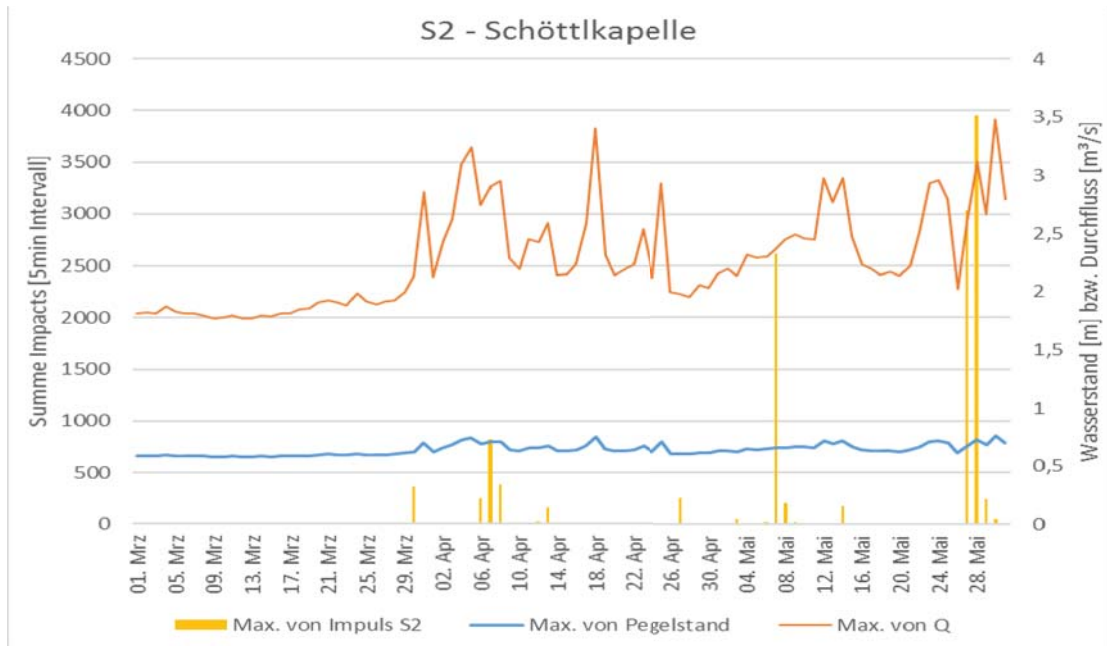
**Anhangverzeichnis**

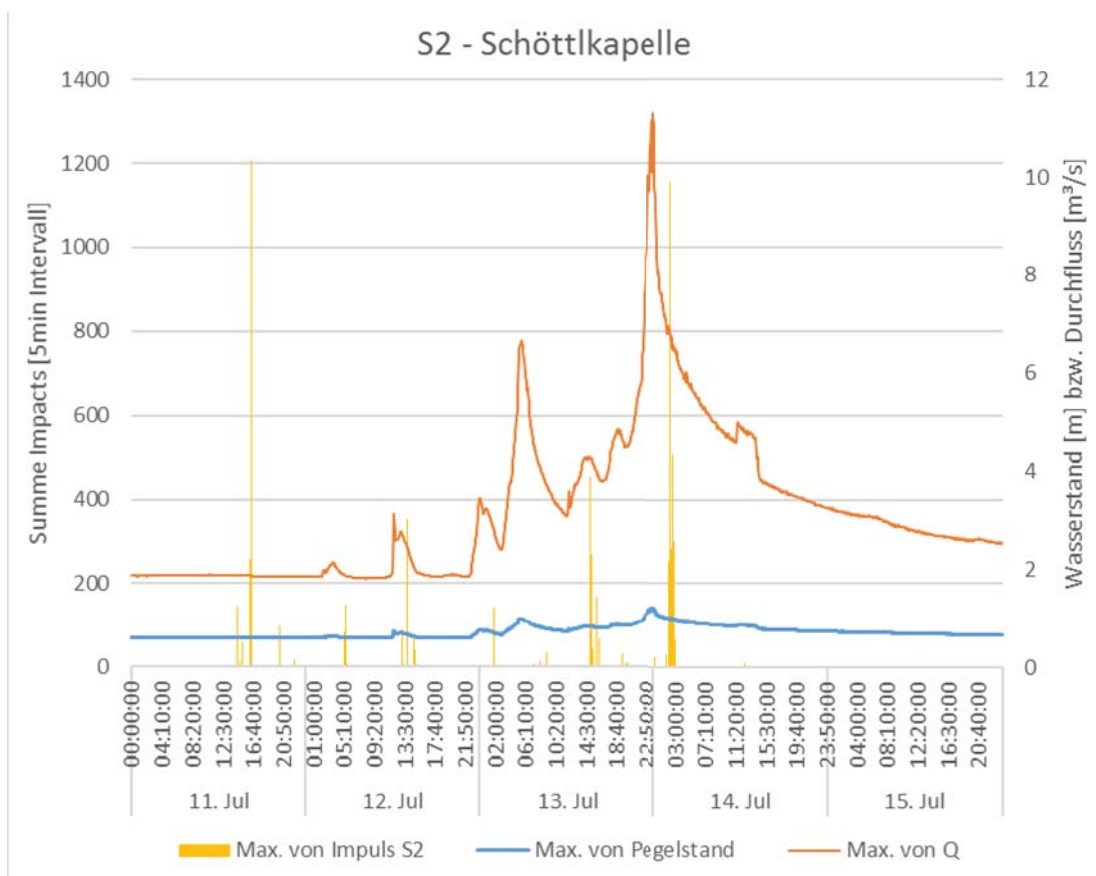
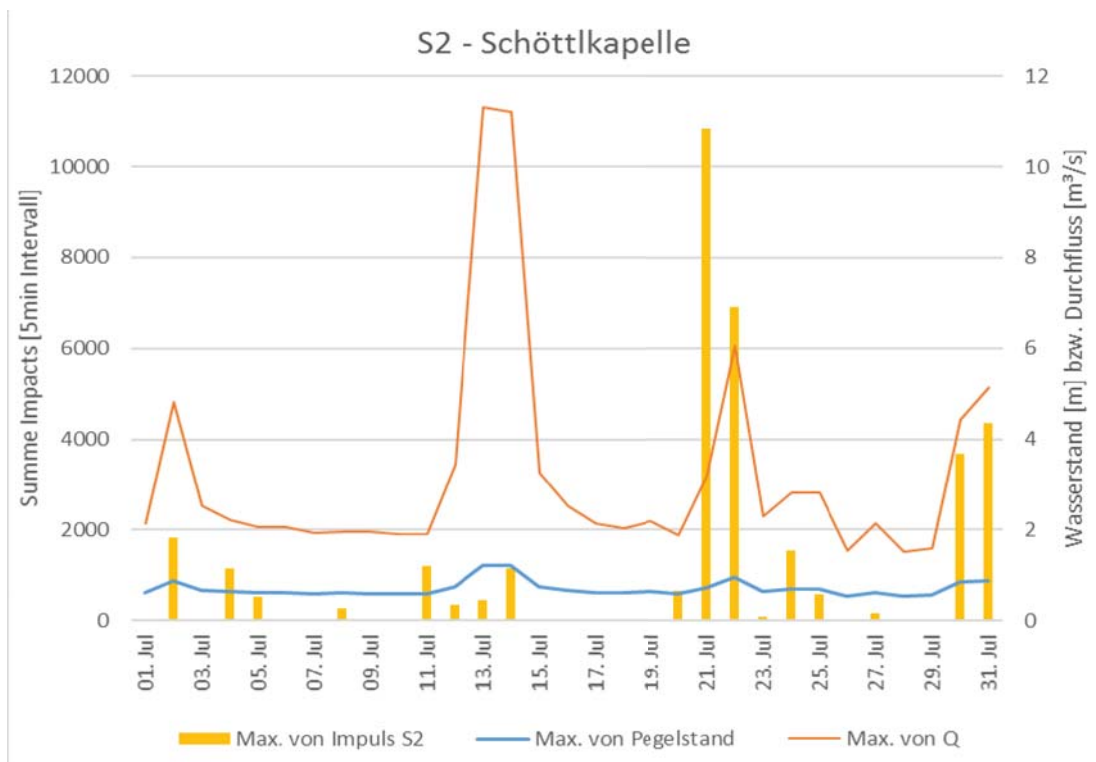
- SIS Auswertungen
- Konverteilungskurven
- Bewegungsvorgang der Farb- und Telemetriesteine
- Geschiebekorb Bauanleitung

**CD Verzeichnis**

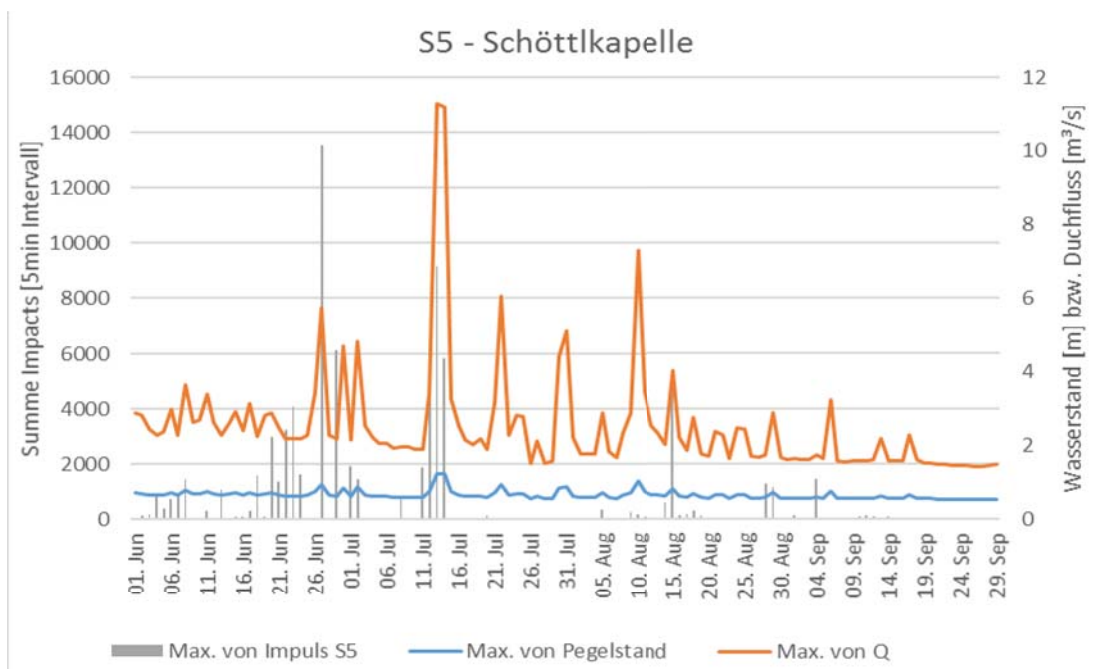
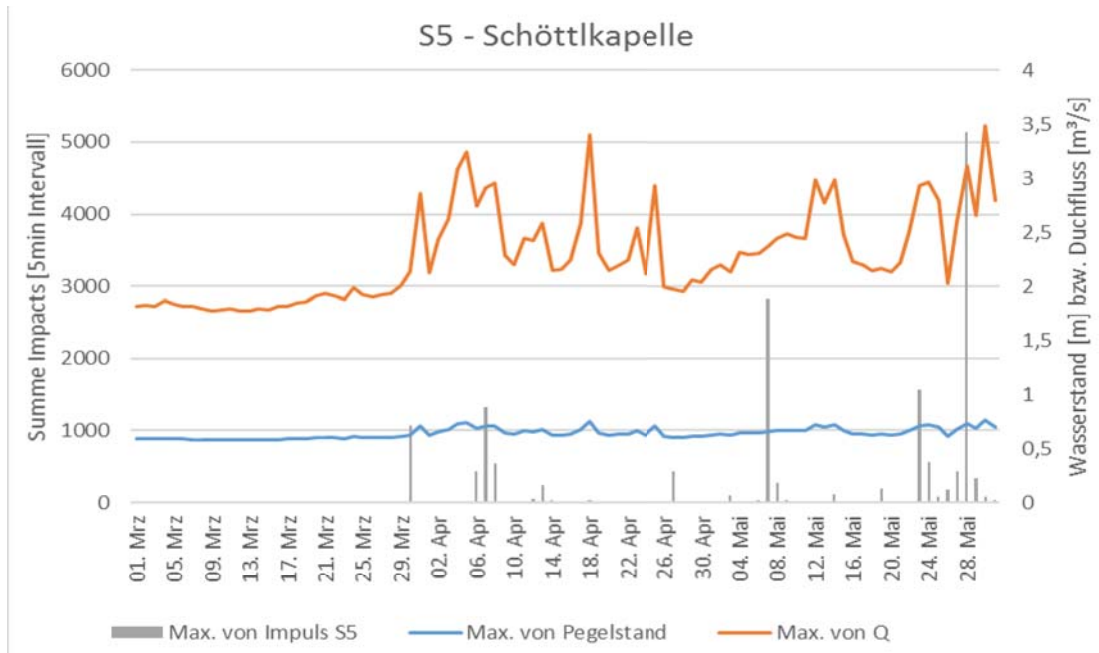
- Bilder
- JAVA- Tool
- Pegeldaten
- Sediment-Impact- Sensoren Ergebnisse
- Tracersteine
- kml- Datei

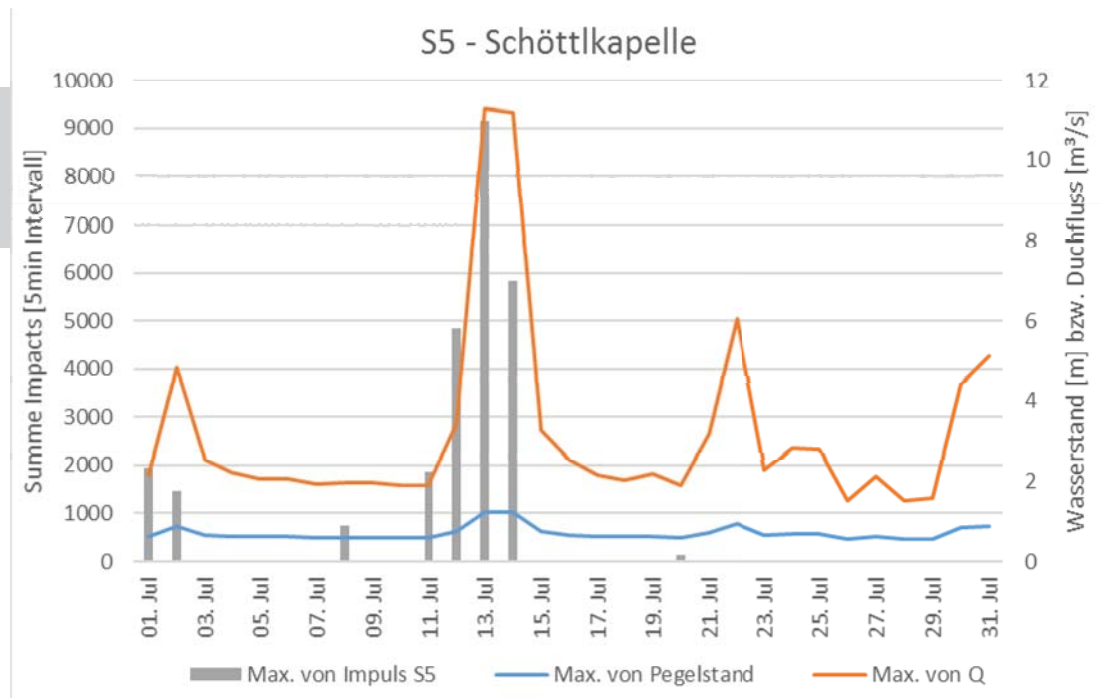
### Schöttlkapelle SIS Auswertung



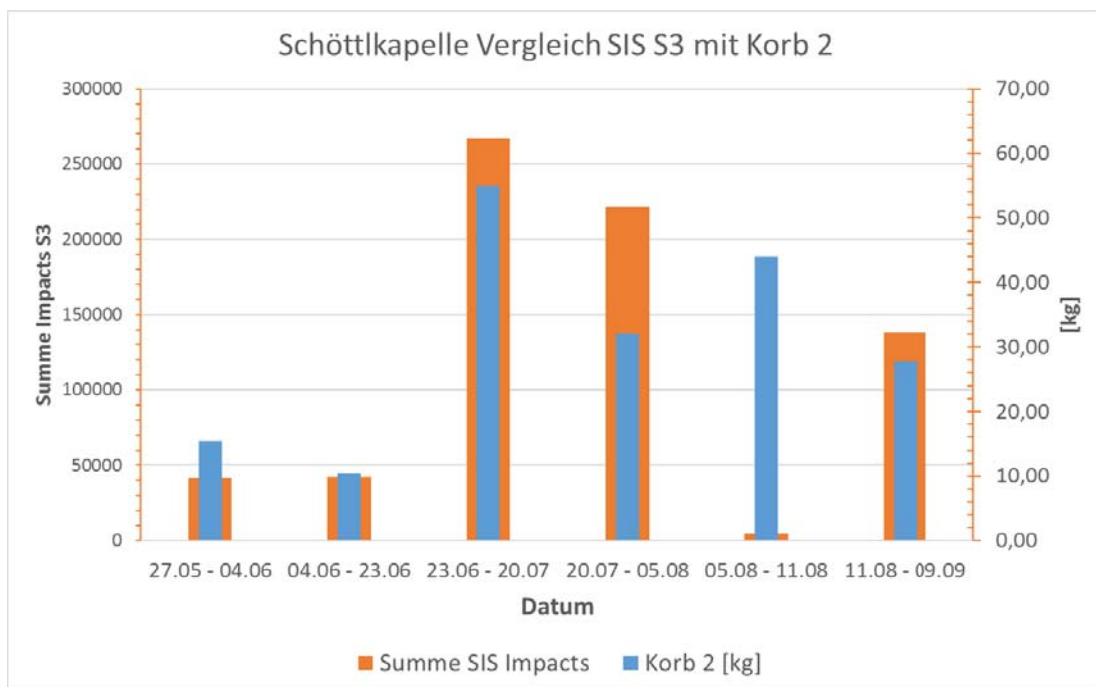
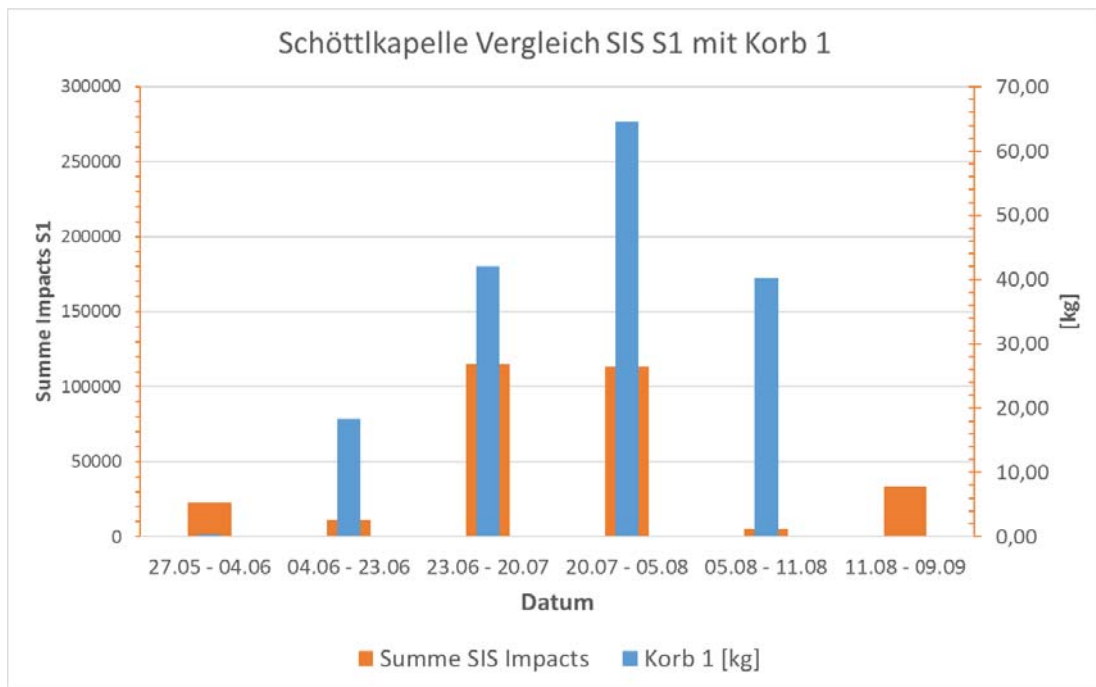


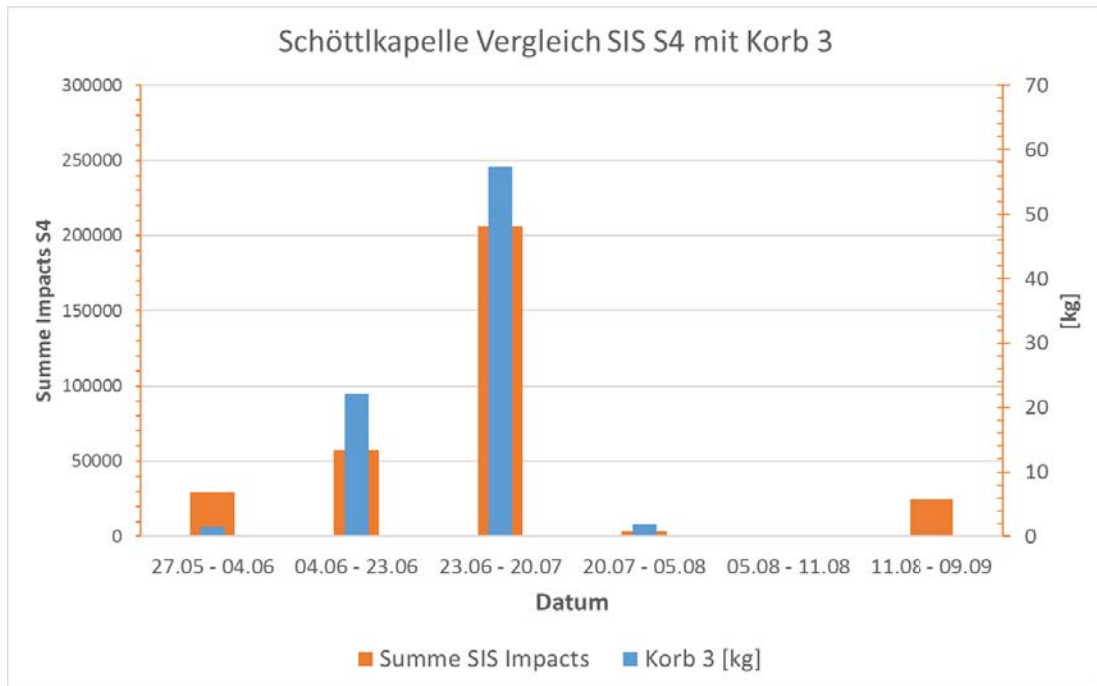






### Korbentleerungen und SIS Summen





## Kornverteilungskurven

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA          Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	---	---

### KORNGRÖSSENVERTEILUNG

#### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19991/K1
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_23.Juni16	<b>Datum:</b> 05.05.16 - 23.06.16

#### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

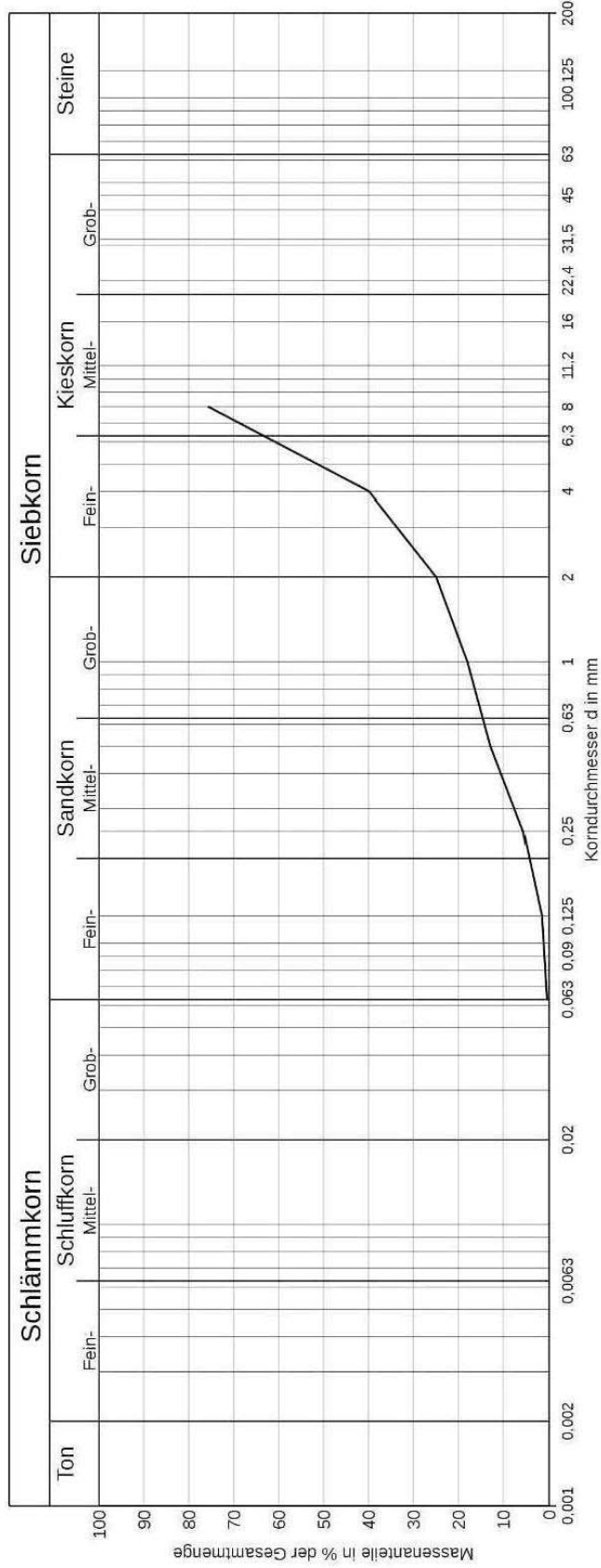
#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
8,0	75,7
4,0	39,9
2,0	24,9
1,0	18,0
0,5000	12,8
0,2500	5,6
0,1250	1,6
0,0630	0,5

 <p><b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b>  <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>          A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA          Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</p>	
---	---

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Korbreihe_23.Juni16
		Tiefe -	Bearb. L & S
		Datum 05.05.16 - 23.06.16	

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19991/K1	—	0,063; 0,5	-	-	24,5	-	-	2; 75,1	sa	0,3804mm	2,5308mm	5,9031mm	15,52	2,85

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19991/K2
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_23.Juni16	<b>Datum:</b> 05.05.16 - 23.06.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
31,5	98,8
16,0	89,3
8,0	72,6
4,0	55,9
2,0	39,3
1,0	24,4
0,5000	11,6
0,2500	3,3
0,1250	-

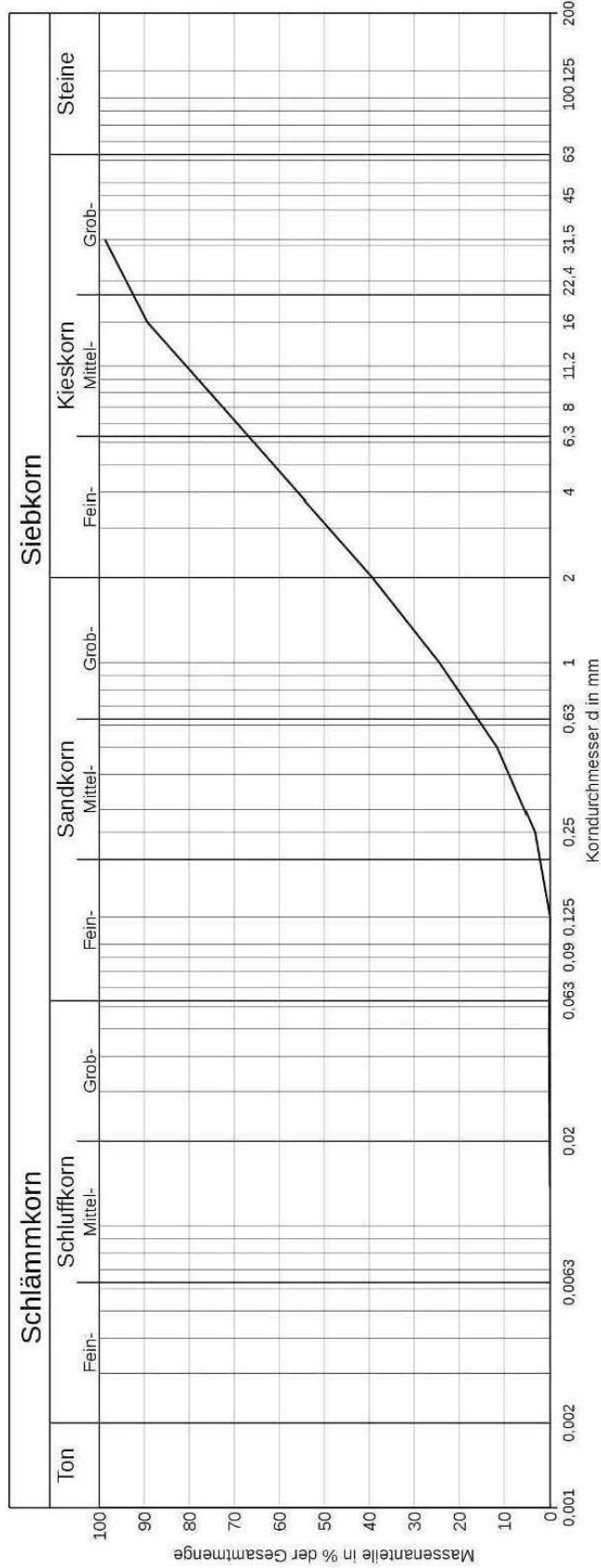
#### Schlämmanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
0,0473	0,2
0,0350	0,2
0,0231	0,1
0,0138	0,1

	
<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b>	
<b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>	
A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA	
Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238	

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Korbreihe_23.Juni16
		Tiefe -	Bearb. L & S
			Datum 05.05.16 - 23.06.16

### KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19991/K2	—	0.063: 0.2	-	-	39,1	-	-	2: 60,7	Sa	0.4378mm	1.2973mm	4.7425mm	10.83	0.81



	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238	 IBG
---	--	--

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19991/K3
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_23.Juni16	<b>Datum:</b> 05.05.16 - 23.06.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
16,0	98,1
8,0	78,6
4,0	37,5
2,0	18,2
1,0	10,1
0,5000	4,8
0,2500	1,6
0,1250	0,6
0,0630	0,4



**TU  
Graz**

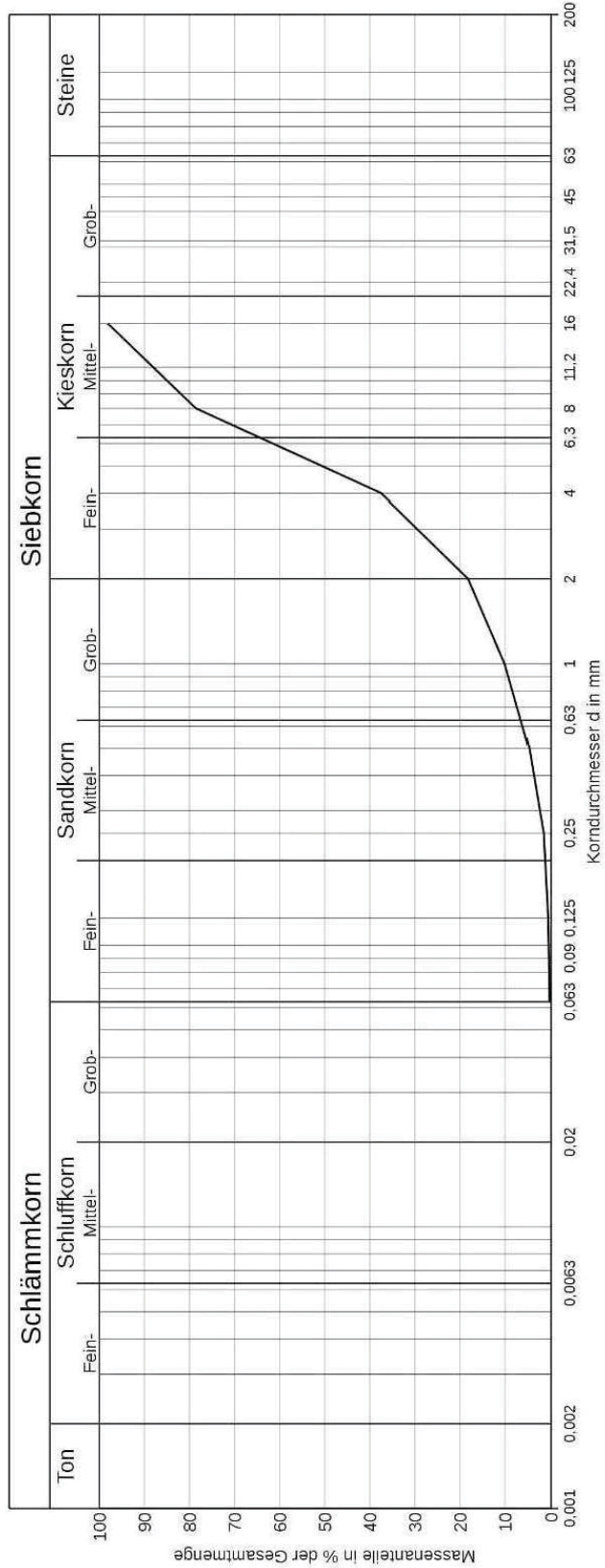
**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



**IBG**

Auftraggeber: Institut für Wasserbau  
 Projekt: Diplomarbeit Langer & Stoißer  
 Proj. Nr.: 2  
 Bezeichnung: Korbreihe\_23.Juni16  
 Tiefe: -  
 Bearb.: L & S  
 Datum: 05.05.16 - 23.06.16

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteil kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteil größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19991/K3	—	0,063: 0,4	-	-	17,8	-	-	2: 81,8	sa	0,9846mm	3,0582mm	5,8478mm	5,94	1,62

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238	 IBG
---	--	--

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19994/K1
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_4.Juli16	<b>Datum:</b> 23.06.16 - 04.07.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
16,0	94,8
8,0	92,3
4,0	27,1
2,0	13,8
1,0	10,9
0,5000	8,7
0,2500	5,9
0,1250	3,5
0,0630	2,0



**TU  
Graz**

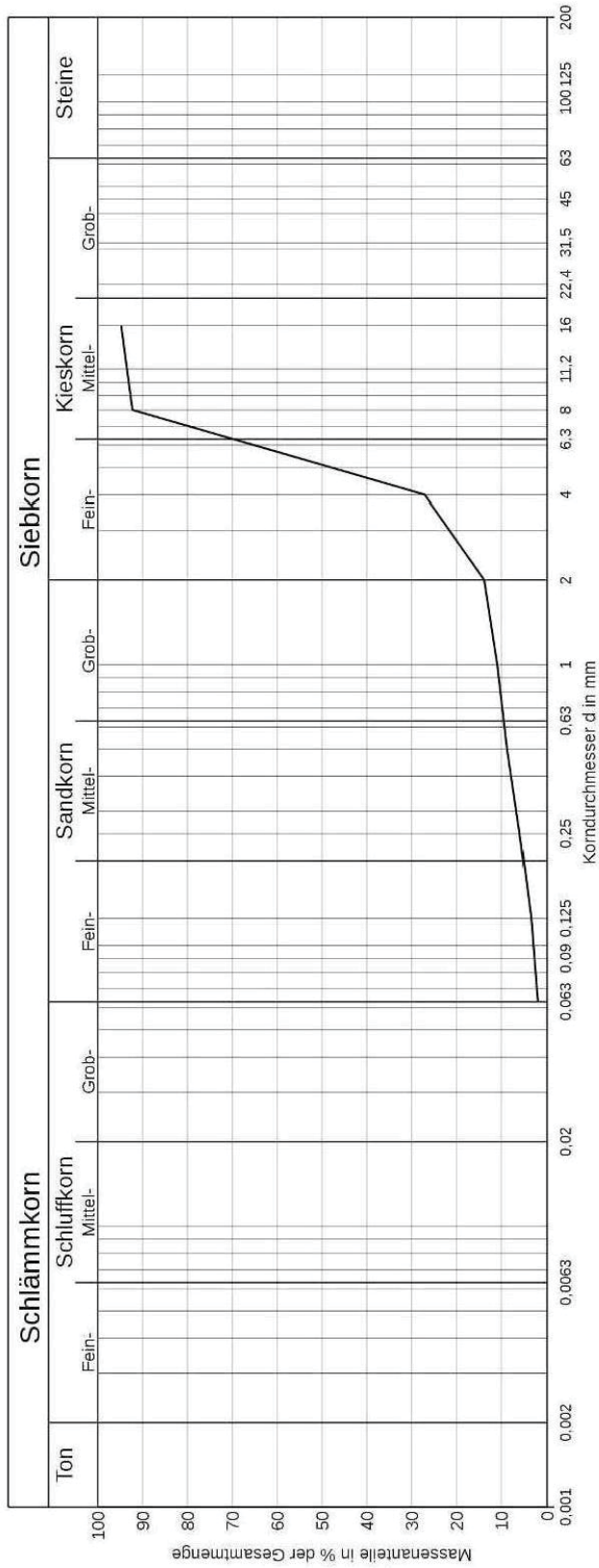
**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



**IBG**

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Datum 23.06.16 - 04.07.16
	Proj. Nr. 2	Bearb. L & S
	Bezeichnung Korbreihe_4.Juli16	Tiefe -

### KÖRNINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19994/K1	—	0,063; 2,1	-	-	11,8	-	-	2; 86,2	sa'	0,7511mm	4,1261mm	5,6764mm	7,56	3,99

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19994/K2
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_4.Juli16	<b>Datum:</b> 23.06.16 - 04.07.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
63,0	81,1
45,0	81,1
31,5	77,6
16,0	72,2
8,0	65,0
4,0	53,4
2,0	41,7
1,0	29,1
0,5000	17,6
0,2500	9,7
0,1250	4,3

#### Schlammmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0655	2,6
0,0493	1,9
0,0363	1,4
0,0237	0,9
0,0139	0,7
0,0081	0,5
0,0051	0,3



**TU  
Graz**

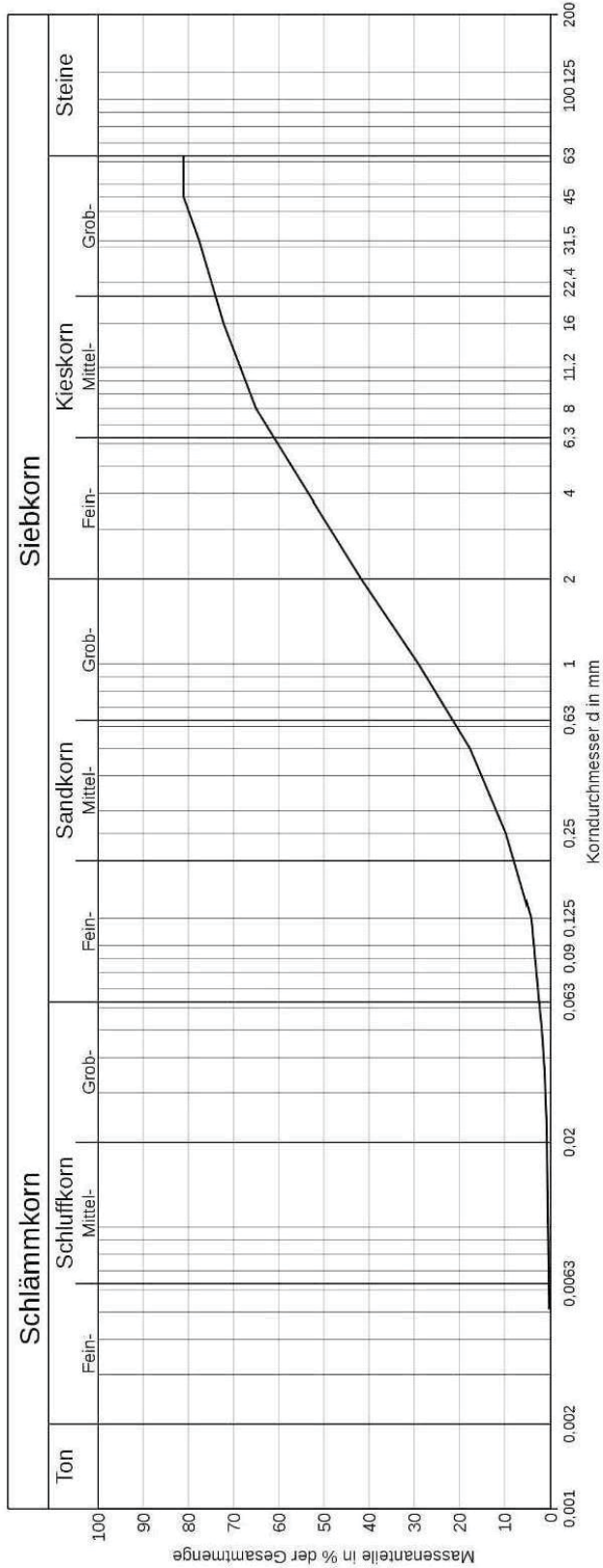
**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238




**IBG**

Auftraggeber: Institut für Wasserbau  
 Projekt: Diplomarbeit Langer & Stoißer  
 Proj. Nr.: 2  
 Bezeichnung: Korbreihe\_4.Juli16  
 Tiefe: -  
 Bearb.: L & S  
 Datum: 23.06.16 - 04.07.16

### KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19994/K2		0,063: 2,5	-	-	39,2	39,3	-	63: 18,9	Sa/Gr	0,2567mm	1,0522mm	5,9227mm	23,07	0,73

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 19994/K3
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_4.Juli16	<b>Datum:</b> 23.06.16 - 04.07.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

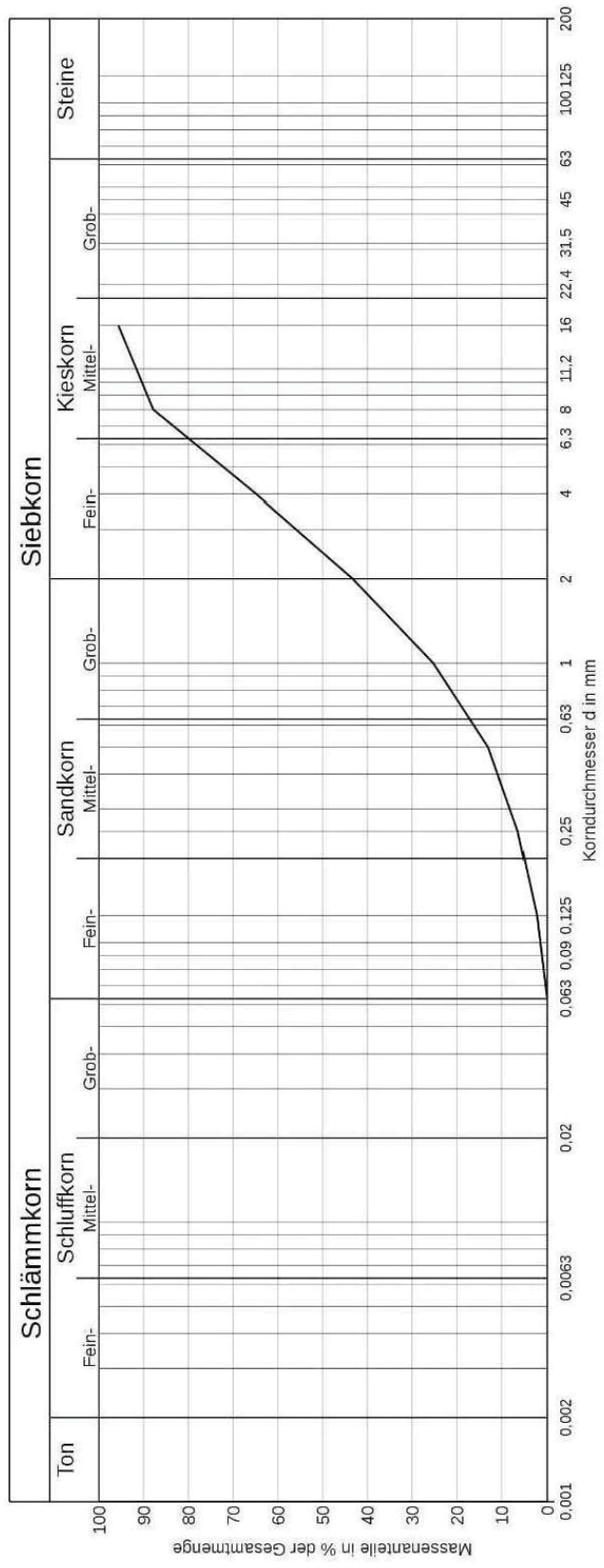
#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
16,0	95,6
8,0	87,9
4,0	64,9
2,0	43,3
1,0	25,3
0,5000	13,0
0,2500	6,4
0,1250	2,3
0,0630	-

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238
	<b>IBG</b>

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Datum 23.06.16 - 04.07.16
Proj. Nr. 2	Bezeichnung Korbreihe_4.Juli16	Bearb. L & S
Tiefe -	Siebkorn -	Kieskorn -

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Cu	Cc
19994/K3	—	-	-	-	43.3	-	-	2:56.7	Sa	0,3641mm	1,1996mm	3,4215mm	9,40	1,16



	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b>	Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b>	199993/K1
<b>Projekt Nr.:</b>	2	<b>Tiefe:</b>	-
<b>Auftraggeber:</b>	Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b>	L & S
<b>Bezeichnung:</b>	Korbreihe_5.August16	<b>Datum:</b>	04.07.16 - 05.08.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
45,0	91,0
31,5	78,0
16,0	55,2
8,0	36,0
4,0	16,8
2,0	11,9
1,0	8,3
0,5000	5,4
0,2500	2,8
0,1250	1,2
0,0630	-

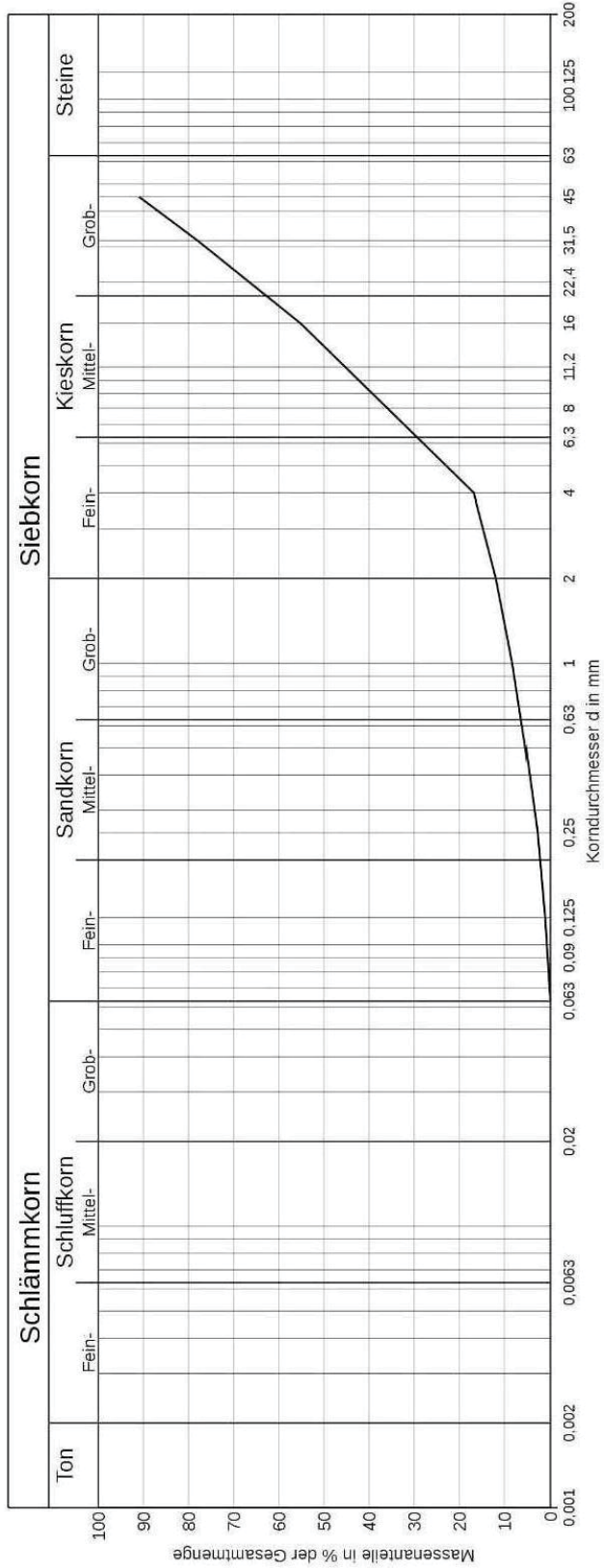


**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



Auftraggeber: Institut für Wasserbau  
 Projekt: Diplomarbeit Langer & Stoißer  
 Proj. Nr.: 2  
 Bezeichnung: Korbreihe\_5\_August16  
 Tiefe: -  
 Bearb.: L & S  
 Datum: 04.07.16 - 05.08.16

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
199993/K1	—	-	-	-	11,9	-	-	2: 88,1	sa	1,3940mm	6,4497mm	18,4479mm	13,23	1,62

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 199993/K2
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_5.August16	<b>Datum:</b> 04.07.16 - 05.08.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

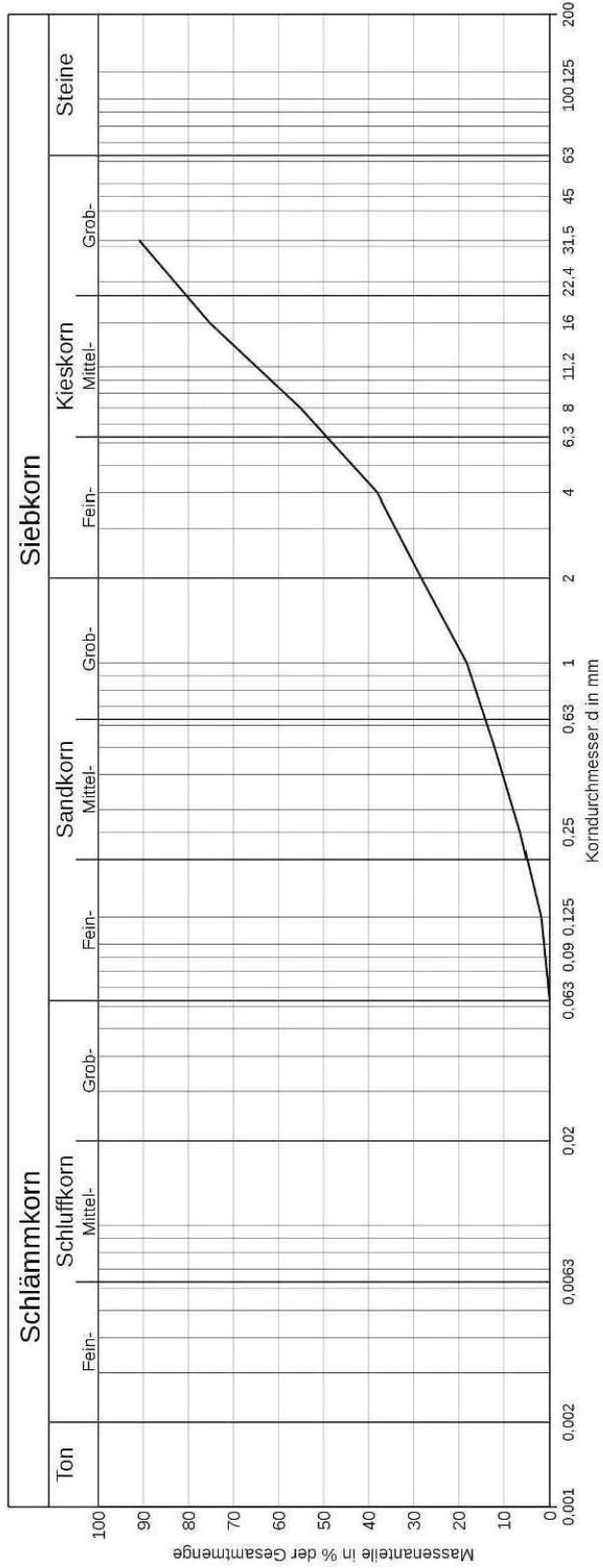
#### Siebanalyse

Ø [mm]	%
31,5	90,9
16,0	75,2
8,0	55,2
4,0	38,1
2,0	28,3
1,0	18,2
0,5000	12,0
0,2500	6,4
0,1250	1,9
0,0630	-

	
<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b>	
<b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>	
A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA	
Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Datum 04.07.16 - 05.08.16
	Proj. Nr. Bezeichnung 2 Korbreihe_5_August16	Bearb. L & S
	Tiefe -	

### KÖRNUMLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleinerer $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größerer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
199993/K2	—	-	-	-	28,3	-	-	2: 71,7	sa	0,3896mm	2,2580mm	9,4498mm	24,26	1,38

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b>	Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b>	199992/K1
<b>Projekt Nr.:</b>	2	<b>Tiefe:</b>	-
<b>Auftraggeber:</b>	Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b>	L & S
<b>Bezeichnung:</b>	Korbreihe_11.August16	<b>Datum:</b>	05.08.16 - 11.08.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
31,5	92,8
16,0	77,3
8,0	58,1
4,0	7,2
2,0	2,8
1,0	0,9
0,5000	0,5
0,2500	0,3
0,1250	0,1
0,0630	-



**TU  
Graz**

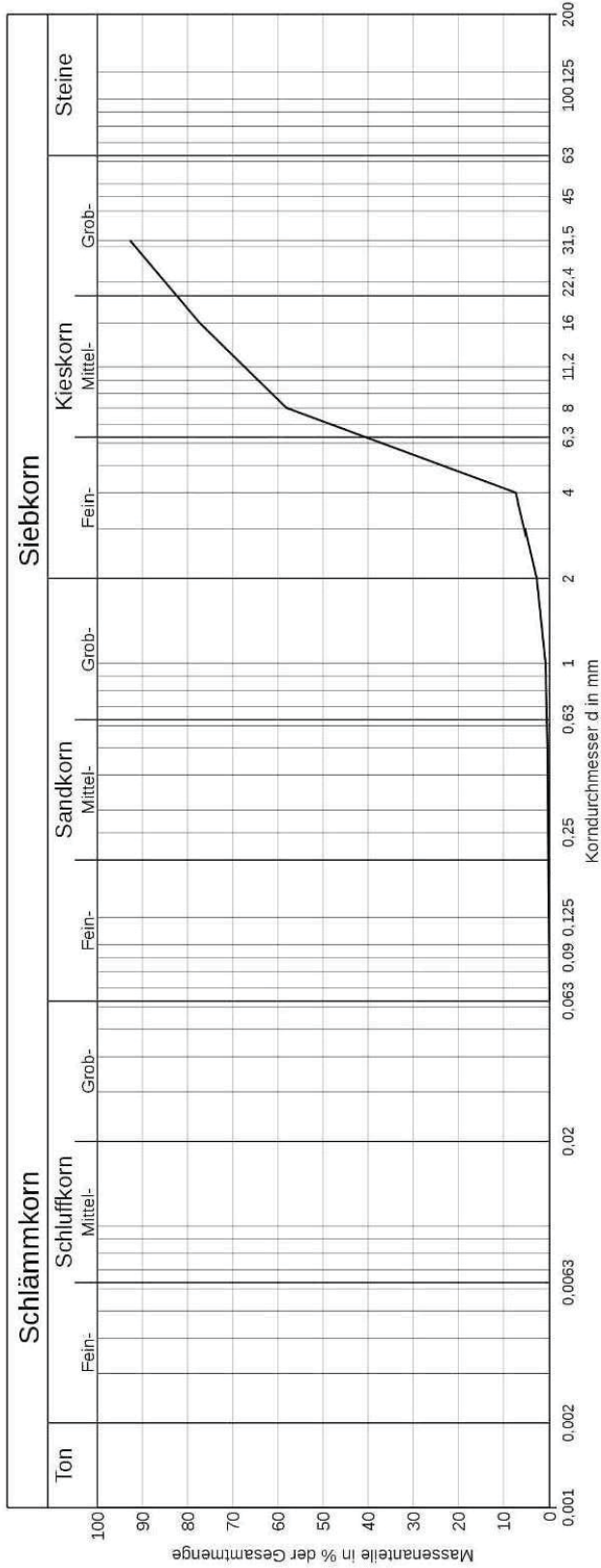
**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238



**IBG**

Auftraggeber: Institut für Wasserbau  
 Projekt: Diplomarbeit Langer & Stoißer  
 Proj. Nr.: Bezeichnung: 2 Korbreihe\_11\_August16  
 Bearb.: L & S  
 Datum: 05.08.16 - 11.08.16

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
199952/K1		-	-	-	2,8	-	-	2: 97,2	sa"	4,1528mm	5,4546mm	8,5717mm	2,06	0,84

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238</small>	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Diplomarbeit Langer & Stoißer	<b>Labornummer:</b> 199992/K2
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Wasserbau	<b>Bearbeiter:</b> L & S
<b>Bezeichnung:</b> Korbreihe_11.August16	<b>Datum:</b> 05.08.16 - 11.08.16

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

Ø [mm]	%
31,5	95,8
16,0	80,3
8,0	53,0
4,0	24,7
2,0	11,6
1,0	4,3
0,5000	2,0
0,2500	0,9
0,1250	0,3
0,0630	-



**TU  
Graz**

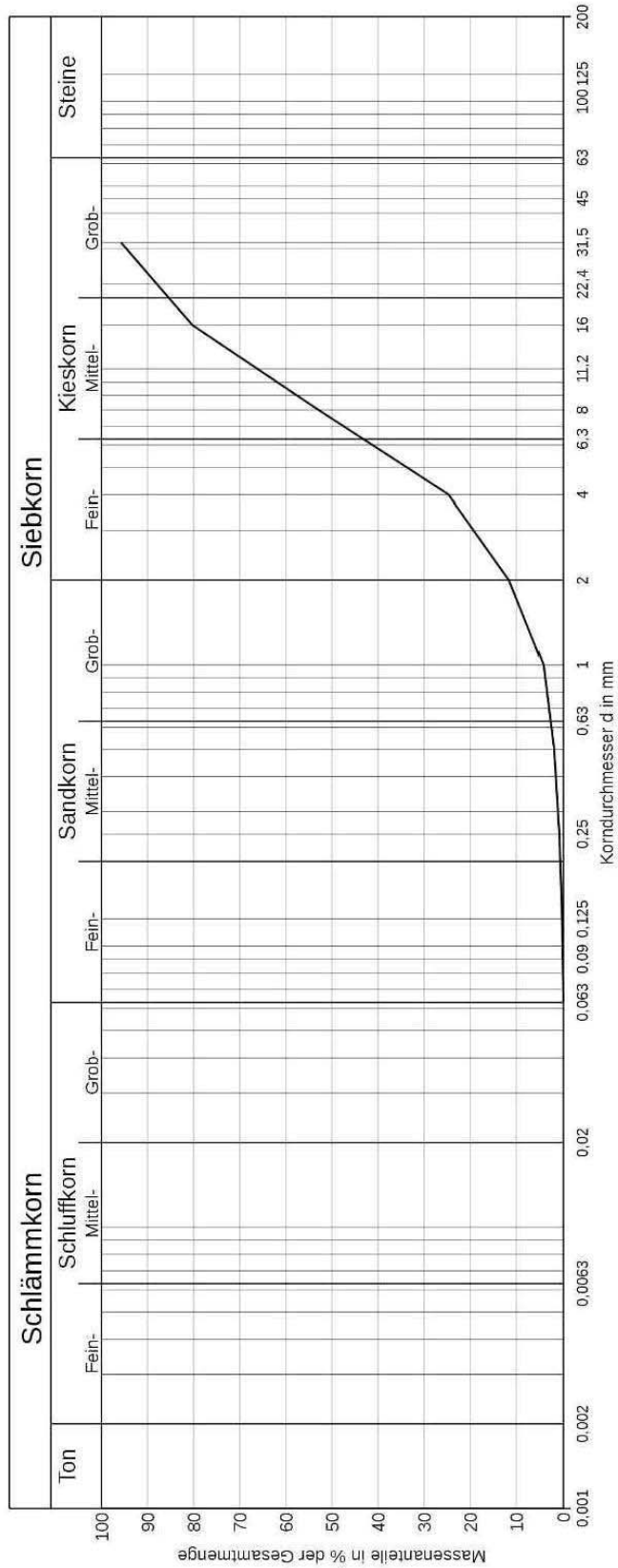
**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU**  
**GEOTECHNISCHES LABOR**  
 A-8010 GRAZ, REICHAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



**IBG**

Auftraggeber Institut für Wasserbau	Projekt Diplomarbeit Langer & Stoißer	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Korbreihe_11-August16
		Tiefe -	Bearb. L & S
			Datum 05.08.16 - 11.08.16

### KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
199992/K2	—	-	-	-	11,6	-	-	2:88,4	sa'	1,7166mm	4,5573mm	9,5669mm	5,57	1,26



## Bewegungsvorgang der Telemetriesteine

Bewegungsvorgang von 8.Juli 2016 bis 22.Juli 2016									
Farbe	Bezeichnung / Frequenz	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m]	(vom Aussetzpunkt)	
Grün	150.291	8.65	14°16'18.9"N	47°15'24.7"N	14.271916666666666	47.256861111111114	105		
Grün	150.191	6.90	14°16'18.9"E	47°15'24.6"N	14.271916666666666	47.256833333333333	107		
Grün	150.041	2.60	14°16'18.7"E	47°15'22.8"N	14.271861111111111	47.256333333333333	150		

Bewegungsvorgang von 22.Juli 2016 bis 09.September 2016									
Farbe	Bezeichnung / Frequenz	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m]	(vom Aussetzpunkt)	
Grün	150.051	4.65	14°16'17.9"E	47°15'25.8"N	14.271638888888889	47.257166666666666	60		
Grün	150.291	8.65	14°16'18.9"E	47°15'24.7"N	14.271916666666666	47.256861111111114	105		
Grün	150.191	6.90	14°16'18.9"E	47°15'24.6"N	14.271916666666666	47.256833333333333	107		

Bewegungsvorgang von 09.September 2016 bis 29.September 2016									
Farbe	Bezeichnung / Frequenz	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m]	(vom Aussetzpunkt)	
Grün	150.051	4.65	14°16'17.9"E	47°15'25.8"N	14.271638888888889	47.257166666666666	60		
Grün	150.191	6.90	14°16'18.9"E	47°15'24.6"N	14.271916666666666	47.256833333333333	105		
Grün	150.291	8.65	14°16'18.9"E	47°15'24.7"N	14.271916666666666	47.256861111111114	107		
Grün	150.101	2.00	14°16'18.9"E	47°15'23.5"N	14.271916666666666	47.256527777777778	130		

## Bewegungsvorgang der pinken Farbracersteine

Bewegungsvorgang von 8.Juli 2016 bis 22.Juli 2016							
Farbe	Bezeichnung	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m] (vom Aussetzpunkt)
Pink	21	8.15	14°16'15.3"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	5
Pink	25	7.10	14°16'15.4"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	7
Pink	18	4.80	14°16'17.6"E	47°15'24.6"N	14.271833333333333	47.2568722222222	103
Pink	24	6.75	14°16'19.3"E	47°15'21.8"N	14.272027777777778	47.256055555555555	197
Pink	14	0.65	14°16'18.2"E	47°15'19.1"N	14.271722222222222	47.255305555555556	285
Pink	2	4.90	14°16'17.2"E	47°15'18.1"N	14.271444444444444	47.255027777777778	323
Pink	17	4.50	14°16'16.9"E	47°15'17.4"N	14.271361111111111	47.254833333333334	346
Pink	6	1.00	14°16'17.9"E	47°15'15.1"N	14.271638888888889	47.254194444444444	421

Bewegungsvorgang von 22.Juli 2016 bis 09. September 2016							
Farbe	Bezeichnung	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m] (vom Aussetzpunkt)
Pink	21	8.15	14°16'15.3"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	5
Pink	25	7.10	14°16'15.4"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	7
Pink	10	0.90	14°16'17.4"E	47°15'26.1"N	14.271500000000000	47.257250000000000	50
Pink	18	4.80	14°16'17.8"E	47°15'25.9"N	14.271611111111111	47.257194444444444	103
Pink	11	0.70	14°16'19.6"E	47°15'21.4"N	14.272111111111111	47.255944444444444	205
Pink	4	2.50	14°16'18.5"E	47°15'19.1"N	14.271805555555556	47.255305555555556	282
Pink	14	0.65	14°16'17.5"E	47°15'18.4"N	14.271527777777778	47.255111111111111	310
Pink	2	4.90	14°16'17.2"E	47°15'17.9"N	14.271444444444444	47.2549722222222	328
Pink	1	6.75	14°16'19.3"E	47°15'12.9"N	14.272027777777778	47.253583333333334	489

Bewegungsvorgang von 09. September 2016 bis 29. September 2016							
Farbe	Bezeichnung	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m] (vom Aussetzpunkt)
Pink	21	8.15	14°16'15.3"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	5
Pink	25	7.10	14°16'15.4"E	47°15'26.4"N	14.270944444444444	47.257333333333335	7
Pink	10	0.90	14°16'17.4"E	47°15'26.1"N	14.271500000000000	47.257250000000000	50
Pink	4	2.50	14°16'18.5"E	47°15'19.1"N	14.271805555555556	47.255305555555556	282
Pink	14	0.65	14°16'17.5"E	47°15'18.4"N	14.271527777777778	47.255111111111111	310
Pink	1	6.55	14°16'19.3"E	47°15'12.9"N	14.271911111111111	47.253613888888889	489

## Bewegungsvorgang der gelben Farbracersteine

Bewegungsvorgang von 22.Juli 2016 bis 09. September 2016							
Farbe	Bezeichnung	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m] (vom Aussetzpunkt)
Gelb	4	8.90	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	8	2.40	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	10	0.80	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	1	15.60	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	5	2.65	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	2	5.95	14°16'15.3"E	47°15'26.6"N	14.2709166666666666	47.257388888888889	5
Gelb	15	2.75	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710555555555556	47.257388888888889	15
Gelb	11	1.40	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710555555555556	47.257388888888889	15
Gelb	12	1.35	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710555555555556	47.257388888888889	15
Gelb	14	2.20	14°16'15.9"E	47°15'26.6"N	14.2710833333333333	47.257388888888889	18
Gelb	3	5.15	14°16'16.1"E	47°15'26.6"N	14.2711388888888889	47.257388888888889	23
Gelb	20	3.60	14°16'16.8"E	47°15'26.3"N	14.2713333333333335	47.2573055555555555	40
Gelb	17	4.30	14°16'17.4"E	47°15'26.2"N	14.2715	47.257277777777778	49
Gelb	16	2.25	14°16'18.1"E	47°15'25.1"N	14.2716944444444444	47.2569722222222224	80
Gelb	2	5.95	14°16'18.4"E	47°15'24.6"N	14.271777777777778	47.2568333333333333	105
Gelb	4	8.90	14°16'18.5"E	47°15'24.3"N	14.2718055555555556	47.2567499999999999	115

Bewegungsvorgang von 09. September 2016 bis 29. September 2016							
Farbe	Bezeichnung	Masse [kg]	Längengrad	Breitengrad	Dezimal Längengrad	Dezimal Breitengrad	Distanz [m] (vom Aussetzpunkt)
Gelb	4	8.90	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	8	2.40	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	10	0.80	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	1	15.60	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	5	2.65	14°16'15.1"E	47°15'26.4"N	14.2708416666666666	47.2573333333333335	0
Gelb	2	5.95	14°16'15.3"E	47°15'26.6"N	14.2709166666666666	47.257388888888889	5
Gelb	15	2.75	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710555555555556	47.257388888888889	15
Gelb	11	1.40	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710555555555556	47.257388888888889	15
Gelb	12	1.35	14°16'15.8"E	47°15'26.6"N	14.2710833333333333	47.257388888888889	18
Gelb	14	2.20	14°16'15.9"E	47°15'26.6"N	14.2713333333333335	47.2573055555555555	40
Gelb	20	3.60	14°16'16.8"E	47°15'26.3"N	14.2715	47.257277777777778	49
Gelb	17	4.30	14°16'17.4"E	47°15'26.2"N	14.271777777777778	47.2568333333333333	105
Gelb	2	5.95	14°16'18.4"E	47°15'24.6"N	14.2718055555555556	47.2567499999999999	115

**Geschiebekorb Bauanleitung**

