

Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

**Untersuchung des Sedimenttransports sowie des
Abflussverhaltens von Wildbächen in einem alpi-
nen Einzugsgebiet mittels Feldmessungen**

**Masterarbeit
von
Gabriel Christoph Spreitzer**

Vorgelegt zur Erlangung des
akademischen Grades eines Master
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im Oktober 2014

Betreuer der Diplomarbeit:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Josef SCHNEIDER

.....

Mitbetreuende Assistentin:
Dipl.-Ing. Dr.techn. Gabriele Harb

.....

Mitbetreuender Assistent:
Dipl.-Ing. Matthias Redtenbacher

.....

Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)

Ich erkläre an Eides Statt, dass ich 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 habe.

Ich versichere, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin oder einem Beurteiler) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, im Oktober 2014

.....

Danksagung

Mein größter Dank gilt meiner gesamten Familie, besonders meinen Eltern Jutta und Christian Spreitzer, welche mich im Zuge meines Studiums stets tatkräftig unterstützt und dieses für mich erst ermöglicht haben. Des Weiteren möchte ich mich bei meinem älteren Bruder Raphael und dessen Freundin Michaela, sowie bei meinem jüngeren Bruder Michael für die tolle Unterstützung während meines Studiums bedanken. Besonderer Dank ergeht auch an meine Großeltern.

Ich bedanke mich beim Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz für die äußerst gute Zusammenarbeit im Zuge meiner Masterarbeit, sowie die Freundlichkeit, welche mir dort im Laufe meines gesamten Studiums entgegengebracht wurde, mit besonderem Dank für die Unterstützung an meine Betreuer Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Josef Schneider, Herrn Dipl.-Ing. Matthias Redtenbacher und nicht zuletzt an Frau Dipl.-Ing. Dr.techn. Gabriele Harb.

Des Weiteren bedanke ich mich beim Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz für die langjährige Zusammenarbeit, sowie die im Zuge meiner Masterarbeit durchgeführten bodenmechanischen Versuche im Labor.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei all jenen, die durch ihr Mitwirken an den zahlreichen Arbeiten, diese Masterarbeit ermöglicht haben: Insbesondere bei Dietmar Schäfauer und Andreas Wagner, Christian und Jutta Spreitzer, Dipl.-Ing. Raphael Spreitzer, Dipl.-Ing. Gerdt Müller, Raimund Sieder BSc, der Gemeinde Oberwölz und Umgebung, der WLV Scheifling, Zotter-Bau-GmbH & Co KG, PI Mitterfellner GmbH sowie Familie Schwaiger.

Ich danke auch meinen Freunden, welche mich abseits des Studiums auf andere Gedanken gebracht haben.

Herzlichen Dank!

Kurzfassung

Weltweit sterben jährlich unzählige Menschen aufgrund von extremen Wetterereignissen, welche aus einem idyllischen Bach einen reißenden Strom werden lassen. Doch nicht nur in weniger entwickelten Ländern stellen Wildbäche ein enormes Gefahrenpotential dar, auch in Österreich sehen wir uns häufig mit dieser Gefahr konfrontiert. Ein heimisches Beispiel bezüglich Extremereignissen stellt der Schöttlbach im obersteirischen Oberwölz dar, der nach heftigen Niederschlägen im Jahr 2011 innerhalb von nur wenigen Minuten zu einem reißenden Wildbach wurde und enorme Verwüstungen sowie Schäden in Millionenhöhe verursachte. Aus diesem Grund wurde 2012 das Projekt *ClimCatch* ins Leben gerufen, um das Verhalten von Wildbächen im alpinen Einzugsgebiet unter dem Aspekt des fortschreitenden Klimawandels näher zu erforschen. Im Speziellen werden in der vorliegenden Masterarbeit der Schöttlbach sowie dessen Zubringerbäche genauer betrachtet. Im Zuge dieser Arbeit wurden zahlreiche Abflussmessungen zur Erstellung von Pegelschlüsselkurven durchgeführt, welche eine rasche Ermittlung des Abflusses bei vorherrschendem Wasserstand ermöglichen. Des Weiteren konnte z. B. am Schöttlbach anhand von Helley-Smith Messungen, bei geringen Abflüssen von rund 900 l/s, eine Tagesgeschiebefracht von 1.5 t ermittelt werden. Zusätzlich wurde der Geschiebetransport mit Hilfe von Farbtracersteinen untersucht. Diese Farbtracersteine werden im Hochwasserfall dem Abfluss entsprechend transportiert und geben somit Aufschluss über das Bewegungsverhalten von Sedimentgestein. So konnte z. B. am Krumeggerbach, bei einem Höchstabfluss von 5.36 m³/s, eine Transportdistanz von 127 m für 7 kg schwere Steine sowie 25 m für 25 kg schwere Steine ermittelt werden. Die Fließzeitberechnung von Hochwasserwellen zwischen der Brücke Schöttlkapelle und der 7.5 km flussabwärts liegenden Brücke Hintereggertor ergab 45 min, was in etwa der 5-fachen Normalabflussgeschwindigkeit entspricht. Für mögliche zukünftige Berechnungen des Geschiebetransports wurde für das Bachbettmaterial ein bodenmechanisches Gutachten erstellt. Dabei wurden ein Reibungswinkel von 42° sowie eine Korndichte von 2.95 g/cm³ ermittelt. Die Korngrößenverteilung ist von einem breiten Körnungsband geprägt, wobei von einem nicht bindigen, kohäsionslosen Material ausgegangen werden kann.

Abstract

Worldwide, every year numerous people die as a result of extreme weather conditions which transform an idyllic brook into a torrential river. Not only in less developed countries, also in Austria we are continuously facing the severe danger resulting from torrents. A domestic example concerning extreme events constitutes the Schöttlbach in the Upper Styrian town Oberwölz, which turned into a dangerous torrent after heavy rainfall and caused enormous destruction as well as damage, which runs into the millions. Due to this event the project *ClimCatch* has been started in 2012 in order to investigate the behaviour of mountain creeks in the alpine catchment area considering the aspect of the advancing climate change. More specifically, the presented master's thesis deals with the investigation of the Schöttlbach and its tributaries, respectively. In the course of this work, many discharge measurements have been carried out to determine the corresponding flow rating curves, which allow a quick calculation of the current discharge at a specific water level. Furthermore, based on Helley-Smith measurements a daily sediment transport of 1.5 t has been determined at a low discharge of about 900 l/s. In addition, the sediment transport has been determined with so-called colour tracer stones. These colour tracer stones are moved according to the current discharge in case of flooding and provide information about the movement of sedimentary rocks. For instance, in the Krumeggerbach a discharge of 5.36 m³/s revealed a transport distance of 127 m for stones with a weight of 7 kg and 25 m for stones with a weight of 25 kg, respectively. The flow time calculation of flood waves between the bridge Schöttlkapelle and the bridge Hintereggertor, which is 7.5 km downstream, results in a flow time of 45 minutes, which is about 5 times faster than the normal discharge velocity. For possible future calculations of the sediment transport, a soil mechanical expertise has been furnished. Thereby, a friction angle of 42° as well as a grain density of 2.95 g/cm³ has been determined. The particle size distribution is characterized by wide grain band, whereby a non-cohesive material can be assumed.

Inhaltsverzeichnis

Eid (Ehrenwörtliche Erklärung)	iii
Danksagung	iv
Kurzfassung	v
Abstract	vi
Inhaltsverzeichnis	vii
1. Motivation / Projektüberblick	1
1.1 <i>Das Wasser</i>	2
1.2 <i>ClimCatch</i>	3
1.2.1 Hochwasserereignis und Gefahren	3
1.2.2 Projekt ClimCatch	5
1.2.3 Ausblick	6
1.3 <i>Ziel dieser Masterarbeit</i>	7
2. Grundlagen	9
2.1 <i>Wildbachsystem</i>	9
2.1.1 Sediment	14
2.1.1.1 Korngrößenverteilung	14
2.1.1.2 Kornform	15
2.1.1.3 Feststoffe in Fließgewässern	16
2.1.1.4 Deckschichtbildung	19
2.1.1.5 Hiding- und Exposure-Effekt	20
2.1.1.6 Kohäsion / Adhäsion	20
2.1.2 Gerinnehydraulik	22
2.1.3 Transportbeginn	25
2.1.3.1 Kritische Schubspannung (allgemein)	26
2.1.3.2 Kritische Schubspannung für den hydraulisch rauen Bereich	28
2.1.3.3 Kritische Schubspannung für steile Fließgerinne	30
2.1.4 Geschiebetransportrate	31
2.1.5 Oberflächenabfluss	32
2.2 <i>Untersuchungsgebiet</i>	34
2.2.1 Oberwölz	34
2.2.2 Wölzer Tauern	35
	vii

2.2.2.1	Gesteinscharakterisierung der Wölzer Tauern	35
2.2.2.2	Härte der vorkommenden Minerale	36
2.2.2.3	Festigkeit der vorkommenden Gesteine	37
2.2.3	Wölzer Bach	39
2.2.4	Schöttlbach	42
2.2.5	Krumeggerbach	44
2.2.6	Hühnerbach	47
2.2.7	Salchauerbach	48
3.	Untersuchungsmethoden	49
3.1	<i>Untersuchungsmethoden in situ</i>	49
3.1.1	Geschiebemessung	49
3.1.1.1	Sediment-Impact-Sensoren (SIS)	49
3.1.1.2	Großer Helley-Smith-Geschiebefänger	53
3.1.1.3	Kleine Helley-Smith-Geschiebefänger	55
3.1.1.4	Farbtracersteine	57
3.1.2	Magnetisch-Induktive Geschwindigkeitsmessung (Nautilus)	57
3.1.3	Salztracermessung	60
3.1.4	Messstationen	63
3.1.4.1	Brücke Hintereggertor	63
3.1.4.2	Brücke Schöttlkapelle	66
3.1.4.3	Brücke Krumeggerbach	66
3.1.4.4	Brücke Salchauerbach	67
3.1.4.5	Schmiedbognerbach	67
3.1.4.6	Konsolidierungssperre	67
3.1.5	Bed-Load Analyzer	68
3.1.6	Linienzahlanalyse	70
3.2	<i>Untersuchungsmethoden im Labor</i>	71
3.2.1	Herstellung der Farbtracersteine	71
3.2.2	Großscherversuch	75
3.2.3	Kornverteilung	77
3.2.3.1	Siebanalyse	77
3.2.3.2	Schlammanalyse	78
3.2.4	Korndichtenbestimmung	79
3.2.5	Bestimmung der Wasseraufnahme	81
3.2.6	Labornummernvergabe	82
4.	Ergebnisse in situ	85

4.1	<i>Messung</i>	85
4.1.1	Geschiebetransport	85
4.1.1.1	Kleine Helley-Smith-Geschiebefänger	85
4.1.1.2	Vergleichsberechnung mittels Bed Load Analyzer	88
4.1.2	Bewegungsverhalten der Tracersteine	90
4.1.2.1	Schöttlbach	90
4.1.2.2	Krumeggerbach	105
4.1.2.3	Berechnung des kritischen Abflusses	116
4.1.3	Abflussmessung	118
4.1.4	Pegelschlüssel	122
4.1.5	Linienzahlanalyse	132
4.1.6	Böschungswinkelmessung	133
4.1.7	Geschieberückhaltebecken	135
4.2	<i>Unwetterbericht und Niederschlagsdokumentation</i>	136
4.3	<i>Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet</i>	142
5.	Ergebnisse im Labor	145
5.1	<i>Großscherversuch</i>	145
5.2	<i>Korngrößenverteilung</i>	151
5.3	<i>Korndichte</i>	154
5.3.1	Pyknometerversuch < 4 mm	154
5.3.2	Dichtebestimmung von Kies	155
5.4	<i>Wasseraufnahme</i>	156
6.	Zusammenfassung und Ausblick	157
7.	Literaturverzeichnis	163
8.	Abbildungsverzeichnis	173
9.	Tabellenverzeichnis	181
10.	Anhang	185

1. Motivation / Projektüberblick

In Abbildung 1 wird der grundlegende Aufbau dieser Masterarbeit vom Projekt ClimCatch über die angewendeten Methoden bis hin zum Anhang dargestellt.



Abbildung 1: Projektüberblick

1.1 Das Wasser

Wasser ist von Anbeginn der Zeit eines der wichtigsten Medien des Universums und nicht zuletzt unserer Erde. Von der Entstehung des ersten Lebens bis hin zur Erforschung der einfachen chemischen Verbindung von einem Wasserstoffmolekül und zwei Sauerstoffmolekülen gab das Wasser dem Menschen im Laufe der Geschichte stets neue Rätsel auf. So einfach es auch zu sein vermag steckt doch viel mehr als nur ein Wort dahinter.

Vor rund 3.5 Milliarden Jahren verhalf es uns in der Tiefsee zu erstem Leben auf dem Planeten Erde, dem schon damals blauen Planeten unseres Sonnensystems (Gasperl, 2006). Später, jedoch noch immer etwa 5000 Jahre vor unserer Zeit, schätzten es schon die alten Ägypter als wertvolles Gut und waren mitten in der Wüste gezwungen Wasserwirtschaft zu betreiben, um nicht nur das einfache Leben bewältigen zu können, sondern sich auch zur Hochkultur zu entwickeln (Mayer-Tasch, 2009). Ähnliches spielte sich im alten Griechenland, Rom und China zum Beispiel durch die Entwicklung von Wasserrädern und der Wasserschraube von Archimedes zur Bewässerung und erfolgreichen Bewirtschaftung der Felder ab. Das Wasser und den Umgang mit Wasser zu verstehen ist also eine enorm wichtige Errungenschaft für uns Menschen. Beim weiteren Blick durch die Geschichte wird dies im 18. Jahrhundert, dem Zeitalter der Industriellen Revolution, wieder einmal deutlich. Thomas Newcomen und James Watt, den Erfindern der Dampfmaschine, gelang es mithilfe von Wasser völlig neue Kräfte frei zu setzen (Matschoss, 1901). Mit der Erfindung der Dampfmaschine bekam Leistung einmal mehr in der Geschichte eine neue Dimension. Ab dem 19. Jahrhundert geschah dies durch die bis dahin entwickelte Elektrizität. Man erkannte das Potential des Wassers und baute gegen Ende des 19. Jahrhunderts das erste Großwasserkraftwerk an den Niagarafällen in den USA. Wasserkraft wie wir sie heute kennen. Nach dem Muster der Geschichte wäre es also gerade eben wieder an der Zeit eine neue Energieform aus dem einfachen Element "Wasser" zu entwickeln. Jedoch immer mit dem Hintergedanken, dass Wasser auf der Erde zwar nie zur Neige gehen wird, dennoch aber müssen wir es schätzen und rein halten um den Wert dieses so kostbaren Guts zu erhalten ... nicht nur für die nächsten Generationen.

1.2 ClimCatch

1.2.1 Hochwasserereignis und Gefahren

Grund für das Projekt ClimCatch war ein folgenschweres Gewitter, welches am 07. Juli 2011 in der unteren Hälfte des Schöttlgrabens, zwischen der Stadt Oberwölz und der Brücke "Schöttlkapelle", niederging. Bei diesem Gewitter fielen innerhalb von ca. 3 h beträchtliche Regen- sowie Hagelmengen und führten im Raum Oberwölz und flussabwärts zu enormen Schäden. Durch die Niederschlagswerte von bis zu 140 mm innerhalb von 2.5 h kam es im unteren Teil des Schöttlbach-Einzugsgebiets zu einem starken Abflussanstieg am Schöttlbach sowie dessen Zubringerbächen. Im Zuge dieses höheren Abflusses kam es im gesamten unteren Einzugsgebiet zu massiven Sohl- und Seitenerosionen der Fließgewässer. Das aus der Sohle und Böschung ausgeschwemmte Material lagerte sich letztlich zum größten Teil im Bereich des Oberwölzer Ortsgebiets ab und verursachte Schäden in Millionenhöhe (Hydroconsult GmbH, 2011).

Durch die angerissenen Böschungen und den teilweise zerstörten Deckschichten der Fließgewässer stehen seit dem Unwetter 2011 enorme Sedimentmengen für die Wildbäche zur Verfügung. Das stetig nachrutschende Material wird kontinuierlich von den Wildbächen abtransportiert.

Da es sich bei dem betrachteten Material um Moränenmaterial aus eiszeitlichen Ablagerungen handelt, kann in absehbarer Zeit mit keiner Beruhigung der Lage gerechnet werden.

Wie schnell eine solche Hochwasserwelle auf die betreffende Ortschaft trifft wird in der folgenden Abbildung 2 deutlich. Nach einem Unwetter im Einzugsgebiet des Schöttlbaches am Nachmittag des 3. Juli 2013 erreichte der daraus resultierende Hochwasserstand innerhalb von nur 45 min nach dem ersten Anstieg des Wasserspiegels den Höchststand. Dabei stieg der Abfluss an der Brücke Hintereggertor in Oberwölz von den ursprünglich 2 m³/s auf über 21 m³/s an. Dies entspricht einem Anstieg von über 850 % in weniger als 45 min.

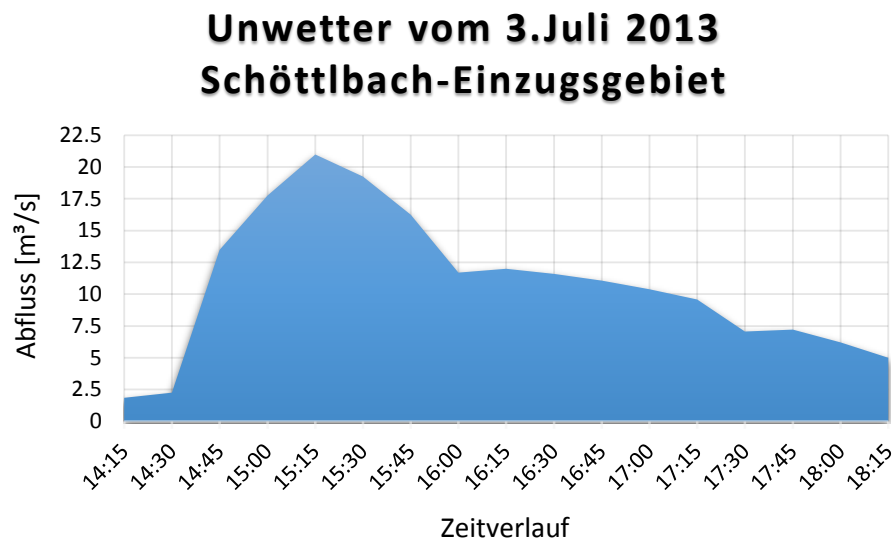


Abbildung 2: Hochwasserwelle vom 3. Juli 2013

In diesem Zusammenhang spielt der Hochwasserschutz eine bedeutende Rolle. Hochwasserschutz muss jedoch nicht immer mit hohen Kosten verbunden sein, so zum Beispiel wird durch Ausräumen des Wildholzes (kleinschneiden) aus dem Bachbett die Verklauungsgefahr im Falle eines Hochwassers um ein vielfaches reduziert und ein sicherer Abfluss gewährleistet. Der Wildholzeintrag in alpinen Einzugsgebieten ist eine ernst zu nehmende Bedrohung, da es im Falle von Brückenverklauungen rasch zu unkontrollierten Ausuferungen des Wildbachs kommen kann. In einer unkontrollierten Ausuferung, welche meistens oberhalb eines Siedlungsgebiets, wo die ersten Brücken anzutreffen sind, auftritt, steckt ein enormes Gefahren- sowie Schadenspotential für die darunterliegende Bevölkerung. Zudem besteht die Gefahr einer Sturzflut im Falle eines Bruches der Verklauung. Nicht zu vernachlässigen ist der Geschiebetransport, welcher durch

Ablagerungen und Auskolkungen in Siedlungsgebieten für große Schäden sorgen kann. Ein funktionierendes Geschieberückhaltebecken flussaufwärts einer Ortschaft leistet im Hochwasserfall gute Dienste wobei in Sachen Hochwasserschutz jeder vernünftig ausgegebene Euro zur Vermeidung von Schäden in Millionenhöhe beiträgt.

Wir können die Natur nicht bändigen jedoch haben wir das Wissen um mit ihr sicher leben zu können

1.2.2 *Projekt ClimCatch*

Das Projekt ClimCatch mit dem Untertitel "Sedimentfracht und Klimawandel in alpinen Einzugsgebieten" wurde 2012 nach dem folgenschweren Unwetterereignis im Raum Oberwölz/Oberwölz-Umgebung ins Leben gerufen. Es handelt sich hierbei um ein Konsortialprojekt welches vom Institut für Geographie und Raumforschung der Karl-Franzens Universität, dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz sowie dem Wegener Center der Karl-Franzens Universität Graz durchgeführt wird. Förderungswerber ist das Institut für Geographie und Raumforschung der Karl-Franzens-Universität Graz welches zugleich auch die Projektleitung übernimmt. "ClimCatch - Impact of climate change on the sediment yield of alpine catchments", wird vom Austrian Climate Research Programme 4.AS des Klima und Energiefonds mit einer Förderungssumme von 345.608 € gefördert. Im Zuge dieses Projekts werden der Schöttlbach und der Krumeggerbach, zwei Wildbäche welche im Jahre 2011 hauptverantwortlich für die schweren Hochwasserschäden in und oberhalb von Oberwölz waren, näher betrachtet und zu Forschungszwecken herangezogen. Die Projektlaufzeit ist vom 1. April 2012 bis zum 31. März 2015 veranschlagt (Klimafonds, 2011).

Unter dem Aspekt des fortschreitenden Klimawandels soll einerseits durch die Messung der Sedimentfracht mittels Sediment-Impact-Sensoren und photogrammetrischer Analyse im betrachteten Einzugsgebiet ein Modell zur Abschätzung zukünftiger Extremereignisse entwickelt werden (Sass, 2012a), andererseits soll ein besseres Verständnis der gesamten geomorphologischen Prozesse im Einzugsgebiet des Schöttlbaches einschließlich der Quantifizierung von temporären

Sedimentspeichern und ihrer Kopplung/Entkopplung zum Vorfluter erlangt werden. Im Vordergrund steht zudem die Erfassung der vor allem in der Steiermark noch sehr bruchstückhaften Erkenntnis der Feststoffdynamik innerhalb eines Flusssystemes. Die Kombination dieser Projektziele soll ein zukünftiges Sedimenttransport-Modell des Einzugsgebiets vom Schöttlbach inklusive dessen linksufrigem Zubringer, dem Krumeggerbach, ergeben und somit als Grundlage sowie Entscheidungshilfe für die vorausschauende Planung von Schutzmaßnahmen dienen (Sass, 2012b).

1.2.3 *Ausblick*

Die Messungen und Ergebnisse vom Projekt ClimCatch haben gezeigt, dass weiterführende Untersuchungen im Einzugsgebiet des Schöttlbaches sinnvoll sind. Daher laufen zur Zeit Vorbereitungen für ein Nachfolgeprojekt. Dieses ClimCatch2-Projekt sollte demnach über ein Zeitraum von mindestens drei weiteren Jahren laufen und das Einzugsgebiet des Schöttlbaches mit zusätzlichen fix installierten Messgeräten überwachen. Angedacht sind ein Geschiebemesssystem zur Überwachung des Sedimenttransports sowie ein flächendeckendes Modell zu Abflussüberwachung. Teil der Abflussüberwachung stellen auch die meteorologischen Parameter wie Niederschlag, Temperatur, Verdunstung, Schneeschmelze sowie die Bodenwasserspeicherung dar. Für die grundlegenden Untersuchungen des Sedimenttransports gilt es den Einfluss der Flächennutzung als auch der Vegetation im Einzugsgebiet zu erforschen und mit numerischen Modellen zu hinterlegen. Im Weiteren soll dieses Projekt zur Beurteilung als auch zur Abschätzung von Katastrophenereignissen und deren Ausmaß sowie als Referenzprojekt für Einzugsgebiete mit ähnlicher Problemstellung herangezogen werden (Barbas, 2014).

1.3 Ziel dieser Masterarbeit

Im Zuge dieser Masterarbeit soll der Geschiebetransport bei den jeweiligen Abflüssen im Einzugsgebiet des Schöttlbaches, einem Wildbacheinzugsgebiet im obersteirischen Wölzertal, näher erforscht werden. Diese Bäche sollen speziell bei höherem Abfluss genauer betrachtet werden, um die gewünschten Ergebnisse zu erhalten. Anhand des Verhaltens von Wildbächen bei bestimmten Abflüssen sollen genauere Aussagen über den Sedimenttransport getroffen werden. Im Speziellen soll untersucht werden, bei welchem Abfluss der Sedimenttransport beginnt und wieviel Material dabei transportiert wird. Des Weiteren wird an Pegelschlüsselkurven gearbeitet, welche an definierten Querschnitten erstellt werden um eine rasche Bestimmung des Abflusses anhand der Wassertiefe zu erhalten. Hierzu werden bei höherer Wasserführung bzw. nach lokalen Gewittern und stärkeren Niederschlägen im Einzugsgebiet magnetisch-induktive Geschwindigkeitsmessungen (Kapitel 3.1.2) und Abflussmessungen mittels der Salztracer-Methode (Kapitel 3.1.3) durchgeführt.

Ein weiteres Ziel ist es, die Gefahr von Überflutungen nach stärkeren Niederschlägen im Einzugsgebiet besser und genauer abschätzen zu können und schon im Vorhinein anhand des erwarteten Niederschlags etwaige Schutzmaßnahmen treffen zu können.

Diese Masterarbeit soll zusammen mit der Arbeit von Barbas (2014) einen Überblick über die aktuelle Lage im Schöttlbach Einzugsgebiet geben sowie die Ergebnisse der letzten drei Jahre zusammenfassen und weitere Erkenntnisse generieren.

2. Grundlagen

Um einen klaren Überblick zu schaffen werden in diesem Kapitel grundlegende Definitionen, theoretische hydraulische Grundlagen, die zum Einsatz gekommenen Messmethoden sowie das Untersuchungsgebiet näher beschrieben.

2.1 Wildbachsystem

“Ein Wildbach im Sinne dieses Bundesgesetzes ist ein dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur 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, 2014)

Bei Wildbächen handelt es sich in der Regel um steile Gebirgsbäche, welche nach örtlichen Niederschlagsereignissen stark anschwellen und große Mengen an Gesteinsschutt, Erdreich in Form von Geschiebe und Schwebstoffen sowie eingetragenes Holz, auch “Wildholz“ genannt, mit sich talwärts führen. Charakterisiert werden Wildbäche hauptsächlich durch ihr stets steiles Gefälle und durch die nach heftigen Niederschlägen beziehungsweise von der Schneeschmelze zeitlich stark variierende Abflussmenge. Seltener aber doch kommen Wildbäche im Flachland vor, wo sie typischerweise nur geringere Höhenunterschiede überwinden, jedoch meist ein größeres Einzugsgebiet entwässern (BMLFUW, 2011a).

Beim Einzugsgebiet eines Wildbaches handelt es sich um das gesamte Gebiet, welches durch den Wildbach selbst und seinen ganzen Zubringerbächen nach Niederschlägen und Schneeschmelzen entwässert wird. Zum Einzugsgebiet eines Wildbaches gehört auch dessen Ablagerungsbereich. Österreichweit gibt es rund 12.000 Wildbacheinzugsgebiete von welchen jedes einzelne in einer Verordnung auf Bundesebene vom jeweiligen Landeshauptmann festgelegt wird (BMLFUW, 2011a).

“Das Einzugsgebiet eines Wildbaches im Sinne dieses Bundesgesetzes ist die Fläche des von diesem und seinen Zuflüssen entwässerten Niederschlagsgebietes sowie der Ablagerungsbereich des Wildbaches.“ (ForstG 1975 §99 Abs.3, 2014)

Die Einteilung eines Wildbaches kann laut Bundesministerium für ein lebenswertes Österreich (BMLFUW, 2011a) in folgende drei Abschnitte erfolgen (Abbildung 4).

- Oberes Einzugsgebiet (**Oberlauf**), dem eigentlichen Sammelgebiet der Niederschläge wo aufgrund des starken Gefälles und der daraus resultierenden hohen Fließgeschwindigkeit vorwiegend Tiefenerosion stattfindet. Zudem stellt sich ein gestrecktes (geradliniges) Abflussgerinne ein. Durch den Sedimenttransport, bei welchem Steine und Blöcke transportiert werden können, wird die Erosionskraft des Gewässers erheblich vergrößert.
- Haupttransportbereich des Geschiebes (**Mittellauf**). Hier wechseln sich je nach Strömung und Abflussmenge Erosion und Akkumulation ab. Im sogenannten Furkationsbereich findet eine stetige Sedimentumlagerung und Veränderung des Abflussgerinnes statt. Nach und nach wird die Tiefenerosion von der Seitenerosion abgelöst. Die Seitenerosion und Kolkbildung findet vorwiegend an der Außenseite der Kurve statt (Abbildung 3). Der Fluss beginnt zu mäandrieren und es kommt zur Bildung von Sandbänken.

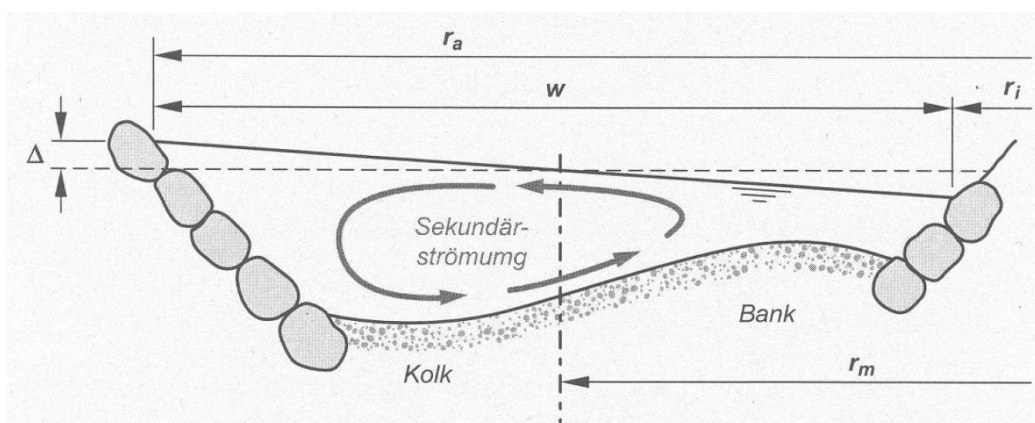


Abbildung 3: Seitenerosion im Außenbogen der Kurve sowie Bankbildung im Innenbogen (Bezzola & Minor, 2004)

- Sowie dem Schwemmkegel (**Unterlauf**), welcher über die Jahrhunderte als Resultat der Geschiebeablagerung gebildet wurde und in vielen Fällen aufgrund der fruchtbaren Ablagerungen dicht besiedelt ist (BMLFUW, 2011a). Mit sinkendem Gefälle der Gewässersohle sinken die Fließgeschwindigkeit und damit verbunden auch der Korndurchmesser der transportierten Sedimente.



Abbildung 4: Flussabschnitte eines Fließgewässers (Geomorphologie, 2000)

Die größten Gefahren in den Einzugsgebieten von Wildbächen stellen extreme Niederschläge in kurzer Zeit dar. Durch das daraus relativ rasch auftretende und abfließende Hochwasser erfolgt ein massiver Transport von Geschiebe und Schwebstoffen. Zusätzlich kann es bei Starkregenereignissen durch die Sättigung vom Boden im steilen Gelände zu Bildung von Muren kommen. Diese Muren transportieren einerseits große Mengen an Sediment talwärts und landen letztlich im Bachbett, wo diese kontinuierlich vom Wildbach abtransportiert werden, andererseits stellen die Abrutschkegel der Muren einen sehr großen Sedimentvorrat für das darunterliegende Fließgewässer dar. Durch die fortschreitende Erosion und das ständige Nachrutschen der Böschungen gelangt immer wieder neues Material ins Fließgewässer welches im Laufe der Zeit abtransportiert wird. Das abtransportierte Material findet sich später zerkleinert am

Schwemmkegel im Tal beziehungsweise im Ablagerungsbereich des Bachbettes wieder.

Bei einem Fließgewässer treten durch das Zusammenwirken von Feststoffen und Wasser ständig Verformungen der Sohle und Seitenbereiche auf. Dabei wechseln sich Erosion und Sedimentation stets ab. Spricht man von einem dynamischen Gleichgewicht, so befindet sich das Gewässer in einem Zustand, bei dem die Geschiebezufuhr gerade noch der Transportkapazität des Flusses entspricht. In diesem Fall kommt es weder zur Eintiefung noch zur Auflandung der Gewässersohle (Schay et al., 2008).

Rosgen (1994) hatte in den USA eine sehr bekannte Methode aufgestellt, mit welcher Fließgewässer klassifiziert werden können. Für das betrachtete Einzugsgebiet des Schöttlbaches findet die Methode nach Rosgen zum Beispiel gute Anwendung. Den Naturbedingungen entsprechend wurde der Schöttlbach gemäß Abbildung 5 nach A und D klassifiziert. Das durchschnittliche Gefälle liegt zwischen 4 und 10 % wobei auch immer wieder Furkationsbereiche auszumachen sind.

Die Klassifikation nach D ist mit Unsicherheiten verbunden, einerseits da das Breite zu Tiefen Verhältnis nicht eingehalten werden kann, und das Gefälle teilweise mehr als 4 % beträgt. In Frage kommt die Klassifikation D3b bzw. D4b nach Abbildung 6.

Für eine Klassifikation nach A spricht: Das Gefälle beträgt zwischen 4 und 10 %, es herrscht eine Sinuosität kleiner 1.2 vor (sehr geradlinig). Der einzige Punkt, welcher nicht ins Schema passt, ist das Breite zu Tiefe Verhältnis von < 2 welches aufgrund der geringen Abflussmenge nicht erreicht werden kann. Im ursprünglichen Zustand ohne Kraftwerke wäre es eingehalten. Nach Abbildung 6 kommt die Klassifikation A2 in Frage.

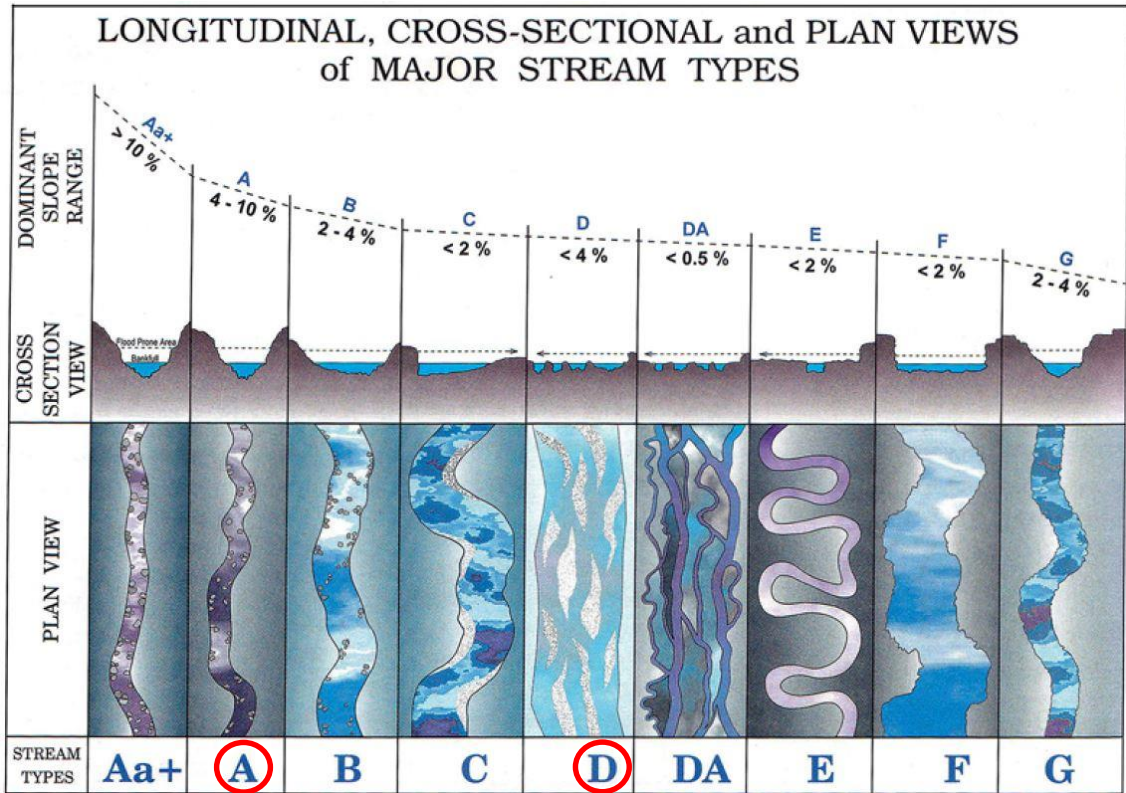


Abbildung 5: Klassifikation von natürlichen Fließgewässern (Rosgen & David L., 1994)

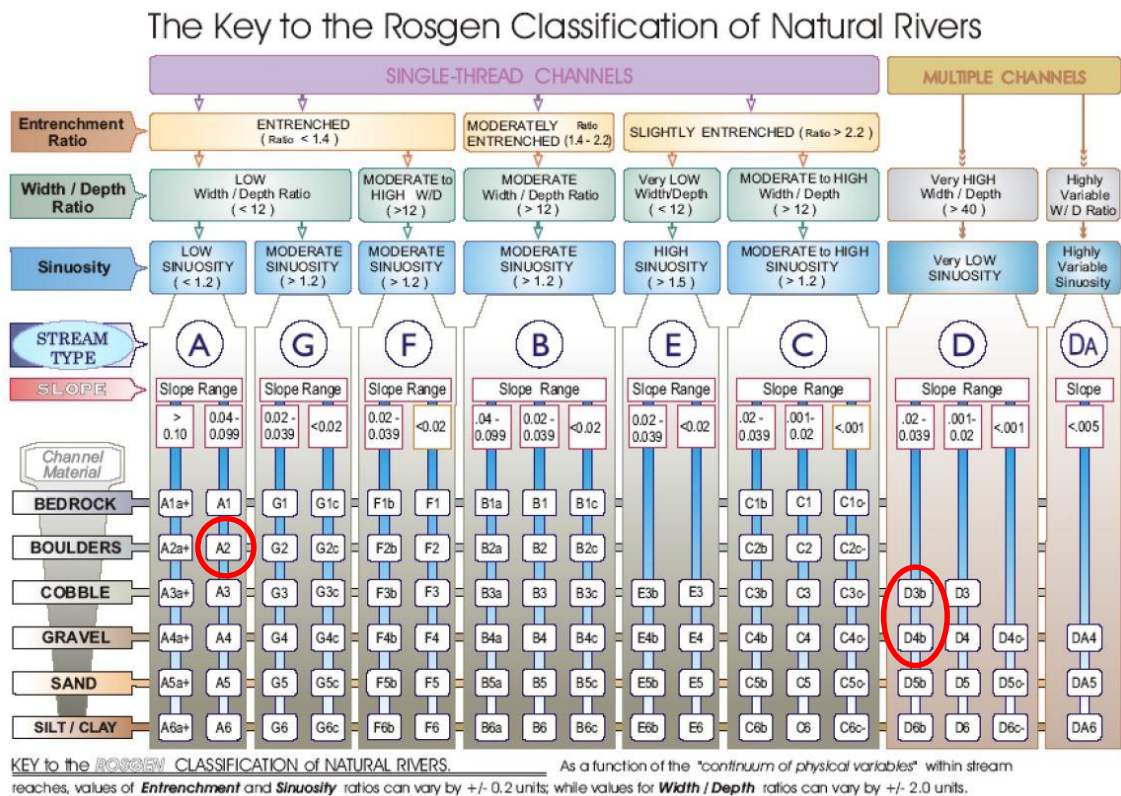


Abbildung 6: Exakte Klassifikation von natürlichen Fließgewässern (Rosgen, 1994)

2.1.1 Sediment

Als Sediment bezeichnet man die in einem flüssigen Medium transportierten Feststoffanteile, die hauptsächlich durch die Strömung und Fließgeschwindigkeit beeinflusst werden.

2.1.1.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung ist eine der bedeutendsten Analysen zur Charakterisierung von Böden und kann wahlweise nass oder trocken durchgeführt werden. Sie gibt Auskunft über die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Körner mit einem bestimmten Durchmesser (z.B. > 63, 63, 45, 31.5, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125, 0.063 und < 0.063 mm). Körner < 0.125 mm Korndurchmesser werden mittels der sogenannten Schlämmanalyse analysiert. Als Ergebnis erhält man eine Körnungslinie (Abbildung 7), welche den zu analysierenden Boden in Ton, Schluff, Sand, Kies und Steine (siehe Tabelle 1) nach vorkommenden Massenanteilen einteilt (ÖNORM B 4412).

Tabelle 1: Korngrößenklassifikation

Korngrößenklassifikation		
Korngröße [mm]	Bezeichnung	Feststoffkomponente
< 0.002	Ton	Feinschwabstoff
0.002 – 0.063	Schluff	Feinschwabstoff
0.063 – 2	Sand	Schwabstoff / Geschiebe
2 – 63	Kies	Geschiebe
> 63	Steine / Blöcke	Geschiebe

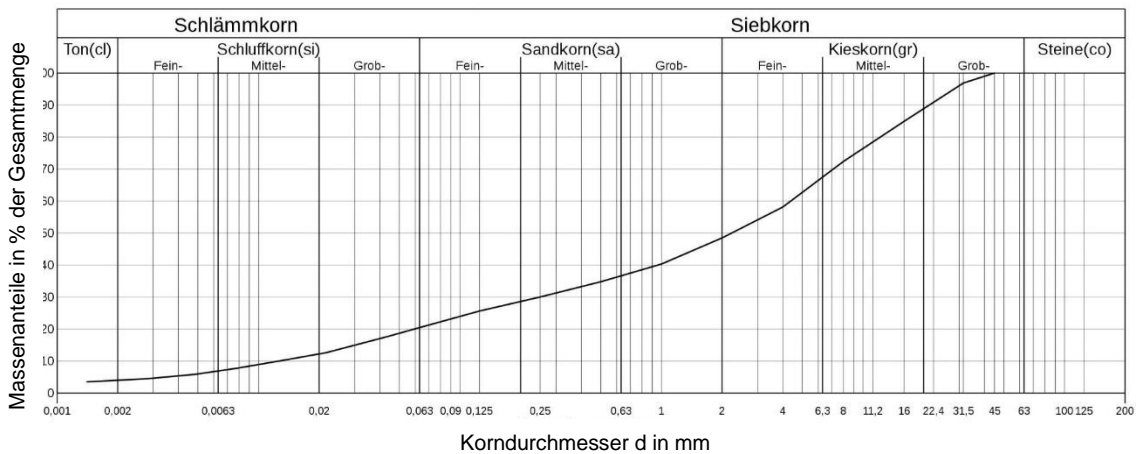


Abbildung 7: Körnungslinie

2.1.1.2 Kornform

Neben der Korngröße stellt die Kornform einen wesentlichen Parameter für den Sedimenttransport dar. Abhängig von der Mineralogie und dem Ausgangsgestein der Körner sowie den vorherrschenden Transport- und Verwitterungsbedingungen weisen diese unterschiedliche Kornrundungen auf. Die äußere Kornform wird im Allgemeinen von sehr eckig bis gut gerundet in sechs Kategorien gegliedert (Abbildung 8). Des Weiteren wird das Achsenverhältnis (Längsachse - A, Mittelachse – B und Kurzachse - C) zur Bestimmung der Kornform herangezogen (siehe Abbildung 9). Daraus resultieren z.B. plattige, stängelige oder kugelige Körner. Die Sphärizität ist eine Kenngröße dafür, wie kugelförmig die Körner sind (Petrograph, 2014).

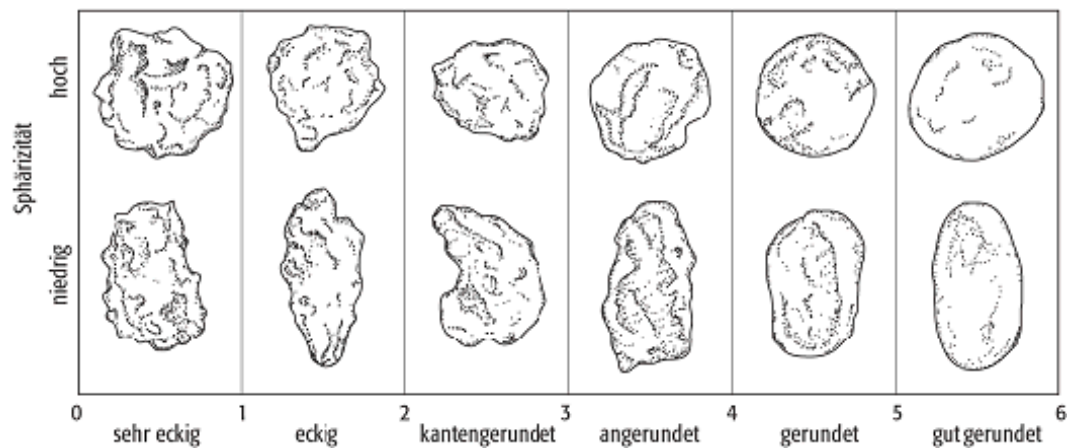


Abbildung 8: Sechs Kategorien der Kornrundungen (GeoDZ, 2014)

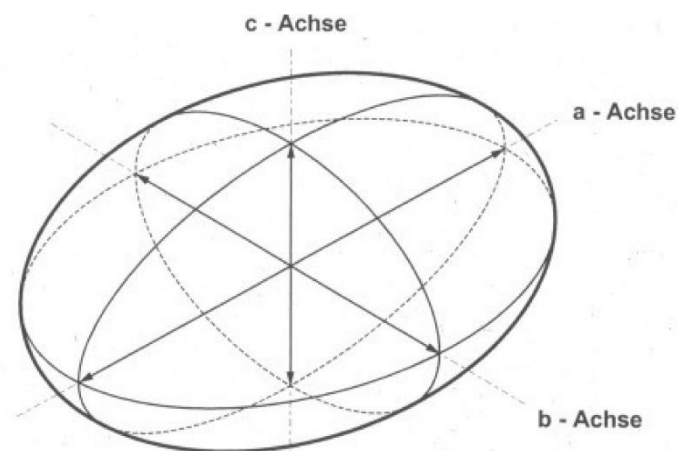


Abbildung 9: Hauptachsenbestimmung am Gesteinskorn (Bezzola & Minor, 2004)

2.1.1.3 Feststoffe in Fließgewässern

Grundsätzlich wird beim Feststofftransport zwischen Geschiebe und Schwebstoffen unterschieden. Beim Geschiebe (geol. Geröll) handelt es sich um jenes Material, welches an der Gewässersohle durch Rollen oder Schieben transportiert wird. Schwebstoffe (Suspensionsfracht) hingegen treiben mit der Strömung, da entweder die Dichte der Feststoffpartikel geringer ist als jene des Wassers oder aufgrund von Turbulenzen beziehungsweise der Partikelform ein Absinken dieser Feststoffe verhindert wird. Eine exakte Abgrenzung zwischen Geschiebe und Schwebstoffen ist nicht klar definiert, da sich mit steigendem Gefälle sowie mit steigender Fließgeschwindigkeit der transportierte Korndurchmesser ändert. Grenzfraktion bildet jedoch der Sand mit einer Korngröße zwischen 0.063 und 2 mm, der sowohl in Schweben, als Geschiebe oder im Übergangszustand "springend" transportiert wird. Eine weitere Form der transportierten Stoffe ist die Lösungsfracht. Bei der Lösungsfracht wird der Feststoff durch chemische Verwitterung gelöst und unabhängig von der Strömungsgeschwindigkeit und dem Abfluss transportiert. Geschiebe-, Schwebstoff- und Lösungsfracht umfassen zusammen, wie in Abbildung 10 ersichtlich, den gesamten Feststofftransport eines Fließgewässers (Bechteler, 2006).

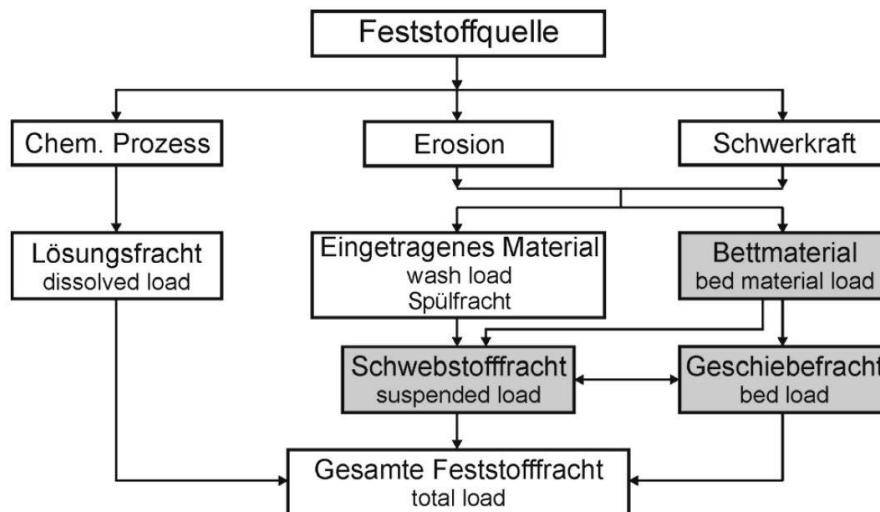


Abbildung 10: Gesamte Feststofftransport eines Fließgewässers (Bechteler, 2006)

Wie Bechteler (2006) hinweist, wird davon ausgegangen, dass bei Fließgewässern die Schwebstofffracht um ein Vielfaches größer ist als die mitgeführte Geschiebefracht. Rund 85 % des gesamt transportierten Materials werden als Schwebstoffe abtransportiert. Burz (1964) fand anhand von Messungen heraus, dass im Mittel 90 % der Schwebstoffe einen Korngrößenbereich von kleiner als 0.2 mm aufweisen. Der Rest wird ausschließlich in Sohlennähe transportiert.

Zur Abgrenzung zwischen Schwebstoffen und Geschiebe hat Kresser (1964) an mehreren österreichischen Flüssen einen Grenzkorndurchmesser d_{gr} über die mittlere Fließgeschwindigkeit v_m und eine Froudezahl Fr von 360 ermittelt.

$$Fr^2 = \frac{v_m^2}{g \cdot d_{gr}} = 360[-] \quad \Rightarrow \quad d_{gr} = \frac{v_m^2}{360 \cdot g} [m] \quad \text{Formel 1}$$

Weitere Abgrenzungen wie zum Beispiel die Schwebstoffzahl (Rouse Zahl) z besagen, dass ab $z > 2$ die entsprechenden Partikelgrößen nur mehr an der Gewässersohle transportiert werden können (Bechteler, 2006).

$$z = \frac{v_s}{\beta \cdot \kappa \cdot v_o^*} \quad \text{Formel 2}$$

Setzt man für das Produkt der beiden Parameter $\beta \cdot \kappa = 0.4$ ein, so ergeben sich nach Raudkivi (1982) folgende drei charakteristische Bereiche.

15 > z > 5 Bodenfracht

5 > z > 1.5 Springen

2 > z > 0 Suspension

Zanke (1982) wiederum berechnet bei bekannter Sohlenschubspannungsgeschwindigkeit den maximal möglichen Korndurchmesser eines Schwebstoffpartikels aus der Sinkgeschwindigkeit. Dafür geht er von einer Schwebstoffzahl $z < 6.25$ aus.

$$v_o^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho_w}} = \sqrt{g \cdot R \cdot I} \quad \left[\frac{m}{s} \right]$$

Formel 3

mit:

 v_o^* ... Schubspannungsgeschwindigkeit τ_o ... Sohlschubspannung ρ_w ... Dichte des Wassers

R ... Hydraulischer Radius

I ... Neigung der Sohle

Für ein besseres Verständnis des Gleichgewichtsystems eines Fließgewässers veranschaulicht die "Sedimentwaage" nach Lane aus dem Jahre 1955, dargestellt in Abbildung 11, die Zusammenhänge zwischen Korngröße und Gefälle, Eintiefung und Auflandung sowie Sedimentführung im Vergleich zur Wasserführung. Zum Beispiel verlagert sich die symbolische Waage bei steigendem Gefälle und gleichbleibendem Abfluss nach rechts und es werden größere Partikel mobilisiert. Eine Eintiefung der Sohle wird die Folge sein.

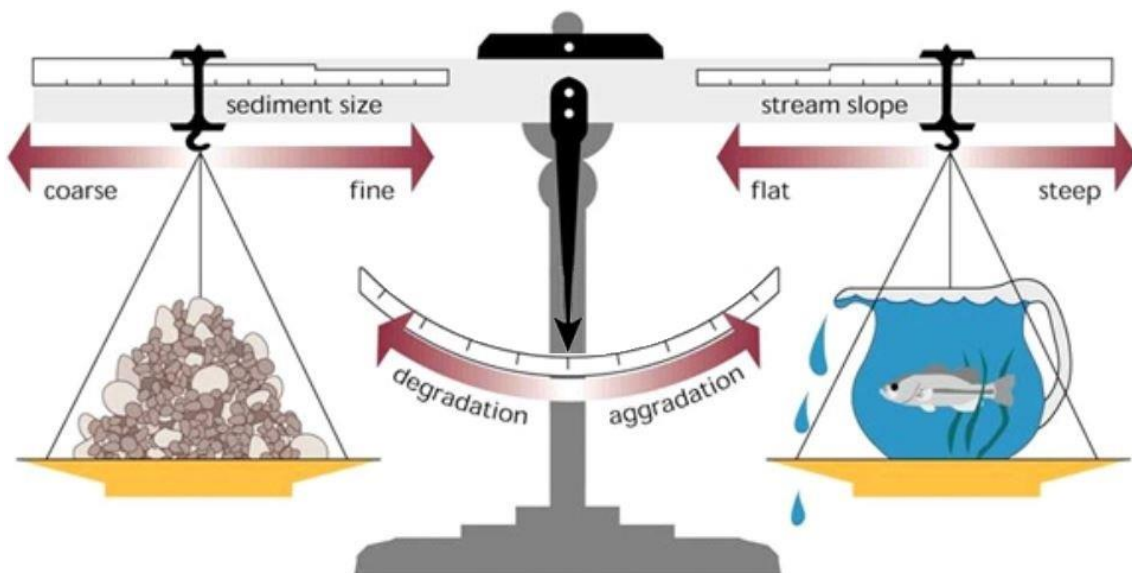


Abbildung 11: Sedimentwaage nach Lane, 1955 (Rosgen, 1996)

2.1.1.4 Deckschichtbildung

Bei der Deckschichtbildung werden aus der Ausgangsmischung, jenem Material aus der Unterschicht, Feinanteile, welche dem Strömungsangriff nicht standhalten können, ausgewaschen. Zurück bleibt eine Oberflächenschicht mit einer größeren Sedimentfraktion (Abbildung 12), welche selbst bei anhaltendem Strömungsangriff den Geschiebetransport auf nahezu Null reduziert, sofern von Oberstrom kein wesentlicher Geschiebeeintrag erfolgt. Die Dicke der Deckschicht entspricht in der Regel dem maximalen Korndurchmesser, da es im Untergrund zu keiner weiteren Auswaschung mehr kommt. Somit weist die Deckschicht eine steilere Körnungslinie als die Unterschicht auf. Ausgebildet wird eine solche Deckschicht nur in Flussabschnitten mit größeren Fließgeschwindigkeiten und einer genügend großen Schleppspannung um eine Verlandung der Sohle zu verhindern, wie es in einem Oberlauf bzw. Mittellauf der Fall sein kann. Der Grenzzustand wird Zustand der maximalen Sohlstabilität genannt (DVWK, 1997).

Der maßgebende charakteristische Korndurchmesser als Maß des Erosionswiderstandes der Deckschicht ist d_{90} . d_{90} entspricht dem Korndurchmesser bei 90 % Siebdurchgang. Wohingegen d_{50} bzw. d_{65} für die Beschreibung des Geschiebetransportes steht (Parker & Klingemann, 1982).

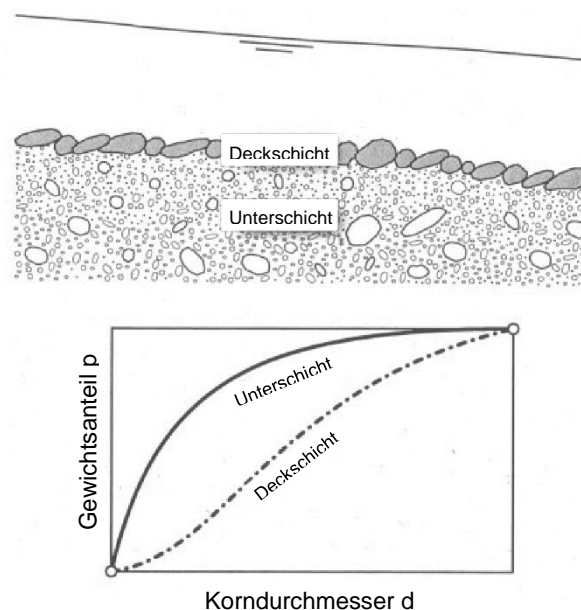


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Deckschichtbildung mitsamt der Körnungslinie (Bezzola & Minor, 2004)

2.1.1.5 Hiding- und Exposure-Effekt

Der Transportbeginn bei Mehrkornmaterial erfolgt je nach Korngröße. Für den Fall, dass sich größere Partikel auf feinkörnigem Untergrund befinden tritt der Exposure-Effekt ein. Dabei werden die Feinanteile unter bzw. hinter den größeren Geiestenskörnern erodiert, was eine Bewegung aufgrund der fehlenden Stützwirkung zur Folge hat. Als Resultat erfolgt die Einbettung im feinkörnigen Sohlmaterial. Beim Hiding-Effekt werden Feinanteile hinter größeren Gesteinspartikeln abgeschirmt und stehen daher nicht für den Transport zur Verfügung. Dargestellt werden diese beiden Phänomene in Abbildung 13 (Parker & Klingemann, 1982).

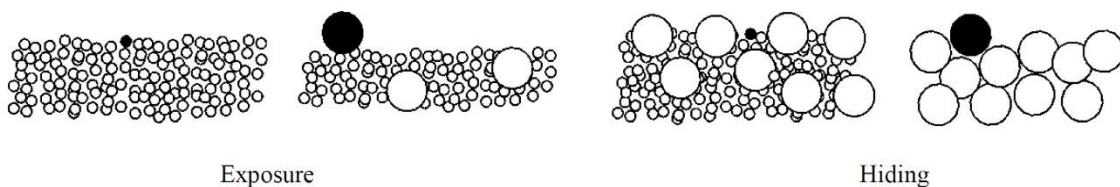


Abbildung 13: Exposure- und Hiding-Effekt für Ein- und Mehrkornmaterial (Zanke, 2002)

2.1.1.6 Kohäsion / Adhäsion

Unter Kohäsion versteht man die Anziehungskräfte von Molekülen und Atomen gleicher Art, wie zum Beispiel zwischen zwei feinkörnigen Partikeln (Ton / Schluff). Im Unterschied zur Kohäsion verliert die scheinbare Kohäsion durch den Verlust der vom Wasser benetzten Oberfläche ihre Wirkung (Sandburg-Effekt). Bei der scheinbaren Kohäsion wirken ausschließlich Kapillarkräfte, sogenannte Saugspannungen.

Zu erklären ist dies anhand eines Vergleichs des Materials vom Bachbett mit jenem einer Schotter-/Sandbank. Diese scheinbare Kohäsionskraft verliert ihre Wirkung, sobald das Wasser aufrocknet bzw. sich verflüchtigt, wie im Falle einer Sandbank. In diesem Fall kann von einer Belüftung der Porenräume gesprochen werden. An einer Sandbank können die einzelnen Körner ohne weiteres bewegt werden, wohingegen die Körner im durchströmten Bachbett teilweise wie einzementiert sind und sich nur schwer loslösen lassen. Kommt es zu einer Durchströmung der gesättigten Porenräume in bzw. unter den Gesteinspartikeln in der Bachsohle, verliert die scheinbare Kohäsion ebenfalls ihre Wirkung, wodurch die

Verzahnungskräfte sowie die Gewichtskräfte unter Auftrieb als einzige auftretende Kräfte maßgebend werden.

Von Adhäsion spricht man bei Kräften, welche Moleküle und Atome verschiedener Art zusammenhalten (z.B. Wassertropfen auf Glasscheibe). Sie wird durch die Wechselwirkung an der gemeinsamen Grenzfläche der beiden Stoffe beschrieben (Burbaum, 2009).

Erkannt wurden diese Anziehungskräfte (Kohäsion und Adhäsion) ursprünglich vom niederländischen Physiker Johannes Diderik van der Waals.

Kapillarwirkung / Oberflächenspannung

Kapillarwirkung bedeutet, dass sich die einzelnen Wassermoleküle durch die sogenannten Kohäsionskräfte gegenseitig anziehen und speziell an den Begrenzungsflächen mit anderen Medien und Feststoffkörpern als resultierende Kräfte in Erscheinung treten. Innerhalb eines Mediums (z.B. Wasser) heben sich diese Molekularkräfte jedoch gegenseitig auf. Die Richtung der Grenzflächenkräfte wird primär von den Dichten der angrenzenden Medien bestimmt (Oumeraci, 2014).

Wandung

Als Wandung wird die Grenzfläche zwischen Wasser und Feststoffkörper bezeichnet. Die Grenzfläche für benetzende Flüssigkeiten, wie z.B. Wasser, wird vom Kräftegleichgewicht aus den Kohäsionskräften F_K und den Adhäsionskräften F_{Ad} bestimmt. Die Wasseroberfläche steht stets senkrecht zur resultierenden Kraft F_{Res} , deren Richtung durch die vektorielle Summe von F_K und F_{Ad} bestimmt wird (Oumeraci, 2014).

Für $F_{Ad} > F_K$, wie es für diesen Fall gilt (Wasser + Gesteinskorn), stellt sich eine nach außen, also zur festen Berandung, gerichtete Resultierende F_{Res} mit einer konkaven Form ein (Oumeraci, 2014).

Die Kapillarwirkung setzt also ein, wenn sich zwei Feststoffkörper in unmittelbarer Nähe befinden und eine benetzende Flüssigkeit zur Verfügung steht (Abbildung 14). Dies kann bei engen Spalten und Fugen ebenso wie bei dicht gepackten Gesteinskörnern mit geringen Oberflächenabständen ($< 2 \text{ mm}$) der Fall sein.

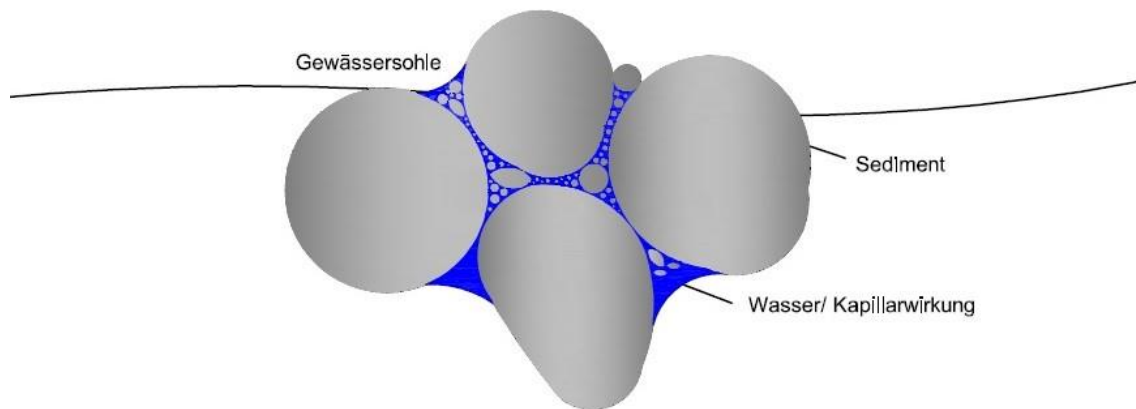


Abbildung 14: Kapillarwirkung / Adhäsion in der Gewässersohle

Im Falle dieses scheinbar kohäsiven Materials wird eine größere kritische Schubspannung für den Transportbeginn benötigt, da sich im Untergrund des Bachbettmaterials mit einem breiten Körnungsband eine Saugspannung entwickeln kann. Bei größeren Mengen an ein-körnigen Partikeln wie z.B. Sand kann dieser Effekt nicht beobachtet werden (Durchströmung). Gesteinskörner die sich "lose" an der Gewässersohle fortbewegen sind ausgenommen. Hierbei wird ausschließlich der Transportbeginn von Partikeln beschrieben, welche sich in einer festen Sohle befinden.

2.1.2 Gerinnehydraulik

Die Gerinnehydraulik dient als Grundlage für die Erforschung des Sedimenttransportes. An erster Stelle steht die Lösung der hydraulischen Probleme, erst danach kann mit den ermittelten hydraulischen Parameter eine Aussage über den Sedimenttransport getroffen werden, da der Feststofftransport als Folge des Abflussvorganges verstanden wird (Knoblauch & Schneider, 2014).

Viele hydraulische Berechnungen beruhen auf den traditionell, eindimensionalen empirisch ermittelten Formeln, welche zum Teil schon hunderte Jahre alt sind. Modifiziert und weiterentwickelt erlauben diese heute eine physikalisch zuverlässige Erfassung der einzelnen Parameter, wie zum Beispiel der Fließgeschwindigkeit.

Die wohl bedeutendste dieser empirischen Urformeln der Hydraulik lieferte Antoine **Chezy** im Jahre 1755. Seit diesem Jahr versuchten sich viele an der Weiterentwicklung der Formel wobei Albert Strickler im Jahre 1923 unter Einbezug der Ansätze von Gaspar-Philibert Gauckler und Robert Manning, eine Verallgemeinerung dieser Formel gelang. Ziel dieser Formeln ist es die mittlere Fließgeschwindigkeit anhand des Gefälles, des hydraulischen Radius und eines Proportionalitätsfaktors zu ermitteln. Es sollte also eine Beziehung zwischen Gerinnegeometrie, Fließgeschwindigkeit und Gerinnewiderstand aufgestellt werden. Abbildung 15 zeigt die wirkenden Kräfte an einem Flüssigkeitselement sowie das Verhältnis von durchströmter Fläche zum benetzten Umfang (hydraulischer Radius) (Bollrich & Preißler, 1985).

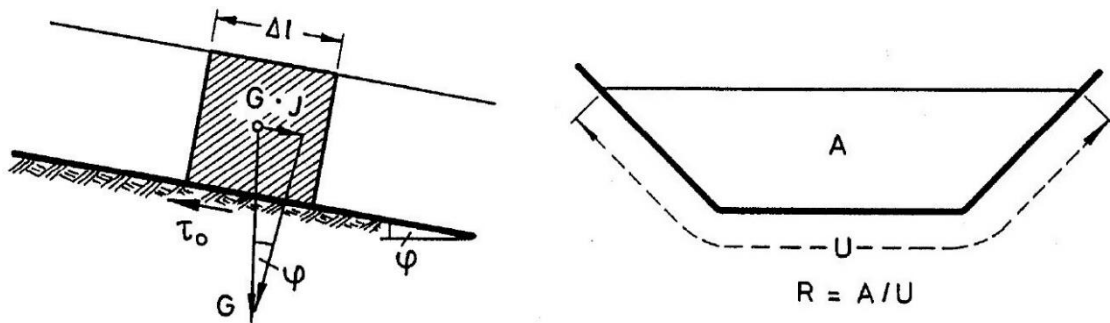


Abbildung 15: Kräfte am Flüssigkeitselement (Bechteler, 2006)

Herleitung der Formel mittels dem Kräftegleichgewicht aus Abbildung 15.

$$\tau_0 \cdot U \cdot \Delta l = G \cdot I \quad \text{Formel 4}$$

$$\text{mit: } G \cdot I = \rho_w \cdot g \cdot A \cdot \Delta l \cdot I \quad [N] \quad \text{Formel 5}$$

$$\text{und: } \sin \varphi \approx \tan \varphi = I$$

daraus ergibt sich die Schubspannung τ_0 zu:

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot I \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad \text{mit: } R = \frac{A}{U} \quad \text{Formel 6}$$

Des Weiteren erhalten wir den Gerinnewiderstand als Sohlenschubspannungsgeschwindigkeit v_o^* in [m/s].

Aus Formel 3 folgt die Gleichung nach Chezy zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit v_m mit dem Chezy-Beiwert C mit der Einheit [m^{1/2}/s].

$$v_m = C \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Formel 7}$$

Der Chezy-Beiwert ist jedoch keine Konstante, sondern hängt vom Abflussquerschnitt und der Gerinnerauheit ab (Bollrich & Preißler, 1985).

Aus diesen Ansätzen generierte Strickler mit dem Ansatz von:

$$C = k_{St} \cdot R^{\frac{1}{6}} \quad \left[\frac{m^{\frac{1}{2}}}{s} \right] \quad \text{Formel 8}$$

die heute viel verwendete **Gauckler-Manning-Strickler-Fließformel**:

$$v_m = k_{St} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Formel 9}$$

Für die Verwendung der Gauckler-Manning-Strickler-Formel (Formel 9) wird der empirische Strickler-Beiwert k_{St} [m^{1/3}/s] benötigt, welcher je nach Oberflächenbeschaffenheit gewählt wird. In der nachstehenden Tabelle 2 werden häufig vorkommende Gewässersohlen und der dazugehörige Strickler-Beiwert angegeben. Der für diese Arbeit interessante Bereich wurde rot umrandet, wobei der Strickler-Beiwert k_{St} zwischen 8 und 17 m^{1/3}/s angenommen werden kann.

Tabelle 2: Strickler-Beiwert k_{st} für die Gesamtrauheit von Naturgerinnen nach (Zeller & Trümpler, 1984)

	k_{st} [$m^{1/3}/s$]
Wildbäche	
Grobkiessohle mit Steinen, gerade	20–25
Grobkiessohle mit Steinen, gewunden	15–20
Steinsohle mit einzelnen Blöcken, gerade	12–17
Blocksohle, Schnellen-Becken, unregelmässig	8–15
Blocksohle, Schnellen-Becken, unregelmässig, verwachsen	5–12
Gebirgsflüsse	
Kies- und Steinsohle, gerade	20–33
Steinsohle mit Blöcken, gerade	14–25
Blocksohle, gerade	10–15

2.1.3 Transportbeginn

Die Berechnung des Transportbeginns beziehungsweise die Fragestellung welchen Widerstand die Gewässersohle /-umrandung dem Medium Wasser entgegensetzen kann, stellt nach wie vor eines der grundsätzlichen Probleme des Wasserbaus und der Hydromechanik dar. Durch die Komplexität des gesamten Systems ist es extrem schwierig, eine exakte Aussage über den Bewegungsbeginn zu treffen. Meist geraten viele Fraktionen eines Korngemisches nahezu gleichzeitig in Bewegung, darum kann auch von einem charakteristischen Korndurchmesser zur Beschreibung des Transportbeginns ausgegangen werden. Bei rolligem Material wiederum werden die einzelnen Körner der Gewässersohle je nach Größe und Exposition zur Strömung in Bewegung gesetzt, wie es der sogenannte "Hiding- bzw. Exposure-Effekt" in Kapitel 2.1.1.5 beschreibt. Kommt es zu einem Aufreißen der Deckschicht (Kapitel 2.1.1.4), so erhöht sich der Sedimenttransport enorm (Vollmers, 2012).

Für den Bewegungsbeginn stellen die kritische Geschwindigkeit und die kritische Schubspannung die wichtigsten Parameter zur Erfassung der Sohlstabilität in natürlichen Fließgewässern dar. Dennoch spielen zusätzlich auch die Feststoffparameter wie die Korndichte, der Korndurchmesser und die Kornform, aber auch die Gewässereigenschaften wie die Wassertiefe und das Sohlgefälle eine wesentliche Rolle beim Sedimenttransport.

2.1.3.1 Kritische Schubspannung (allgemein)

Der Ansatz dieser Schubspannung gilt im Allgemeinen für nicht allzu steile Fließgewässer mit vorherrschendem stationär-gleichförmigen Abfluss. Das Diagramm von Shields (1936), dargestellt in Abbildung 16, stellt das heute am bekanntesten und meist benützte Diagramm zur Untersuchung des Transportbeginns dar. Zanke modifizierte im Jahre 1990 das Diagramm durch Angabe des Bewegungsriskos R . Nach Shields gibt es eine Beziehung zwischen der Feststoff-Froude-Zahl Fr^* und der Feststoff-Reynolds-Zahl Re^* . Jedoch ist im hydraulisch rauen Bereich (ab etwa $Re^* > 300 \cdot D^* \approx 150 \rightarrow d_{ch} \approx 0.6 \text{ cm}$) die Feststoff Froude-Zahl nicht mehr von der Feststoff-Reynolds-Zahl abhängig, sondern es werden ausschließlich die wirkenden Druckkräfte maßgebend. (Vollmers, 2012)

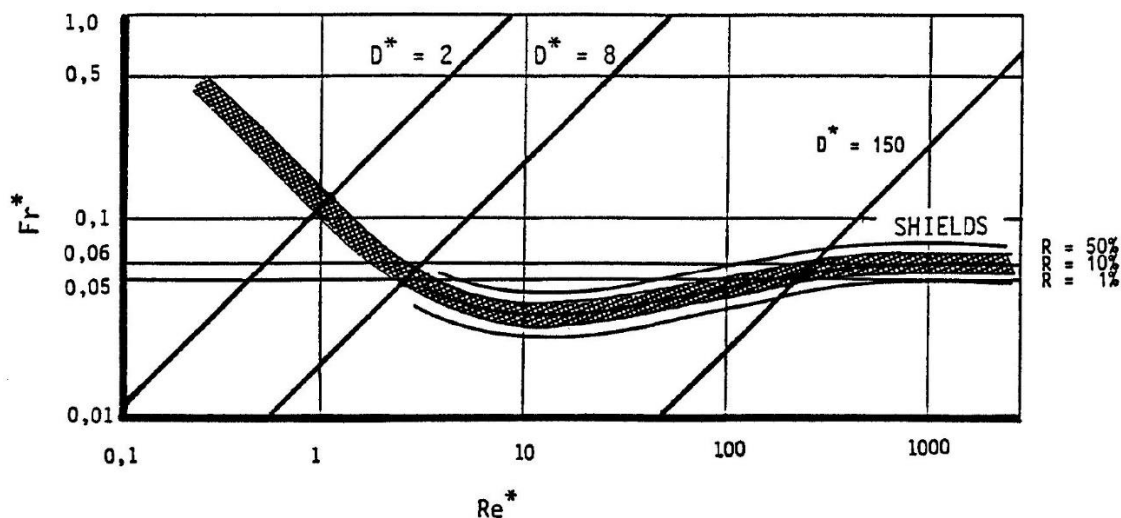


Abbildung 16: Diagramm nach Shields (1936) modifiziert von Zanke (1990)

Der Bereich oberhalb der Kurve stellt den Bewegungsbereich der Gesteinskörner dar, wohingegen im Bereich unterhalb der Kurve die Körner sich in Ruhe befinden. Im Allgemeinen liegt der Funktionswert Fr^* zwischen 0.03 und 0.06. Die Geschiebetransportgleichung nach Meyer-Peter / Müller liefert einen Wert von 0.047, sofern man den Geschiebetrieb dieser Gleichung gegen Null gehen lässt. Dass dieser Wert auch in Modellversuchen nachvollzogen werden kann, hat Ogris 1974 gezeigt (Klasz, 2013).

Wie bereits beschrieben ist die kritische Sohlschubspannung von der Dichte des zu transportierenden Gesteins, von der Korngröße, der Kornform und genau genommen vom Turbulenzgrad der Strömung abhängig.

Das Diagramm beruht auf Formel 10 zur Berechnung der dimensionslosen Shields-Zahl θ oder auch Fr^* , und gilt vor allem für gleichförmiges und kohäsionsloses Material (Shields, 1936).

$$\theta = Fr^* = \frac{\tau_{0,crit}}{(\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d_k} = f\left(\text{Re}^* = \frac{v^* \cdot d_k}{\nu}\right) \quad \text{Formel 10}$$

$$\text{mit: } v^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad \text{Formel 11}$$

Für den betrachteten stationären gleichförmigen Abfluss stellt sich für das Geschiebe ein Kräftegleichgewicht aus dem Eigengewicht des Gesteinskornes, dem Auftrieb dieses Gesteinskornes und der Schubspannungskraft, welche in Strömungsrichtung wirkt ein.

2.1.3.2 Kritische Schubspannung für den hydraulisch rauen Bereich

Dieses Kapitel stützt sich hauptsächlich auf dem Bericht "Sedimentquellen und Transportprozesse" von Bechteler (2006).

Für Fließgewässer mit rauer Sohle wird die laminare Unterschicht praktisch unbedeutend, da der Strömungswiderstand allein durch die Turbulenz bestimmt wird. Der Shields-Parameter nimmt also einen konstanten Wert an (Bechteler, 2006).

In der nachstehenden Abbildung 17 werden einige unterschiedliche Transportarten aufgezeigt. Beim selektiven Transport sind nur die feinsten Sedimentanteile des Bachbettes in Bewegung. Im Laufe der Zeit kommt es durch Ausschwemmung und der damit verbundenen Anreicherung der groben Korn-Fractionen in der obersten Sohlschicht zur Bildung einer Deckschicht. Sofern von Oberstrom keine größeren Mengen an Sediment nachkommen, werden die am betrachteten Ort vorhandenen Feinanteile abtransportiert. Der Sedimenttransport stellt sich ein und die Stabilität gegen Sohlerosion nimmt zu. Im Bereich des partiellen Transports sind alle Partikel in Bewegung, jedoch ist die Kornverteilung des Geschiebes immer noch kleiner als jene des Sohlmaterials. Im Übergangsbereich vom selektiven zum partiellen Transport findet der wirkliche Bewegungsbeginn (auftreten der kritischen Schubspannung) statt. Beim vollen Transport sind letztlich alle Kornfraktionen des Fließgewässers in Bewegung. Die Deckschicht wird abgetragen bzw. umgelagert. Je nach Veränderung des Gefälles und der Rauheit durch Erosion stellt sich der Sedimenttransport wieder ein (Bechteler, 2006).

Shields empfiehlt für die praktische Anwendung den Wert $Fr_{cr}^* = 0.06$ bei dem nach Günter (1971) bereits in etwa die Hälfte der vorhandenen Körner in Bewegung ist. Durch die Extrapolation bis zum Nullwert bestimmt Shields den Zusammenhang zwischen Fr^* und dem Geschiebetransport m_G . Er erhält dabei einen Wert $Fr^* = 0.03$ (Bechteler, 2006).

Wie bereits erwähnt, erhält man durch die Gleichung von Meyer-Peter / Müller mit $Fr^* = 0.047$ die kritische Sohlenschubspannung für den hydraulisch rauen Bereich (Formel 12).

$$\tau_{cr} = 0,047 \cdot (\rho_F - \rho_W) \cdot g \cdot d_m \quad [N/m^2] \quad \text{Formel 12}$$

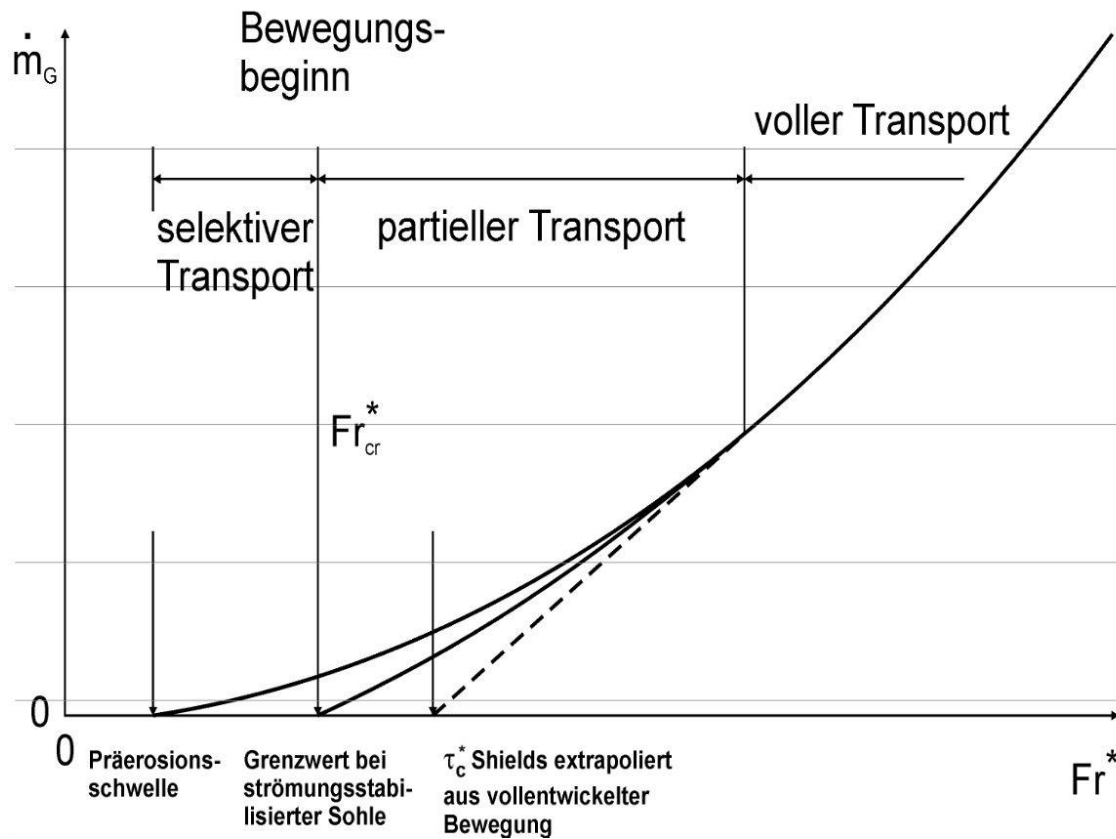


Abbildung 17: Definition der kritischen Schubspannung nach Schöberl, 1990 (Bechteler, 2006)

2.1.3.3 Kritische Schubspannung für steile Fließgerinne

Für steile Abflussgerinne (Wildbäche) empfiehlt Van Rijn (1987) den kritischen Shields-Parameter Fr_{cr}^* um einen Faktor (Formel 13) abzumindern.

$$\frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin(\beta)} \quad \text{Formel 13}$$

Hierbei stellt α die Sohlneigung des Fließgerinnes und β den inneren Reibungswinkel dar (Van Rijn, 1987).

Nach Rickenmann (1991) gilt für Gebirgsflüsse bei einem kritischen spezifischen Abfluss q_c eine Beziehung zwischen dem Sohlgefälle I sowie dem d_{50} Korndurchmesser aus der Unterschicht folgende Gleichung (Formel 14). Will man den charakteristischen Korndurchmesser der Deckschicht betrachten, so kann mit einer von Aberle (2000) ermittelten Gleichung (Formel 15) gerechnet werden.

$$\frac{q_c}{\sqrt{g \cdot d_{50}^3}} = 0.065 \cdot \left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} \right)^{1.67} \cdot I^{-1.12} [-] \quad \text{Formel 14}$$

$$\frac{q_c}{\sqrt{g \cdot d_k^3}} = 0.062 \cdot \left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} \right) \cdot I^{-1.11} [-] \quad \text{Formel 15}$$

Aus Formel 14 ergibt sich ein kritischer spezifischer Abfluss $q_{c,\min}$ zu:

$$q_{c,\min} = 0.065 \cdot \left(\frac{\rho_F - \rho_W}{\rho_W} \right) \cdot \sqrt{g \cdot d_{50}^3} \cdot I^{-1.12} \left[\frac{m^3}{sm} \right] \quad \text{Formel 16}$$

Der kritische Abfluss errechnet sich aus dem Produkt des kritischen spezifischen Abflusses $q_{c,\min}$ und der durchströmten Fließgewässerbreite b .

$$Q_{c,\min} = q_{c,\min} \cdot b \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad \text{Formel 17}$$

2.1.4 Geschiebetransportrate

Für die Geschiebetransportrate Q_b in Wildbächen und Flüssen bei einem vorherrschenden Abfluss Q gibt Rickenmann (2001) eine einfache Beziehung (Formel 18) zwischen dem kritischen Abfluss Q_c beim Transportbeginn, der Sohlneigung I des Fließgewässers sowie eines empirischen Koeffizienten A an.

Anhand von zahlreich durchgeführten Versuchen im Wasserbaulabor an der ETH-Zürich hat Rickenmann eine kompakte Gleichung (Formel 19) aufgestellt, welche die Geschiebetransportrate Q_b in einem Fließgewässer mit einer Sohlneigung zwischen 0.4 ‰ und 20 ‰ abdecken soll (Badoux & Rickenmann, 2008). Dabei rechnet Rickenmann mit dem im Kapitel 2.1.3.3 ermittelten kritischen Abfluss $Q_{c,min}$ (Formel 17).

$$Q_b = A \cdot (Q - Q_c) \cdot I^{1.5} \quad \text{Formel 18}$$

Setzt man den empirischen Koeffizienten $A = 1.5$ so erhält man eine für die Modellversuche nach Rickenmann gültige Geschiebetransportrate Q_b (Formel 19)

$$Q_b = 1,5 \cdot (Q - Q_c) \cdot I^{1,5} \quad \text{Formel 19}$$

Laut Badoux & Rickenmann (2008) kann die Geschiebefracht auch über die Ereignisdauer berechnet werden. Hierzu wird über die Integration der Abflussganglinie die effektive Wasserfracht V_{re} bestimmt (Formel 20). Jedoch wird nur jener Bereich oberhalb des kritischen Abflusses zum Transportbeginn betrachtet.

$$G_E = A \cdot V_{re} \cdot I^{1,5} \quad \text{Formel 20}$$

2.1.5 Oberflächenabfluss

Wie viel vom gefallenen Niederschlag kommt wirklich im Wildbach an?

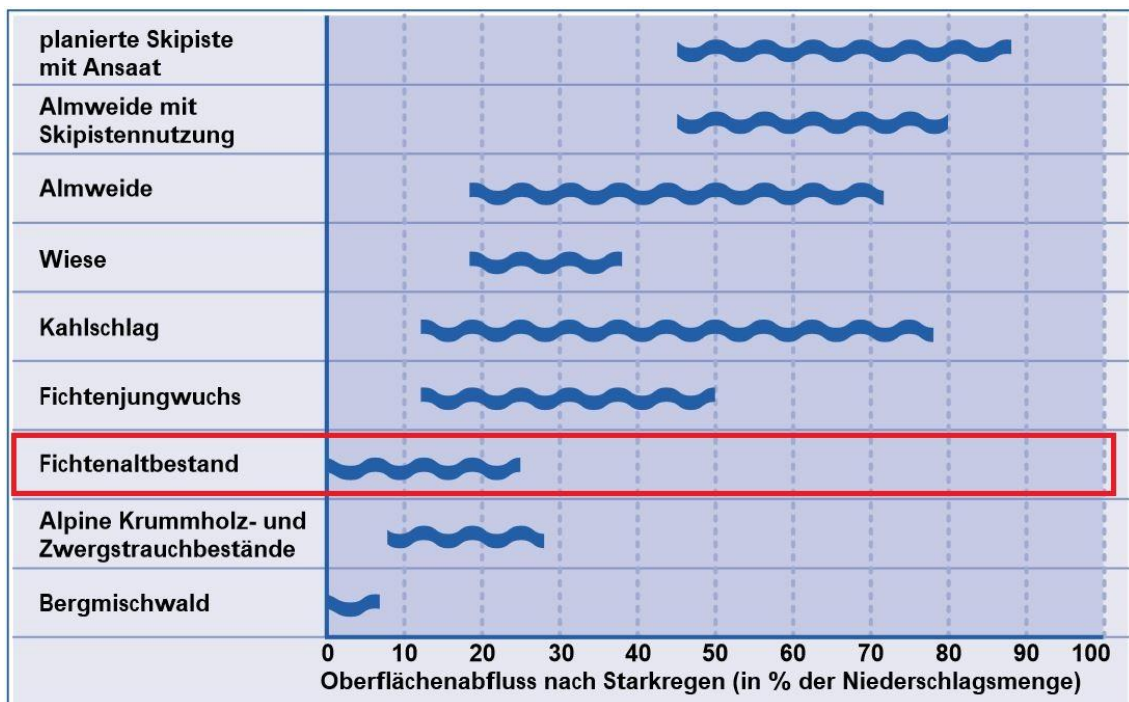
Wie zu erwarten landet letztlich nicht der gesamte Niederschlag im Abflussgerinne, sondern wird zum Teil wieder durch Verdunstung in die Atmosphäre zurückgegeben, beziehungsweise von Pflanzen und dem Boden aufgenommen. Ein Teil des Niederschlags gelangt erst gar nicht zu Boden und wird als Interzeptionsverlust gerechnet. Dabei handelt es sich um jene Wassermenge die von der Vegetation zurückgehalten wird und noch vor dem Erreichen des Bodens verdunstet (Enzyklo, 2014).

Bei Waldbeständen ist mit einer Oberfläche von bis zu 27 m²/m² (Kronenprojektionsfläche) mit der weitaus höchsten Interzeptionsverlustrate zu rechnen. Bei geringem Niederschlag kann der Interzeptionsverlust durchaus 100 % betragen. Für Nadelwälder in unseren Breiten mit dem Hauptbestandteil an Fichten kann innerhalb als auch außerhalb der Vegetationsperiode mit einem Verlustwert von 30 – 40 % gerechnet werden. Zudem kommt die Benetzungskapazität, welche für Fichten mit einem Alter um die 50 Jahre einem Niederschlag von 1.5 mm entspricht (Schöniger & Dietrich, 2008).

Transpiration wird der Vorgang genannt, bei dem Wasser über die Pflanzenwurzeln aufgenommen, weiter über den Stamm in die Äste transportiert wird, und anschließend durch Sonnenenergie aus den Blättern verdunstet. Bei der Infiltrationsrate handelt es sich um jene Wassermenge, die pro Stunde im Boden versickert. Bei ebenen Waldböden können pro Stunde zwischen 60 und 75 Liter je Quadratmeter versickern (Wald-in-Not, 1999-2014).

Mithilfe der in Tabelle 3 aufgelisteten prozentuellen Oberflächenabflüsse nach Starkregenereignissen, können Berechnungen des zu erwartenden Abflusses in Wildbächen angestellt werden. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass je nach Oberflächenbeschaffenheit ein bestimmter Prozentsatz des gefallenen Niederschlags wirklich zum Abfluss gelangt.

Tabelle 3: Tatsächlicher Niederschlagsabfluss in Wildbächen (Wald-in-Not, 1999-2014)



2.2 Untersuchungsgebiet

Bei dem betrachteten Gebiet handelt es sich um ein kleines (< 100 km²) Einzugsgebiet im obersteirischen Bezirk Murau. Das Einzugsgebiet des Schöttlbaches weist eine Größe von 70.83 km² auf und befindet sich zur Gänze in der Gemeinde Oberwölz-Umgebung sowie Oberwölz-Stadt. Oberwölz ist somit auch die bedeutendste Ortschaft am Schöttlbach. Im Anschluss wird ein kurzer Überblick über die örtlichen Gegebenheiten sowie einige allgemeine Informationen gegeben werden.

2.2.1 Oberwölz

Oberwölz liegt auf einer Seehöhe von 832 müA und ist mit seinen 995 Einwohnern (Stand 1. Jän. 2013) und einer Fläche von 4.64 km² die kleinste Stadt der Steiermark. Nachdem Herzog Albrecht I. im Jahre 1298 den Bau einer Ringmauer rundum den Markt Oberwölz genehmigte, erhielt Oberwölz im Jahre 1305 das Stadtrecht und nahm fortan eine zentrale Rolle im Wölzertal ein. Bis heute konnte die kleine Stadt ihr mittelalterliches Ortsbild bewahren. Von den ursprünglich fünf Stadttoren sind heute noch drei gut erhalten. Das Schöttltor an der Nordseite, das Neugassentor ostseitig und das Hintereggertor an der Westseite, an welchem direkt der Schöttlbach vorbeifließt. An der Brücke Hintereggertor ist eine Messstation der TU Graz installiert, welche aktuelle Messungen vom Schöttlbach im viertelstunden-Takt direkt an die Technische Universität Graz übermittelt. Eine weitere Besonderheit von Oberwölz ist der Kirchplatz, an dem sich gleich zwei Kirchen gegenüberstehen - die Spitalskirche und die Stadtpfarrkirche. Oberwölz erlangte schon in der vorrömischen Zeit zunehmend an Bedeutung, da es an einem der bedeutendsten überregionalen Handelswege der Nord-Süd-Verbindung lag. Dieser sogenannte Salzweg führte von Irdning im Ennstal über das Glattojoch (1988 müA) ins Schöttltal und weiter nach Oberwölz sowie Italien und Slowenien (Oberwölz, 2014).

Das Wölzertal befindet sich im Norden des Bezirks Murau und wird von 4 Gemeinden besiedelt, welche zusammen etwa 3500 Einwohner zählen. Die vier Gemeinden Schönberg Lachtal als höchstgelegene Gemeinde des Wölzertals,

Winklern im Westen am Fuße des Greim, Oberwölz Stadt und Oberwölz Umgebung werden 2015 im Zuge der Gemeindegemeinschaftszusammenlegung zur Gemeinde Oberwölz vereint (Oberwoelz-Lachtal, 2014).

2.2.2 Wölzer Tauern

Die Wölzer Tauern bilden zusammen mit den Radstädter Tauern, Schladminger Tauern und Seckauer Tauern die Niederen Tauern. Das Landschaftsbild ist von Trog- und Kerbtälern sowie weitläufigen Gebirgskämmen geprägt, welche sich von Norden nach Süden erstrecken. Als höchste Erhebungen der Wölzer Tauern wettstreiten sich die Rettelkirchspitze (2475 müA) und der Greim (2474 müA). Am Greim entspringt zudem der Wölzerbach. In der Eiszeit war dieses Gebiet von massiven Gletschern überlagert. Beim Rückzug dieser Gletscher blieb eine bis zu mehreren hundert Metern mächtige Moränenablagerung in den einstigen Tälern zurück. Im Laufe der Zeit wurde das Moränenmaterial von den Bächen ausgeschwemmt und es bildeten sich tiefe Kerbtäler, wie sie in der heutigen Landschaft erkennbar sind. Die Bergflanken weisen steile und teils instabile Böschungen auf, da sich das gesamte einst abgelagerte Geröll nach unten bewegt. Laut Hermann (1997) betragen diese Bewegungen bis zu 50 cm pro Jahr und führen letztlich zu Talzuschüben. Dabei sind die Verformungen stark vom Bergwasserspiegel, welcher in den Monaten März bis Mai aufgrund der Schneeschmelze am höchsten ist, abhängig.

2.2.2.1 Gesteinscharakterisierung der Wölzer Tauern

Die Wölzer Tauern bestehen zum größten Teil aus Metamorphiten, welche sich unter erhöhtem Druck und /oder erhöhter Temperatur innerhalb der Erdkruste aus einem bereits vorhandenen Gestein durch mineralogische, chemische oder strukturelle Umwandlung gebildet haben. Dabei handelt es sich vorwiegend um kristallinen Granat-Glimmerschiefer, welcher sich im Laufe der Zeit einer mehrfachen Faltung und verschiedenen Metamorphosegraden unterzogen hat. Aufgrund der verschiedenen Metamorphosegrade und der mehrphasigen Umgestaltung gliedert sich das Gestein in einzelne Entwicklungstypen. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Süden der Wölzer Tauern ein höherer Grad der Metamorphose erreicht wurde als es im nördlichen Teil der Fall war. Eine weitere

Folge der massiven Gesteinsbewegungen spiegelt sich in den zahlreichen Störungszonen im betrachteten Gebiet wieder (Karl Metz, 1976). Wasser dringt in die Klüfte und Risse ein und lässt den ohnehin schon leicht brüchigen Schiefer schneller verwittern. Schiefer zeichnet sich durch ein ausgezeichnetes Parallelgefüge aus und spaltet sich im Gegensatz zum ebenfalls in den Tauern vorhandenen Gneis in wenige Millimeter dicke Scheiben. Gneis spaltet sich hingegen meist in Dezimeter dicke Platten. In den Wölzer Tauern sprechen wir vorwiegend von Paragneis, welcher seinen Ursprung im sedimentären Ausgangsgestein findet. Der mögliche Mineralbestand von Schiefer ist Glimmer, Chlorit, Talk, Quarz, Feldspat und Granat. Beim Gneis handelt es sich um Minerale wie Feldspat, Quarz und Glimmer (Klammer, 2013). Als weitere vorkommende Gesteine können Amphibolite, welche meist in der Nähe von Marmoren vorkommen (Oberhauser & Bauer, 1980) ebenso wie Quarzite, welche eine gelblich-braune feinkörnige und grob polyedrisch brechende Struktur aufweisen, aufgezählt werden. Diese Quarzite sind glimmerarm und weisen keine Granatanteile auf (Karl Metz, 1976). Quarz bildet mit einem Anteil von 90 % den Hauptmineralbestandteil (Klammer, 2013).

2.2.2.2 Härte der vorkommenden Minerale

Nachfolgende Tabelle 4 klassifiziert die einzelnen Mineralien nach ihrer Widerstandsfähigkeit. Dabei darf der Begriff Härte nicht mit dem Begriff der Festigkeit verwechselt werden. *“Härte ist der mechanische Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt“* (Gemmologie, 2014). Festigkeit hingegen ist der Widerstand eines Werkstoffes gegen plastische oder elastische Verformung, welcher anhand einer Werkstoffkenngröße charakterisiert wird. Die wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Minerale werden in 10 Mohs-Härtestufen eingeteilt. Anhand der Schleifhärte nach Rosiwal wird die Spanne zwischen den einzelnen Mohs-Härtestufen deutlich. Die Rosiwal'sche Schleifhärte gibt an, um wievielfach das Mineral härter ist als das Mineral in der vorstehenden Härtestufe. Dies bedeutet, dass Diamant (Mohs'sche Ritzhärte 10) rund 117.000-mal härter ist als die in der Härteskala vorstehenden Mineralien mit einer Mohs'schen Ritzhärte von 9. Die in den Wölzer Tauern am häufigsten vorkommenden Minerale wurden rot markiert.

Tabelle 4: Widerstandsfähigkeit der Minerale nach Rosiwal und Mohs (Liu, 2014)

Minerale	Rosiwal'sche Schleifhärte	Mohs'sche Ritzhärte
Diamant	117000	10
Korund	789	9
Topas	104	8
Staurolith, Zirkon	100	7,5
Quarz	100	7
Granat	75	6,5
Olivin	65	6,5
Epidot, Zoisit	60	6,5
Amphibole, Pyroxene	55	6
Pyrit, Hämatit	55	6
Orthoklas	32	6
Plagioklas frisch } Feldspat	32	6
Andere Erze	20	5
Plagioklas zersetzt	16	5
Apatit	10	5
Titanit, Margnetit	10	5,5
Fluorit	3	4
Glimmer	3	2,5
Calcit	2,9	3
Chlorit	1	2,5
Salz	1,2	2
Gips	0,36	1,5
Talk	0,47	1

2.2.2.3 Festigkeit der vorkommenden Gesteine

Im Folgenden sind die mechanischen Werkstoffeigenschaften wie Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Querkontraktionszahl, Bruchfestigkeit, Punktlast und abschließend mit der letzten Spalte die Zähigkeit des metamorphen Gesteins der Wölzer Tauern in Tabelle 5 rot umrandet dargestellt. Diese Werkstoffeigenschaften können unter dem Begriff der Festigkeit zusammengefasst werden. Die in den Wölzer Tauern am häufigsten vorkommenden Minerale wurden rot markiert.

Tabelle 5: Mechanische Werkstoffeigenschaften von Gesteinen (Liu, 2014)

MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK MATERIALS

Rock	UC Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Strain at Failure (%)	Point Load Index $I_{p(50)}$ (MPa)	Fracture Mode I Toughness
<i>Igneous</i>							
Granite	100 – 300	7 – 25	30 – 70	0.17	0.25	5 – 15	0.11 – 0.41
Dolerite	100 – 350	7 – 30	30 – 100	0.10 – 0.20	0.30		>0.41
Gabbro	150 – 250	7 – 30	40 – 100	0.20 – 0.35	0.30	6 – 15	>0.41
Rhyolite	80 – 160	5 – 10	10 – 50	0.2 – 0.4			
Andesite	100 – 300	5 – 15	10 – 70	0.2		10 – 15	
Basalt	100 – 350	10 – 30	40 – 80	0.1 – 0.2	0.35	9 – 15	>0.41
<i>Sedimentary</i>							
Conglomerate	30 – 230	3 – 10	10 – 90	0.10 – 0.15	0.16		
Sandstone	20 – 170	4 – 25	15 – 50	0.14	0.20	1 – 8	0.027 – 0.041
Shale	5 – 100	2 – 10	5 – 30	0.10			0.027 – 0.041
Mudstone	10 – 100	5 – 30	5 – 70	0.15	0.15	0.1 – 6	
Dolomite	20 – 120	6 – 15	30 – 70	0.15	0.17		
Limestone	30 – 250	6 – 25	20 – 70	0.30		3 – 7	0.027 – 0.041
<i>Metamorphic</i>							
Gneiss	100 – 250	7 – 20	30 – 80	0.24	0.12	5 – 15	0.11 – 0.41
Schist	70 – 150	4 – 10	5 – 60	0.15 – 0.25		5 – 10	0.005 – 0.027
Phyllite	5 – 150	6 – 20	10 – 85	0.26			
Slate	50 – 180	7 – 20	20 – 90	0.20 – 0.30	0.35	1 – 9	0.027 – 0.041
Marble	50 – 200	7 – 20	30 – 70	0.15 – 0.30	0.40	4 – 12	0.11 – 0.41
Quartzite	150 – 300	5 – 20	50 – 90	0.17	0.20	5 – 15	>0.41



Abbildung 18 & 19: Links: Quarzit; Rechts: Granatglimmerschiefer

Die beiden obigen Abbildungen 18 und 19 zeigen die in den Wölzer Tauern am häufigsten vorkommenden Gesteine, Quarzit und Grant-Glimmerschiefer.

2.2.3 Wölzer Bach

Der Wölzerbach entspringt oberhalb von Pöllau am Greim in den südlichen Wölzer Tauern. Von der Quelle bis zur Mündung in die Mur legt der Wölzerbach rund 24 km zurück. Auf dieser Strecke wird er von zahlreichen Bächen gespeist. Die bedeutendsten Zuflüsse, aufgezählt von West nach Ost, sind der Eselsbergbach, der Hintereggerbach, der Schöttlbach sowie der Raggasbach. Das Einzugsgebiet des Wölzerbaches umfasst eine Größe von rund 228 km² (Hübl et al., 2011). Weitere Kennzahlen sind in Tabelle 6 zusammen gefasst. Nach dem heftigen Unwetter im Jahr 2011 wurden etliche Hochwasserschutzmaßnahmen getroffen.

Im September 2013 erfolgte der Spatenstich für den Bau eines Unholzrechens flussaufwärts der Ortschaft Niederwölz (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Um Verklausungen zu vermeiden werden neue Brücken mit der doppelten Spannweite als bisher gebaut. Die Dimensionierung erfolgte



Abbildung 20: Baustelle: Unholzrechen bei Niederwölz

auf ein 100-jähriges Hochwasserereignis wobei sich die Gesamtkosten auf 6.5 Millionen Euro belaufen. Details zu dieser Baumaßnahme sind dem Anhang 10.2.1 zu entnehmen (Wasserland.Steiermark, 2013).

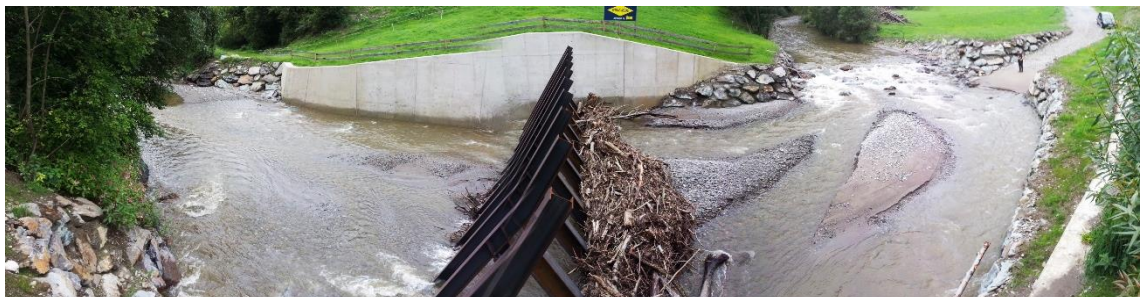


Abbildung 21: Unholzrechen nach dem Regenereignis vom 13. August 2014

Tabelle 6: Abflussdaten Wölzerbach (Hübl et al., 2011)

Wölzerbach		
Einzugsgebiet	228	[km ²]
Länge ¹	23.7	[km]
Gefälle Unterlauf ¹	2.0	[%]
Mittleres Gefälle ¹	4.1	[%]
Gefälle Oberlauf ¹	15 - 39	[%]
HQ ₃₀	129	[m ³ /s]
HQ ₁₀₀	200	[m ³ /s]
HQ ₃₀₀	240	[m ³ /s]

¹ Ermittelt aus den Daten von Google Earth (2014)

In Tabelle 7 sind Kennzahlen der Teileinzugsgebiete des Wölzertals zu entnehmen. Aufgelistet werden die Größe, die Wasserfracht eines 150-jährlichen Hochwassers sowie die dabei auftretende Geschiebefracht.

Tabelle 7: Größe, Wasserfracht sowie Geschiebefracht der Teileinzugsgebiete (Hübl et al., 2011)

Einzugsgebiet	Größe [km²]	HQ₁₅₀ [m³/s]	GF₁₅₀ [m³]
Eselsbergbach	29.42	nicht erfasst	nicht erfasst
Hintereggerbach	43.75	103.6	36.000
Sonnleitenbach	0.47	8.8	4.000
Raggasbach/ Schönbergerbach	21.80	nicht erfasst	nicht erfasst
Schöttlbach	70.83	165.0	50.000

Abbildung 22 zeigt die Teileinzugsgebiete des Wölzertals und im Speziellen die nennenswerten Zubringerbäche des Schöttlbaches. Ein Höhenprofil des Wölzerbaches, von der Quelle bis zur Mündung in die Mur, wird in Abbildung 23 dargestellt. Dieses weist eine klassische Gefällekurve auf (siehe auch Abbildung 4).

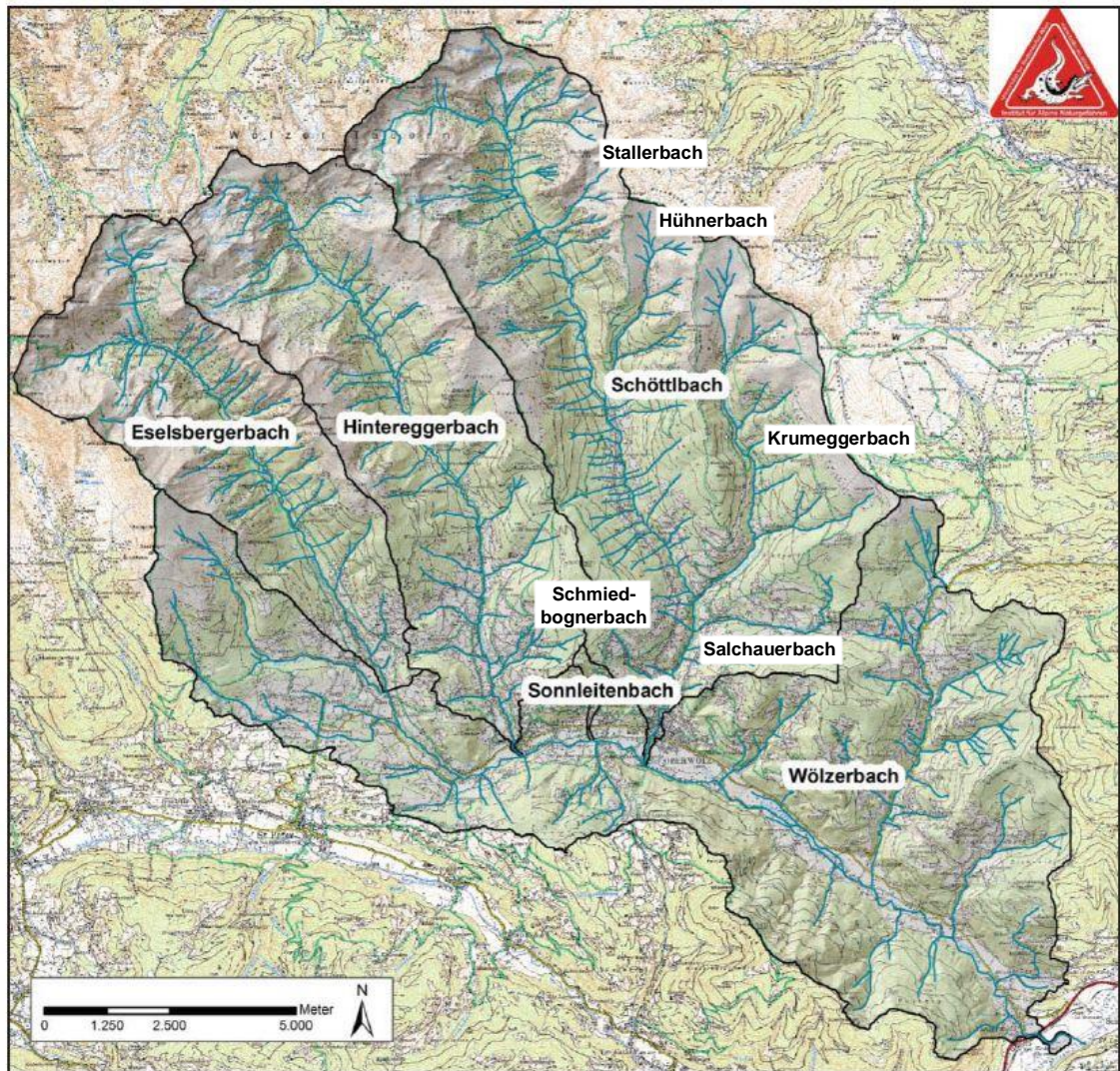


Abbildung 22: Einzugsgebiet Wölzerbach (Hübl et al., 2011, bearbeitet)



Abbildung 23: Höhenprofil des Wölzerbaches, von der Quelle bis zur Mündung in die Mur (Google Earth, 2014)

2.2.4 Schöttlbach

Seinen Ursprung findet der Schöttlbach auf der Schöttlalm am Hohenwart (2363 müA) wo er vom Weberbach unterhalb des Glattojochs und vom Abfluss des auf 1800 müA gelegenen Fischsees gespeist wird. Auf einer Länge von 15.4 km fließt er mit einem Durchschnittsgefälle von 4.1 % bis nach Oberwölz, und mündet nach der Ortschaft direkt in den Wölzerbach. Dabei legt er rund 650 Höhenmeter zurück und wird am Wege ins Tal noch vom nennenswerten Stallerbach, Hühnerbach, Krumeggerbach, Salchauerbach und kurz vor Oberwölz noch vom Schmiedbognerbach gespeist. Auf halber Strecke passiert der Schöttlbach die Brücke Schöttlkapelle, welche als Ausgangspunkt für zahlreiche Versuche sowie Messungen dient. Direkt flussabwärts der Einmündung vom Krumeggerbach bei hm 36.77 befindet sich eine Konsolidierungssperre, um einerseits eine weitere Sohleintiefung zu verhindern und andererseits das transportierte Sediment zurückzuhalten. Ein weiteres noch größeres Rückhaltebecken, die Hohenbichlersperre (Bogensperre), befindet sich bei hm 24.09 rund einen Kilometer flussaufwärts der Ortschaft Oberwölz. Beide Sperren wurden zwischen 1947 und 1948 errichtet (Hübl et al., 2011). Zudem gibt es am Schöttlbach zwei Ausleitungskraftwerke deren Daten im Anhang 10.2.2.1 eingesehen werden.

In der Nachfolgenden Tabelle 8 sind allgemeine Kennzahlen des Schöttlbaches aufgelistet.

Tabelle 8: Abflussdaten Schöttlbach (Hübl, et al., 2011)

Schöttlbach		
Einzugsgebiet	70.83	[km ²]
Länge ²	15.4	[km]
Mittleres Gefälle ²	4.1	[%]
HQ ₃₀	80	[m ³ /s]
HQ ₁₀₀	125	[m ³ /s]
HQ ₃₀₀	150	[m ³ /s]
GF ₁₅₀	50000	[m ³]

² Ermittelt aus den Daten von Google Earth (2014)

Abbildung 24 zeigt eine graphische Darstellung aller schweren Unwetterereignisse der letzten 80 Jahre im Einzugsgebiet des Schöttlbaches. Demzufolge traten in diesem Zeitraum sechs schwere Hochwasserereignisse ein.

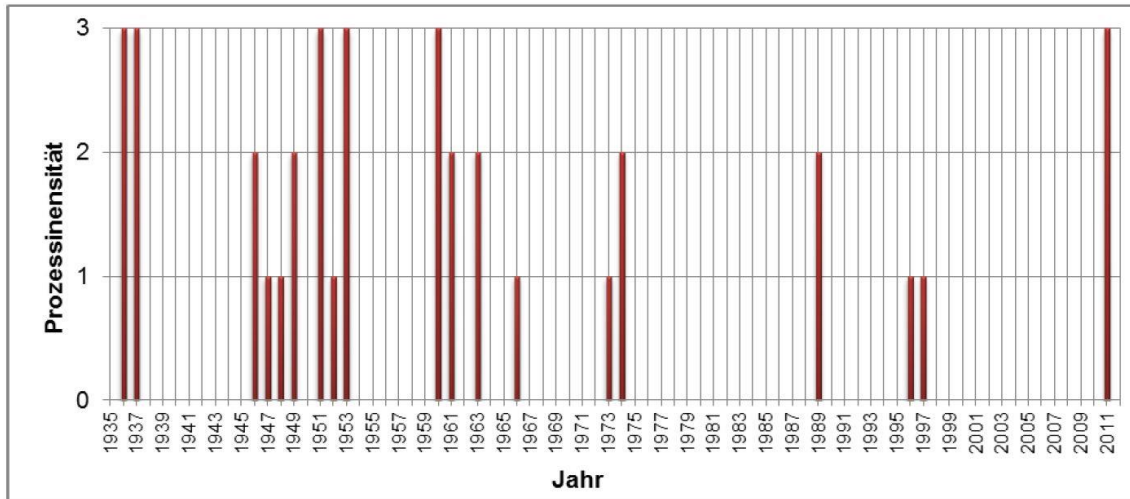


Abbildung 24: Hochwasserereignisse seit 1935 mit den Intensitäten 1="Leicht", 2="Mittel" und 3="Schwer" (Hübl et al., 2011)

Das Höhenprofil vom Schöttlbach weist ein nahezu lineares Gefälle über die Fließstrecke auf. Abbildung 25 zeigt die wichtigsten Stationen am Schöttlbach.

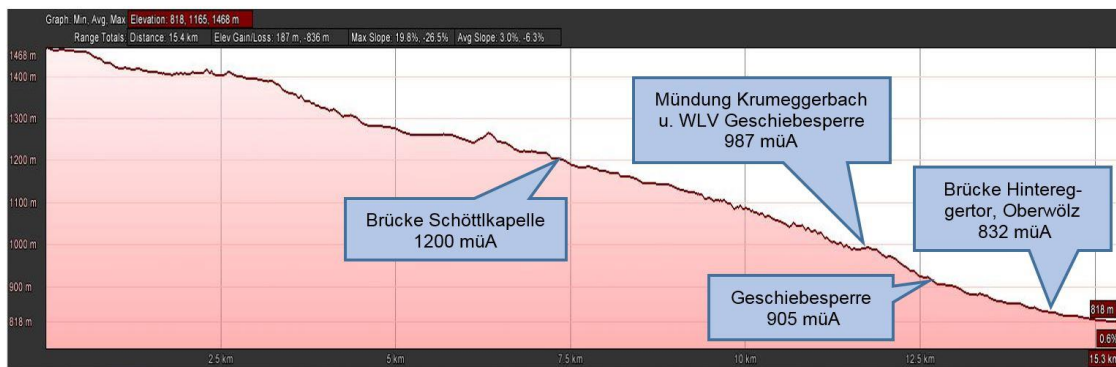


Abbildung 25: Höhenprofil Schöttlbach (Google Earth, 2014)

Eine Übersicht über die für das Projekt ClimCatch wichtigsten Standpunkte ist in Abbildung 26 dargestellt. In der Übersichtskarte sind alle Messstationen, Aussetzpunkte der Tracersteine sowie die Standpunkte der Kraftwerke mit deren dazugehörigen Ausleitungsbauwerken eingezeichnet.

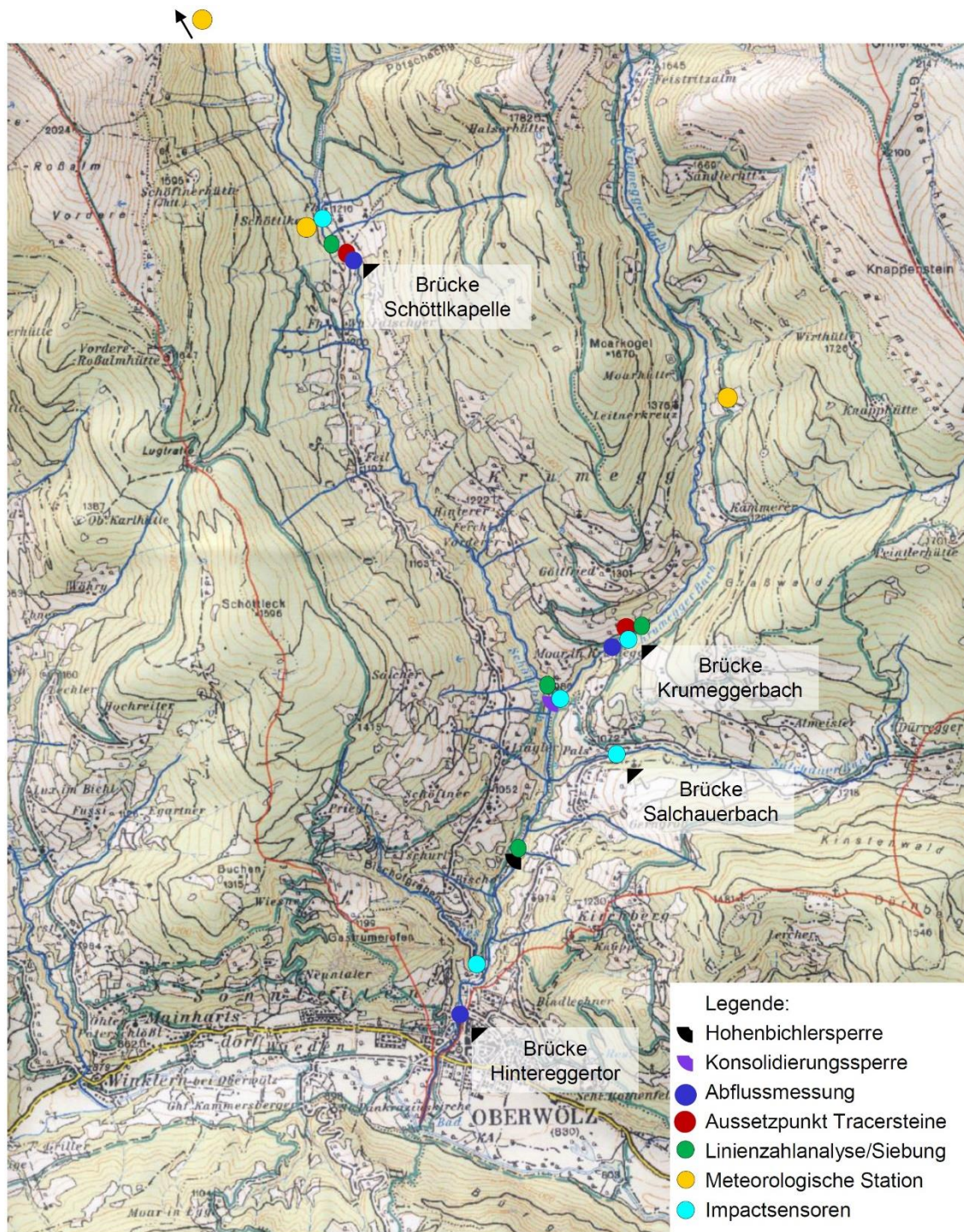


Abbildung 26: Übersichtskarte der unteren Hälfte des Schöttlbach-Einzugsgebiets

2.2.5 Krumeggerbach

Der Krumeggerbach wird von zwei kleinen Zuflüssen, welche einerseits auf der Halseralm (Halserbach) und andererseits auf der Feistritzalm (Feistritzbach) in ca. 2000 m Seehöhe entspringen, gespeist. Auf dem 7.7 km langen Weg bis zur

Mündung in den Schöttlbach liegen zwei Ausleitungskraftwerke, wodurch eine Restwassermenge von rund 120 l/s den Regelabfluss vom unteren Teil des Krumeggerbaches bildet. Im Falle eines Starkregenereignisses bzw. bei geringem Energiebedarf gehen diese Kraftwerke außer Betrieb und der gesamte Abfluss fließt über das Gerinne des Krumeggerbaches ab. Eine nähere Beschreibung der Kraftwerke ist im Anhang 10.2.2.2 nachzulesen. Anwohner und Bilder belegen, dass bis in die 70iger Jahre der Bach noch ein „kleines“ in etwa 2 m breites Abflussgerinne aufwies. In den darauffolgenden Jahren erodierten die Seitenböschungen und die Sohle nach örtlichen Unwettern zusehends und teils massiv. Das heutige Abflussgerinne des Krumeggerbaches weist stellenweise Breiten von mehr als 12 m auf. Tabelle 9 listet die Kennzahlen des Krumeggerbaches. Das Höhenprofil vom Krumeggerbach verläuft linear über die Abflussstrecke (siehe Abbildung 27). Über die Hochwassersituation am Krumeggerbach liegen keine Daten vor, jedoch kann in Abbildung 28 bis Abbildung 33 die Entwicklung des Krumeggerbaches in den letzten 65 Jahren nachvollzogen werden. Zur besseren Orientierung wurden die beiden Stationen „1“ und „2“ zugeteilt.

Tabelle 9: Abflussdaten Krumeggerbach

Krumeggerbach		
Einzugsgebiet ³	16	[km ²]
Länge ³	7.69	[km]
Mittleres Gefälle ³	12.9	[%]
HQ ₃₀	n.erfasst	[m ³ /s]
HQ ₁₀₀	n.erfasst	[m ³ /s]
HQ ₃₀₀	n.erfasst	[m ³ /s]

³ Ermittelt aus den Daten von Google Earth (2014)



Abbildung 27: Höhenprofil Krumeggerbach (Google Earth, 2014)

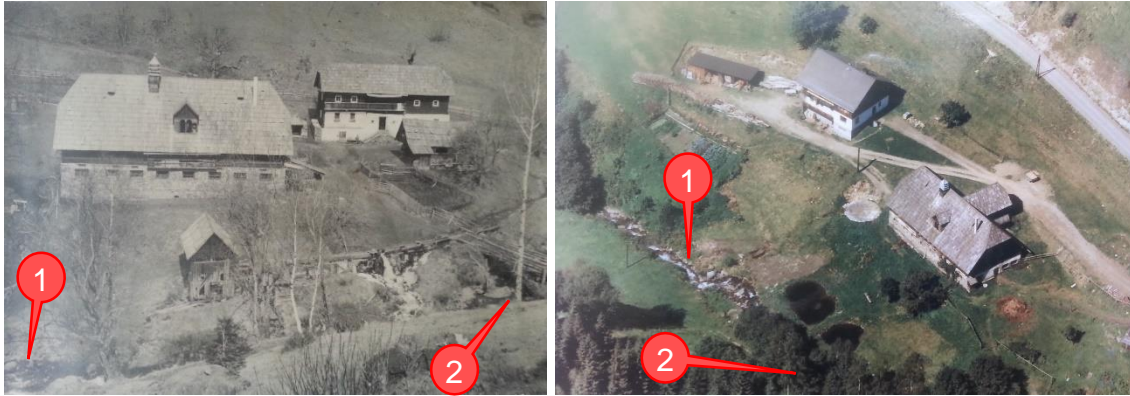


Abbildung 28 & 29: Anwesen von Familie Schwaiger, Krumegg 1950-iger und 70-iger (Schwaiger, 2014)



Abbildung 30 & 31: Krumeggerbach nach dem Unwetter von 2002 und 2011 (Schwaiger, 2014)

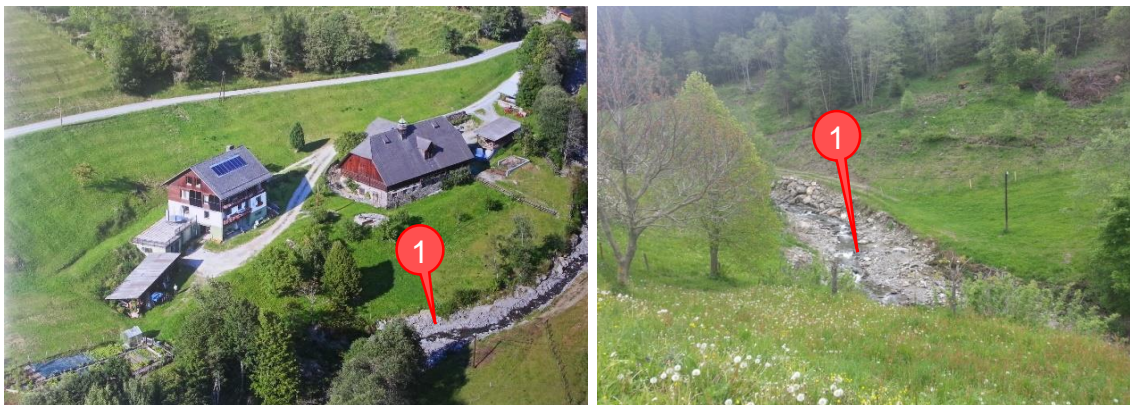


Abbildung 32 & 33: Krumeggerbach nach 2011 (Schwaiger, 2014)

Seit den Unwettern von 2002 und 2011 sind die Seitenböschungen aber auch die Sohle des Krumeggerbaches massiv erodiert und bieten im Falle eines erneuten Hochwasserabflusses ein riesiges Reservoir an Sedimentmengen die zum Transport bereitstehen. Im Anhang 10.2.3 liegen Referenzbilder auf, die zeigen wie rasch sich der Krumeggerbach verändern kann.

2.2.6 Hühnerbach

Der Hühnerbach mündet zwischen dem Wasserfang für das Ausleitungskraftwerk KW II (siehe Anhang 10.2.2.1) am Schöttlbach und der Brücke Schöttlkappelle in den Schöttlbach (Abbildung 26). Wenige hundert Meter flussaufwärts der Mündung vom Hühnerbach in den Schöttlbach wird Schotter aus dem Bachbett des Hühnerbaches gewonnen. Diese Baggerarbeiten führen regelmäßig zur Trübung des Schöttlbaches. Der Normalabfluss beträgt laut Messungen rund 140 l/s. Ein weiteres Problem am Hühnerbach stellt die gegebene Verkläusungsgefahr durch den sehr großen Wildholzeintrag aus dem Einzugsgebiet dar, welches weiter in den Schöttlbach transportiert wird (Abbildung 34).



Abbildung 34: Gefahr von Wildholzeintrag in den Schöttlbach bei einem Starkregenereignis im Einzugsgebiet des Hühnerbaches

2.2.7 Salchauerbach

Der Salchauerbach mündet rund 600 m flussaufwärts der Hohenbichlersperre in den Schöttlbach. Die Gemeindestraßenbrücke am Salchauerbach dient als Ausgangspunkt für die Messungen im Zuge dieses Projekts. Der Abfluss beträgt im Mittel in etwa 100 l/s. Abbildung 35 bis Abbildung 38 zeigen den Salchauerbach bei Niedrigwasser bzw. nach einem lokalen Regenschauer.



Abbildung 35 & 36: Salchauerbach im Juli 2014 bei trockener Witterung



Abbildung 37 & 38: Salchauerbach bei höherem Abfluss, August 2014

3. Untersuchungsmethoden

3.1 Untersuchungsmethoden in situ

Im Zuge dieser Arbeit wurden im Einzugsgebiet des Schöttlbaches zahlreiche Messungen durchgeführt, welche im Anschluss kurz vorgestellt werden. Die hier nicht vorgestellten Methoden, die im Rahmen des Projekts ClimCatch angewendet wurden, sind in Sass (2012b) zusammengefasst.

3.1.1 *Geschiebemessung*

Die Geschiebemessung im betrachteten Einzugsgebiet (Abbildung 26) erfolgt auf verschiedene Art und Weisen. Einerseits erfolgt eine Dauerüberwachung an verschiedenen Stationen mittels Sediment-Impact-Sensoren, andererseits wird der Sedimenttransport speziell im Hochwasserfall mittels manuellen Methoden, wie den Helley-Smith-Geschiebefängern untersucht. Im Anschluss werden diese Messmethoden genauer erläutert.

3.1.1.1 *Sediment-Impact-Sensoren (SIS)*

Bei Sediment-Impact-Sensoren handelt es sich um hochauflösende Sensoren, welche auf eine Metallplatte, die so genannte Sensorplatte, geklebt werden. Diese Platten werden auf Sohlschwellen montiert und meist vor Überfällen fix in die Bachsohle eingebunden. Werden nun Sedimentpartikel über diese Platte gespült, so erzeugen diese durch den Aufprall auf den Platten eine elektrische Spannung (Piezo-elektrischer-Effekt). Diese Spannung ist je nach Einschlag von größeren oder kleineren Partikeln bzw. deren Aufprallgeschwindigkeit variabel. Das Signal wird zu einem Datenlogger in unmittelbarer Nähe geleitet und dort auf eine SD-Speicherkarte gespeichert. Da diese Sediment-Impact-Sensoren in unwegsamem Gelände installiert sind, wird die Stromversorgung über 12-Volt Autobatterien hergestellt. Diese müssen in regelmäßigen Abständen getauscht werden, um eine dauerhafte Überwachung zu gewährleisten.

Bei den aktuellen Sensoren handelt es sich bereits um die 3. Generation während des ClimCatch Projekts, die durch Modifikationen gekennzeichnet sind. Es stellte sich z.B. heraus, dass die Verbindungskabel zwischen dem Sensor und dem Datenlogger durch transportierte Steine stark beschädigt wurden. Durch die unterirdische Führung bzw. das Verlegen der Kabel in stabilen Kabelkanälen wird diesem Schadensmuster vorgebeugt. Des Weiteren wurden die Sensoren teilweise in Betonfundamente eingebunden, um nicht wie in Abbildung 39 ersichtlich durch brüchige Steine oder dergleichen beeinträchtigt zu werden.

Für die erste Generation wurden Schlagdübel in den festen Untergrund (große Steine) eingebaut und anschließend die Sensorplatte mit Sicherheitsmuttern niedergeschraubt. Dabei zeigten sich jedoch schnell die in einem Gewässer wirkenden Kräfte, welche die Schrauben bzw. Muttern regelrecht verbogen und stark beschädigten (siehe Abbildung 39 & 40). Bei einem weiteren Versuch die Schrauben in der Sensorplatte zu versenken wurden die enormen Abrasionskräfte, welche die Schraubenantriebe beschädigten, maßgebend.



Abbildung 39 & 40: Sediment-Impact-Sensor auf beschädigtem Untergrund bzw. mit beschädigter Befestigungsschraube

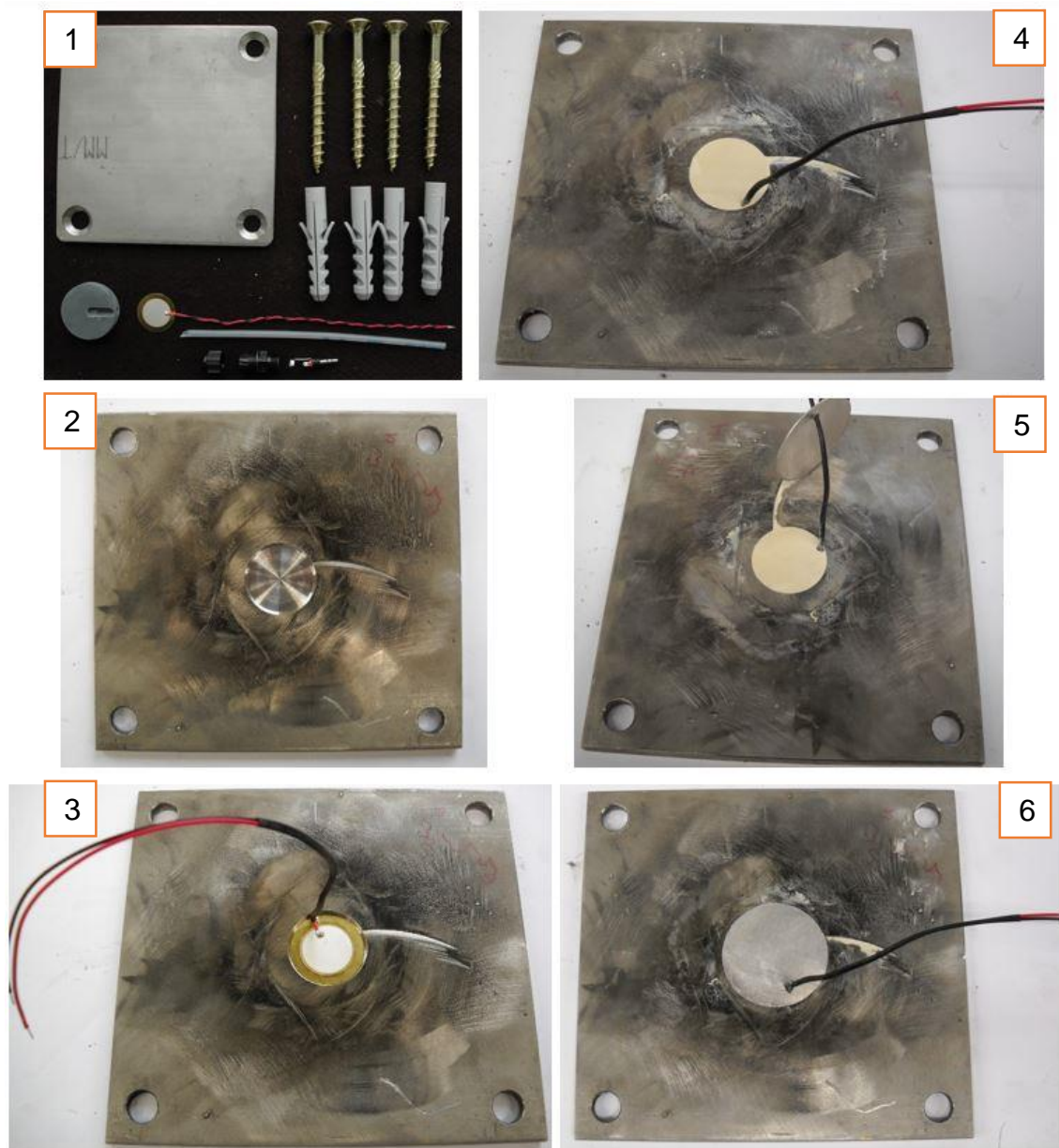


Abbildung 41: Herstellung der Sediment-Impact-Sensoren

Die Herstellung der Sediment-Impact-Sensoren erfolgte im Labor des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz gemeinsam mit Mitarbeitern der Karl Franzens Universität. Wie in Abbildung 41 ersichtlich ist, wurde die Sensorplatte für den eigentlichen Sensor ausgespart, anschließend der Sensor eingeklebt und zum zusätzlichen Schutz noch mit einer Aluminiumplatte abgedeckt. Die Bilder 2 – 6 in Abbildung 41 stellen die Unterseite eines Sediment-Impact-Sensors dar.

An den in Abbildung 26 markierten Stellen im Einzugsgebiet sind Sediment-Impact-Sensoren installiert. Die genauen Stationen mit der Anzahl der installierten SIS ist in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10: Stationen und Anzahl der installierten Sediment-Impact-Sensoren

Station	Anzahl
Schmiedbognerbach	1
Brücke Salchauerbach	1
Brücke Krumeggerbach	3
Sohlschwelle flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle	4
Konsolidierungssperre	6

Zu Kalibrierungszwecken wurden direkt nach den Sediment-Impact-Sensoren Geschiebefangkörbe positioniert, welche das über die Sensorplatten transportierte Sediment auffangen. Eine Kontrolle und Entleerung muss in regelmäßigen Abständen erfolgen. Diese Geschiebefangkörbe wurden ebenfalls im Labor des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz gebaut. In Abbildung 42 ist links im Bild ein Geschiebefangkorb direkt nach einem Sediment-Impact-Sensor am Querprofil der Sohlschwelle flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle und rechts im Bild ein nahezu verlandeter Geschiebefangkorb zu sehen, welcher am Querprofil der Brücke Krumeggerbach positioniert wurde. Die Auswertung des mittels dem Geschiebefangkorb am Krumeggerbach aufgefundenen Materials kann im Anhang 10.3.1 eingesehen werden.



Abbildung 42 Links: Geschiebefangkorb am Querprofil der Sohlschwelle flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle

Rechts: Verlandeter Geschiebefangkorb am Querprofil der Brücke Krumeggerbach

3.1.1.2 Großer Helley-Smith-Geschiebefänger

Der große Helley-Smith-Geschiebefänger (auch Large Helley-Smith-Sampler oder LHSS) wurde am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft gefertigt und entsprechend für den Einsatz im Wildbach modifiziert (Abbildung 43). Es wurden Ösen zur Befestigung von Seilen zum Abspannen gegen die Fließrichtung bei starker Strömung angebracht, um ein Abdriften des Geschiebefängers zu unterbinden. Des Weiteren wird über eine Lasche an der Unterseite des Einlaufs nachgedacht, welche einen besseren Übergang zur Gewässersohle herstellen soll. Im Einlaufbereich wird über eine trichterförmige Aufweitung eine Saugströmung erzeugt, wodurch der Strömungswiderstand der durch den Fangkorb verursacht wird, wieder ausgeglichen wird (Habersack, 1997). Bei den Messungen mittels des großen Helley-Smith-Geschiebefängers am Schöttl- und Krumeggerbach (Abbildung 44) wird das Projekt ClimCatch von der Wildbach und Lawinenverbauung (WLV)-Gebietsbauleitung Steiermark West mit dem Sitz in Scheifling unterstützt. Ein LKW mit Ladekran zum Einheben des Geschiebefängers bei erhöhtem Abfluss, sowie eine Kranwaage werden von der WLV zur Verfügung gestellt. Bei der mobilen Kranwaage handelt es sich um eine kalibrierfähige Cap 5000 kg mit LCD-Anzeige und zusätzlicher Funkfernsteuerung, die eine Genauigkeit von 1 kg gewährleistet (siehe Anhang 10.6). Somit kann der leere Geschiebefangkorb (idealerweise mit Wasser benetzt) vor dem Versuch auf null tariert werden, und nach dem Versuch direkt der Gewichtswert des aufgefangenen Sediments abgelesen werden. Die Messzeit wird Vorort und anhand des Abflusses bestimmt. Das aufgefangene Material wird in Schwerlastsäcke gefüllt und anschließend im Labor gewogen und weiter ausgewertet (Korngrößenverteilung).

Die Einlaufabmessungen des großen Helley-Smith-Geschiebefängers belaufen sich auf 15.24 x 15.24 cm womit eine Einlauffläche von 232.26 cm² abgedeckt wird.

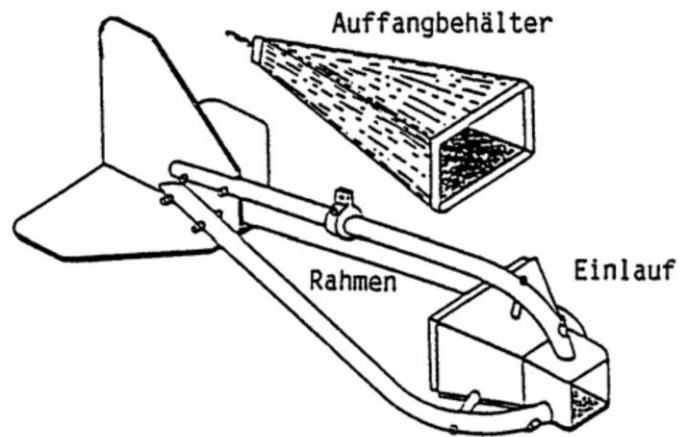


Abbildung 43: Helley-Smith Geschiebefänger (DVWK, 1992)



Abbildung 44: Ablauf der Geschiebemessung mittels Helley-Smith Geschiebefänger. Links und Mitte; beim Einheben in das Fließgewässer, rechts; absenken bis auf die Gewässersohle.

3.1.1.3 Kleine Helley-Smith-Geschiebefänger

Beim kleinen Helley-Smith-Geschiebefänger (auch Small Helley-Smith-Sampler oder SHSS) handelt es sich ebenso wie beim großen Geschiebefänger um einen Eigenbau des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz. Für die Messungen im betrachteten Einzugsgebiet standen zwei kleine Helley-Smith-Geschiebefänger (Abbildung 45 & 46) zur Verfügung. Gemessen wurde hauptsächlich nach stärkeren Regenereignissen, bei dem die Wildbäche jedoch noch "begehrbar" waren. Zur Sicherung der Person während der Messungen wurde ein Seil über den Bach gespannt und mittels Klettergurt gesichert (Abbildung 47). Parallel zum Seil wurde ein Maßband gespannt und anschließend im Abstand von 0.5 bzw. 1.0 m über den gesamten Fließquerschnitt gemessen. Die Messdauer wurde mit 2 bzw. 5 min festgelegt. Besonderes Augenmerk wurde auf das korrekte Aufsetzen des Helley-Smith-Geschiebefängers auf der Gewässersohle gelegt. Das Risiko, dass Gesteinspartikel aufgrund von Unebenheiten der Sohle unter dem Geschiebefänger durchwandern, kann jedoch nie ausgeschlossen werden. Das aufgefangene Material wurde in Behälter gefüllt und mit der genauen Profilbezeichnung beschriftet. Bei der weiteren Analyse im Labor wurde das Material gewogen und anhand von Korngrößenverteilung, Korndichtenbestimmung und Bestand organischer Anteile genauer analysiert.

Die Einlaufabmessungen des kleinen Helley-Smith-Geschiebefängers belaufen sich auf 7.60 x 7.60 cm womit eine Einlauffläche von 57.76 cm² abgedeckt wird. Die Berechnung der Geschiebetransportrate wird anschließend über den gesamten benetzten Querschnitt geführt.



Abbildung 45 & 46: Kleine Helley-Smith-Geschiebefänger & Messung am Fließquerschnitt



Abbildung 47: Kleine Helley-Smith Messung bei höheren Abflüssen

3.1.1.4 *Farbtracersteine*

Farbtracersteine sind im Grunde genommen bemalte Steine, welche aus dem ursprünglichen Gewässer entnommen, präpariert sowie charakterisiert und wieder zurück ins Gewässer gesetzt werden, wo diese im Falle eines Hochwasserereignisses talwärts transportiert werden. Anschließend können anhand der wieder aufgefundenen Steine und dem zurückgelegten Weg Rückschlüsse auf den Geschiebetransport gezogen werden. In Wildbächen sind diese Farbtracersteine ständig Erosionskräften ausgesetzt und müssen entsprechend geschützt werden, um auch über einen längeren Zeitraum hinweg sichtbar zu bleiben und die Wiederauffindbarkeit zu gewährleisten (siehe Kapitel 3.2.2, Herstellung der Farbtracersteine). Häufige Probleme stellen die hohe Abrasivität, Algenbewuchs und die Einbettung bis hin zum Verschwinden der Tracersteine im Bachbett dar.

3.1.2 *Magnetisch-Induktive Geschwindigkeitsmessung (Nautilus)*

Für die magnetisch-induktive Geschwindigkeitsmessung kam in dieser Arbeit ein Nautilusmessgerät zum Einsatz. Ziel dieser Messungen ist, die Abflussbestimmung bei verschiedenen Abflüssen. In unserem Falle wurde nach der Fließquerschnittseinteilung nach Schweitzer vorgegangen. Dabei wird das entsprechend gewählte Messprofil in 24a unterteilt und anschließend in sieben Abschnitte (a, 3a, 5a, 6a, 5a, 3a und a) gegliedert. Am jeweiligen Übergang finden in verschiedenen Wassertiefen bis zu sechs Geschwindigkeitsmessungen statt. Aus den erhaltenen Punktmessungen kann man Rückschlüsse auf die Geschwindigkeitsverteilung des gesamten Profils ziehen. Die genaue Aufteilung ist in der folgenden Darstellung (Abbildung 48) ersichtlich. Das bis zu 6 m lange Gestänge ist mit einer durchgängigen Bemaßung versehen, womit die Wassertiefe gemessen werden kann. Abbildung 49 zeigt das durchströmte Messprofil der Brücke Schöttkapelle mitsamt den Punkten der Geschwindigkeitsmessungen.

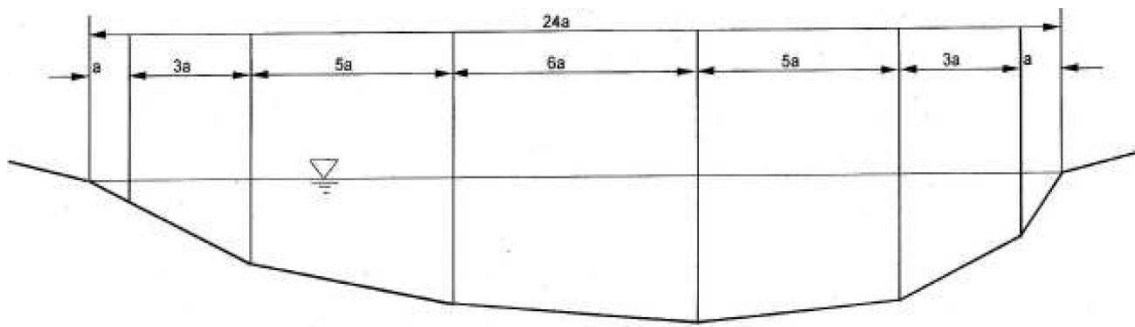


Abbildung 48: Querschnittunterteilung nach Schweitzer (Knoblauch & Schneider, 2014)

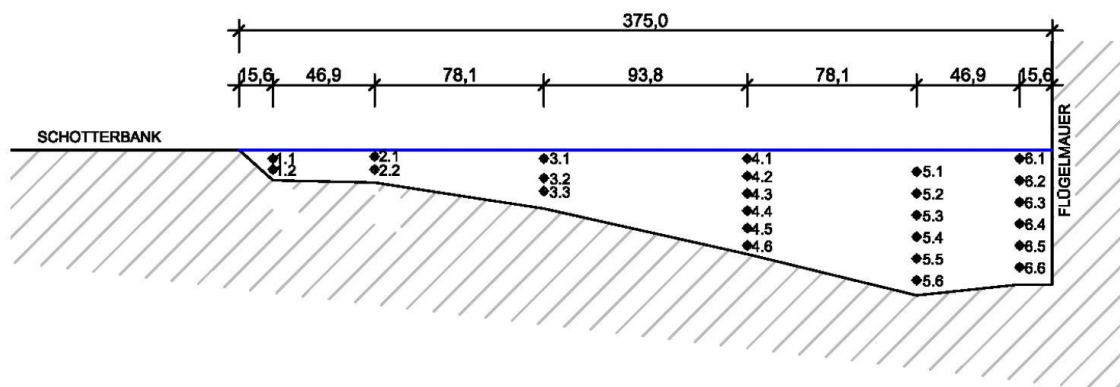


Abbildung 49: Querschnittunterteilung und Darstellung der einzelnen Punktmessungen am Profil der Brücke Schöttlkapelle

Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt über eine magnetisch-induktive Messsonde. Es ist besonders darauf zu achten, dass nicht in unmittelbarer Nähe (< 3 m) zu Stromleitungen, Metallverrohrungen und anderwertigen magnetischen oder elektrisch leitfähigen Materialien gemessen wird (OTT, 2000).

Ein großer Vorteil dieser Messmethode ist, dass auch bei starker Sohlverkräutung, in Uferandzonen und bei niedrigen Wasserständen gute Messergebnisse geliefert werden können (OTT, 2000).

Die Auswertung des Abflusses erfolgt nach dem Prinzip der Kontinuitätsgleichung (Formel 21).

$$Q = v \cdot A \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Formel 21

Die Messungen im Untersuchungsgebiet des Schöttlbaches wurden mit einem "Nautilus C 2000" durchgeführt (Abbildung 50). Der messbare Geschwindigkeitsbereich reicht von 0.0 m/s bis 2.5 m/s. Das Gerät arbeitet unabhängig von Temperatur und Schwebstoffbelastung und liefert eine direkte Ausgabe der Messwerte am Auswertegerät. Die Messzeit kann zwischen 0 und 60 Sekunden gewählt werden (OTT, 2000).



Abbildung 50: Nautilusmessgerät samt Zubehör

3.1.3 Salztracermessung

Die Abflussermittlung mittels der Salztracer-Methode beruht auf dem Prinzip der Tracermessungen und wurde im Rahmen der durchgeführten Messungen im Einzugsgebiet des Schöttlbaches angewendet. Tracermessungen können mit verschiedensten Stoffen wie z.B. Salzen, radioaktiven Stoffen oder fluoreszierenden Stoffen zur Anwendung kommen. Dabei besteht bei der Salztracer-Methode die geringste Umweltbelastung und ist quasi harmlos für Mensch, Tier und Pflanzen. Zudem ist diese Methode auch die wirtschaftlichste in Punkto Anschaffung sowie Verbrauch und Betrieb. Für die Messung kann gewöhnliches Speisesalz verwendet werden. Abbildung 51 zeigt das Messequipment.

Die Ausführung der Mess-Methoden kann auf zwei Arten erfolgen:

- Kontinuierliche Zugabe der Salzlösung
- Momentan Zugabe der Salzlösung



Abbildung 51: Salz-Tracer Messgerät samt Zubehör

Die in dieser Arbeit durchgeführten Messungen beruhen auf dem Prinzip der momentanen Zugabe wie es in Abbildung 52 schematisch dargestellt ist.

Für die Messung mittels der Salztracer-Methode muss für die Dosierung des Salzes zuerst der Abfluss geschätzt werden. Es gilt den Richtwert, eine Konzentration von 0.5 kg Salz pro 100 l/s Abfluss einzuhalten. Vor dem Beginn der eigentlichen Messung muss das Messgerät mit den beiden Messsonden kalibriert werden, um an die entsprechenden Bedingungen im Gewässer angepasst zu werden. Jedes Gewässer weist eine andere Grundleitfähigkeit auf. Diese Grundleitfähigkeit ist von verschiedenen Parametern wie z.B. dem pH-Wert, der Temperatur, dem Mineralgehalt und der Trübung abhängig. Je "reiner" das Wasser, desto geringer die elektrische Leitfähigkeit. Mit zunehmenden verfügbaren Ionen im Wasser steigt die Leitfähigkeit an, da nur die einzelnen Ionen den elektrischen Strom transportieren können. Destilliertes bzw. entionisiertes Wasser weist eine äußerst geringe elektrische Leitfähigkeit auf. Vor der Kalibrierung müssen die Messsonden an die Wassertemperatur angepasst werden. Dazu werden diese in das zu messende Fließgewässer gelegt und nach einiger Zeit in ein mit 250 ml Wasser gefülltes Messgefäß gestellt. Das Wasser im Messgefäß wird ebenfalls aus dem zu messenden Gewässer entnommen und dient zur Eichung der Messsonden auf das entsprechende Wasser. In diesem 250 ml Messgefäß wird die Kalibrierung mit einer stufenweisen Erhöhung der Salzkonzentration vollzogen. Dazu wird zuerst die Grundleitfähigkeit gemessen und anschließend die Salzkonzentration durch Zugabe von 50 µl einer 3,5%igen Salzlösung erhöht. Die Leitfähigkeit des Wassers steigt an und wird, nachdem sich diese eingestellt hat, am Gerät bestätigt. Dieser Vorgang der Konzentrationserhöhung wird mindestens 3 und maximal 10-mal wiederholt und bestätigt. Nach der Kalibrierung werden die zwei Messsonden mit Gewichten versehen und im Gewässer positioniert. Die entsprechende Salzmenge, welche auf den Abfluss abgestimmt wird, sollte etwa 100 m flussaufwärts der Messstelle (Position der Messsonden) zuerst in einem Eimer gelöst und anschließend auf einmal "momentan" dem Gewässer zugegeben werden. Die etwa 100 m lange Fließstrecke dient als Durchmischungsstrecke. Zeitgleich sollte die Aufzeichnung der Messsonden gestartet werden. Das Messgerät registriert einen Anstieg der Leitfähigkeit des Gewässers und kann somit über die

eingeebene Fließstrecke und Salzkonzentration Rückschlüsse auf den vorherrschenden Abfluss ziehen. Nachdem die Salzkonzentration im Gewässer wieder vollständig abgesunken und die Grundleitfähigkeit wieder erreicht ist, kann die Messung beendet werden. Der Abflusswert wird anschließend direkt am Messgerät ausgegeben.

Die Auswertung erfolgt nach folgender Formel:

$$Q = \frac{M}{\int_{t_0}^{t_E} (c_i - c_0) \cdot dt} \left[\frac{l}{s} \right] \quad \text{Formel 22}$$

mit:

Q ... mittlere Abfluss während des Messzeitraums [l/s]

M ... eingeebene Tracermenge [mg]

c_i ... Tracerkonzentration der Einzelmessung [mg/l]

c_0 ... Hintergrundkonzentration des Wassers [mg/l]

t_0 ... Anfangszeitpunkt der Messung

t_E ... Endzeitpunkt der Messung

dt ... Messintervall [sec]

(Bambynek, 2011)

Es ist darauf zu achten, dass keine größeren Becken zwischen der Eingabestelle und der Messstelle sind, da es in solchen Becken zu ungewollten Verzögerungen der Messung und Konzentrationsänderungen kommen kann. Die Folge sind weniger vertrauenswürdige Abflusswerte.

Die Salztracer-Methode eignet sich besonders zu Abflussmessungen bei stark turbulenten Gewässern, sowie zur Messung bei niedrigem Wasserspiegel. Platzsparend und leicht zu transportieren findet diese auch im Gelände leichte Anwendung.

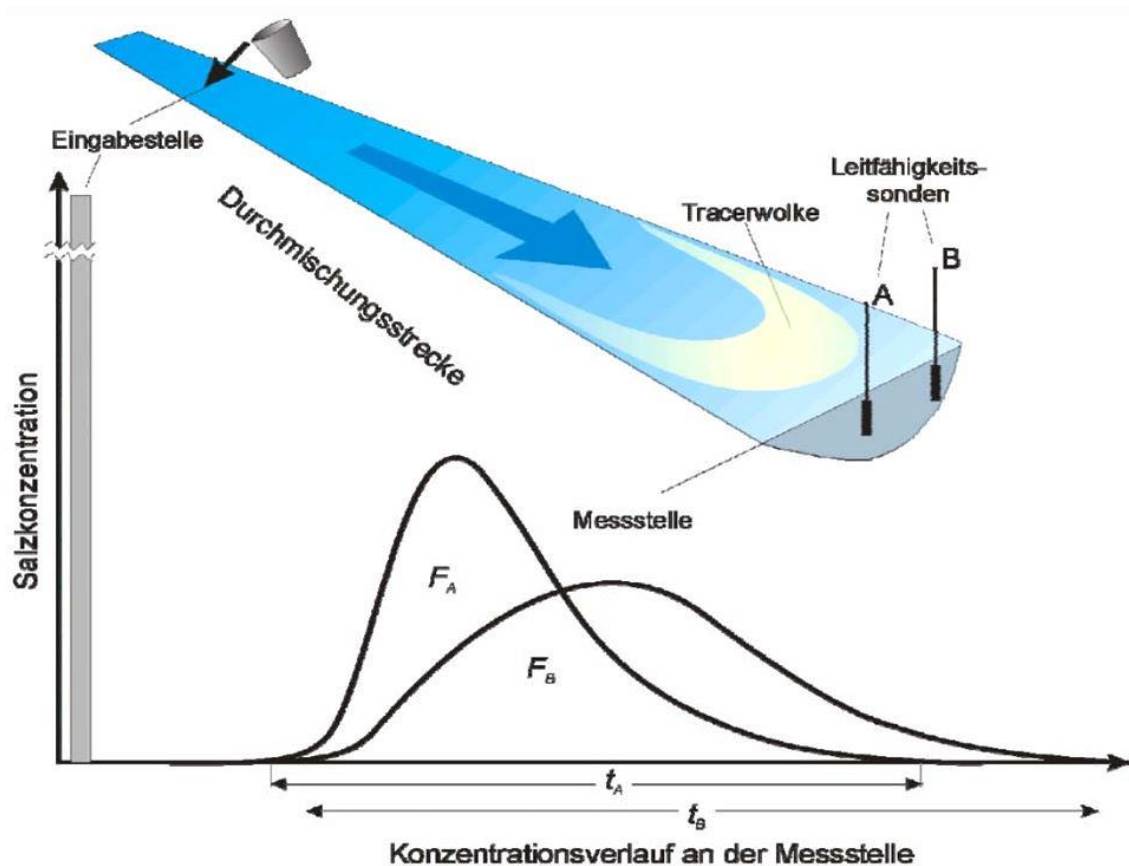


Abbildung 52: Schema Salztracer-Methode (Bambynek, 2011)

3.1.4 Messstationen

3.1.4.1 Brücke Hintereggertor

Die Brücke Hintereggertor liegt etwa 750 m flussaufwärts der Einmündung des Schöttlbaches in den Wölzerbach (Abbildung 26). Ein wesentliches Kriterium zur Installation einer Messstation an dieser Stelle war, dass der Abfluss des gesamten Einzugsgebiets des Schöttlbaches mit einer einzigen Messstation überwacht werden kann. Für die Aufschlüsselung, wieviel Abfluss aus welchem Teil des Einzugsgebiets zustande kommt, werden an den jeweiligen Zubringerbächen Abflussmessungen durchgeführt.

Die Messstation (Abbildung 54) an der Brücke Hintereggertor liefert Daten über den aktuellen Wasserstand, die Fließgeschwindigkeit, die Trübung des Wassers, die Wassertemperatur und die Leitfähigkeit des Wassers.

Der Wasserstand wird über einen OTT RLS Radarsensor, welcher sich zur berührungslosen Wasserstandmessung die Impuls-Radar-Technologie zu Nutze macht, gemessen. Der Sensor arbeitet im 24 GHz Bereich und berechnet anhand der Laufzeit zwischen dem ausgesendeten und dem von der Wasseroberfläche reflektierten Signal die Höhe des Wasserstandes. Eine Montage des Sensors direkt über der zu messenden Wasseroberfläche ist zwingend erforderlich, wobei ein Abstand von mindestens 0.8 m bis maximal 35 m eingehalten werden muss. Der Welleneinfluss wird über eine Berechnung korrigiert, ansonsten ist der Sensor unabhängig von weiteren Witterungseinflüssen wie z.B. Wasser- und Lufttemperatur, Wasserverschmutzung sowie vom Geschiebetransport im Falle eines Hochwassers. Die Genauigkeit liegt für einen Messabstand zwischen 2 und 30 m bei ± 3 mm (OTT Hydromet, 2009).

Die Ermittlung der Fließgeschwindigkeit erfolgt ebenfalls mittels eines Radarsensors, welcher auf dem Dopplerprinzip beruht. Dabei werden vom Sensor abhängig von der Fließgeschwindigkeit verschiedene Frequenzen registriert (Kolesnik, 2013).

Temperatur, Trübung sowie Leitfähigkeit werden über eine Multiparametersonde bestimmt. Diese Sonde befindet sich an der orographisch rechten Seite unter der Brücke Hintereggertor direkt an der Bachsohle. Um Beschädigungen der Sonde durch Geschiebe bzw. Wildholz zu vermeiden, ist diese mit einem selbst gefertigten Schutzgitter ummantelt.

Alle gemessenen Signale werden an den nahegelegenen Datenlogger OTT netDL 500 übermittelt und weiters direkt an den FTP-Server der Technischen Universität Graz gesendet.

Abflussberechnung

Zur Ermittlung der tatsächlich durchströmten Querschnittsfläche bzw. einer bestmöglichen Annäherung an diese, muss ein Wasserstands-Korrekturfaktor eingeführt werden, mit welchem der gemessene Wasserstand abgemindert wird, um die Sohlunebenheiten zu kompensieren. Bei diesem Korrekturfaktor handelt es sich um eine Näherung, da die Gewässersohle mobil ist und ständig Verände-

rungen erfährt. Die Querschnittsfläche errechnet sich aus dem Produkt der Abflussgerinnebreite und dem korrigierten Wasserstand. Je höher der Wasserstand, desto geringer werden die Abweichungen zur tatsächlich durchströmten Querschnittsfläche. Ebenso muss die gemessene Oberflächenfließgeschwindigkeit abgemindert werden um eine mittlere Fließgeschwindigkeit zu erhalten. Abbildung 53 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung im Querprofil. Der Abfluss wird anschließend über die Kontinuitätsbedingung (Formel 21) bestimmt.

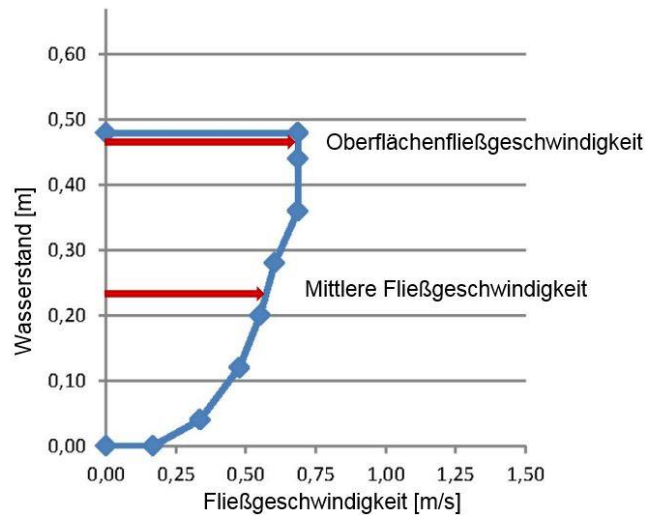


Abbildung 53: Fließgeschwindigkeitsverteilung, ermittelt mittels Nautilusmessgerät

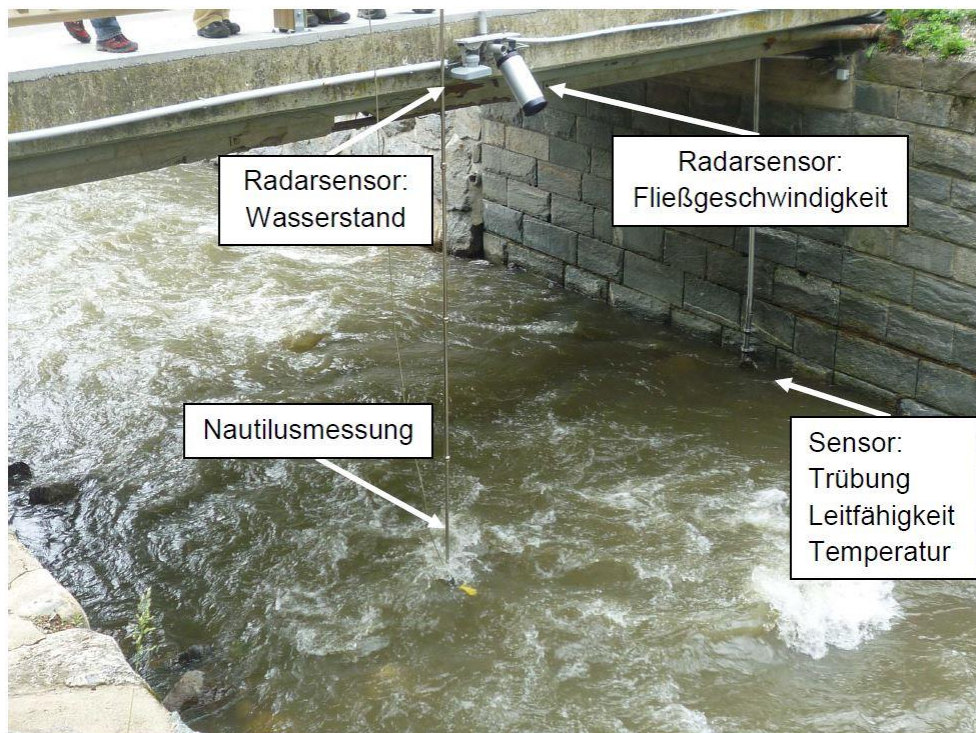


Abbildung 54: Messstation Brücke Hintereggertor (Barbas, 2014)

3.1.4.2 Brücke Schöttlkapelle

Die Brücke Schöttlkapelle liegt rund 7.5 km flussaufwärts von Oberwölz und stellt eine für dieses Projekt wichtige Messstation dar (Abbildung 26). Dort wurde im Jahr 2012 am orographisch rechten Brückenaufleger eine Drucksonde zur Wasserstandmessung installiert (Abbildung 55). Zudem dient die Brücke als einziger Aussetzpunkt für die Farbtracersteine am Schöttlbach. Zur Bestimmung des Abflusses werden Nautilus- als auch Salztracermessungen durchgeführt.

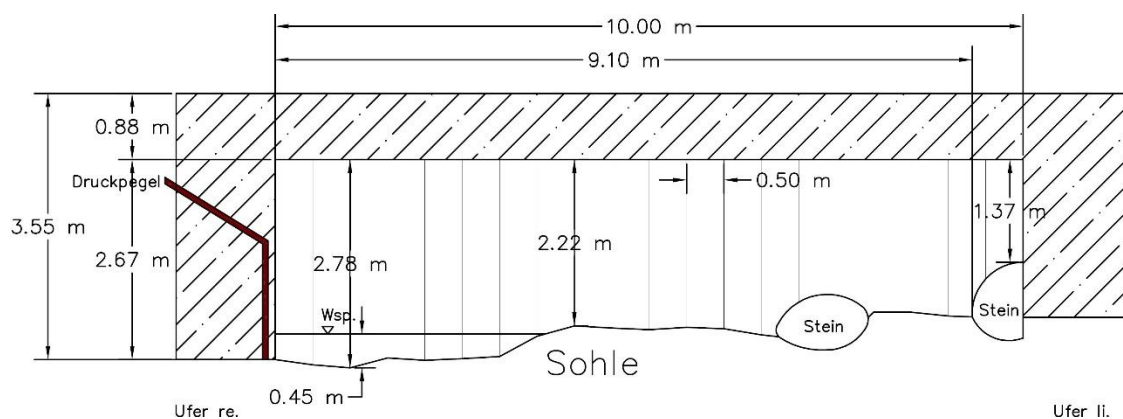


Abbildung 55: Querprofil der Brücke Schöttlkapelle 2014 in Blickrichtung flussaufwärts

3.1.4.3 Brücke Krumeggerbach

Die Brücke Krumeggerbach liegt rund 800 m flussaufwärts der Einmündung des Krumeggerbaches in den Schöttlbach und stellt für das Projekt eine wesentliche Station für Messungen und Versuche dar (Abbildung 26). Am Querprofil der Brücke Krumeggerbach erfolgt die Pegelmessung am orographisch linken Brückenaufleger mittels Druckpegelmessstation (Abbildung 56). Bei der Brücke Krumeggerbach werden Salztracermessungen zur Bestimmung des Abflusses bei Niedrigwasser und Nautilusmessungen im Hochwasserfall durchgeführt. Die Brücke diente zudem als Aussetzpunkt für die Farbtracersteine, welche bis zum Wasserfall rund 320 m flussabwärts verfolgt werden.



Abbildung 56: Druckpegelmessstation Brücke Krumeggerbach

3.1.4.4 Brücke Salchauerbach

Am Salchauerbach (Abbildung 35 bis 38) ist unter der Gemeindefußgängerbrücke ein Sediment Impactsensor installiert (roter Kreis). Die Brücke liegt rund 500 m flussaufwärts der Einmündung in den Schöttlbach (Abbildung 26).

3.1.4.5 Schmiedbognerbach

Am Schmiedbognerbach wurde direkt an der Einmündung in den Schöttlbach ein Sediment-Impact-Sensor installiert (Abbildung 26).

3.1.4.6 Konsolidierungssperre

Beim Querprofil der Konsolidierungssperre wenige Meter abseits der Einmündung des Krumeggerbaches in den Schöttlbach wurden 2012 sechs Sediment-Impact-Sensoren installiert (Abbildung 26).

3.1.5 *Bed-Load Analyzer*

Das Programm "Bed-Load Analyzer" (Fleißner & Dorfmann, 2013) ist eine Open Source Software, welche am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz entwickelt wurde. Sie dient zur Berechnung von hydraulischen und sedimentologischen Parametern in gegliederten Querschnitten. In dieser Arbeit wurde die Version 2.0 verwendet. Dieses Programm ermöglicht nach der Eingabe eines Querschnittsprofils sowie Gefälles, der Wahl der Rauheitsbeiwerte, sowie der Angabe eines charakteristischen Korndurchmessers und dessen Dichte eine rasche Berechnung der Sedimentkapazität in (kg/s). Des Weiteren können damit Pegelschlüssel und Querprofile mit Angabe des Wasserspiegels, des kritischen Wasserspiegels und der Energiehöhe ausgegeben werden. Bei Eingabe einer bekannten Korngrößenverteilung kann die Auswertung der Siebkurve sowie die Sedimenttransportkapazität über den Abfluss ausgegeben werden. Für die Untersuchungen des Sedimenttransports am Schöttl- und Krumeggerbach findet diese Software Anwendung. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt nach Meyer-Peter / Müller. Für nähere Informationen steht das Referenzhandbuch "Bed Load Analyzer" (Fleißner & Dorfmann, 2013) zur Verfügung.

In der nachfolgenden Abbildung 59 ist das Querschnittprofil der Brücke Schöttlkapelle vom Jahre 2012 bzw. 2013 schematisch dargestellt. Zum Vergleich wird in Abbildung 58 das Querprofil, welches im Jahr 2014 ermittelt wurde, gezeigt. Abbildung 57 (Blickrichtung flussaufwärts) zeigt das Querprofil der Brücke Schöttlkapelle bei einem Abfluss von ca. 3.5 m³/s. Vergleicht man nun Abbildung 57, welche den tatsächlichen Abfluss von rund 3.5 m³/s darstellt, mit dem in Abbildung 58 anhand des Programmes Bed-Load Analyzer ermittelten Querprofils bei einem Abfluss von 3.5 m³/s, so wird die Realitätstreue des Programmes deutlich.

In Kapitel 4.1.4 wird auf die einzelnen Profile im Einzugsgebiet und deren Auswertung mit dem Bed-Load Analyzer näher eingegangen.



Abbildung 57: Brücke Schöttlikapelle (Blickrichtung flussaufwärts), Wasserstand bei einem Abfluss von ca. $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 2014

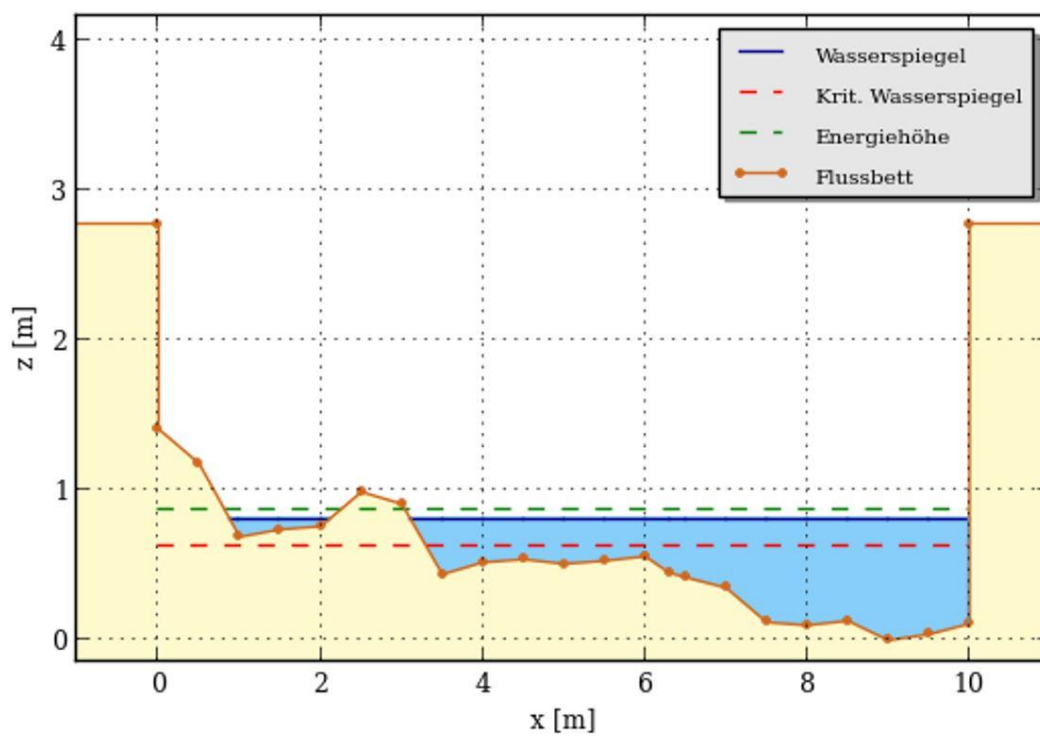


Abbildung 58: Wasserstand für den im Bed-Load Analyzer simulierten Abfluss von $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 2014

Flussquerprofil

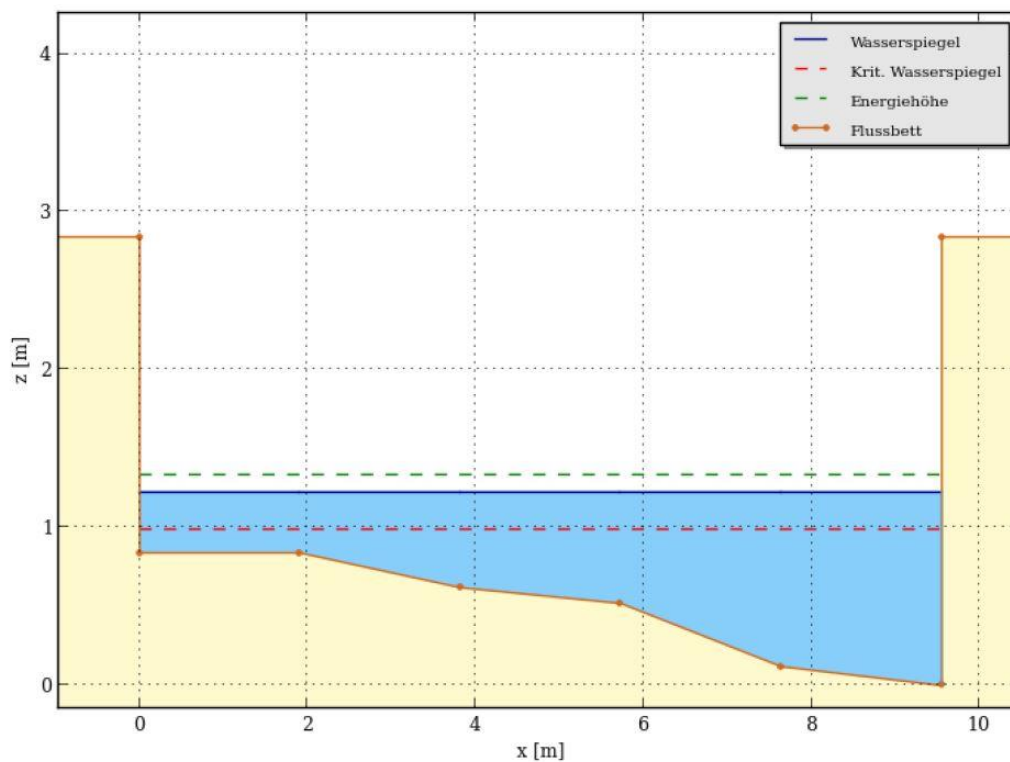


Abbildung 59: Querschnittsprofil Brücke Schöttlkapelle 2012 und 2013 (Barbas, 2014)

3.1.6 Linienzahlanalyse

Die Linienzahlanalyse bietet eine sehr rasche Möglichkeit, sich einen Überblick über die Korngrößenverteilung in einem Fließgerinne zu verschaffen. Zur Durchführung werden neben dem Auswerteprogramm lediglich ein dünnes Seil, das an einer beliebigen Messstelle gerade ausgelegt wird, und eine Schiebelehre zum Vermessen der mittleren Achse der einzelnen Gesteinskörner benötigt. Die Vorgehensweise ist einfach, indem jeder Stein mit einem Durchmesser von mehr als 1 cm exakt unter dem in einer Linie ausgelegten Seil gemessen und notiert wird. Um eine repräsentative Korngrößenverteilung zu erhalten, sollten mindestens 150 Gesteinspartikel aufgenommen und vermessen werden. Zudem sollten in etwa 30 oder mehr Gesteinspartikel der gleichen Durchmesserklasse entsprechen. Für eine aussagekräftige Kornverteilung können mehrere Linienzahlanalysen in einen Bachbett durchgeführt, und die Ergebnisse gemittelt werden (Hodel, 1992).

3.2 Untersuchungsmethoden im Labor

3.2.1 Herstellung der Farbtracersteine

Im Laufe dieses ClimCatch Projektes stellte sich die Herstellung der Farbtracersteine als eine unerwartete Schwierigkeit dar. Die Herausforderung bestand darin, diese Steine so zu präparieren, dass sie den hohen Anforderungen in der Natur genügend Widerstand entgegenbringen können. Die ausgesetzten Farbtracersteine müssen enormen Abrasionskräften und weiteren Beanspruchungskräften standhalten.

Herstellung 2013

Zunächst wurden die Steine mit brauner oder weißer Farbe grundiert sowie getrocknet. Anschließend wurden die Steine mit verschiedenen Farben und einer Nummerierung versehen. Diese Steine sind nach mehr als einem Jahr teilweise immer noch sichtbar. Die Nummerierung hingegen ist in den meisten Fällen verschwunden und eine Charakterisierung kann nur noch über das Gewicht und die Abmessungen der Achsen (A x B x C) (siehe Kapitel 2.1.1.2) erfolgen.

Bei den Radiotelemetrietracersteinen, welche neben der Grundierung und Bemalung zusätzlich mit einem Sender versehen waren, wurden aufgrund der Reflexionen des Signals an den Talflanken nur mäßige Erfolge erzielt (Barbas, 2014).

Im Jahr 2014 wurde diese Methode nicht mehr angewendet.

Herstellung 2014

Steine mit verschiedenen Abmessungen und unterschiedlichem Gewicht wurden im jeweiligen Bach eingesammelt und ins Labor des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Uni Graz gebracht. Beim Einsammeln wurde ein erster Bruchtest durchgeführt und die Steine aus Hüfthöhe auf einen anderen Stein fallen gelassen, um sicher zu stellen, dass keine bereits beschädigten Steine ins Labor gebracht werden. Anschließend wurden die Steine gründlich

gewaschen und mit Druckluft gesäubert. Die Druckluft dringt in feinste Risse ein und führt zu Abplatzungen der verwitterten Steinoberfläche, welche anderenfalls erst nach dem Lackieren und bei den ersten Belastungen abgesprungen wären. Des Weiteren wurden die Steine mit Bremsenreiniger gereinigt um eine saubere und reine Oberfläche zu erhalten, und nach dem Trocknen mit der ersten Tiefengrundierung behandelt. Die Tiefengrundierung dient zur Versiegelung und als Haftvermittler für die weiteren Schichten. Daher ist es besonders wichtig die ersten Schritte ordentlich auszuführen, um eine gründliche Basis für den weiteren Aufbau zu gewährleisten. Anschließend werden die Steine wie folgt lackiert:

- 2 Schichten Tiefengrund - dient zur Versiegelung und als Haftvermittler.
- 2 Schichten Lack, (Signalfarbe - Bodenmarkierungsfarbe).

Die Charakterisierung der Steine erfolgte als vorletzter Schritt der Herstellung nach dem Auftragen der Signalfarbe. Jeder Stein wurde gewogen, A x B x C vermessen, mit A als der längsten und C als der kürzesten Seitenlänge, und mit einer Zahl sowie einem Buchstaben versehen (Abbildung 60). Die Zahl steht für den Monat in welchem der Stein ausgesetzt wurde. Zum Beispiel steht 4 für April. Der Buchstabe dient zur weiteren Identifizierung. Den Abschluss bilden

- 2 Schichten Multi Wax Transparent (klebrig).



Abbildung 60: Farbracersteine im Labor nach dem Beschriften jedoch noch nicht lackiert



Abbildung 61: Teststeine welche mit verschiedenen Methoden präpariert wurden

6 weitere Steine (Abbildung 61) wurden zu Testzwecken mit verschiedenen Methoden präpariert. Es wurden jeweils zwei Steine folgendermaßen behandelt.

Steine A

1 x Gelb und 1 x Blau.

2 Schichten Tiefengrund dient zur Versiegelung und als Haftvermittler.

2 Schichten Lack (Signalfarbe - Bodenmarkierungsfarbe)

2 Schichten Multi Wax Transparent (klebrig)

Steine B

1 x Gelb und 1 x Blau.

2 Schichten Tiefengrund dient zur Versiegelung und als Haftvermittler.

2 Schichten Lack (Signalfarbe - Bodenmarkierungsfarbe)

2 Schichten Steinschlagschutz (weiß - überlackierbar)

Steine C

2 x Grün.

2 Schichten Tiefengrund dient zur Versiegelung und als Haftvermittler.

2 Schichten Lack (Signalfarbe - Bodenmarkierungsfarbe)

2 Schichten Steinschlagschutz (weiß - überlackierbar)

2 Schichten Lack (Signalfarbe - Bodenmarkierungsfarbe)

2 Schichten Multi Wax Transparent (klebrig)

3.2.2 *Großscherversuch*

Der Großscherversuch dient zur Untersuchung von Böden auf ihre Kohäsion und Scherfestigkeit. Durchgeführt und ausgewertet wird der Großscherversuch nach der ÖNORM B 4416 am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz. Die Kohäsion beschreibt den inneren Zusammenhalt der einzelnen Bodenteilchen in bindigen Böden und ist vom Wassergehalt abhängig (siehe Kapitel 2.1.1.6). Als Scherfestigkeit wird eine Spannung [N/mm²], welche die zusammenhaltenden Kräfte, im Gegensatz zu den auf Oberflächen wirkenden Reibungskräften, bezeichnet. Als Ergebnis des Großscherversuchs erhält man den sogenannten Reibungswinkel, welcher anhand von mindestens drei, mit unterschiedlichen Normalspannungen beaufschlagten Einzelscherversuchen festgestellt werden kann. Begrenzt wird dieser Reibungswinkel durch die Mohr-Coulombsche Bruchbedingung. Treten Spannungszustände oberhalb des Reibungswinkels auf, hält das Material den Belastungen nicht mehr Stand und der Boden versagt. Unter dem Reibungswinkel tritt kein Versagen auf, es kann jedoch die Belastbarkeit mit zunehmender Kohäsion noch gesteigert werden. Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die Konsolidierung und Schergeschwindigkeit bei bindigen Böden dar. Um Porenwasserdrücke, welche durch zu schnelles Verdichten oder Abscheren entstehen, zu verhindern, wird eine Normalspannung σ_{Kons} über eine längere Dauer (einige Stunden bis Tage) angelegt und erst nach diesem Konsolidierungsvorgang mit einer geringen Schergeschwindigkeit (z.B. $0.05 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$) abgesichert (ÖNORM B 4416).

Abbildung 62 zeigt den Großscherapparat am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz.

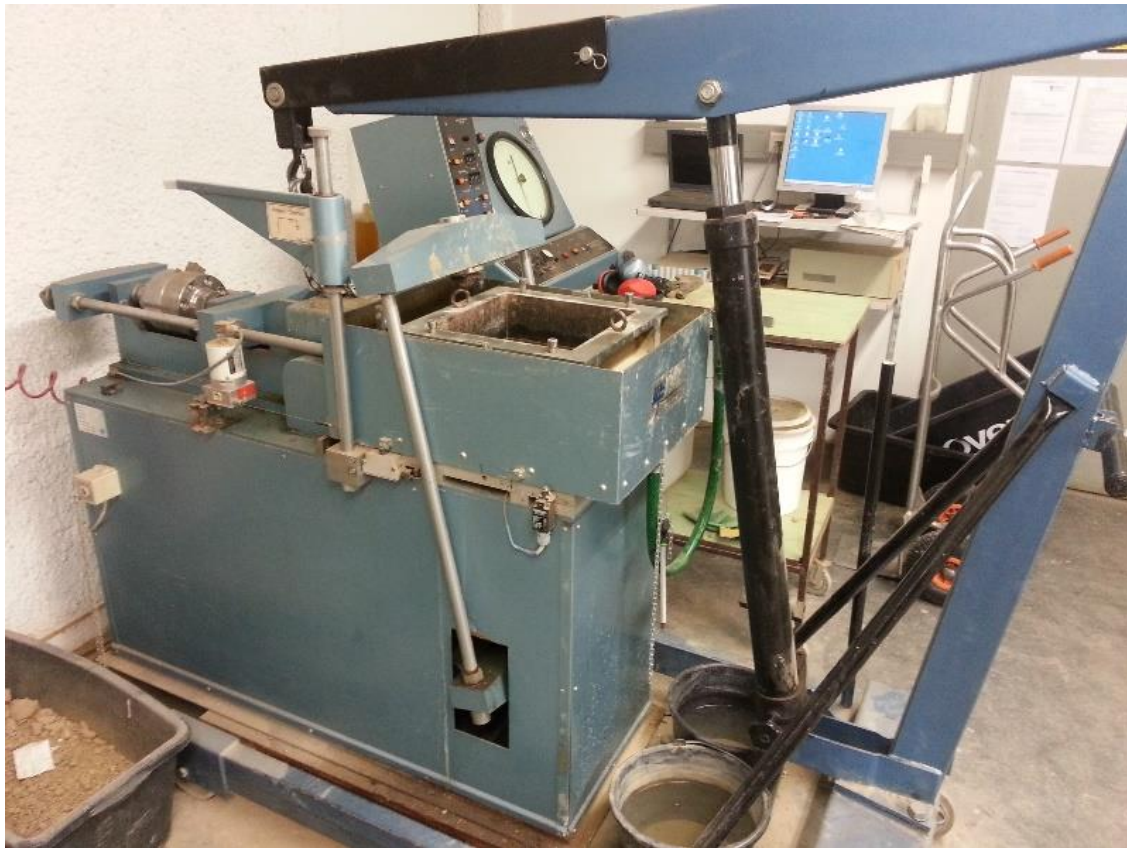


Abbildung 62: Großscherapparat am Institut für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz

Interpretation der scheinbaren Kohäsion bei Scherversuchen

Die scheinbare Kohäsion wird beim Großscherversuch als Reaktion auf die Schubverzahnung der relativ großen Körner mit bis zu 40 mm Durchmesser interpretiert. Die Scherbuchse selbst ist 200 mm hoch was wiederum bedeutet, dass im kritischen Falle fünf Körner genau aufeinander liegen können. Zudem kommt, dass die 40 mm maximaler Korndurchmesser auf die mittlere Achse bezogen sind. Es können also durchaus Körner mit einer Länge von zum Beispiel 70 mm dabei sein, sofern die zweite Achse die 40 mm im Durchmesser nicht überschreitet. Befinden sich nun mehrere dieser großen Körner in unmittelbarer Nähe und treffen durch den Abschervorgang aufeinander, so kann es bei höherer Normalspannung zu keiner Dilatation der Körner kommen. Dilatation wird jener Vorgang bezeichnet, bei dem ein Korn im Zuge des Schervorganges auf ein anderes "aufsteigt", sofern die wirkende Normalspannung dies zulässt. Es kommt zu einer Vergrößerung des Probenvolumens. Ist die angelegte Normalspannung

höher, so kommt es zu keiner Probenvergrößerung und das Korn wird abgeschert. Als Folge wird eine scheinbare Kohäsion ausgegeben.

Nach der allgemein gültigen Schertheorie ÖNORM B 4416 (1978) kann für nicht bindige, dicht gelagerte Böden von einer Krümmung der Bruchkurve ausgegangen werden (Abbildung 63). Lediglich zur Vereinfachung der Berechnung kann die gekrümmte Bruchkurve auch als ausgleichende Bruchgerade dargestellt werden. Dabei wird anhand der beiden fiktiven Scherparameter c und φ die Scherfestigkeit ausgedrückt.

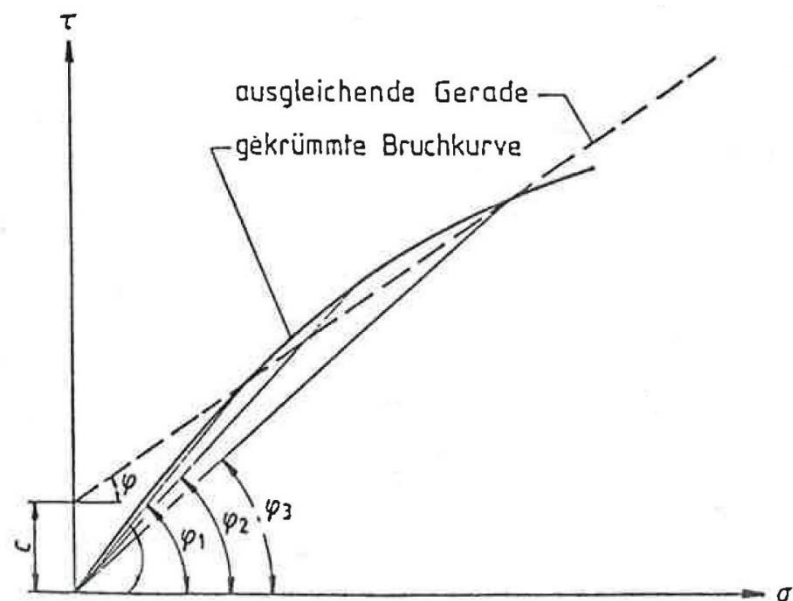


Abbildung 63: Gekrümmte Bruchkurve eines nicht bindigen, dicht gelagerten Bodens (ÖNORM B 4416)

3.2.3 Kornverteilung

Die Kornverteilungsanalysen wurden am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz nach der ÖNORM B 4412 bestimmt. Im Zuge dieser Masterarbeit wurden ausschließlich Nasssiebungen durchgeführt.

3.2.3.1 Siebanalyse

Die Bodenprobe wird gewogen und einer visuellen Kontrolle unterzogen, bei der Steine (Korndurchmesser > 63 mm) frühzeitig entnommen, gemessen und gewogen werden. Das weitere Material enthält somit keine Steine mehr und ist für

die Rüttelmaschine geeignet. Die Siebsätze können je nach Anforderung gewählt werden. Wichtig ist, dass die Maschenweite von oben nach unten hin abnimmt (das größte Sieb ganz oben, das kleinste ganz unten im Siebsatz). Für die Siebanalyse wurden folgende Siebe mit der Maschenweite 0.063 mm, 0.125 mm, 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31.5 mm und 63 mm aufeinander gestellt und das zu untersuchende Material aus dem Bachbett bzw. von der Böschung in das oberste sprich größte Sieb gefüllt. Um keine Feinanteile zu verlieren, welche durch das feinste Sieb hindurchgehen, müssen diese mit einem Behälter aufgefangen werden. Der besagte Behälter wird so neben der Rüttelmaschine positioniert, dass der Abfluss der Rüttelmaschine in den Behälter mündet. Bei zu viel Material kann es leicht zum Verstopfen der feineren Siebe kommen, darum sollte das Material zuerst per Hand von oben nach unten, Sieb für Sieb, durchgewaschen werden. Anschließend den Rüttler zusammenstellen, die Wasserversorgung herstellen und den Rüttelvorgang starten. Durch das Rütteln wird das Material Sieb für Sieb weitergegeben und anhand der daraus gewonnenen Siebrückstände pro Maschenweite erhält man eine Korngrößenverteilung. Jedes einzelne Sieb wird nach Ablauf des Versuchs getrocknet und gewogen, und somit ergibt sich aus Massenanteil pro Korndurchmesser eine Kornverteilungslinie.

3.2.3.2 Schlämmanalyse

Die Schlämmanalyse ist eine Sedimentationsanalyse, bei welcher mittels eines Aräometers die zeitliche Dichteveränderung einer Suspension bestimmt wird und damit über die Sedimentationsgeschwindigkeit auf die Kornverteilung geschlossen werden kann. Jene Feinanteile die bei der Siebanalyse durch das feinste Sieb (< 0.125 mm) hindurchgehen, werden in einem Behälter aufgefangen, getrocknet und gewogen. Etwa 40 g dieses trockenen Materials werden in einen Standzylinder gefüllt und mit 25 – 30 g Dispergierungsmittel (Natriumdiphosphat) zu einer Suspension angerührt. Dies geschieht um jedes Bodenpartikel einzeln lösen zu können und Klumpenbildung zu vermeiden. Der Zylinder wird mit destilliertem Wasser bis zur Hälfte befüllt und in eine Mischmaschine eingebaut. In dieser dreht sich der Zylinder einige Stunden, sodass sich das Material in seine Einzelpartikel auflöst. Fortgefahren wird, indem der Zylinder mit destilliertem

Wasser bis zur Markierung vollgefüllt und eventuell entstandener Schaum abgeschöpft wird. Der Zylinder wird ein letztes Mal mit der Hand aufgeschüttelt und abgestellt. Das Aräometer wird zügig in den Zylinder getaucht und bei 0.5 min, 1 min, 2 min, 5 min, 15 min, 45 min, 120 min, 360 min und 1440 min die Skala am Aräometer abgelesen und ins Laborprotokoll notiert. Zusätzlich muss die Temperatur gemessen werden, da sich bei steigender Temperatur die Dichte des Wassers verringert. Aus diesen Lesungen lässt sich mittels dem Gesetz von Stokes der genaue Korndurchmesser ermitteln.

3.2.4 Korndichtenbestimmung

Die Durchführung der Korndichtenbestimmung erfolgt nach der ÖNORM B 4413 mittels Kapillarypknometer. Hierzu wird ein leeres Pyknometer mitsamt dem dazugehörigem Stoppel gewogen und der Gewichtswert notiert. Des Weiteren werden ca. 20 g trockenes Material mit einem Korndurchmesser < 4 mm in das Pyknometergefäß gefüllt und anschließend mit destilliertem Wasser bis zu einem Drittel vollgefüllt. Danach müssen die teilgefüllten Pyknometer in einem Kammer-Vakuumgerät sorgfältig entlüftet werden. Erst, wenn keine Luftbläschen mehr aus dem Wasser aufsteigen

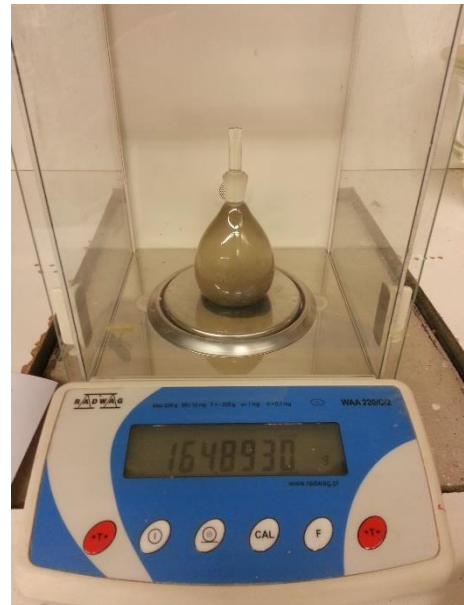
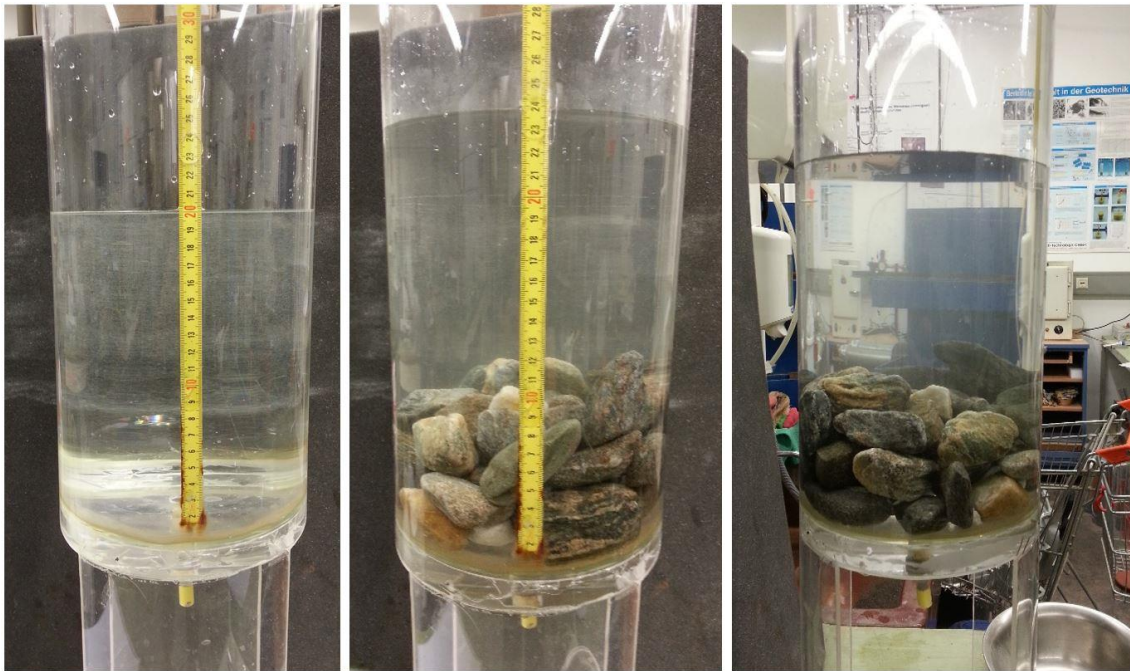


Abbildung 64: Korndichtenbestimmung mittels Pyknometer

wird das Pyknometergefäß vollständig mit entlüftetem Wasser befüllt und mit dem Stoppel zügig geschlossen, sodass, überschüssiges Wasser durch die Öffnung im Stoppel entweichen kann. Das vollständig gefüllte Pyknometergefäß wird gewogen (Abbildung 64) und anschließend wird die Temperatur gemessen. Aus dem Verhältnis zwischen Gewicht und Volumen der Probe kann nun die Korndichte des Materials bestimmt werden. Es werden stets 3 Pyknometerversuche durchgeführt und die Werte gemittelt, somit lassen sich etwaige Ausreißer erkennen und bleiben unberücksichtigt (ÖNORM B 4413).

Zur Bestimmung der **Korndichte von Grobkies**, mit einem Korndurchmesser von rund 40 mm, wurde ein Zylinder mit Wasser bis zu einer Höhe h von 20 cm befüllt (Abbildung 65). Der Messzylinder weist einen Durchmesser von 17.25 cm auf wodurch sein Volumen bekannt ist. Anschließend werden die zuvor in Wasser gesättigten Kieskörner eingelegt und die Volumendifferenz bestimmt. Durch die Volumendifferenz und das bekannte Gewicht der Steine kann somit auf die Korndichte zurückgerechnet werden.



*Abbildung 65: Dichtebestimmung von grobkörnigen Material mittels Verdrängungsmethode
Links: Der mit Wasser befüllte Messzylinder (Volumen bekannt)
Mitte: Nach dem Einlegen der Kieskörner (Bestimmung der Volumendifferenz)
Rechts: Aus der Seitenansicht*


3.2.5 Bestimmung der Wasseraufnahme


Die Untersuchungen zur Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens wurden nach der ÖNORM EN 13755 „*Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck*“ durchgeführt (ÖNORM EN 13755).


Beim Wasseraufnahmevermögen handelt es sich um jene Wassermenge, welche vom Gestein aufgenommen und somit in den Porenräumen eingelagert werden kann. Bezogen wird diese Wassermenge immer auf die Trockenmasse des betrachteten Gesteins. Die typische Vorgehensweise zur Ermittlung des Aufnahmevermögens ist wie folgt: Die Steine bzw. in unserem Fall Kieskörner (Korndurchmesser rund 40 mm) werden sauber gewaschen und im Ofen bei 75°C vollständig getrocknet. Anschließend werden die Gesteinskörner 24 Stunden lang vollständig in Wasser eingelegt. In dieser Zeit können die Gesteinskörner Wasser aufnehmen und speichern. Die gesättigten Kieskörner werden nach dem Wasserbad mit einem Handtuch abgetupft bis sie matt erscheinen. Es sollen keine Wassertropfen bzw. Nassstellen mehr vorhanden sein, ehe die Kieskörner gewogen werden. Nach dem Wiegen werden die Körner erneut zum Trocknen bei 75° in den Trockenofen gestellt und erneut gewogen (zusätzliche Kontrolle). Als Differenz des gesättigten und dem trockenen Gewichtswert erhält man die aufgenommene Wassermenge. Ausgegeben wird das Wasseraufnahmevermögen in Prozent. Dabei wird die aufgenommene Wassermenge durch die Trockenmasse dividiert (ÖNORM EN 13755).

3.2.6 Labornummernvergabe

Am Institut für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz wurden jeweils drei Großscherversuche, drei Kornverteilungsanalysen, eine Korndichtenbestimmung sowie das Wasseraufnahmevermögen von Gesteinskörnern aus der Region durchgeführt. Um einen strukturierten Ablauf und ein späteres Auffinden der digital gespeicherten Daten zu ermöglichen werden Labornummern für jede Versuchsanordnung vergeben. Unter folgenden Labornummern sind die für das Projekt in Oberwölz durchgeführten Laborversuche abgelegt. Die Farben der Punkte bezeichnen die Entnahmestellen, welche in Abbildung 66 und Abbildung 67 ersichtlich sind. Weitere Details zu den Entnahmestellen können dem Anhang 10.5.1 entnommen werden.

 **Labornummer: 18839_1** für das Material aus dem Bachbett ca. 70 m flussaufwärts der Geschiebesperre. Sedimentationsbedingt hat sich an dieser Entnahmestelle hauptsächlich sandiges Material angesammelt. Für die Zusammenstellung der Probe wurde jeweils am linken und rechten Bachufer Material entnommen und zu einer Versuchsprobe vermischt.

 **Labornummer: 18839_2** für das Material welches aus der abgerutschten Böschung ca. 70 m flussaufwärts der Geschieberückhaltesperre entnommen wurde, und sich wiederum aus Material von zwei verschiedenen Entnahmestellen zusammensetzt.

 **Labornummer: 18839_3** für ein grobkörniges Kiesmaterial (< 40 mm), welches aus der Bachsohle bei der Brücke Schöttlkapelle entnommen wurde um einen Vergleich zwischen einem sandigen (18839_1) und einem kiesigen (18839_3) Material zu erhalten.

Labornummer 18839_4: Korndichtebestimmung mittels Pyknometer für das Material < 4 mm und zusätzliche Dichtebestimmung der größeren Steine mittels Messzylinder (Verdrängungsmethode).

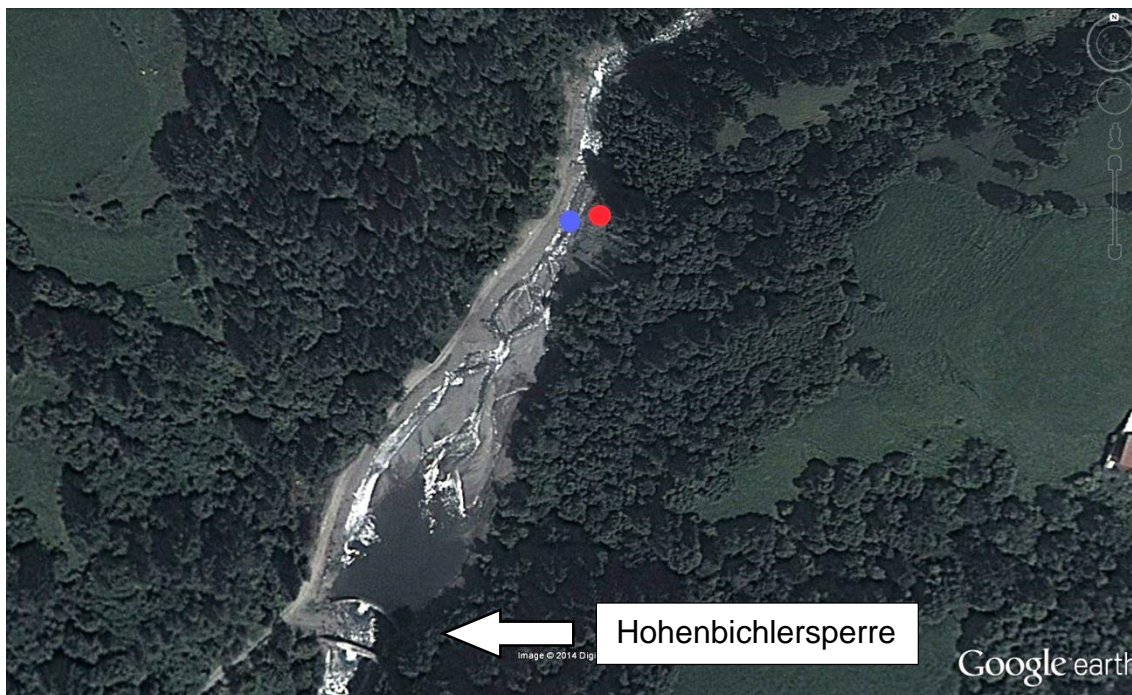


Abbildung 66: Lageplan der Hohenbichler-Geschiebesperre am Schöttlbach mit den Probenentnahmestellen (Google Earth, 2014)



Abbildung 67: Lageplan der Probenentnahmestelle "Brücke Schöttlkapelle" (Bing.Maps, 2014)

4. Ergebnisse in situ

4.1 Messung

Nachdem in Kapitel 3.1 die Untersuchungsmethoden erläutert wurden, folgen in diesem Kapitel die Auswertungen der Versuchsergebnisse, welche im Einzugsgebiet als Feldmessungen durchgeführt wurden.

4.1.1 Geschiebetransport

Zur Messung des Geschiebetransports wird zwischen Sediment-Impact-Sensoren und Helley-Smith-Geschiebefängern unterschieden. Eine weitere Vergleichsmöglichkeit stellt das Simulationsprogramm Bed-Load-Analyzer dar, mit welchem der Geschiebetransport bestimmt werden kann. In dieser Arbeit wird kurz auf die Auswertung des kleinen Helley-Smith Versuchs sowie die mit dem Bed-Load Analyzer simulierten Geschiebetransportraten eingegangen. Für eine Messung mit dem großen Helley-Smith-Geschiebefänger konnte kein ausreichender Abfluss ausgemacht werden. Somit blieb es beim großen Helley-Smith Versuch bei einem Trockentraining mit der WLW am 22. Juli 2014.

4.1.1.1 Kleine Helley-Smith-Geschiebefänger

Brücke Schöttlkapelle - 1. Messung

Des Weiteren konnte am 30. Juni 2014 gegen 11 Uhr eine Geschiebemessung beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle (siehe Tabelle 12) erfolgen. Die genaue Messstelle befindet sich 8 m flussabwärts der Brücke. Gemessen wurde im Abstand von 0.5 m sowie im 2-Minutentakt. Aufgrund eines Niederschlagsereignisses in der Nacht auf den 30. Juni konnte ein leicht erhöhter Abfluss von rund 900 l/s gemessen werden. Zudem war eine deutliche Trübung des Gewässers ersichtlich. Die ermittelte Geschiebetransportrate beträgt 0.018 kg/s, 18.2 g/s oder 2.19 kg/2min.

Hochgerechnet ergibt sich aus diesen geringen Mengen eine Tagesgeschiebefracht von rund 1.5 t für das Querprofil bei der Brücke Schöttlkapelle (Tabelle 11).

Tabelle 11: Transportvermögen pro Zeitraum für einen Abfluss von 900 l/s bei der Brücke Schöttlkapelle

Transportvermögen pro	
Sekunde	0.02 [kg]
Minute	1.09 [kg]
Stunde	65.56 [kg]
Tag	1573 [kg]

Tabelle 12: 1. Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Sampler am 30. Juni 2014 beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle

Brücke Schöttlkapelle - 1. Messung																	
Datum	30. Juni 2014																
Uhrzeit	11:00																
Messzeit	2.0 min																
Abstand	0.5 m																
Abfluss	900 l/s																
	Li. Ufer															Re. Ufer	
Bezeichnung	12.55	12.05	11.55	11.05	10.55	10.05	9.55	9.05	8.55	8.05	7.05	6.55	6.05	5.55	5.05	4.55	4.05
Profil Real [m]	8.5	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0
Wassertiefe [cm]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Messzeit [min]	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Geschiebe [g]	4.8	5.1	172	6.6	15.5	74.4	0.5	0.5	3.1	7.8	6.3	4.2	5.2	3.7	0.0	10	4.6

Brücke Schöttlkapelle - 2. Messung

Umgerechnet auf den gesamten benetzten Umfang des Fließquerschnitts ergibt sich für die Geschiebemessung vom 1. September 2014 am Querprofil der Brücke Schöttlkapelle eine Geschiebetransportrate von 0.014 kg/s, 13.5 g/s oder 4.05 kg/5min (Tabelle 13). Der Abfluss zu dieser Zeit betrug rund 4200 l/s.

Hierbei muss jedoch angemerkt werden, dass der erhöhte Abfluss vom 1. September schon über einen längeren Zeitraum (Tage) angehalten hat und im Gegensatz zur Messung vom 30. Juni etwaige Feinanteile bereits ausgespült wurden (klarer Abfluss, keine Trübung).

Tabelle 13: 2. Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Sampler am 1. September 2014 beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle

Brücke Schöttlkapelle - 2. Messung										
Datum	1. September 2014									
Uhrzeit	13:30									
Messzeit	5.0 min									
Abstand	1.0 m									
Abfluss	4200 l/s									
Bezeichnung	Li. Ufer								Re. Ufer	
	Ende	SK7	-	SK6	SK6	SK3	SK4	SK2	SK1	Start
Abstand [m]	8.5	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Wassertiefe [cm]		0.20	0.30	0.40	0.55	0.42	0.48	0.42	0.40	
Messzeit [min]		5	5	5	5	5	5	5	5	
Geschiebe [g]		10.3	-	34.7	77.9	76.1	23.6	25.3	5.7	

Brücke Krumeggerbach

Am Krumeggerbach wurde am 1. September 2014 eine Messung mit dem kleinen Helley-Smith-Geschiebefänger durchgeführt (Tabelle 14). Die Auswertung ergab für einen Abfluss von rund 800 l/s eine Geschiebetransportrate von rund 0.024 kg/s, 23.8 g/s oder 2.86 kg/2min. Wie beim Schöttlbach war auch beim Krumeggerbach zum Messzeitpunkt keine starke Trübung mehr vorhanden.

Tabelle 14: Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Sampler am 1. September 2014 beim Querprofil der Brücke Krumeggerbach

Brücke Krumeggerbach													
Datum	1. September 2014												
Uhrzeit	09:50												
Messzeit	2.0 min												
Abstand	0.5 m												
Abfluss	800 l/s												
Bezeichnung	Re. Brücke											Li. Brücke	
	Ende	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	Start
Abstand [m]	6.25	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.65
Wassertiefe [cm]		14.0	27.0	25.0	23.5	22.0	24.0	17.0	11.0	31.0	18.0	10.0	
Messzeit [min]		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Geschiebe [g]		135.9	81.7	60.3	19.4	35.0	30.1	4.9	2.0	45.4	11.6	0.5	

4.1.1.2 Vergleichsberechnung mittels Bed Load Analyzer

Im Anschluss werden die Geschiebetransportraten, die auftretende Schubspannung sowie der kritische Abfluss bei welchem der Geschiebetransport beim Querprofil der Brücke Hintereggertor einsetzt angegeben.

Bei den Querprofilen der Brücke Schöttlkapelle und Brücke Krumeggerbach ist der charakteristische Korndurchmesser d_{90} im Vergleich zur geringen Wassertiefe sehr groß, wodurch nur eine begrenzte Anwendbarkeit bei geringen Abflüssen möglich ist. Demnach wurden vom Programm für den unteren Abflussbereich geringere Transportkapazitäten als beobachtet ausgegeben.

Brücke Hintereggertor

Die kritische Schubspannung, ermittelt nach Meyer-Peter Müller, beträgt für das Querprofil der Brücke Hintereggertor 17.982 N/m^2 . Der kritische Abfluss wird im Simulationsprogramm bei rund $2.80 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht. In Tabelle 15 ist die Transportrate zu verschiedenen Abflüssen angegeben. Für die Berechnung im Bed-Load Analyzer wurde ein Gefälle von 1.83% und ein Rauheitsbeiwert k_{st} von 20 gewählt.

Tabelle 15: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Hintereggertor

Bed Load Analyzer Brücke Hintereggertor		
Q	MPM Sedimentkapazität [kg/s]	Kornschubspannung [N/m ²]
2.00	0.00	15.562
3.00	0.51	19.659
4.00	2.84	23.169
5.00	5.88	26.291
7.50	14.83	32.988
10.00	24.61	38.650
15.00	44.89	48.103
20.00	65.20	55.968
25.00	85.12	62.785
30.00	104.52	68.838
40.00	141.64	79.293
50.00	176.56	88.165
100.00	323.79	119.640

Brücke Schöttlkapelle

Demnach beträgt die kritische Schubspannung nach Meyer-Peter Müller 22.477 N/m². Der kritische Abfluss wird im Simulationsprogramm bei rund 4.20 m³/s erreicht. In Tabelle 16 ist die Transportrate zu verschiedenen Abflüssen angegeben. Für die Berechnung im Bed-Load Analyzer wurde ein Gefälle von 4.10 % und ein Rauheitsbeiwert k_{st} von 10 gewählt.

Tabelle 16: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Schöttlkapelle

Bed Load Analyzer Brücke Schöttlkapelle		
Q	MPM Sediment- kapazität [kg/s]	Kornschubspannung [N/m ²]
3.50	0.00	20.834
4.20	0.03	22.740
5.00	0.77	24.611
7.50	5.34	29.650
10.00	12.30	34.650
15.00	28.26	42.539
20.00	45.71	49.648
25.00	63.45	55.849
30.00	81.15	61.388
40.00	115.89	71.030
50.00	149.39	79.290

Brücke Krumeggerbach

Der Grund warum im Simulationsprogramm der Geschiebetransport erst bei 1 m³/s anläuft, liegt am nahezu 6 m breiten Profilquerschnitt bei der Brücke Krumeggerbach. Im Bachbett selbst fließt das Wasser bei Niedrigwasser in einen Gerinne mit einer Breite von 1 bis 2 m ab, daraus resultieren größere dynamische Kräfte, die den Transportbeginn schon bei geringeren Abflüssen anlaufen lassen. Die Auswertung der Tracersteine am Krumeggerbach in Kapitel 4.1.2.2 zeigt, dass der Transportbeginn schon ab einem Abfluss von 0.2 m³/s einsetzt. Bei einem Abfluss von 0.5 m³/s werden bereits Steine mit bis zu 5 kg transportiert. In folgender Tabelle 17 ist die Transportrate zu verschiedenen Abflüssen angegeben. Die kritische Schubspannung nach Meyer-Peter Müller beträgt 26.973 N/m². Für die Berechnung im Bed-Load Analyzer wurde ein Gefälle von 12.0 % und ein Rauheitsbeiwert k_{st} von 10 gewählt.

Tabelle 17: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Krumeggerbach

Bed Load Analyzer Brücke Krumeggerbach		
Q	MPM Sedimentkapazität [kg/s]	Kornschubspannung [N/m ²]
0.90	0.00	26.377
1.00	0.18	28.037
2.50	15.99	47.341
5.00	51.52	69.548
10.00	124.60	100.612
15.00	193.96	123.651
50.00	572.54	214.178

4.1.2 Bewegungsverhalten der Tracersteine

4.1.2.1 Schöttlbach

Im Schöttlbach befinden sich immer noch Tracersteine aus dem Jahr 2013. Damals wurden insgesamt 53 Steine ausgesetzt. Diese wurden im Jahr 2014 weiter beobachtet. Zudem kommen neue Farbtracersteine, welche etappenweise ausgesetzt wurden. Die ersten 19 Farbtracersteine wurden am 10. April 2014 direkt unter der Brücke Schöttlkapelle ausgesetzt. Dabei handelt es sich um alle 13 Farbtracersteine mit der Beschriftung "4", sowie jene 6 Tracersteine, welche zu Testzwecken verschieden lackiert wurden (Abbildung 61). Die Test-Tracersteine wurden an der Brückenoberkante und jene aus der 4er-Reihe an der Brückenunterkante ausgesetzt. Am 09. Juni 2014 wurden 7 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle weitere 6 Tracersteine der 5er-Reihe ausgesetzt (Abbildung 70). Die letzte Aussetzung von Tracersteinen erfolgte am 06. August 2014. Dabei wurden 7 Tracersteine der 5er-Reihe 6 m flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle ausgesetzt. Zudem wurden 2 weitere Tracersteine der 6er-Reihe, sowie 14 kleine rote Tracersteine etwa 8 m flussabwärts der Brücke ausgesetzt. Bei den kleinen roten Tracersteinen handelt es sich um Gesteinskörner mit einer Masse zwischen 50 und 800 g, welche vor Ort mit rotem Signalspray besprüht und nach dem Trocknen ins Gewässer ausgesetzt wurden. Da der Sommer 2014 hauptsächlich von niedriger Wasserführung im Schöttlbach geprägt war, sollen diese kleinen Tracersteine vor allem Aufschluss über den Geschiebetransport bei geringeren

Abflüssen geben. Die genau Bezeichnung sowie die zurückgelegten Wegstrecken der einzelnen Tracersteine sind im Detail dem Anhang 10.4.1 in tabellarischer Form zu entnehmen. Des Weiteren können die zugehörigen Abflussganglinien ebenfalls dem Anhang 10.4.3 entnommen werden. Im Folgenden werden die Steinbewegungen nach dem Registrierungsdatum gegliedert.

Die graphische Aufbereitung der Bewegungsvorgänge am Schöttlbach erfolgt mittels des Kartenmaterials von Google Earth (Google Earth, 2014).

10. April 2014

Zwischen dem 5. September 2013 und dem 10. April 2014 wurde der größte Abfluss am 8. April 2014 mit 2.94 m³/s registriert (Tabelle 18). Von den ursprünglich 53 ausgesetzten Tracersteinen konnten lediglich 8 Stück wiederaufgefunden werden (Abbildung 68). Dabei handelt es sich vorwiegend um schwere Tracersteine, welche nur eine kurze Wegstrecke zurückgelegt haben. Mit steigender zurückgelegter Wegstrecke sinkt die Wiederauffindwahrscheinlichkeit aufgrund der Überlagerungen im Bachbett sowie der Abrasion der Tracerbeschichtung enorm. So konnten am 5. September 2013 noch 16 Tracersteine registriert werden, wohingegen am 10. April 2014 lediglich 8 Tracersteine erneut aufgenommen werden konnten. Zum massenhaften Verlust der Tracersteine kommt es nach etwa 180 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle. Ab dieser Marke konnte nur noch Farbtracerstein S33 rund 420 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle auf einer Sandbank aufgefunden werden. Die restlichen Tracersteine flussabwärts konnten nicht wieder registriert werden.

Tabelle 18: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 5. September 2013 und dem 10. April 2014

Abflussmessungen (5.09.2013 - 10.04.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
11/10/2013	13:25	0.765	2.80
08/04/2014	22:30	0.781	2.94

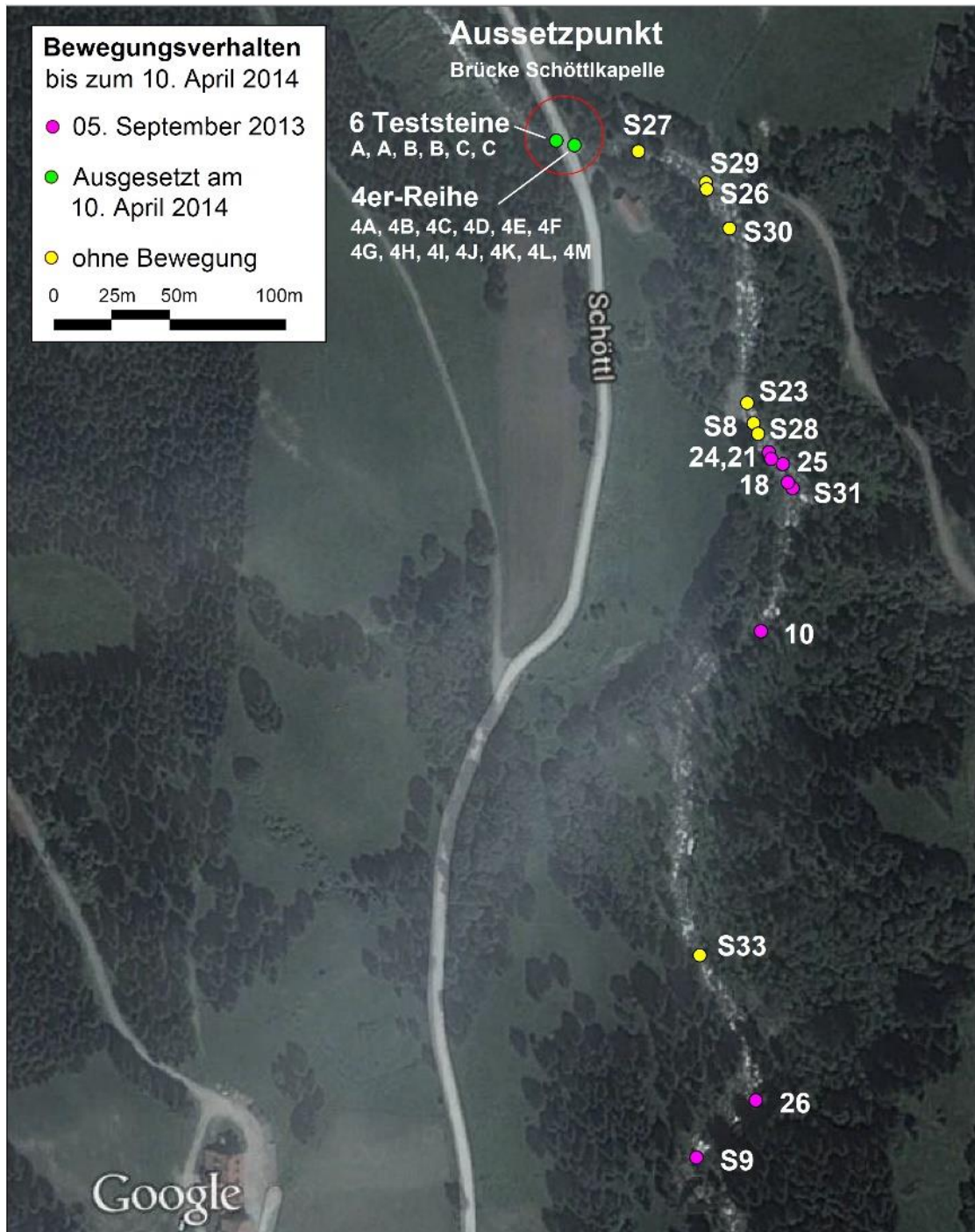


Abbildung 68: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 5. September 2013 und dem 10. April 2014

17. Mai 2014

Am 17. Mai 2014 konnte bei den Tracersteinen aus den Jahren zuvor keine Lageveränderung registriert werden. Zwei Tracersteine 4G und 4L, welche am 10. April 2014 ausgesetzt wurden, sind rund 5 m weit abgedriftet. Der größte

Abfluss für den Zeitraum zwischen dem 10. April und dem 17. Mai betrug 2.61 m³/s (Tabelle 19).

Tabelle 19: Aufzeichnung des höchsten Abflusses zwischen dem 10. April 2014 und dem 17. Mai 2014

Abflussmessungen (10.04.2014 - 17.05.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
11/05/2014	16:20	0.743	2.61

Zur zusätzlichen Kontrolle der zurückgelegten Wegstrecke wurden alle 20 m Markierungspflöcke in die seitliche Uferböschung eingeschlagen (siehe Abbildung 69).



Abbildung 69: Längsprofile zur zusätzlichen Kontrolle beim Auffinden der Tracersteine

9. Juni 2014

Bis zum 17. Mai 2014 haben die Farbtracersteine S30 sowie S28 keine Veränderung erfahren. Zwischen dem 17. Mai und dem 9. Juni wurden diese zwei Steine mit einer Masse von mehr als 16.8 kg bis zu 7 m weit transportiert. Dies ist allen Anschein nach im Zuge des über 78 h konstant hohen Abflusses von bis zu 2.46 m³/s geschehen (Tabelle 20).

Tabelle 20: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 17. Mai 2014 und dem 9. Juni 2014

Abflussmessungen (17.05.2014 - 09.06.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
21/05/2014	19:25	0.699	2.25
23/05/2014	20:05	0.726	2.46
24/05/2014	19:15	0.688	2.16
27/05/2014	18:55	0.698	2.24

Die in Abbildung 70 dargestellten Tracersteine wurden am 9. Juni 2014 etwa 7 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle ausgesetzt. Es handelt sich um sechs Farbtracersteine der 5er-Reihe.

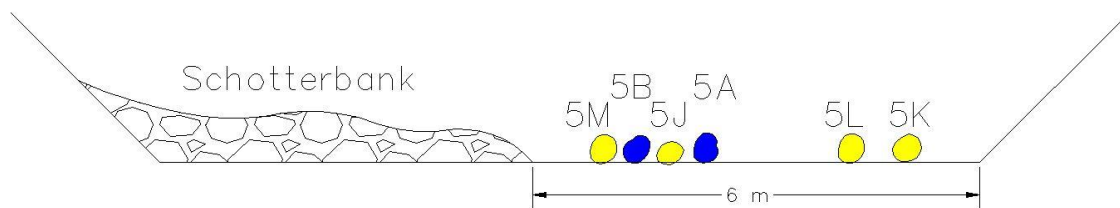


Abbildung 70: Aussetzung von sechs Farbtracersteinen mit der Beschriftung "5" etwa 7 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle

8. Juli 2014

Nach der Begehung vom 8. Juli konnte einzig die Lageveränderung von Farbtracerstein S28 registriert werden (Abbildung 71). Dieser ist bei einem Abfluss von bis zu 2.75 m³/s rund 22 m weit transportiert worden. S28 liegt direkt im Abflussgerinne des Wildbachs und wird ständig überströmt. Der Grund warum sich kleinere bzw. leichtere Tracersteine bei höheren Abflüssen nicht bewegen, liegt darin, dass manche dieser kleineren Tracersteine auf Sandbänken abgelagert wurden und bei einem Abfluss von 3 m³/s erst leicht überströmt werden. Dies gilt zum Beispiel für den Tracerstein S33, welcher rund 420 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle auf einer Sandbank abgelagert wurde. In Tabelle 21 werden die

größten Abflüsse im betrachteten Zeitraum zwischen dem 9. Juni und dem 8. Juli 2014 dargestellt.

Tabelle 21: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 8. Juli 2014

Abflussmessungen (09.06.2014 - 08.07.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
10/06/2014	16:30	0.724	2.45
11/06/2014	16:25	0.759	2.75
30/06/2014	05:05	0.689	2.17

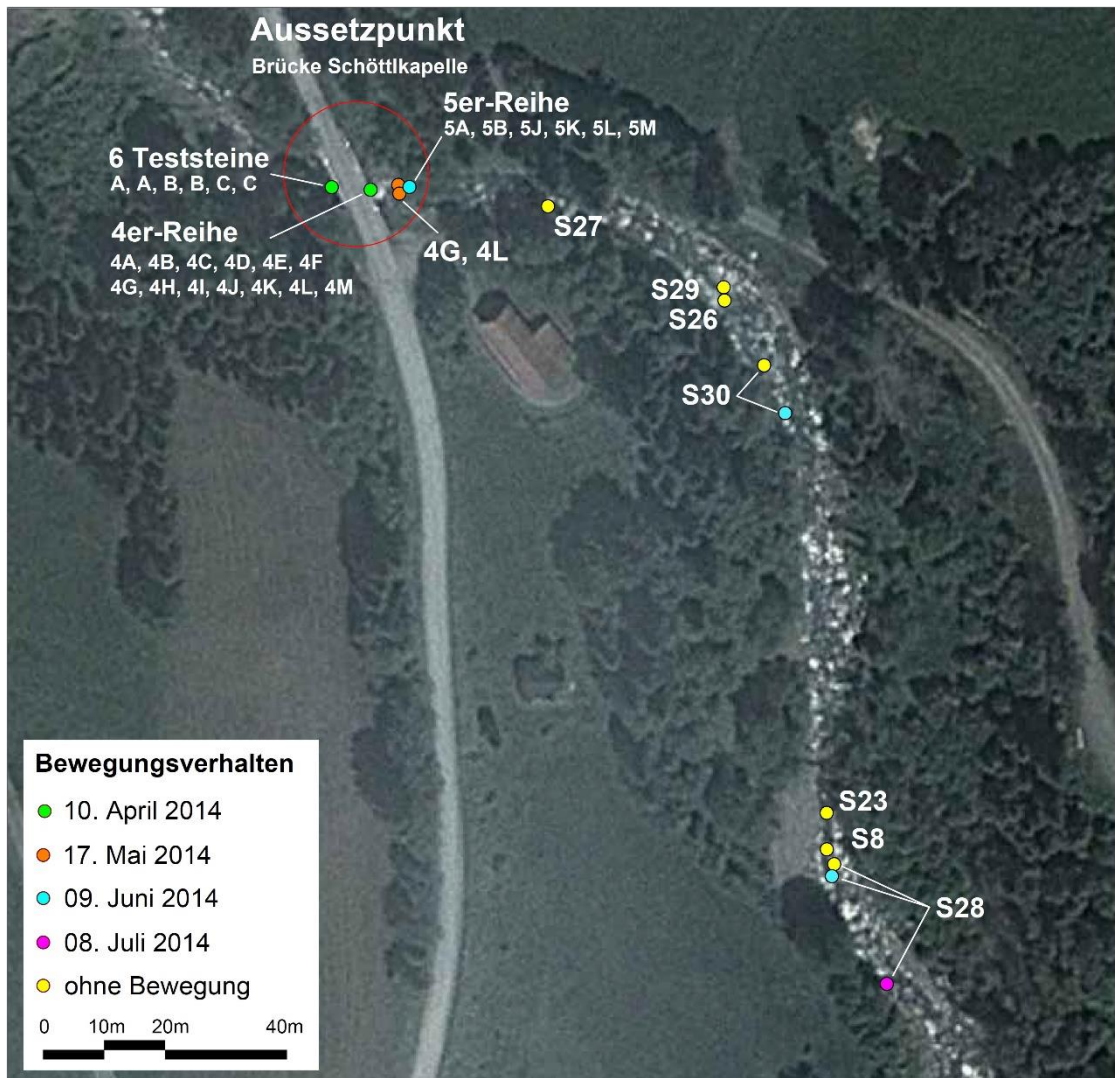


Abbildung 71: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 8. Juli 2014. Farbtracerstein S33 befindet sich unbewegt bei rund 420 m flussabwärts der Brücke.

6. August 2014

Bei den Begehungen am 22. Juli beziehungsweise am 2. August konnte keine Veränderung der Lage festgestellt werden. Am 6. August erfolgte eine erneute Aussetzung von Tracersteinen 6 m flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle (Abbildung 72) sowie 8 m flussabwärts der Brücke (Abbildung 73). Insgesamt wurden am 6. August 23 Farbtracersteine ausgesetzt.

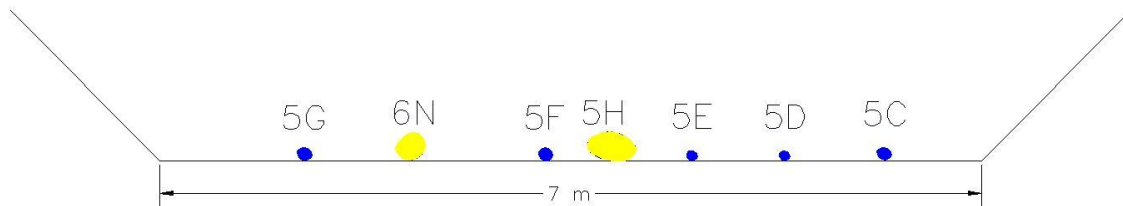


Abbildung 72: Aussetzung von sieben Farbtracersteinen rund 6 m flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle am 6. August 2014

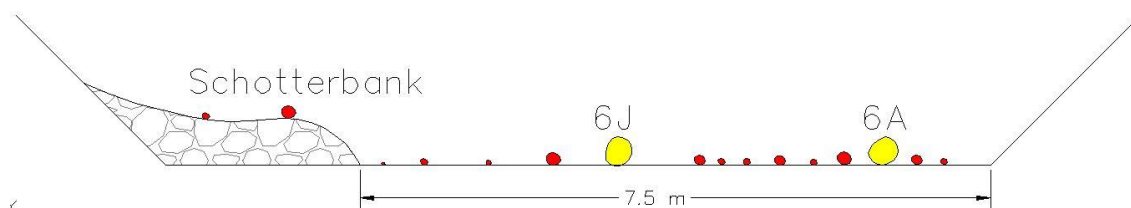


Abbildung 73: Aussetzung von 2 Farbtracersteinen sowie 14 kleinen roten Steinen rund 8 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle am 6. August 2014

Nach den in Tabelle 22 aufgelisteten höchsten Abflüssen konnten die im Jahr 2013 ausgesetzten Farbtracersteine S8, S23 sowie S33 nicht wieder aufgefunden werden. Allem Anschein nach ist es zu einer Sohlveränderung im Bereich der Sandbank rund 180 m flussabwärts der Brücke gekommen. Es kam jedoch zu keiner wesentlichen Lageveränderung der im Jahr 2014 ausgesetzten Tracersteine. Anzumerken ist, dass die Farbtracersteine unter der Brücke Schöttlkapelle in die Sohle eingebettet und teilweise überlagert werden, was wiederum einer Sohlerhöhung entspricht. Das Bewegungsverhalten der Tracersteine ist in Abbildung 74 ersichtlich.

Tabelle 22: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 8. Juli 2014 und dem 6. August 2014

Abflussmessungen (08.07.2014 - 06.08.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
20/07/2014	19:05	0.832	3.43
31/07/2014	16:15	0.668	2.01
02/08/2014	01:00	0.71	2.33

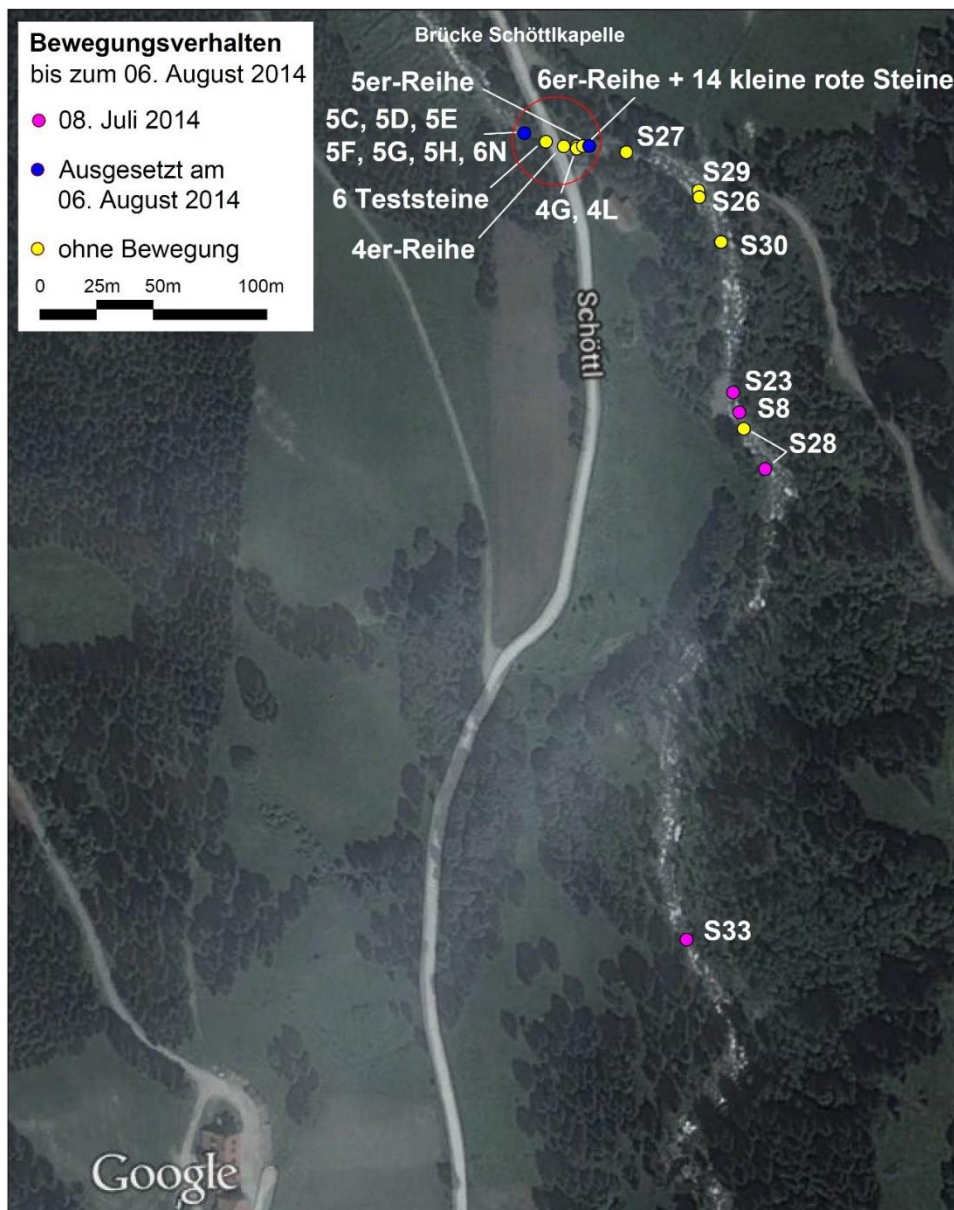


Abbildung 74: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 8. Juli 2014 und dem 6. August 2014. Die Farbtracersteine S8, S23 sowie S33 konnten am 6. August nicht wieder aufgefunden werden. S28 wird seine Lage bis zum 10. September nicht mehr verändern.

17. August 2014

Erstmals im Jahr 2014 konnte nach einem maximalen Abfluss von 3.85 m³/s (Tabelle 23) eine erhebliche Veränderung der Lage der Tracersteine registriert werden. Für zwei Stunden herrschte am 13. August 2014 ein Abfluss von mehr als 3 m³/s vor. Der Abfluss über 2 m³/s hielt über einen Zeitraum von 11 h an. Die zugehörigen Transportstrecken werden in Abbildung 75 dargestellt. Die weiteste Strecke legte der Tracerstein 1x (0.80 kg) mit 55 m zurück. Anzumerken ist ebenfalls, das Farbtracerstein 4B mit einer Masse von 8.05 kg eine Strecke von rund 27 m zurückgelegt hatte (siehe Anhang 10.4.1).

Tabelle 23: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 6. August 2014 und dem 17. August 2014

Abflussmessungen (06.08.2014 - 17.08.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
13/08/2014	01:50	0.77	2.84
13/08/2014	18:35	0.685	2.14
13/08/2014	19:20	0.872	3.85
14/08/2014	06:10	0.67	2.03



Abbildung 75: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 6. August 2014 und dem 17. August 2014

25. August 2014

Die kleinen roten Steine, welche provisorisch mit Markierungsspray besprüht und ausgesetzt wurden, drifteten schon bei geringeren Abflüssen von $1.59 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 24) ab, und durchwanderten vor allem den Außenbogen etwa 50 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle (in Abbildung 76 z.B. Tracerstein 10x, welcher rund 52 m zurücklegte), ehe sie wieder quer über das Bachbett ans rechte Ufer transportiert und teilweise abgelagert wurden (vergl. auch Abbildung 3).

Tabelle 24: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014

Abflussmessungen (17.08.2014 - 25.08.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]
21/08/2014	06:10	0.548	1.24
23/08/2014	17:55	0.606	1.59

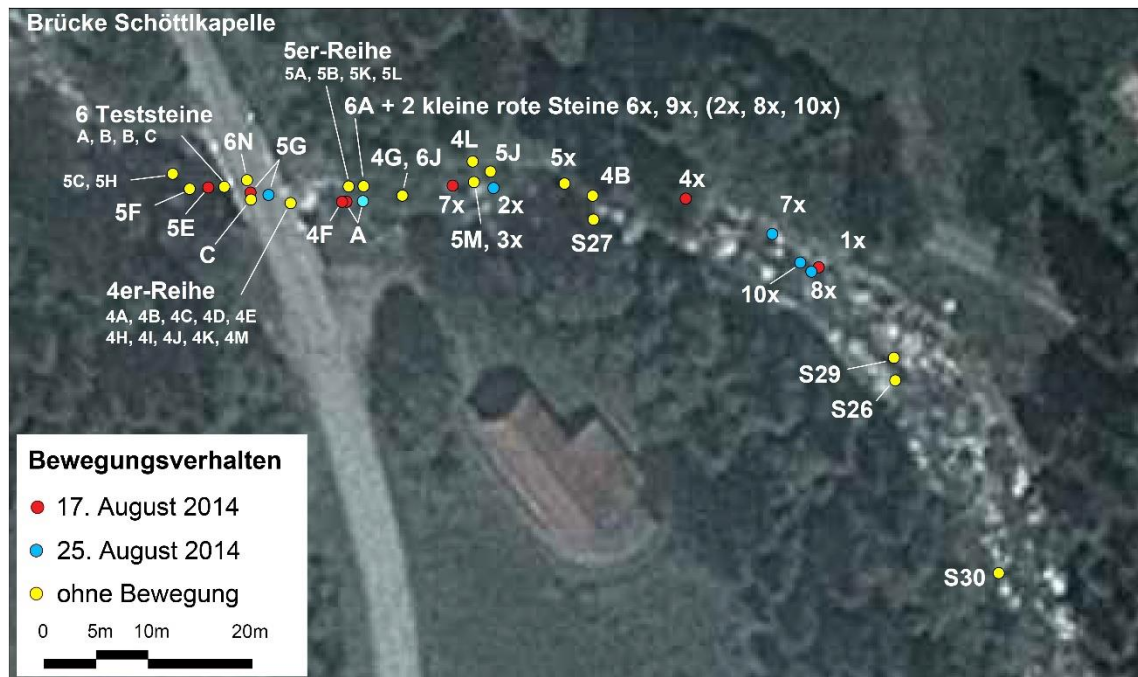


Abbildung 76: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014

10. September 2014

Im Zuge der letzten Begehung, welche in diese Arbeit einfließt, konnten noch zahlreiche Bewegungsvorgänge der Tracersteine registriert werden. Der maximale Abfluss zwischen dem 25. August und dem 10. September wurde am 1. September mit $3.37 \text{ m}^3/\text{s}$ registriert. Am 1. September hielt sich der Abfluss an der Brücke Schöttlkapelle für etwa 10 h über $3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 25). Abbildung 77 zeigt das Bewegungsverhalten der Tracersteine für den betrachteten Zeitraum zwischen dem 25. August und dem 10. September 2014. Die zurückgelegten Wegstrecken der Tracersteine sind im Anhang 10.4.1 tabellarisch ersichtlich.

Tabelle 25: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014

Abflussmessungen (25.08.2014 - 10.09.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]
01/09/2014	01:15	0.826	3.37
01/09/2014	08:10	0.824	3.35
02/09/2014	20:25	0.818	3.29

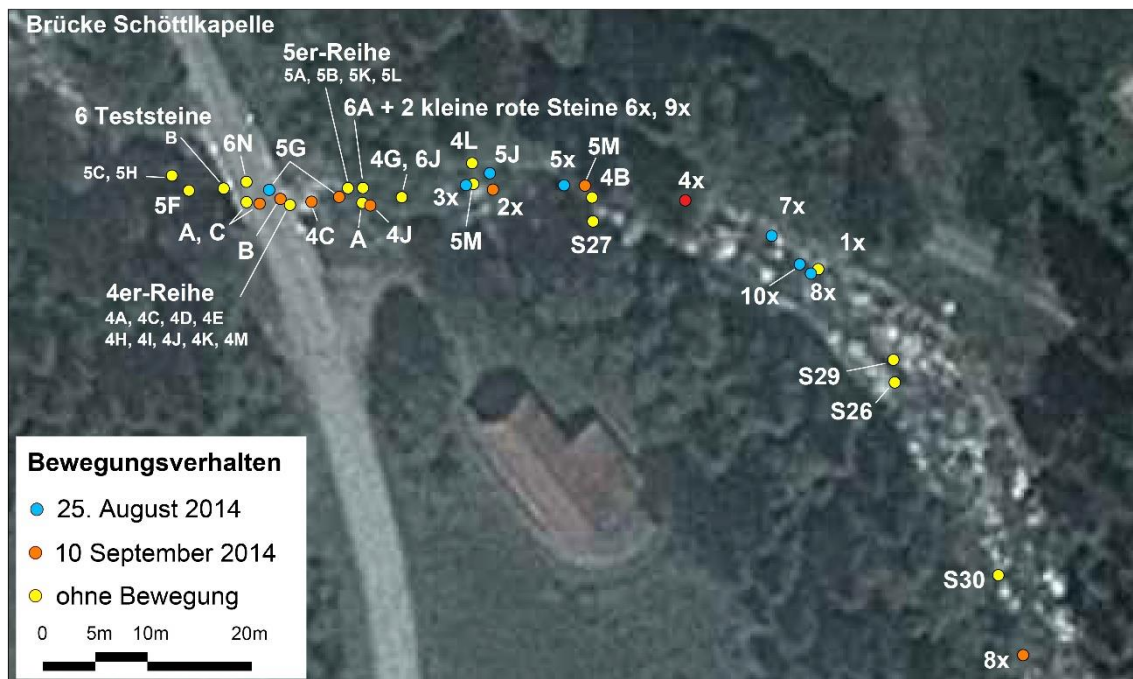


Abbildung 77: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014

Wiederauffindwahrscheinlichkeit

Von den ursprünglich 48 ausgesetzten Farbtracersteinen im Jahr 2014 konnten bei der letzten Begehung 34 Stück wiederaufgefunden werden. Dabei ist anzumerken, dass es sich bei 9 verschollenen Tracersteinen um die kleinen roten Steine handelt (Abbildung 79). Von den im Labor präparierten Farbtracersteinen konnten 5 Stück nicht wiedergefunden werden. Farbtracerstein 4F (0.7 kg) blieb nach dem 17. August unauffindbar. Es reichen somit schon geringe Abflussmengen aus, um Steine mit weniger als 1 kg deutlich zu bewegen. Gut erkennbar wird dies in Abbildung 76, wo bei einem maximalen Abfluss von 1.59 m³/s die kleineren Farbtracersteine (z.B. 8x) bis zu 54 m weit transportiert wurden. Abbildung 78 stellt die sinkende Wiederauffindwahrscheinlichkeit der Tracersteine, welche beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle (2012 / 2013 in grün sowie 2014 in blau) ausgesetzt wurden, dar.

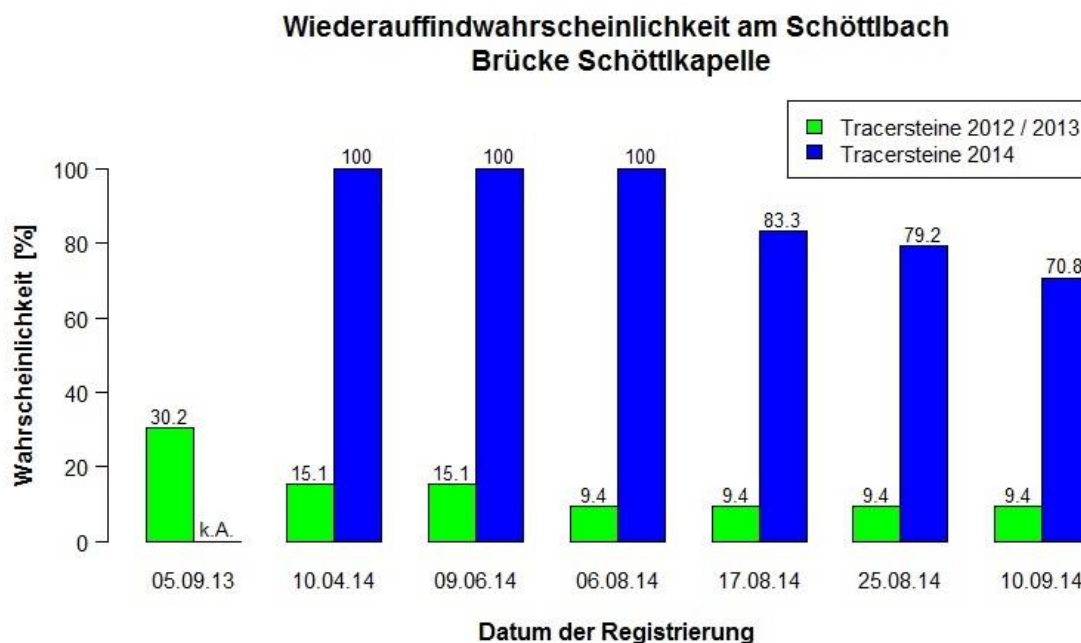


Abbildung 78: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der ausgesetzten Tracersteine im Bereich der Brücke Schöttlkapelle

Wie in Abbildung 79 ersichtlich, nimmt die Wiederauffindwahrscheinlichkeit von Tracersteinen mit einer Masse von weniger als 1 kg schon bei normalen Abflüssen sehr rasch ab.

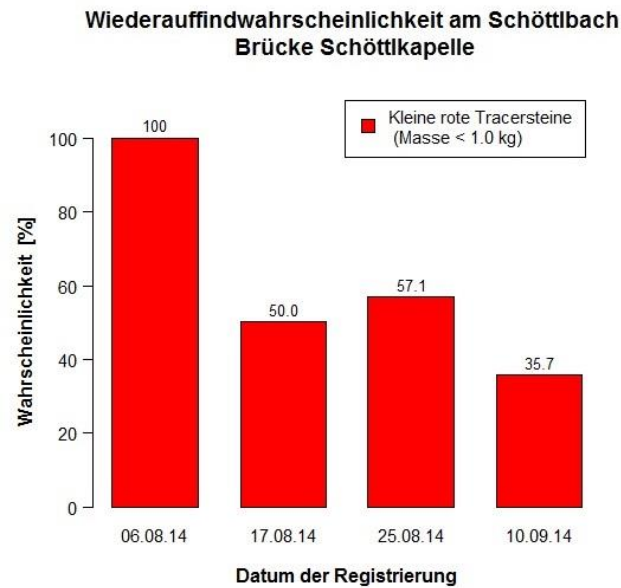


Abbildung 79: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der kleinen roten Tracersteine mit einer Masse von weniger als 1 kg

Alles in allem wurden in den Jahren 2012, 2013 und 2014 exakt 101 Farbtracersteine ausgesetzt, von denen am 10. September 2014 39 Stück wieder aufgefunden werden konnten. Dies entspricht einem Wahrscheinlichkeitswert von 38.6 %. Abbildung 80 verdeutlicht den Einfluss der wirkenden Abrasionskräfte im Schöttlbach auf die Wiederauffindwahrscheinlichkeit.



Abbildung 80: Abrasion im Schöttlbach nach einem bzw. vier Monaten

Da es sich im betrachteten Einzugsgebiet um ein sehr quarzhaltiges und somit auch härteres Material (siehe Kapitel 2.2.2) handelt, stellt die Abrasivität ein großes Problem dar. Die Farbtracersteine werden auf der Wasserseite vom vorbeitreibenden Quarz-Sand regelrecht geschliffen, und verlieren langsam ihre Markierungsfarbe. Auf der Unterseite, jene Seite, welche durch die Sohle geschützt

wird, sind lediglich leichte Trübungen der Markierungsfarbe zu erkennen. Abrasion, Algenbewuchs sowie Überlagerung sind die häufigsten Gründe, welche zu Verlusten von Tracersteinen führen (Abbildung 81). In wenigen Fällen brechen die Tracersteine aufgrund der im Bachbett wirkenden Kräfte und können nicht mehr ausreichend charakterisiert werden.



*Abbildung 81: Einflussfaktoren, welche die Wiederauffindung im Fließgewässer erschweren
 Li. oben: Algenbewuchs, Mitte oben: Abrasion, Re. oben: Überlagerung/Einbettung in die Sohle
 Li. unten: Einbettung in die Sohle sowie Re. unten: Bruch aufgrund der wirkenden Kräfte*

Transportdistanz

Im Anschluss wird kurz auf die Transportdistanz, welche bei zwei verschiedenen Abflüssen von den Tracersteinen zurückgelegt wurde, eingegangen. Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen die Distanzen der unterschiedlich schweren Tracersteine, welche bei einem Abfluss von 1.59 m³/s bzw. bei 3.85 m³/s zurückgelegt wurden.

**Transportdistanz am Schöttlbach
bei einem Durchfluss von 1,59 [m³/s]**

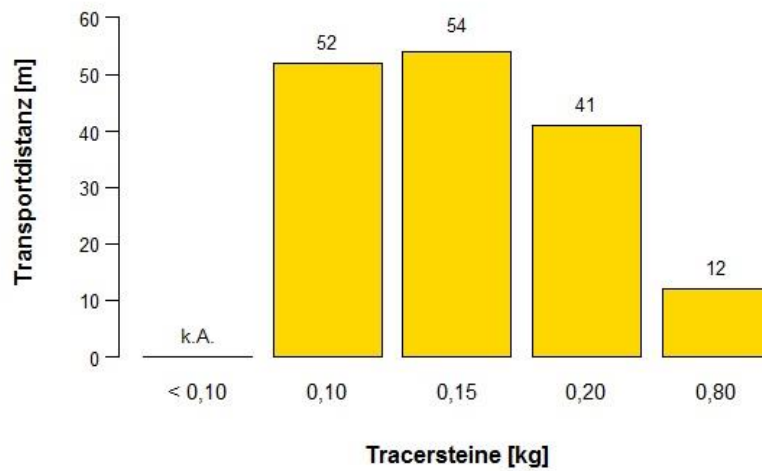


Abbildung 82: Transportdistanz, welche Tracersteine mit einer Masse von weniger als 1.0 kg bei einem maximalen Abfluss von 1.59 m³/s am 23. August 2014 zurückgelegt haben

**Transportdistanz am Schöttlbach
bei einem Durchfluss von 3,85 [m³/s]**

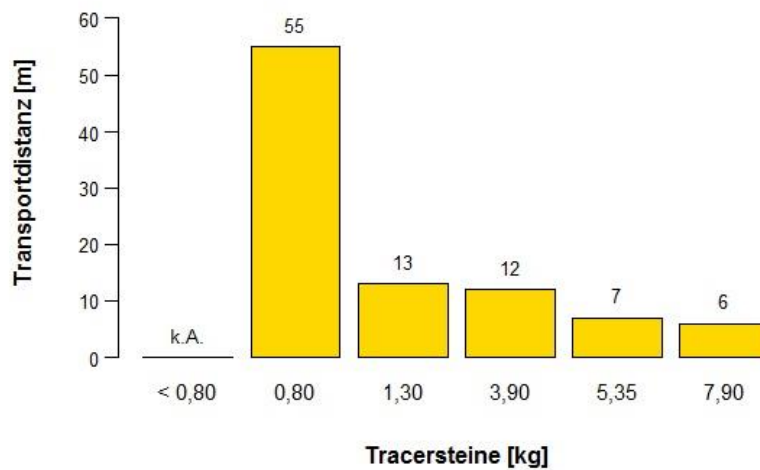


Abbildung 83: Transportdistanz, welche die Tracersteine bei einem maximalen Abfluss von 3.85 m³/s am 13 August 2014 zurückgelegt haben

4.1.2.2 *Krumeggerbach*

In diesem Kapitel wird das Bewegungsverhalten der im Jahr 2012 und 2013 ausgesetzten Farbtracersteine an der Station "Brücke Krumeggerbach" dargestellt. Um einen schlüssigen Überblick zu erlangen, schließt diese Arbeit direkt an die Arbeit von Barbas (2014) an. Die ausgesetzten Tracersteine wurden in regelmäßigen Abständen und speziell nach größeren Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet aufgesucht und registriert. Die zurückgelegte Transportdistanz der Tracersteine kann dem Anhang 10.4.2 tabellarisch entnommen werden.

In den Jahren 2012 und 2013 wurden insgesamt 27 Tracersteine, von welchen 10 Radiotelemetrietracersteine und die restlichen 17 Farbtracersteine darstellen, direkt unter der Brücke Krumeggerbach ausgesetzt (Barbas, 2014).

7. Mai 2014

Von den ursprünglich 27 ausgesetzten Steinen konnten am 7. Mai 2014 bei der erstmaligen Aufnahme im laufenden Jahr 8 Farbtracersteine sowie 8 Radiotelemetrietracersteine registriert werden. Zusätzlich konnten zahlreiche Trümmerstücke von Farbtracersteinen gefunden, jedoch nicht ausreichend charakterisiert werden. Abbildung 84 zeigt die Lage der am 7. Mai 2014 aufgenommenen Tracersteine im Vergleich zur letzten Aufnahme vom 17. Oktober 2013. Zu erkennen ist, dass sich einige Steine (K4, 1, 2, 7, 11,12 und 13) seit der letzten Aufnahme im Herbst 2013 bewegt hatten. Die Tracersteine K7, K16, K17 sowie 8 konnten nicht wieder aufgefunden werden. Grund dafür könnte ein Hochwasserereignis am 30. April 2014 sein, als gegen 20:55 Uhr ein Abfluss von rund 2.5 m³/s registriert wurde (Tabelle 26). Die weiteste Strecke legte Radiotelemetrietracerstein 7 mit rund 33 m zurück. Der schwerste Tracerstein, welcher bei diesem Abfluss rund 9 m weit transportiert wurde, weist eine Masse von 5.55 kg (Radiotelemetrietracerstein 13) auf.

Tabelle 26: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 17. Oktober 2013 bis zum 17. Mai 2014

Abflussmessungen (17.10.2013 - 17.05.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
30/04/2014	20:45	0.194	1.03
30/04/2014	20:50	0.449	4.82
30/04/2014	20:55	0.311	2.45
30/04/2014	21:00	0.278	1.99
11/05/2014	17:15	0.184	0.933

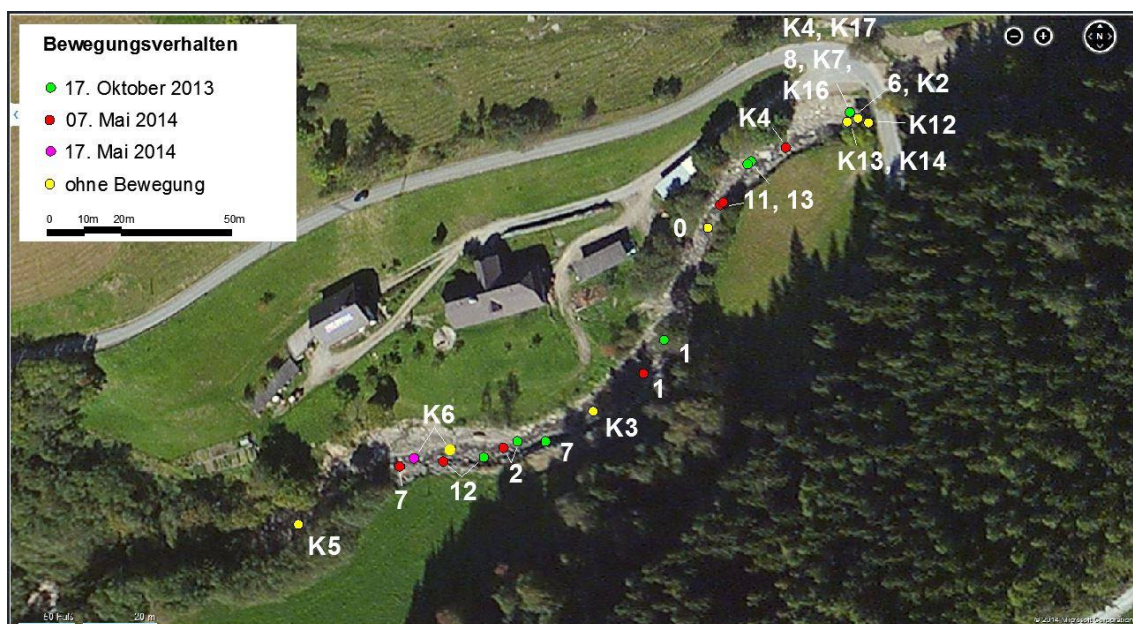


Abbildung 84: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. Oktober 2013 und dem 7. Mai 2014, und der zusätzlichen Aufnahme vom 17. Mai 2014

17. Mai 2014

Bei der Begehung am 17. Mai konnten keine großen Auffälligkeiten festgestellt werden. Einzig der Farbtracerstein K6, dargestellt in Abbildung 84 mit der Farbe magenta, wurde mit einer Masse von 1.60 kg rund 11 m weit transportiert.

Zum größten Abflussereignis am Krumegeggerbach zwischen dem 7. und dem 17. Mai 2014 kam es am 11. Mai mit einem Abfluss von 933 l/s (Tabelle 26).

9. Juni 2014

Am 9. Juni fand eine Kontrollbegehung statt, bei welcher Bewegungen von drei Tracersteinen registriert werden konnten. Dabei handelt es sich um Radiotelemetrietracerstein 0, welcher mit seiner Masse von 2.40 kg rund 6 m weit transportiert wurde. Radiotelemetrietracerstein 13 (5.55 kg), welcher rund 5 m weit transportiert wurde sowie Farbtracerstein K6 (1.60 kg), welcher rund 3 m weit abgedriftet ist. Größere Abflüsse im Zeitraum zwischen dem 17. Mai und dem 9. Juni sind in Tabelle 27 aufgelistet. Der Farbtracerstein K4 sowie Radiotelemetrietracerstein 1 konnten nicht mehr aufgefunden werden. Das Bewegungsverhalten der Tracersteine für den betrachteten Zeitraum ist in Abbildung 85 graphisch dargestellt.

Tabelle 27: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 17. Mai 2014 bis zum 9. Juni 2014

Abflussmessungen (17.05.2014 - 09.06.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
23/05/2014	17:25	0.120	0.43
26/05/2014	15:55	0.139	0.56
27/05/2014	17:40	0.13	0.49

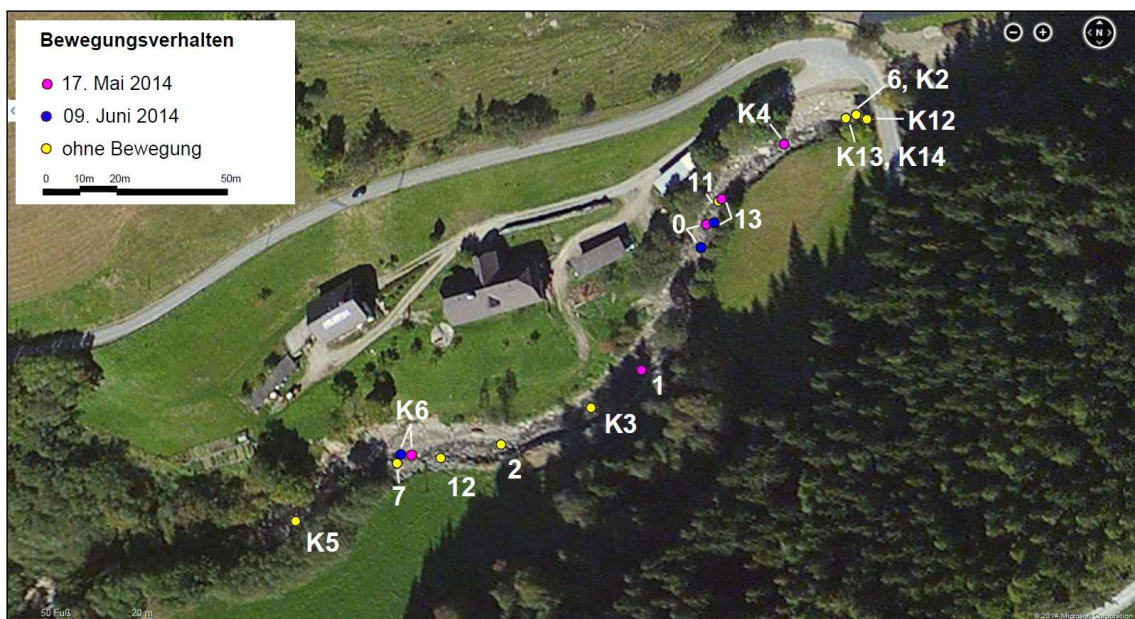


Abbildung 85: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. Mai 2014 und dem 9. Juni 2014

22. Juli 2014

Erstmals konnte der Farbtracerstein K17 registriert werden. Wie sich jedoch später herausstellte, blieb es bei dieser einmaligen Registrierung, da dieser Tracerstein beim nächsten Unwetter schon wieder abtransportiert bzw. überlagert wurde. Am 20. Juli konnte, wie in Tabelle 28 ersichtlich, ein Abfluss von 2.27 m³/s aufgezeichnet werden. Dieser Abfluss stieg innerhalb von 5 min von 0.1 m³/s auf 2.3 m³/s an. Grund dafür dürfte das Ausleitungskraftwerk I am Krumeeggerbach gewesen sein, welches im Hochwasserfall vom Netz geht, und somit das gesamte Wasser über das Bachbett des Krumeeggerbaches abgeleitet wird. Der Farbtracerstein K4 (2.15 kg) taucht rund 27 m flussabwärts jener Stelle, wo er am 17. Mai das letzte Mal registriert wurde, wieder auf (Abbildung 86).

Tabelle 28: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 9. Juni 2014 bis zum 22. Juli 2014

Abflussmessungen (09.06.2013 - 22.07.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
08/07/2014	22:30	0.147	0.62
20/07/2014	18:50	0.054	0.10
20/07/2014	18:55	0.055	0.10
20/07/2014	19:00	0.298	2.27
20/07/2014	18:05	0.247	1.60

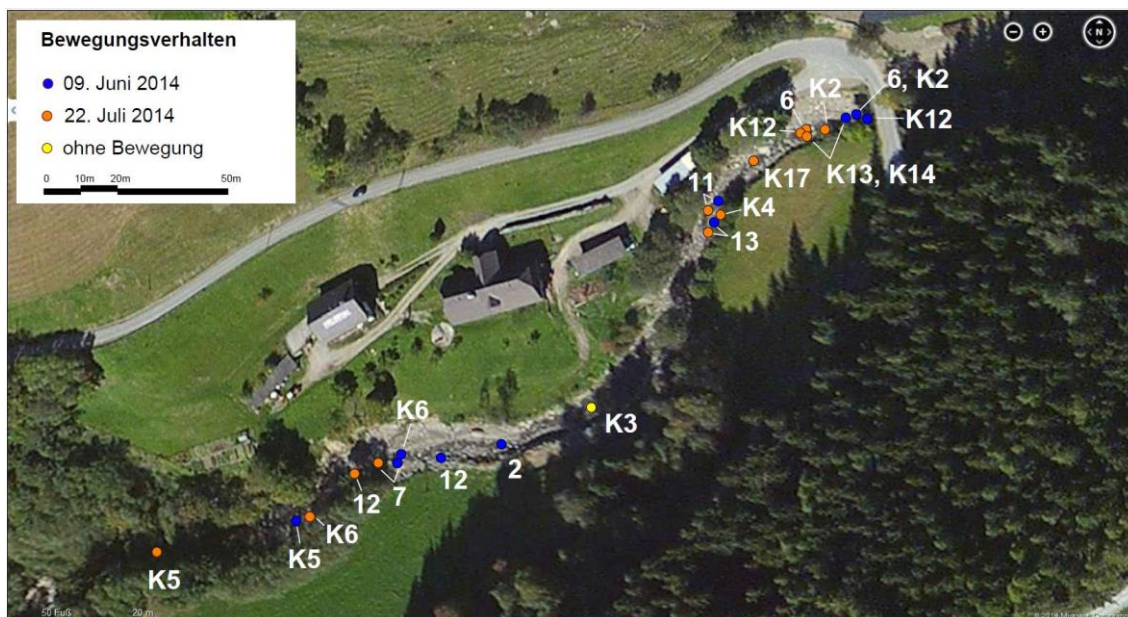


Abbildung 86: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 22. Juli 2014

17. August 2014

Laut den Aufzeichnungen herrschte am 12. August über eine Dauer von 2.5 h ein Abfluss von deutlich mehr als 2.5 m³/s. Wie in Tabelle 29 dargestellt wurde ein Höchstabfluss von 5.36 m³/s erreicht. Am 9. August wurde der höchste Abfluss gegen 19:55 Uhr mit 3.7 m³/s registriert. Bei diesen zwei Hochwasserereignissen wurden die Steine K3, K4, K5, K6, 7, 11, 12 und 13 abtransportiert bzw. überlagert und konnten somit am 17. August bei der Begehung nicht wieder aufgefunden werden. Der Radiotelemetrietracerstein 8 tauchte 10 m flussabwärts der Brücke wieder auf. Der Farbtracerstein K15 ist rund 82 m flussabwärts der Brücke wieder zum Vorschein gekommen. Des Weiteren wurde der Farbtracerstein K2 mit einer Masse von 6.80 kg rund 127 m weit und der Radiotelemetrietracerstein 6 mit einer Masse von 8.75 kg rund 98 m weit transportiert. Anzumerken ist, dass lediglich noch 7 Tracersteine zu registrieren sind. Dargestellt werden diese in Abbildung 87, (K2, K13, K14, K15, 1, 6 und 8) in türkis. Es wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Tracersteine mit den zurückgelegten Wegstrecken im Anhang 10.4.2 eingesehen werden können.

Tabelle 29: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 22. Juli 2014 bis zum 17. August 2014

Abflussmessungen (22.07.2014 - 17.08.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
09/08/2014	19:55	0.390	3.72
12/08/2014	23:20	0.356	3.14
13/08/2014	00:50	0.476	5.36
13/08/2014	01:40	0.299	2.28

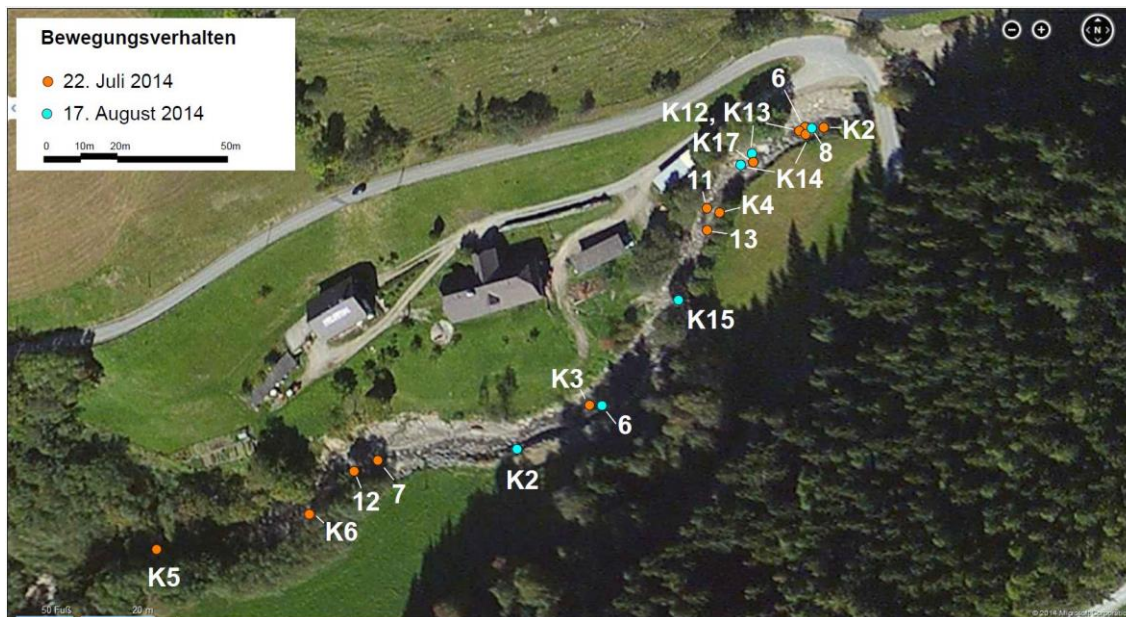


Abbildung 87: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 22. Juli 2014 und dem 17. August 2014

25. August 2014

Nachdem in den Nachrichten von größeren Niederschlagsmengen im betrachteten Einzugsgebiet berichtet wurde, wurde eine zusätzliche Aufnahme am 25. August eingelegt. Dabei stellte sich heraus, dass sich bereits bei einem Abfluss von $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 30) Tracersteine mit bis zu 4.75 kg bewegen. Der Farbtracerstein K15 (4.35 kg) legte eine Distanz von 15 m zurück, wohingegen der Radiotelemetrietracerstein 8 (4.75 kg) rund 25 m weit transportiert wurde (Abbildung 88). An dieser Stelle wird auf die "runde" Geometrie dieser beiden Tracersteine hingewiesen.

Erstmals nach dem 17. Mai 2014 konnte der Radiotelemetrietracerstein 1 wieder registriert werden. Bei diesem Stein war keine grüne Farbe mehr ersichtlich. Lediglich der weiße Haftvermittler als ursprüngliche Unterschicht war noch gut erhalten.

Tabelle 30: Aufzeichnung des höchsten Abflusses vom 17. August 2014 bis zum 25. August 2014

Abflussmessungen (17.08.2014 - 25.08.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]
21/08/2014	04:35	0.121	0.43

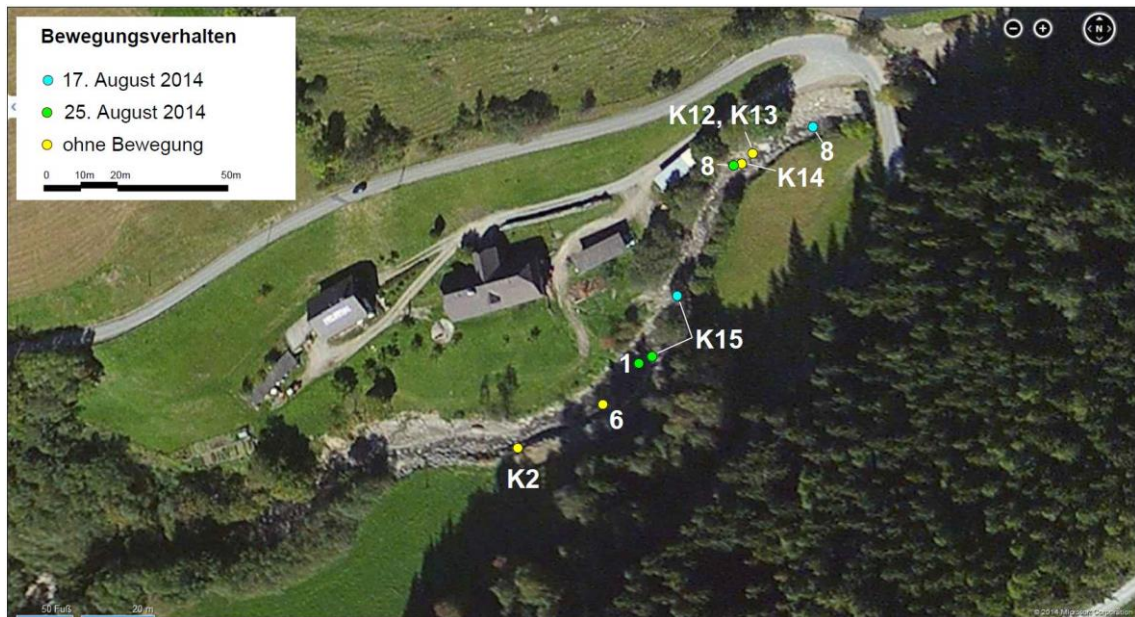


Abbildung 88: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014

1. September 2014

Aus dem linken Geschiebefangkorb unter der Brücke Krumeggerbach konnten 35.5 kg transportiertes Geschiebe entnommen werden (siehe Anhang 10.3.1). Es ist von einem weitaus größeren Geschiebemengen auszugehen, da der Geschiebefangkorb voll und nicht weiter aufnahmefähig war. Die größten Gesteinspartikel im Geschiebefangkorb wiesen eine Masse von bis zu 3.45 kg auf. Eine detaillierte Gesteinscharakterisierung der größten Partikel welche aufgefangen wurden kann im Anhang 10.3.1 eingesehen werden.

Aufgrund des Abflusses von rund 830 l/s konnte keine Aufnahme der Tracersteine erfolgen.

10. September 2014

Die letzte Registrierung der Tracersteine erfolgte am 10. September 2014. Der Abfluss lag seit dem 1. September nahezu konstant bei 0.40 m³/s. In Tabelle 31 kann der Spitzenabfluss von 2.55 m³/s eingesehen werden. Erneut stieg der Abfluss binnen weniger Minuten rasant an, was wiederum auf die Abschaltung des Ausleitungskraftwerks I am Krumeggerbach zurückgeführt wird. Der Radiotele-

metrietracerstein 1 war erneut unauffindbar. Zudem wurde als zweiter Tracerstein der Farbtracerstein K2 rund 37 m weit transportiert. Bei den verbleibenden sechs Tracersteinen konnte keine Veränderung der Lage festgestellt werden (siehe Abbildung 89).

Tabelle 31: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 25. August 2014 bis zum 10. September 2014

Abflussmessungen (25.08.2014 - 10.09.2014)			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m ³ /s]
31/08/2014	23:25	0.140	0.57
31/08/2014	23:30	0.318	2.55
31/08/2014	23:35	0.252	1.67

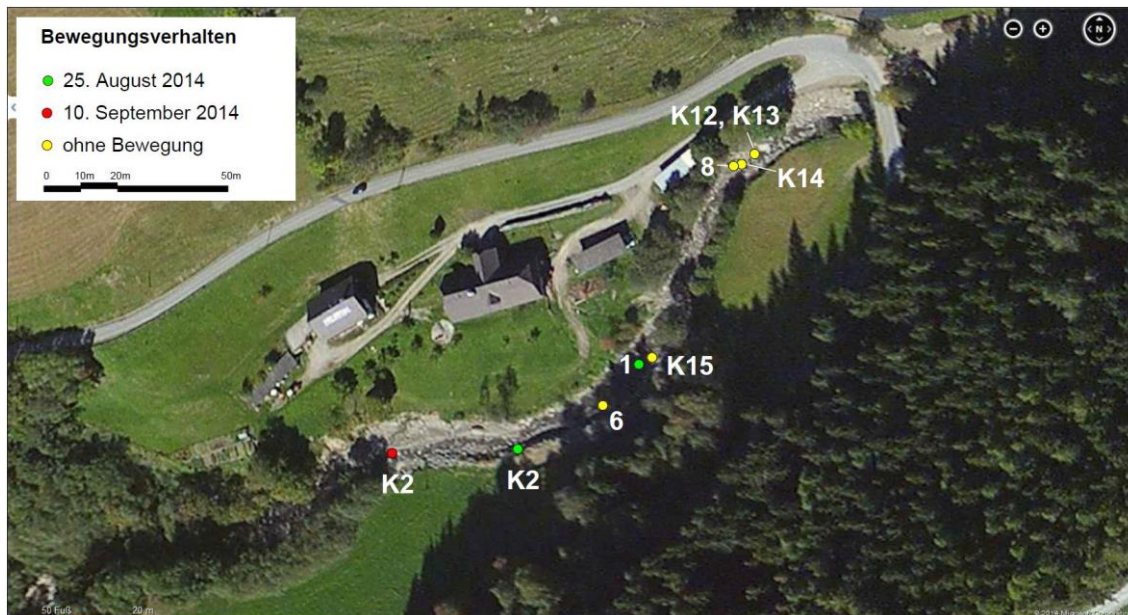


Abbildung 89: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014

Transportbeginn

Aus dem Bewegungsverhalten über die verschiedenen Zeiträume hinweg kann im Zusammenhang mit den vorherrschenden Höchstabflüssen auf den Transportbeginn geschlossen werden. Für den ermittelten Transportbeginn im Jahr 2014 kann von den Werten in Abbildung 90 ausgegangen werden. Demnach werden bereits ab einem Abfluss von 430 l/s Steine mit bis zu 5 kg bewegt und mit der Strömung abtransportiert. Ab einem Abfluss von 2.5 m³/s werden Steine mit

einer Masse jenseits der 25 kg bewegt. Für Gesteinspartikel mit einer Masse von weniger als einem Kilogramm kann aufgrund des hohen Gefälles des Krumegebaches keine Aussage getroffen werden.

Transportbeginn am Krumegebach

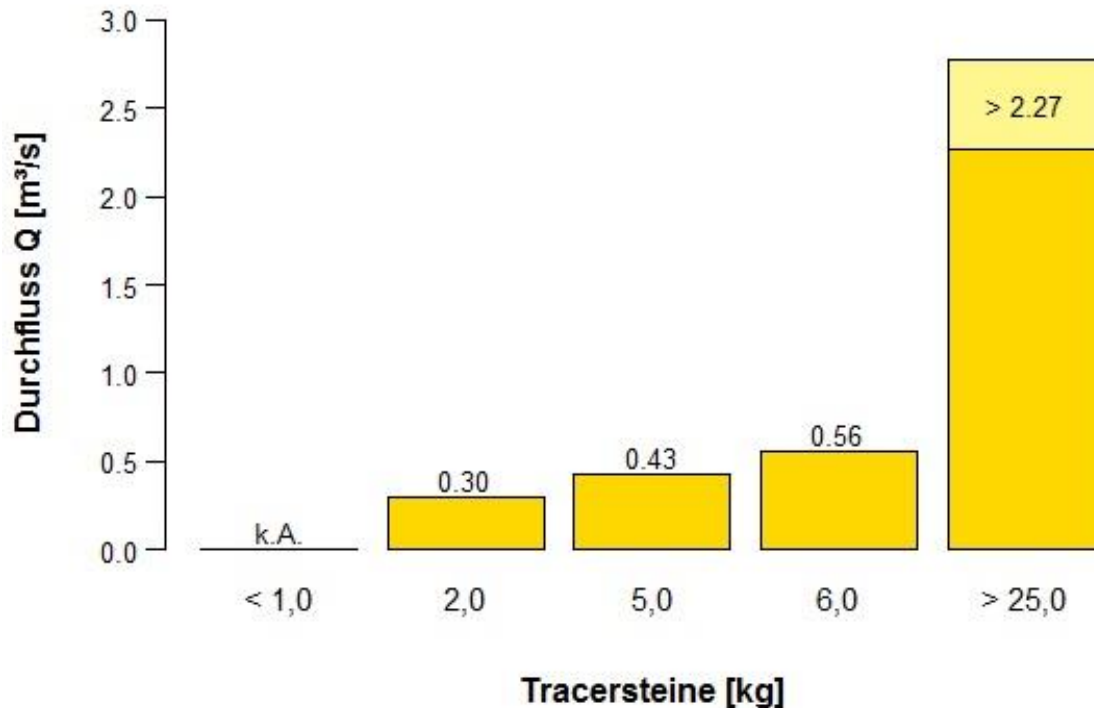


Abbildung 90: Transportbeginn am Krumegebach, ermittelt aus dem Bewegungsverhalten der Tracersteine im Jahr 2014

Transportdistanz

Der Transportweg für den maximal aufgezeichneten Hochwasserfall ist in Abbildung 91 ersichtlich. Demnach hat der Farbtracerstein K2 mit einer Masse von rund 7 kg eine Distanz von 127 m zurückgelegt. Der Radiotelemetrietracerstein 8 mit einer Masse von rund 9 kg legte eine Distanz von 98 m zurück und Farbtracerstein K12 (23.6 kg) legte rund 25 m zurück. Es wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Tracersteine mit den zurückgelegten Wegstrecken im Anhang 10.4.2 eingesehen werden können.

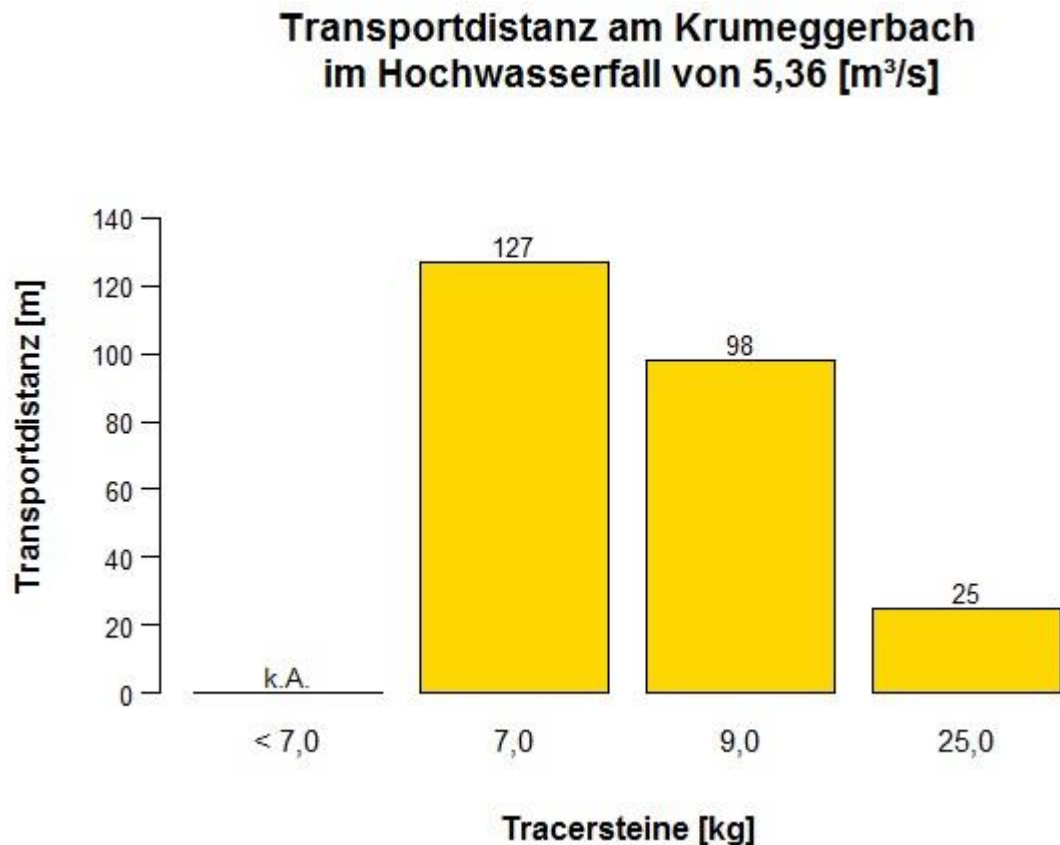


Abbildung 91: Transportdistanz am Krumeggerbach im Hochwasserfall von 5.36 [m³/s]

Wiederauffindwahrscheinlichkeit

Die Wiederauffindbarkeit sinkt mit fortschreitender Zeit, da die Tracersteine aufgrund der im Fließgewässer wirkenden Kräfte rasch an Farbe verlieren beziehungsweise abtransportiert und überlagert werden. In Abbildung 92 wird der Verlauf der Auffindwahrscheinlichkeit der einzelnen Tracersteine graphisch dargestellt. Abbildung 93 zeigt die Gesamtauswertung aller Tracersteine zusammen. Für die Auffindwahrscheinlichkeit ist eine klar fallende Tendenz feststellbar.

Wiederauffindwahrscheinlichkeit am Krumeggerbach

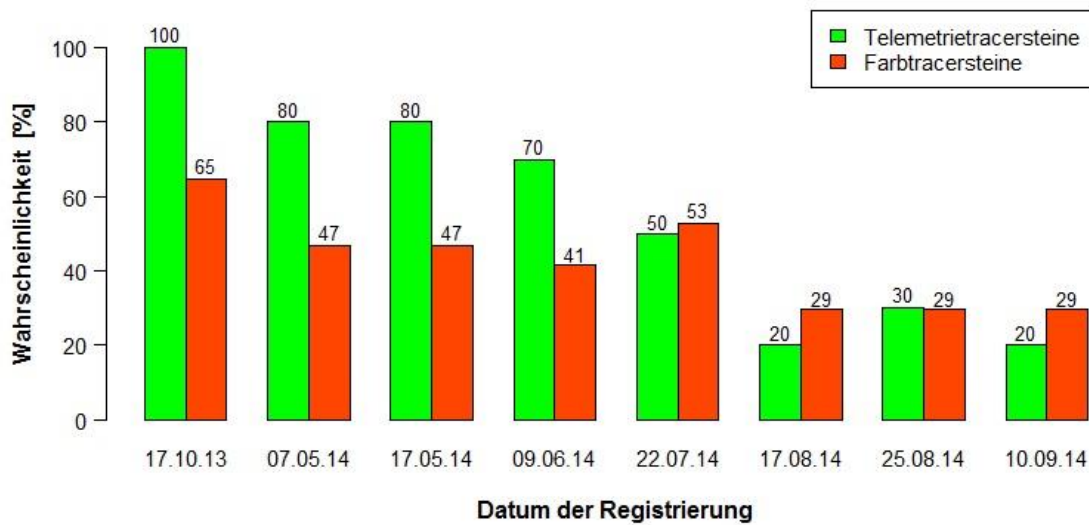


Abbildung 92: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der Farb- und Radiotelemetrietracersteine am Krumeggerbach

Wiederauffindwahrscheinlichkeit am Krumeggerbach

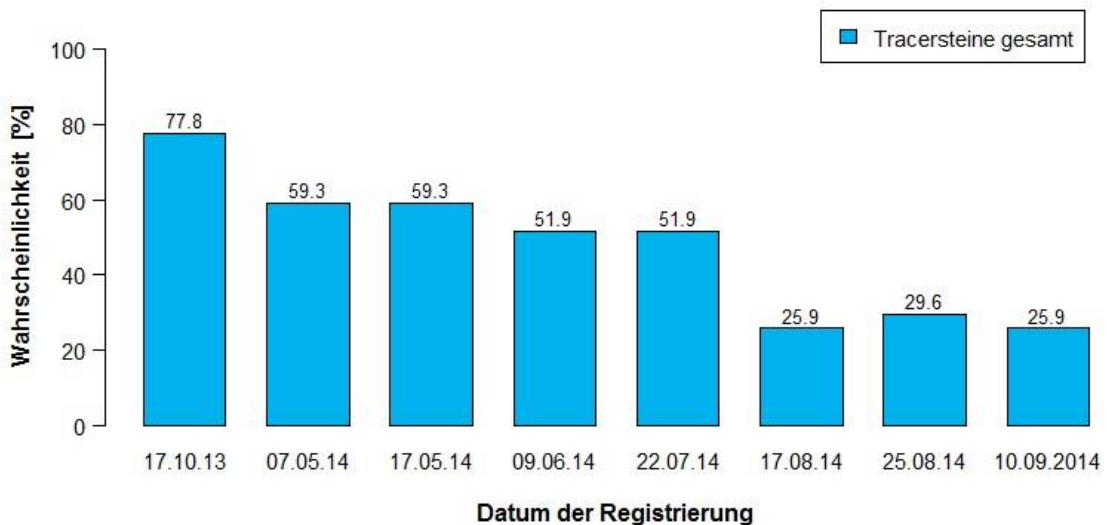


Abbildung 93: Wiederauffindwahrscheinlichkeit aller Tracersteine am Krumeggerbach

Einige der im vorigen Jahr ausgesetzten Radiotelemetrietracersteine konnten mithilfe eines Metalldetektors geortet werden, jedoch ist diese Methode sehr mühsam, da sich sehr viele metallische Teile im Bach befinden (Nägel, Schrauben und Schrott). Die georteten Steine wiesen so gut wie keine Farbe mehr auf,

jedoch war die Beschichtung mit dem im Jahr 2012 verwendeten Haftvermittler (weiß) noch sehr gut erhalten.

4.1.2.3 Berechnung des kritischen Abflusses

Die Berechnungen des kritischen Abflusses erfolgen anhand der Formeln 16 und 17. Dabei werden für jedes Profil drei verschieden schwere Tracersteine ausgewählt und mit deren charakteristischen Korndurchmesser d_{50} Berechnungen durchgeführt. Das in der Berechnung verwendete Gefälle beträgt für die Brücke Schöttlkapelle 4.1 % und für die Brücke Krumeggerbach 12,0 %. Die Gewässerbreite beträgt am Schöttlbach rund 7 m wobei am Krumeggerbach im Mittel von 3 m ausgegangen wird. Die Dichte der Steine wurde mit 2.77 g/cm^3 gewählt.

Brücke Schöttlkapelle

Betrachtet werden die Farbtracersteine 8x, 5M und 4B. Die genaue Charakterisierung kann dem Anhang 10.4.1 entnommen werden.

Farbtracerstein 8x (0.15 kg, $d_{50} = 3.0 \text{ cm}$)

$$q_{C,\min,8x} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.03^3} \cdot 0.041^{-1.12} = 0.067 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,8x} = 0.067 \cdot 7.00 = 0.47 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Farbtracerstein 5M (2.15 kg, $d_{50} = 12.5 \text{ cm}$)

$$q_{C,\min,5M} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.125^3} \cdot 0.041^{-1.12} = 0.57 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,5M} = 0.57 \cdot 7.00 = 3.99 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Farbtracerstein 4B (8.05 kg, $d_{50} = 18.5 \text{ cm}$)

$$q_{C,\min,4B} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.185^3} \cdot 0.041^{-1.12} = 1.03 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,4B} = 1.03 \cdot 7.00 = 7.21 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Den Berechnungen zufolge reicht am Schöttlbach ein Abfluss von 0.5 m³/s aus, um Steine mit bis zu 150 g zu Transportieren. Steine mit einer Masse von rund 2 kg werden ab einem Abfluss von 4 m³/s transportiert. Farbtracerstein 4B mit einer Masse von 8 kg benötigt demnach einen kritischen Abfluss von 7.2 m³/s um in Bewegung zu geraten, wobei jedoch auf die runde Kornform von 4B hinzuweisen ist, welche, wie in den Beobachtungen ersichtlich, Bewegungen schon bei geringeren Abflüssen durch abrollen möglich macht.

Brücke Krumeggerbach

Betrachtet werden die Tracersteine K2 (6.80 kg, d₅₀ = 18.0 cm), K6 (1.60 kg, d₅₀ = 9.5 cm) und K12 (23.60 kg, d₅₀ = 29.0 cm). Die genaue Charakterisierung kann dem Anhang 10.4.2 entnommen werden.

Farbtracerstein K2 (6.80 kg, d₅₀ = 18.0 cm)

$$q_{C,\min,K2} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.18^3} \cdot 0.12^{-1.12} = 0.30 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,K2} = 0.30 \cdot 3.00 = 0.90 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Farbtracerstein K6 (1.60 kg, d₅₀ = 9.5 cm)

$$q_{C,\min,K6} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.095^3} \cdot 0.12^{-1.12} = 0.11 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,K6} = 0.11 \cdot 3.00 = 0.33 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Farbtracerstein K12 (23.60 kg, d₅₀ = 29.0 cm)

$$q_{C,\min,K12} = 0.065 \cdot \left(\frac{2.77 - 1.00}{1.00} \right) \cdot \sqrt{9.81 \cdot 0.29^3} \cdot 0.12^{-1.12} = 0.61 \left[\frac{m^3}{sm} \right]$$

$$Q_{C,\min,K12} = 0.61 \cdot 3.00 = 1.83 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Durch das hohe Gefälle treten am Krumeggerbach schon bei geringeren Abflüssen Bewegungen der Steine auf. Demnach benötigt es nur einen Abfluss von 0.33 m³/s um Steine mit einer Masse von bis zu 1.6 kg zu transportieren. Ab

einem Abfluss von $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ werden bereits Steine mit einer Masse von 7 kg und ab $1.80 \text{ m}^3/\text{s}$ werden Steine mit einer Masse von 23.6 kg in Bewegung gesetzt. Die durchgeführten Berechnungen bieten eine gute Möglichkeit zur Abschätzung des kritischen Abflusses und sind häufig mit den Werten aus den Beobachtungen der Tracersteine stimmig.

Am 17. Mai wurde am Krumeggerbach der Farbtracerstein K6 mit einer Masse von 1.6 kg 11 m weit transportiert. Der Hochstabfluss, welcher am 11. Mai aufgezeichnet wurde, betrug laut Pegelschlüssel $0.93 \text{ m}^3/\text{s}$. Am 9. Juni konnte bei der Registrierung festgestellt werden, dass der Farbtracerstein K6 rund 3 m weit abgedriftet wurde. Der Hochstabfluss betrug am 26. Mai $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Laut Berechnung beträgt der kritische Abfluss am Krumeggerbach für den Farbtracerstein K6 rund $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies ist ein gutes Beispiel für die Realitätstreue der Berechnung, die selbst durch das hohe Gefälle am Krumeggerbach Werte wiedergibt, welche in Wirklichkeit beobachtet werden konnten.

Ein weiteres Beispiel vom Farbtracerstein K12 zeigt, dass am 22. Juli eine Bewegung registriert werden konnte. Wie in der Abflussganglinie ersichtlich betrug der Abfluss am 20. Juli $2.27 \text{ m}^3/\text{s}$, bei welchem der Tracerstein K12 mit einer Masse von 23.6 kg 12 m weit transportiert wurde. Der kritische Abfluss berechnet sich zu $1.83 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1.3 Abflussmessung

Neben Nautilus- und Salztracermessungen kann der Abfluss an der Messstation "Brücke Hintereggertor" anhand der gemessenen Geschwindigkeit und des zugehörigen Wasserstandes über die Kontinuitätsbedingung (Formel 21) und einen angenäherten Rechteckquerschnitt ermittelt werden. Bei den Daten der Messstation ist darauf zu achten, dass die gemessene Geschwindigkeit die Oberflächengeschwindigkeit darstellt und mit einem Korrekturfaktor auf die mittlere Fließgeschwindigkeit abgemindert werden muss (Tabelle 32). Ebenso muss bei der Ermittlung der Querschnittsfläche (angenäherter Rechteckquerschnitt) ein Korrekturfaktor angewandt werden, um die Fläche an den vorherrschenden Wasserstand bestmöglich anpassen zu können (siehe Kapitel 3.1.4).

Tabelle 32: Verwendete Korrekturfaktoren für die Oberflächengeschwindigkeit und die Querschnittsfläche im Verhältnis zur Wassertiefe

Abminderung des Wasserstands für Fläche		Abminderung der Oberflächengeschwindigkeit	
Tiefe [m]	Korrekturfaktor	Geschw.	Korrekturfaktor
< 0.75 [m]	0.639	< 2.0 [m/s]	0.6171
0.75-1.1	0.730	2.0-3.8	0.600
> 1.2 [m]	0.945	> 3.8 [m/s]	0.481

Für die Ermittlung der in Tabelle 32 geführten Korrekturfaktoren wurde speziell auf die Ergebnisse der Nautilusmessungen zurückgegriffen. Eine weitere Hilfe für höhere Abflusswerte stellten die Ergebnisse des Simulationsprogrammes Bed-Load Analyzer dar. Diese Korrekturwerte korrelieren sowohl mit den insitu durchgeführten Nautilusmessungen als auch mit den im Bed-Load Analyzer simulierten Abflüsse. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass die Abflüsse auch im oberen Bereich dargestellt werden können, da diese für die Gefahrenbeurteilung eine wesentliche Rolle spielen.

Im Anhang 10.4.3 können die Abflüsse der drei näher betrachteten Querprofile "Brücke Hintereggertor", "Brücke Schöttlkapelle" sowie "Brücke Krumeggerbach" graphisch anhand von Abflussganglinien halbjährlich als auch in zweimonatiger Darstellung eingesehen werden. Betrachtet wird der Zeitraum von der Erstinstallation der Druckpegel an der Brücke Schöttlkapelle und Brücke Krumeggerbach (Kapitel 3.1.4.2 & 3.1.4.3), sowie der Messstation Brücke Hintereggertor (Abbildung 54 in Kapitel 3.1.4.1) im Juni/Juli 2012 bis Anfang September 2014. Abbildung 94 stellt beispielhaft die Abflussganglinie für das Querprofil der Brücke Hintereggertor für das zweite Halbjahr 2012 dar. Darin ist Mitte Juli ein Höchstabfluss von rund 25 m³/s ersichtlich. Dieser Abfluss stellt den höchsten registrierten Abfluss seit der Installation der Messinstrumente am Schöttlbach dar. Anzumerken ist, dass die Achsenskalierung (Durchfluss) der einzelnen Abflussganglinien variiert.

Alle durchgeführten Abflussmessungen am Querprofil der Brücke Hintereggertor, Brücke Schöttlkapelle sowie der Brücke Krumeggerbach werden zusammen mit den Abflusswerten der Messstationen und den im Bed-Load Analyzer simulierten Abflüssen im Kapitel 4.1.4 dargestellt.

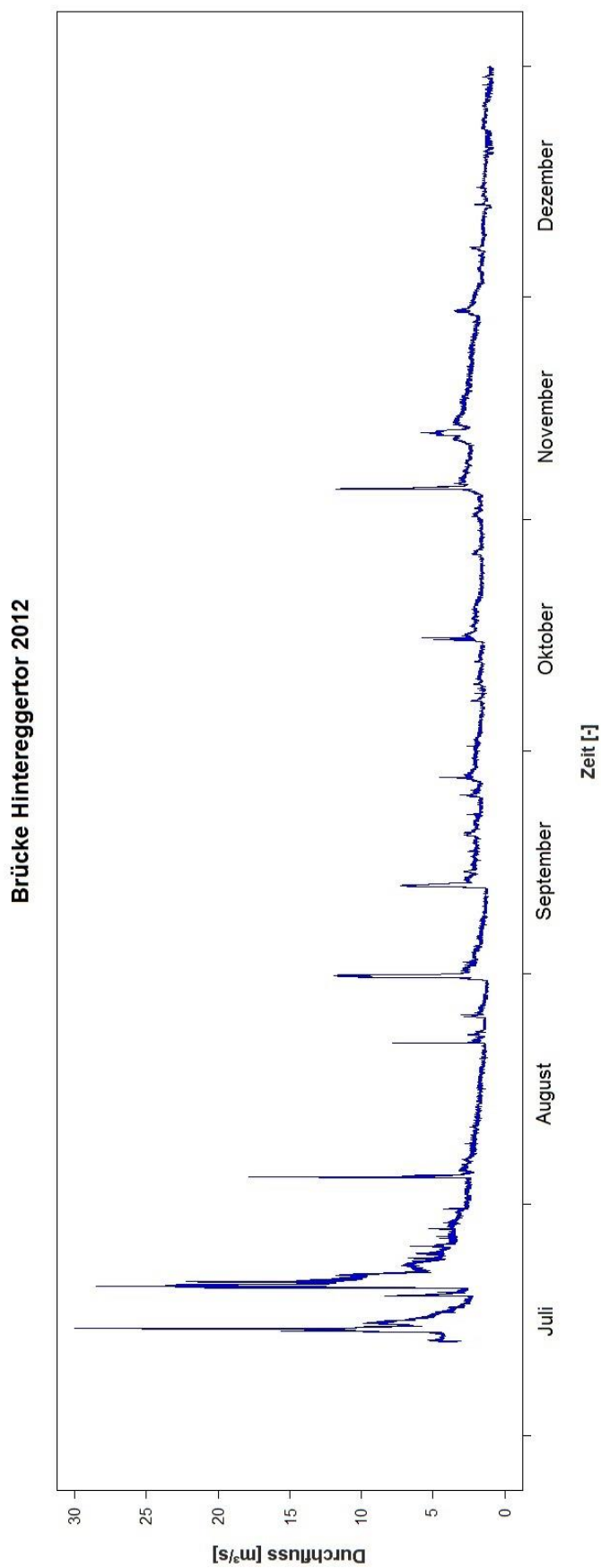


Abbildung 94: Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das Jahr 2012

Hühnerbach

Der Normalabfluss beträgt laut Messungen (siehe Tabelle 33) rund 140 l/s. Gemessen wurde beim Querprofil der ersten Forststraßenbrücke direkt bei der Schotterentnahmestelle. Weitere Informationen zum Hühnerbach sind dem Kapitel 2.2.6 zu entnehmen.

Tabelle 33: Salztracermessungen am Hühnerbach

Hühnerbach Salztracermessungen			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [cm]	Abfluss [l/s]
02/08/2014	19:30	-	156.6
17/08/2014	09:30	-	126.4

Salchauerbach

Die durchgeführten Salztracermessungen am Salchauerbach ergaben einen mittleren Abfluss von rund 100 l/s (siehe Tabelle 34). Gemessen wurde beim Querprofil der Gemeindestraßenbrücke. Weitere Informationen zum Salchauerbach sind dem Kapitel 2.2.7 zu entnehmen.

Tabelle 34: Abflussmessungen mittels Salztracermethode am Salchauerbach

Salchauerbach Salztracermessungen			
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [cm]	Abfluss [l/s]
01/07/2014	13:15	-	18.0
09/07/2014	07:45	-	44.1
13/08/2014	11:40	7.5	261.6
17/08/2014	06:50	3.2	83.1

4.1.4 Pegelschlüssel

Als Resultat dieser Abfluss- und Wasserstandmessungen kann über deren Verhältnis an einem fixen Querprofil des Fließgewässers eine Pegelkurve (Pegelschlüssel) erstellt werden. Unter einem Pegelschlüssel wird der „Zusammenhang zwischen dem Wasserstand und dem zugehörigen Abfluss in einem bestimmten Pegelprofil unter Voraussetzung eines stationären Abflusses“ verstanden (ÖNORM B 2400). Ziel einer solchen Pegelkurve ist es, den Abfluss anhand des gemessenen Wasserstandes am betrachteten Querprofil rechnerisch bzw. graphisch zu ermitteln. Die Pegelkurve wird über eine Potenzfunktion bestimmt, welche sich den Wasserstands- und Abflussbedingungen, wie diese in Wirklichkeit vorherrschen, annähern soll. Im Folgenden werden die erstellten Pegelkurven für die Profile „Brücke Hintereggertor“, „Brücke Schöttlkapelle“ sowie „Brücke Krumeggerbach“ vorgestellt.

Pegelschlüssel - Brücke Hintereggertor

Die Pegelkurve „Brücke Hintereggertor“ folgt der Potenzfunktion

$$Q = 11.1138 \cdot h^{2,3104}$$

Formel 23

mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.9499$. In Abbildung 95 wird die Pegelkurve für den Bereich bis 30 m³/s und in Abbildung 97 für den Bereich bis 80 m³/s dargestellt.

Folgende Ergebnisse in Tabelle 35 wurden bei den Nautilusmessungen, der Messstation und mittels dem Bed-Load Analyzer am Querschnittsprofil der Brücke Hintereggertor erzielt. In der letzten Zeile (grün markiert) ist ein großes Niederschlagsereignis vom 15. Juli 2012 dargestellt, welches zum Vergleich zwischen dem Pegelschlüssel und dem im Bed-Load Analyzer simulierten Abfluss (Abbildung 96) dient. Für die graphische Ermittlung des Abflusses bei einem bekannten Wasserstand kann wie in Abbildung 95 (grüner Pfeil) vorgegangen werden. Zu erwähnen ist, dass bei höheren Abflüssen auch dementsprechend mehr Geschiebe transportiert wird. Diese Sohlerhöhung ist im Pegelschlüssel nicht berücksichtigt, sollte jedoch bedacht werden (Abbildung 97 rot schraffierte Bereich

ober der Kurve). Die Brücke Hintereggertor wird laut Hübeler et al. (2011) ab einem Abfluss von $90 \text{ m}^3/\text{s}$ eingestaut. Dieser Abflusswert ist geringer als der theoretische Wert der Pegelkurve. Der Geschiebetransport setzt laut der Simulation im Bed-Load Analyzer bei $2.80 \text{ m}^3/\text{s}$ ein (Tabelle 15 in Kapitel 4.1.1.2).

Tabelle 35: Vergleich zwischen Nautilusmessungen / Messstation und Bed-Load Analyzer Simulationsergebnissen

Brücke Hintereggertor							
Zeitpunkt		Nautilusmessung		Messstation		Bed-Load Analyzer	
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m^3/s]
01/07/2014	11:15	0.440	2.047	0.536	2.275	0.466	2.000
20/07/2014	22:30	0.530	2.675	0.523	2.731	0.513	2.670
02/09/2014	13:15	0.680	4.617	0.723	4.723	0.630	4.620
15/07/2012	09:45	-	-	1.367	24.726	1.415	25.000

Pegelkurve Hintereggertor

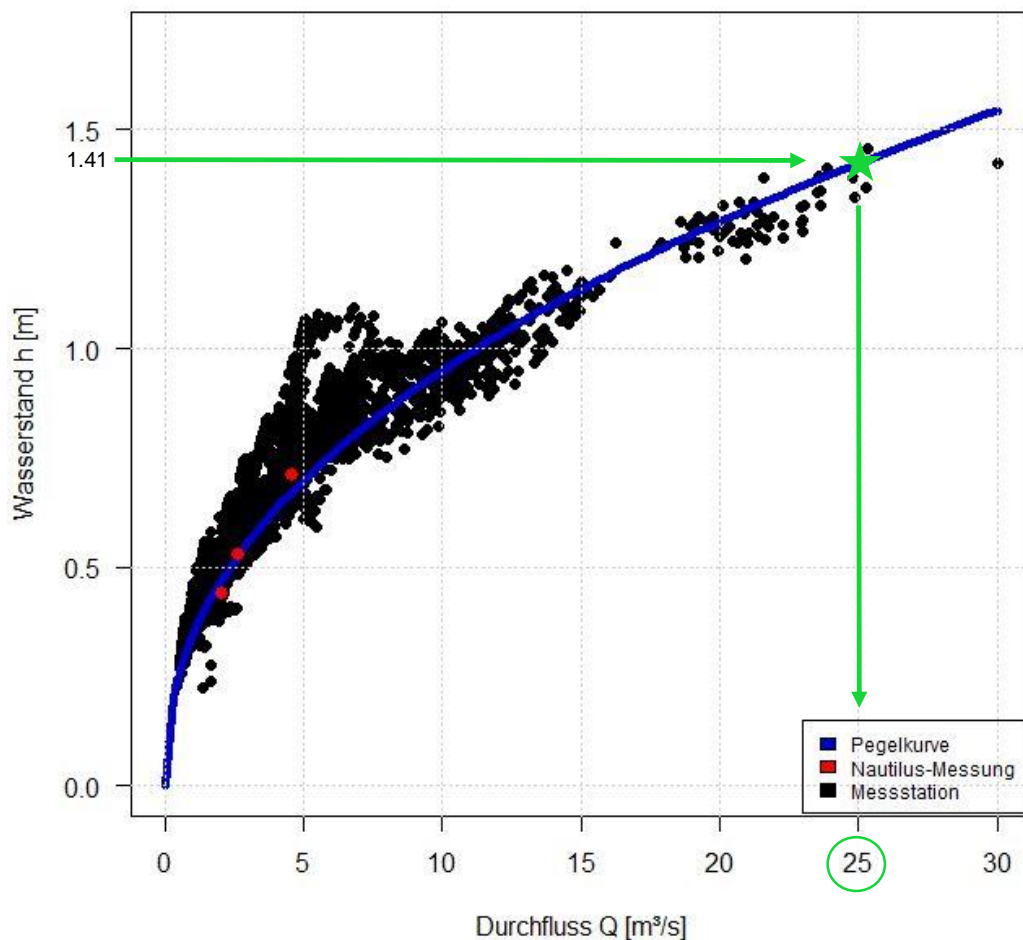


Abbildung 95: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Hintereggertor bis $30 \text{ m}^3/\text{s}$

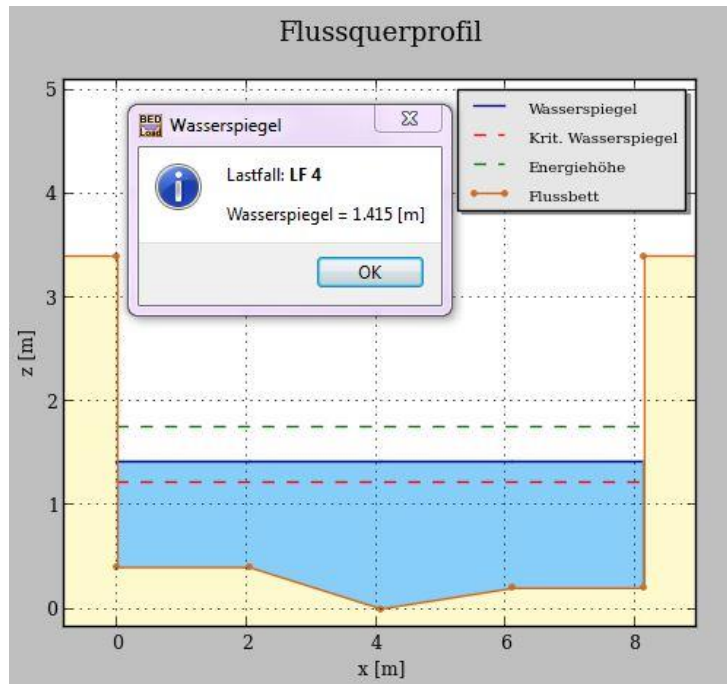


Abbildung 96: Vergleich der Pegelkurve Brücke Hintereggertor mit dem im Bed-Load Analyzer ermittelten Abfluss von $25 \text{ m}^3/\text{s}$ → Wasserstand = 1.415 m

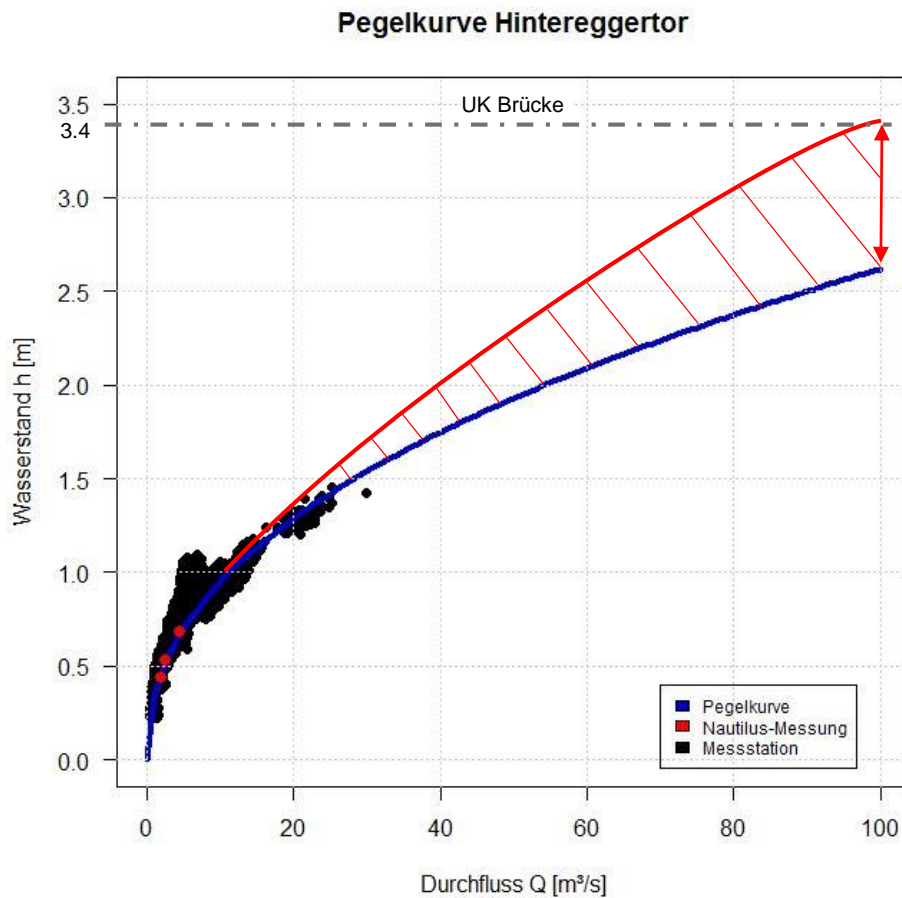


Abbildung 97: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Hintereggertor bis $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Der rot schraffierte Bereich stellt die mögliche Sohlerrhöhung durch Geschiebetransport im Hochwasserfall dar.

Pegelschlüssel - Brücke Schöttlkapelle

Die Pegelkurve "Brücke Schöttlkapelle" folgt der Potenzfunktion

$$Q = 5.3713 \cdot h^{2.4327}$$

Formel 24

mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.8854$. In Abbildung 98 wird die Pegelkurve für den Bereich bis 10 m³/s dargestellt. Der kritische Abfluss am Querprofil der Brücke Schöttlkapelle beträgt rund 80 m³/s (siehe Anhang 10.4.4). Eine Änderung der Abfluss – Wasserstandsbeziehung in Abhängigkeit der Potenzfunktion kann aufgrund einer Veränderung der unbefestigten Sohle erfolgen. Daher ist es schwierig eine für jeden Bereich gültige Funktion zu erstellen. Im Niedrig-Wasserbereich herrscht eine wesentlich geringere Fließgeschwindigkeit vor. Zudem kommt es bei Wasserständen unter 50 cm zur Beckenbildung aufgrund einer wehrartigen Steinansammlung wenige Meter flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle, was wiederum die Ergebnisse des Pegelschlüssels für den unteren Bereich (< 0.50 m bzw. < 0.5 m³/s) verfälscht und diese daher nicht herangezogen werden können. Das Hauptaugenmerk wurde auf das Hochwasserereignis vom 20. Juli 2014 gelegt (Tabelle 36), um sich speziell an größeren Niederschlagsereignissen orientieren zu können. Jene Werte, welche grün hinterlegt wurden, korrelieren untereinander besonders gut. Gelb hinterlegte Werte weisen eine mäßige Korrelation untereinander auf und rot markierte Werte stellen Ausreißer dar.

Tabelle 36: Vergleich zwischen Nautilus- und Salztracermessungen / Pegelschlüssel und den Bed-Load Analyzer Simulationsergebnissen im Querschnittsprofil der Brücke Schöttlkapelle
Grün: Gute Korrelation, Gelb: Mäßige Korrelation, Rot: Schlechte Korrelation

Brücke Schöttlkapelle							
Zeitpunkt		Messung		Pegelschlüssel		Bed-Load Analyzer	
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]
Nautilusmessungen							
30/06/2014	11:45	0.610	0.855	0.587	1.469	0.474	0.855
01/07/2014	13:45	0.370	0.363	0.407	0.602	0.367	0.600
01/07/2014	14:30	0.370	0.318	0.406	0.599	0.367	0.600
20/07/2014	19:05	0.860	3.480	0.832	3.433	0.807	3.500
20/07/2014	20:30	0.710	2.747	0.716	2.382	0.704	2.500
01/09/2014	13:10	0.860	4.198	0.713	2.358	0.861	4.200
Salztracermessungen							
01/07/2014	14:00	0.350	0.325	0.406	0.599	0.367	0.600
20/07/2014	19:45	0.850	3.936	0.725	2.481	0.704	2.500
06/08/2014	11:15	0.320	0.210	0.385	0.526	0.334	0.500
13/08/2014	13:50	0.710	0.925	0.501	0.999	0.482	1.000
01/09/2014	11:50	0.900	4.501	0.734	2.531	0.704	2.500
Höhere Abflüsse							
24/06/2012	15:00	-	-	1.061	6.204	1.003	6.200
15/07/2012	11:00	-	-	1.156	7.644	1.079	7.640
03/07/2013	17:40	-	-	0.99	5.242	0.938	5.240

Pegelkurve Schöttlkapelle

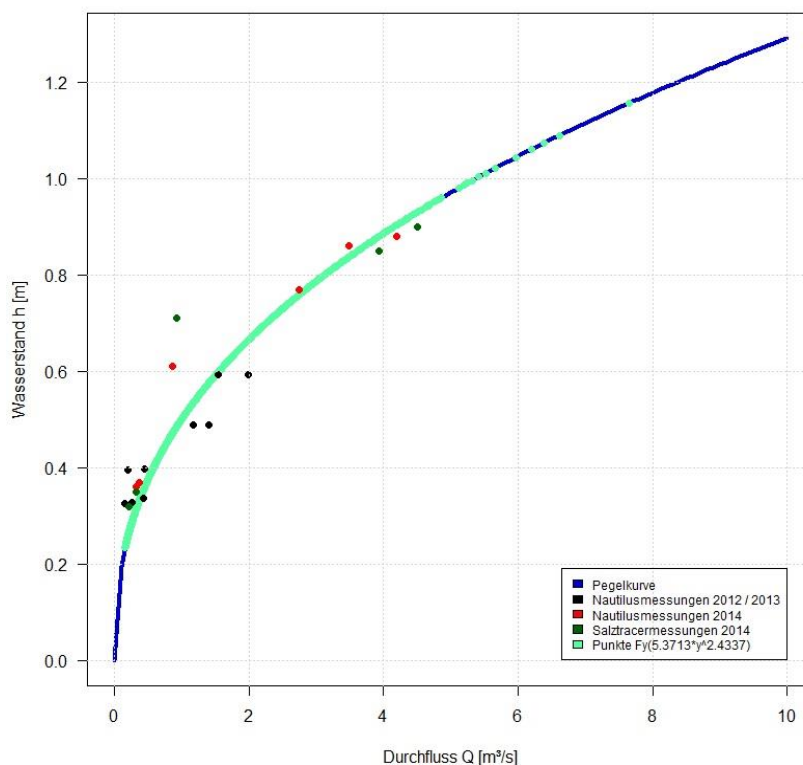


Abbildung 98: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle bis 10 m³/s

Pegelschlüssel - Brücke Krumeggerbach

Die Pegelkurve "Brücke Krumeggerbach" folgt der Potenzfunktion

$$Q = 21.014 \cdot h^{1,8396}$$

Formel 25

mit einem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0.9377$. In Abbildung 99 wird die Pegelkurve für den Bereich bis $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$ dargestellt. Hierbei wird das große Gefälle des Krumeggerbaches, wie in Tabelle 9 beschrieben, deutlich. Bei schon geringen Wasserstandshöhen werden große Abflüsse erreicht. Im Vergleich (Tabelle 37) der einzelnen Abflussmessungen mittels Salztracermethode, der Pegelschlüsselanalyse und dem simulierten Abfluss im Bed-Load Analyzer wurde eine gute Korrelation, vor allem für höhere Abflüsse, erreicht. Im unteren Abflussbereich ($< 150 \text{ l/s}$) kommt es aufgrund lokaler Einflüsse zu geringen Abweichungen. Mitverantwortlich für die gute Korrelation der Abflusswerte ist die teilweise befestigte Sohle im Querschnittsprofil der Brücke Krumeggerbach.

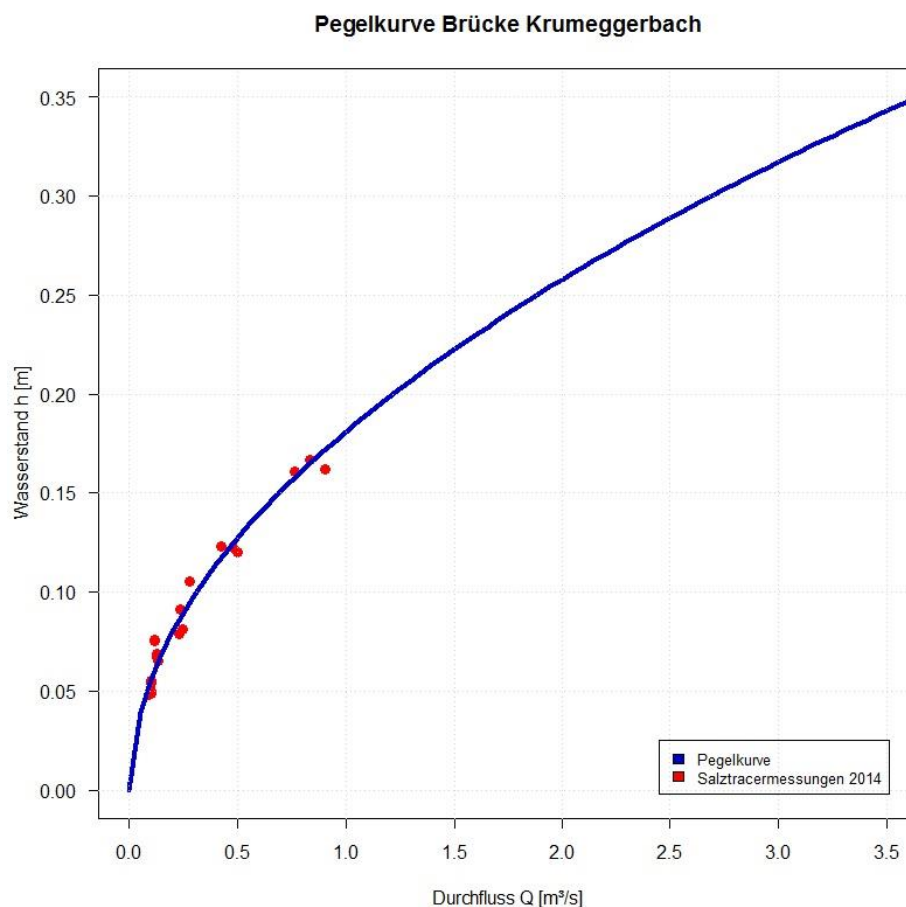


Abbildung 99: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Krumeggerbach bis $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabelle 37 Vergleich zwischen den Salztracermessungen, dem Pegelschlüssel und den im Bed-Load Analyzer simulierten Abflusswerten
Grün: Gute Korrelation, Gelb: Mäßige Korrelation

Brücke Krumeggerbach							
Zeitpunkt		Salztracermessung		Pegelschlüssel		Bed-Load Analyzer	
Datum	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]
10/04/2014	15:30	0.05	0.117	0.076	0.184	0.055	0.130
07/05/2014	14:00	0.05	0.127	0.069	0.154	0.055	0.130
17/05/2014	08:25	0.05	0.130	0.067	0.146	0.055	0.130
30/06/2014	12:10	0.05	0.102	0.055	0.101	0.047	0.100
01/07/2014	12:10	0.05	0.097	0.048	0.079	0.047	0.100
09/07/2014	08:50	0.05	0.102	0.048	0.079	0.047	0.100
20/07/2014	21:30	0.15	0.415	0.119	0.419	0.112	0.420
13/08/2014	11:15	0.10	0.249	0.084	0.221	0.081	0.250
01/09/2014	09:50	0.20	0.832	0.161	0.730	0.165	0.830
Niederschlagsereignisse:							
01/09/2014	04:50	-	-	0.191	1.000	0.183	1.000
09/08/2014	20:55	-	-	0.315	2.510	0.316	2.500
12/08/2014	00:50	-	-	0.476	5.363	0.483	5.000

Für das Unwetterereignis vom 20. Juli 2014 sowie für ein weiteres extremes Wetterereignis im Einzugsgebiet des Krumeggerbaches in der Nacht auf den 1. September 2014 wurden speziell in diesen Hochwasserfällen sehr gute Werte erzielt. Der Vergleich in Tabelle 37 zeigt nur geringe Abweichungen der unterschiedlichen Messmethoden auf und lässt auf eine hohe Genauigkeit schließen. Die Simulation im Bed-Load Analyzer (Abbildung 100) bietet eine ideale Annäherung an die tatsächlichen Bedingungen im Krumeggerbach. Deutlich wird dies durch den Vergleich mit Abbildung 101, dem tatsächlichen Abfluss von 830 l/s am 1. September 2014. Im Anhang 10.4.4 wird eine Pegelkurve zum Querprofil der Brücke Krumeggerbach für den Bereich bis 20 m³/s dargestellt.

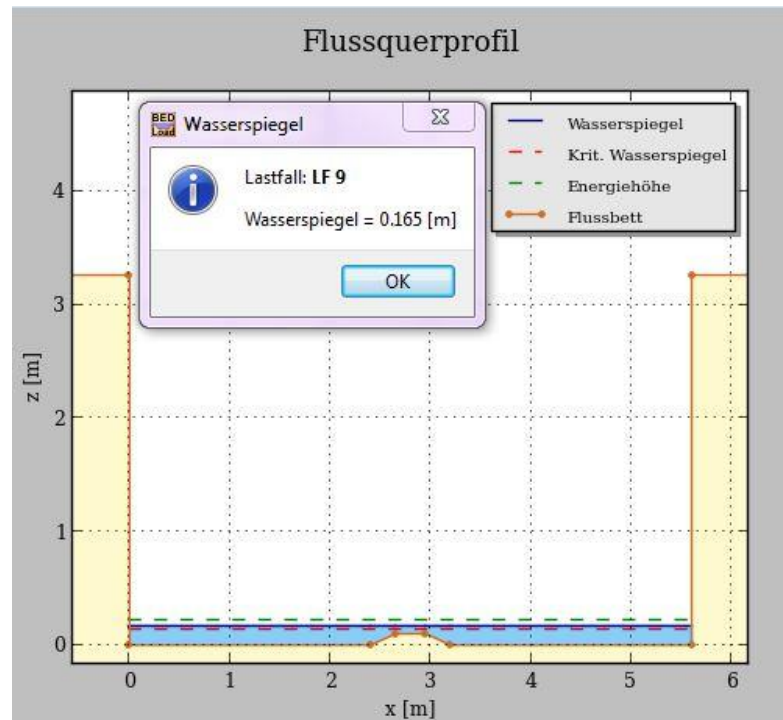


Abbildung 100: Querprofil der Brücke Krumeggerbach simuliert im Bed-Load Analyzer



Abbildung 101: Abfluss bei der Brücke Krumeggerbach am 1. September 2014

Im Anhang 10.4.3 können die Pegelstände der drei Querprofile Brücke "Hintereggertor", Brücke "Schöttlkapelle" sowie Brücke "Krumeggerbach" nachgeschlagen werden. Betrachtet wird der Zeitraum von der Erstinstallation der Druckpegel an der Brücke Schöttlkapelle und Brücke Krumeggerbach sowie der Messstation Brücke Hintereggertor (Abbildung 54 in Kapitel 3.1.4) im Juni/Juli 2012 bis Anfang September 2014. Die Auflösung der Diagramme erfolgt in halbjährlicher als auch in zweimonatiger Darstellung. Es ist auf die unterschiedliche Achsenskalierung der Wasserstände zu achten. Abbildung 102 zeigt den Pegelstand über das Jahr 2012 am Querprofil der Brücke Krumeggerbach. Deutlich zu erkennen ist ein für den Kraftwerksbetrieb charakteristischer Ganglinienverlauf.

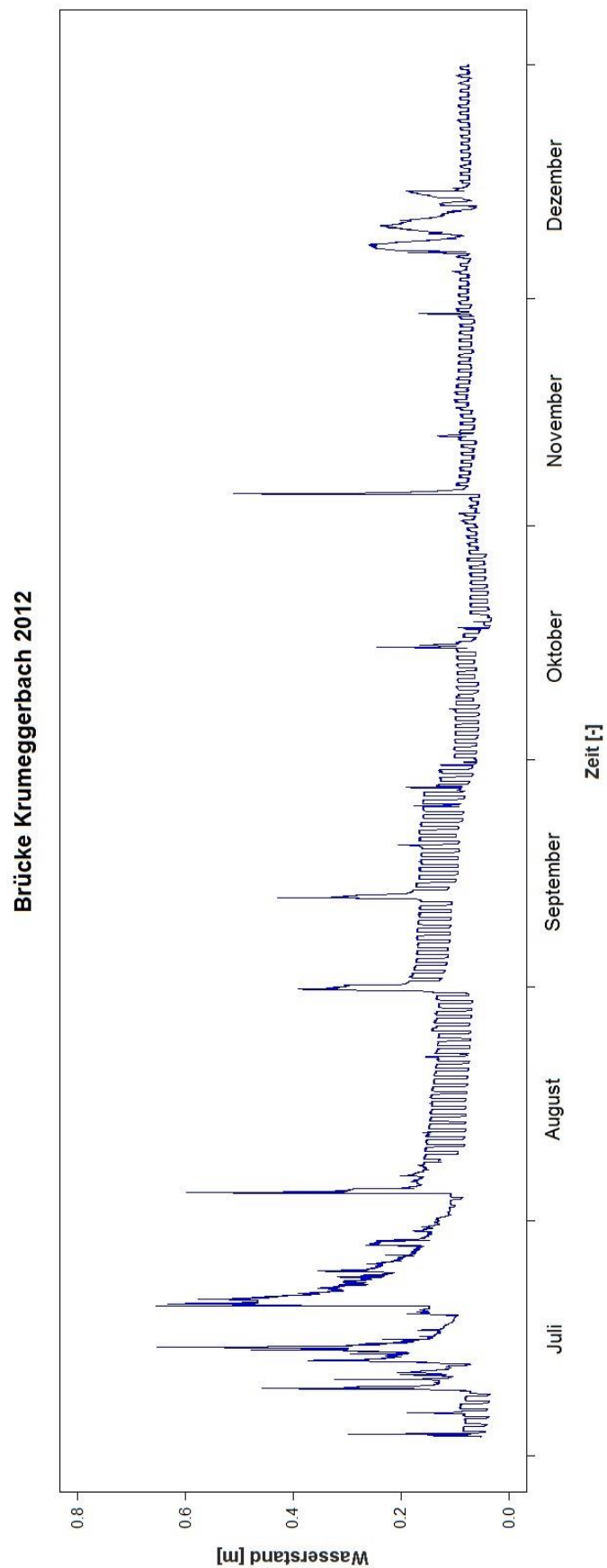


Abbildung 102: Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2012

4.1.5 Linienzahlanalyse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der am 31. Juni und 1. Juli 2014 durchgeführten Linienzahlanalysen vorgestellt. Die Orte der Versuchsdurchführung werden im jeweiligen Diagramm angegeben. Gemessen wurde direkt bei der Brücke Schöttlkapelle und rund 180 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle auf einer Sandbank (Abbildung 103). Am Krumeggerbach wurden rund 30 m flussaufwärts der Brücke zwei Messungen durchgeführt, welche in Abbildung 104 graphisch dargestellt werden.

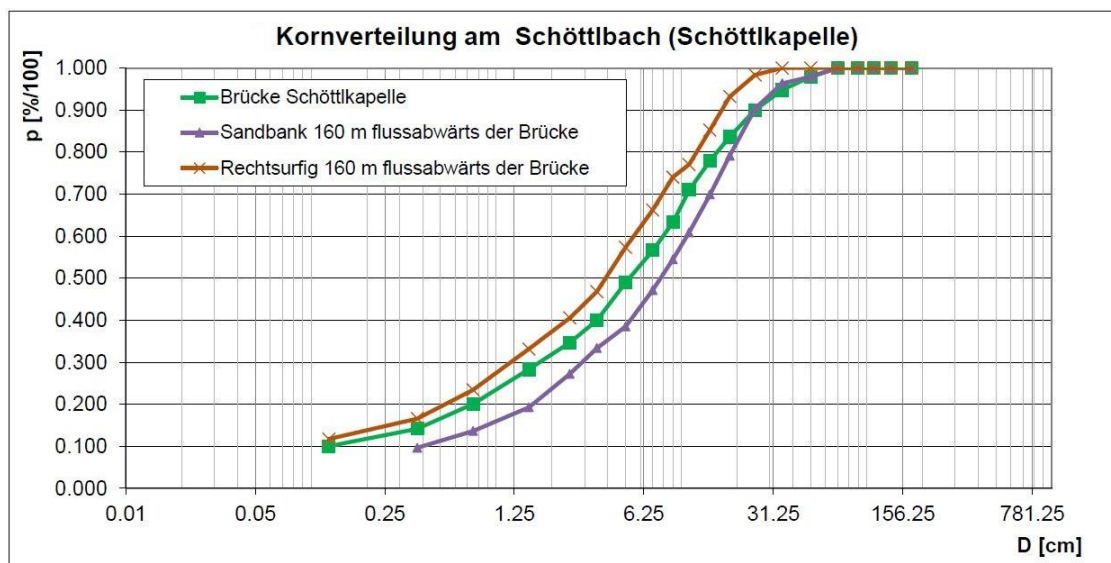


Abbildung 103: Linienzahlanalysen am Schöttlbach bei der Brücke Schöttlkapelle

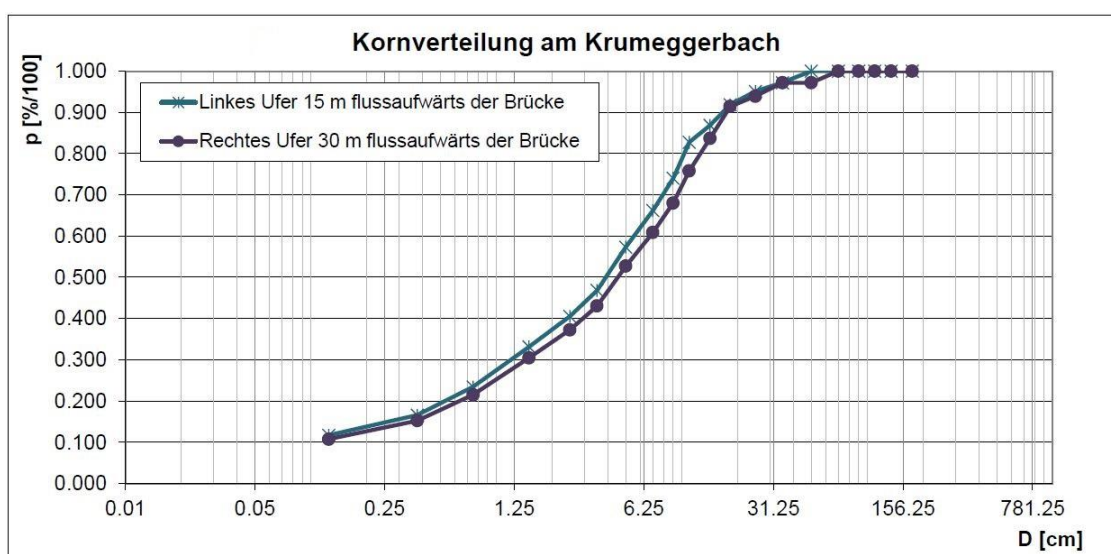


Abbildung 104: Linienzahlanalysen am Krumeggerbach flussaufwärts der Brücke

Der aus allen Linienzahlanalysen pro Messstelle gemittelte Korndurchmesser d_{90} für den Bereich bei der Brücke Schöttlkapelle beträgt 23.40 cm und d_{50} ergibt sich zu 5.60 cm. Am Krumegeberbach konnten ähnliche Werte erzielt werden. Etwa 15 bis 30 m flussaufwärts der Brücke Krumegeberbach wurde ein d_{90} von 19.90 cm sowie ein d_{50} von 4.20 cm ermittelt.

4.1.6 Böschungswinkelmessung

Zur Abschätzung des sich einstellenden Böschungswinkels wurde die Böschung an mehreren Stellen mit einer 4 m langen Messlatte und einem Winkelmessgerät vermessen. Als Ort für die Messung wurde eine stetig nachrutschende Böschung mit einer Fläche von rund



Abbildung 105: Betrachtete Böschung

600 m² im Bereich der Geschiebesperre am Schöttlbach untersucht (Abbildung 105 bis Abbildung 107). Aus den Winkelmessungen (Tabelle 38) ergibt sich für die Böschung im Mittel ein Böschungswinkel von 41.3°. Der im Labor ermittelte Reibungswinkel des Böschungsmaterials (in Kapitel 5.1) liegt bei 39°, jedoch kann die Böschung aufgrund der wirkenden Kohäsionskräfte teilweise auch größere Neigungen erreichen.

Tabelle 38: Messen des Böschungswinkels mit einer Messlatte und einem Winkelmessgerät

Messung	Winkel	Mittel
1	36.8° bis 42.9°	39.9°
2	41.5° bis 43.2°	42.4°
3	38.7° bis 40.0°	39.4°
4	42.7° bis 44.5°	43.6°



Abbildung 106: Winkelmessgerät, Böschungswinkel 44.5°



Abbildung 107: Böschungswinkel Beta im Mittel mit 41.3°

4.1.7 Geschieberückhaltebecken

Um den Sedimentaustrag aus dem Einzugsgebiet des Schöttlbaches mindern bzw. zu kontrollieren wurde Ende der 40-iger Jahre etwa 1500 m flussaufwärts von Oberwölz eine Geschiebesperre, die sogenannte Hohenbichlersperre, errichtet (Abbildung 26). Das Geschieberückhaltebecken am Schöttlbach wird mehrmals im Jahr ausgehoben, um die Rückhaltefunktion zu gewährleisten und ein entsprechendes Speichervolumen aufrecht zu erhalten.

Überwacht wird das Rückhaltebecken der Geschiebesperre von der Wildwasser und Lawinenverbauung mit dem Sitz in Scheifling. Das ausgebaggerte Materialvolumen für das Jahr 2014 beläuft sich laut Wildbach- und Lawinenverbauung (2014) auf rund 1850 m³ wohingegen im Jahr 2013 rund 17.000 m³ und im Jahr 2012 etwa 13.000 m³ ausgebaggert wurden.

Die Baggerarbeiten im Jahr 2014 fanden an folgenden Tagen statt:

10/06/2014: 390 m³

11/06/2014: 404 m³

12/06/2014: 422 m³

13/06/2014: 270 m³

20/09/2014: 350 m³

Zu beachten gilt es, dass im Zuge der Baggerarbeiten ständig aufgewirbeltes Sediment abtransportiert wird, welches jedoch nicht in der Aushubmenge aufscheint. In Jahr 2012 und 2013 wurden diese Mengen der Selbstentleerung bereits berücksichtigt. Für das Jahr 2014 kann somit von einer Gesamtgeschiebemenge von in etwa 3000 m³ ausgegangen werden.

4.2 Unwetterbericht und Niederschlagsdokumentation

Unwetterereignis 20. Juli 2014

Nachdem bei der österreichischen Unwetterwarnzentrale gegen 17 Uhr des 20. Juli 2014 eine Unwetterwarnung der höchsten Stufe, in Abbildung 108 violett dargestellt, für das betrachtete Gebiet ausgegeben wurde, fand eine Begehung zur Abschätzung der tatsächlichen Lage im Einzugsgebiet statt.

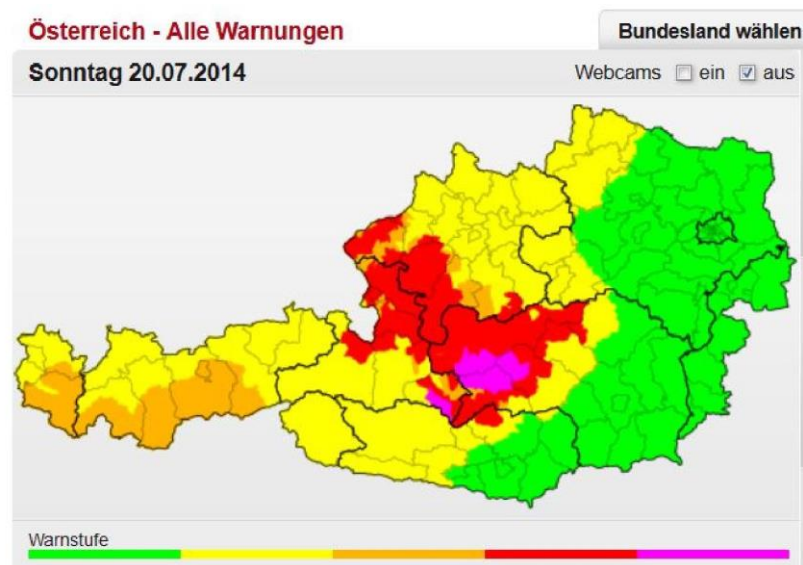


Abbildung 108: Wetterwarnung für das Gebiet Oberwölz-Umgebung am 20. Juli 2014 (UWZ, 2014)

In Oberwölz blieb es größtenteils trocken (Abbildung 109). In der oberen Hälfte des Schöttlgrabens berichteten Anwohner von einem starken Regen- und Hagelereignis, welches über die Berge hinweg gezogen ist. Rund 40 min nach diesem Ereignis erreichte die Hochwasserwelle die Brücke Schöttlkapelle. Binnen weniger Minuten war der Schöttlbach zu einem bis zu 4 m³/s führenden Wildbach geworden. Die genauen Messergebnisse können aus der Tabelle 36 im Kapitel Pegelschlüssel 4.1.4 entnommen werden. Nach rund einer weiteren halben Stunde war der Höchststand der Hochwasserwelle vorbei und der Pegelstand begann wieder zu sinken. Bei der Brücke Schöttlkapelle wurde mit dem Nautilusmessgerät ein Höchstpegelstand von 86 cm mit einem Abfluss von 3.48 m³/s gemessen.

Am Krumeggerbach spielte sich ein ähnliches Szenario ab, jedoch war die große Hochwasserwelle zum Messzeitpunkt bereits vorbei. Dennoch konnte gegen 21:15 Uhr mittels Salztracermessungen noch ein Abfluss von rund 420 l/s ermittelt werden. Zudem gab es deutliche Anzeichen (überschwemmte Seitenvorländer, Schäden am seitlichen Bewuchs sowie eine starke Trübung) dafür, dass der Krumeggerbach wenige Minuten zuvor noch deutlich mehr Wasser geführt hatte. Des Weiteren war sowohl im Krumeggerbach als auch im Schöttlbach ein deutliches „Grollen“ zu hören. Ein klares Anzeichen für den stattfindenden Sedimenttransport.

Laut der erstellten Abflussganglinie vom Krumeggerbach betrug der Pegelhöchststand am 20. Juli 2014 gegen 20 Uhr 29.8 cm mit einem dazugehörigen Abfluss von 2.3 m³/s.

Am Salchauerbach kam es augenscheinlich zu keinem höheren Abfluss.

Auch an der Brücke Hintereggertor war die Hochwasserwelle gegen 22:15 vorbei und der Pegelstand begann wieder zu sinken. Erkennbar war jedoch, dass der Pegelhöchststand in etwa 30 cm höher gewesen sein muss. Zu diesem Zeitpunkt betrug der Abfluss rund 2.68 m³/s bei einem Wasserstand von 53 cm. Der höchste Abfluss wurde laut dem erstellten Pegelschlüssel in Kapitel 4.1.4 gegen 20:00 Uhr erreicht und betrug 4.53 m³/s bei einem maximalen Wasserstand von 70 cm.

Zusätzliche Anmerkung: Bei der Salztracermessung waren lange Reaktionszeiten bei der Kalibrierung auffällig (möglicherweise durch die starke Trübung).

Bei höherem Abfluss ist von einer Salztracermessung abzuraten, da sich die Messsonden zum einen an der Sohle verkeilen und nicht mehr an Land gezogen werden können, zum Anderen driften die Messsonden ab was zu einer Verfälschung der Messwerte führt.

Wie in Abbildung 109 ersichtlich, fielen am 20. Juli 2014 im Oberwölzer Stadtgebiet nur geringe Niederschlagsmengen (ZAMG, 2014).

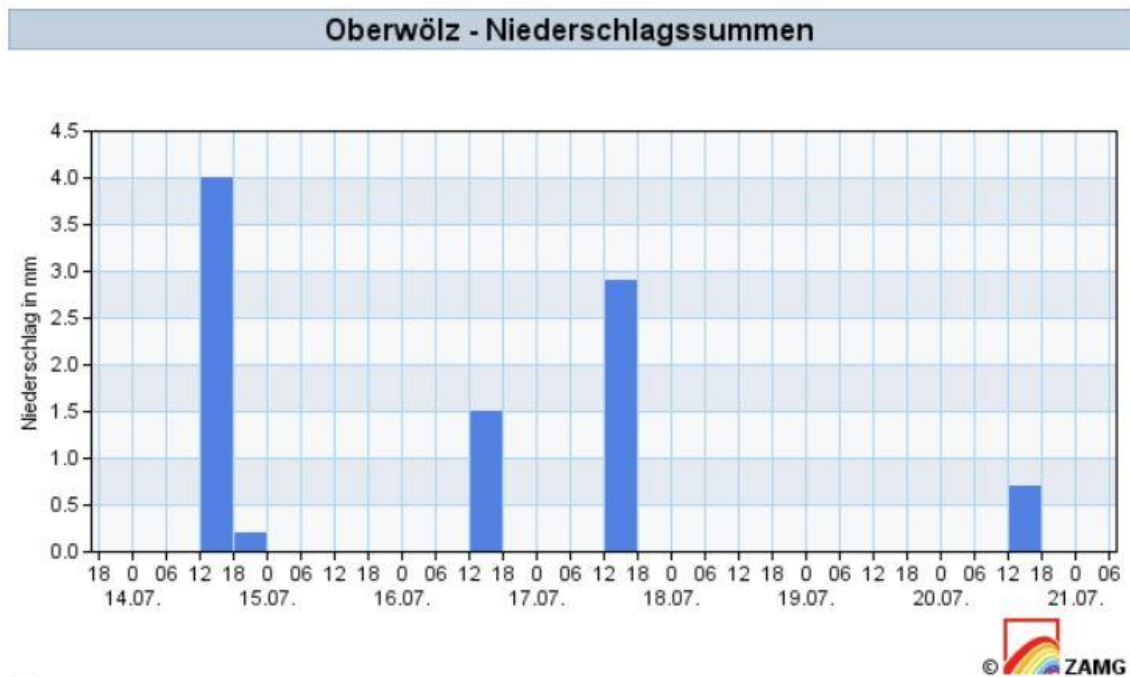


Abbildung 109: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 20. Juli 2014 (ZAMG, 2014)

Regenereignis 12. und 13. August 2014

Nachdem es seit dem 9. August immer wieder Niederschlagsmeldungen aus der Region Oberwölz und –Umgebung gab (Abbildung 110 und Abbildung 111) fand am Morgen des 14. August eine Begehung zur Beurteilung der aktuellen Lage in Oberwölz statt. Der Boden ist nach den Regenschauern vom 9. und 10. August mit ca. 20 l/m² und Tag kontinuierlich benetzt, wodurch sich ein konstanter Abfluss gebildet hat.

In der Nacht vom 13. auf den 14. August war es im Bereich der Feistritzalm zu stärkeren Niederschlägen gekommen, welche den Krumeggerbach stark anschwellen ließen. Herr Schwaiger⁴ berichtete, dass das Kraftwerk I am Krumeggerbach abgeschaltet wurde und eine anschließende Hochwasserwelle auftrat. Kraftwerk II am Krumeggerbach ist laut Schwaiger in Betrieb geblieben. Die Geschiebefangkörbe am Krumeggerbach (Kapitel 3.1.1.1) wurden durch die Wassermassen rund 150 m weit abgetrieben. Gegen 11 Uhr konnte am Krumeggerbach immer noch ein erhöhter Abfluss mit rund 250 l/s gemessen werden (siehe

⁴ Familie Schwaiger aus 8832 Oberwölz, Krumegg

Tabelle 37 in Kapitel 4.1.4). Eine Aufnahme der Steine konnte aufgrund des trüben Wassers nicht durchgeführt werden, jedoch war auf den ersten Blick klar, dass sich wieder viele Farbtracersteine nach dieser Hochwasserwelle bewegt hatten. Die Auswertung nach diesem Ereignis ist in Kapitel 4.1.2.2 zusammengefasst.

Am Salchauerbach, welcher stark angeschwollen war konnte gegen Mittag ein Abfluss von 260 l/s gemessen werden (Tabelle 34). Überschwemmte Seitenvorländer und Sandbänke lassen auf einen ursprünglich deutlich größeren Abfluss hinweisen. Die Abflusstiefe an der Holzschwelle unter der Brücke am Salchauerbach wurde gemessen und betrug im Mittel 7.5 cm.

Am Schöttlbach wurden gegen 13 Uhr ein Abfluss von etwa 1 m³/s gemessen. Spuren eines noch höheren Abflusses waren keine zu erkennen. Es deutete darauf hin, dass sich die stärksten Regenereignisse eher in der unteren Hälfte des Schöttlgrabens bzw. in Oberwölz abgespielt haben. Bemerkenswert war noch, dass sich ab 13 Uhr innerhalb einer Stunde der Schöttlbach auf einen Abfluss von rund 700 l/s eingestellt hatte.

Die am 12. und 13. August gefallenen Niederschlagsmengen in Oberwölz sind in Abbildung 110 dargestellt. Abbildung 111 zeigt die Wetterwarnlage vom 13. August 2014.

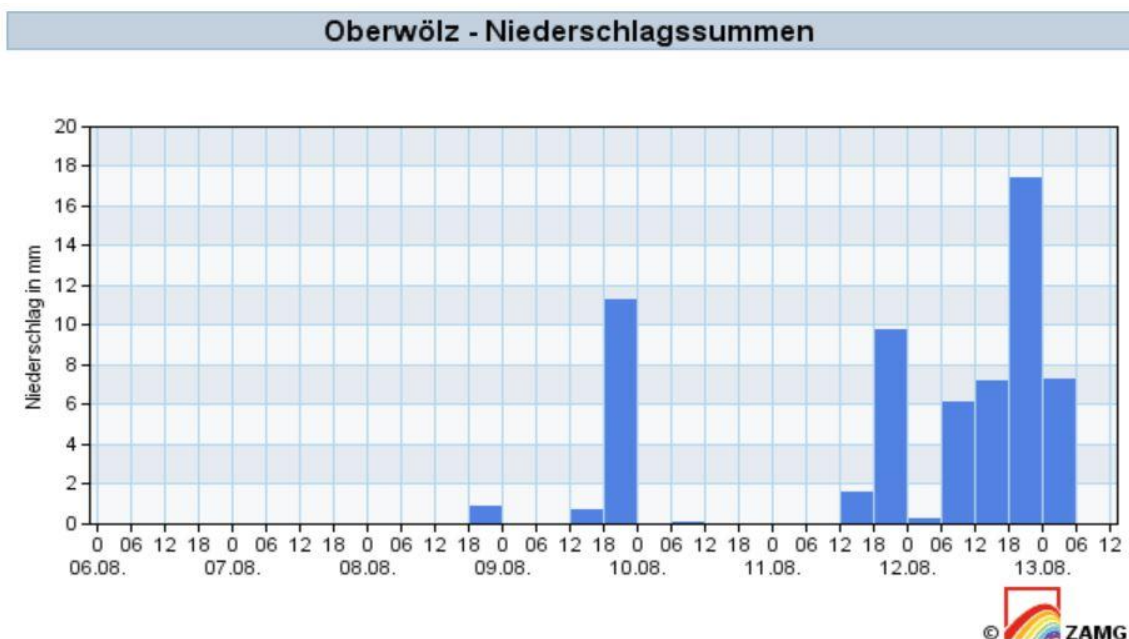


Abbildung 110: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 13. August 2014 (ZAMG, 2014)

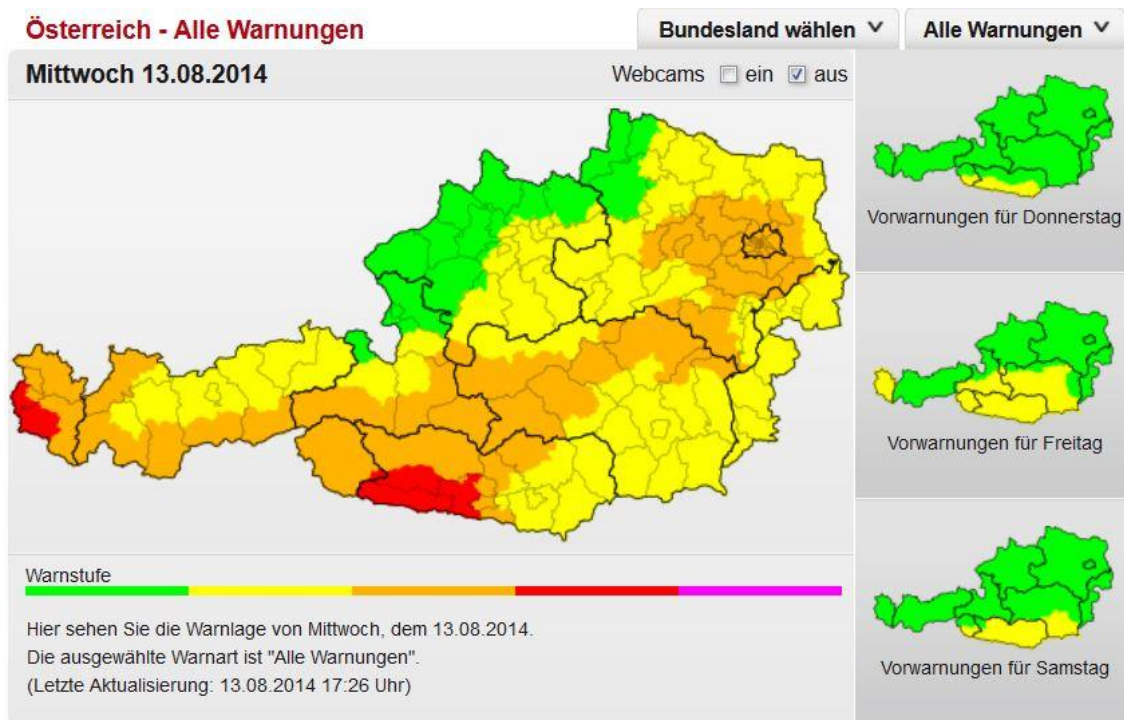


Abbildung 111: Wetterwarnung der UWZ-Österreichischen Unwetterzentrale am 13. August 2014 (UWZ, 2014)

Regenereignis 20. und 23. August 2014

Die Regenfälle in der Nacht vom 20. auf den 21. August sowie jene vom 23. August, bei welchen in Oberwölz bis zu 7 mm/h gemessen wurden, hatten keine wesentlichen Auswirkungen auf die Wildbäche. Wie sich bei einer Begehung am 15. August herausstellte, kam es zu einem kleinen Abflussanstieg. Lediglich die kleineren roten Steine, bis ca. 800 g, haben sich bewegt, wobei es auch immer wieder bei normalem Abfluss zu Sedimentbewegungen bzw. Umlagerungen kommt. Laut Unwetterwarnzentrale (Abbildung 112) herrschte die dritte von fünf Warnstufen vor. Die gefallen Niederschlagsmengen für den Raum Oberwölz Stadt sind in Abbildung 113 dargestellt.

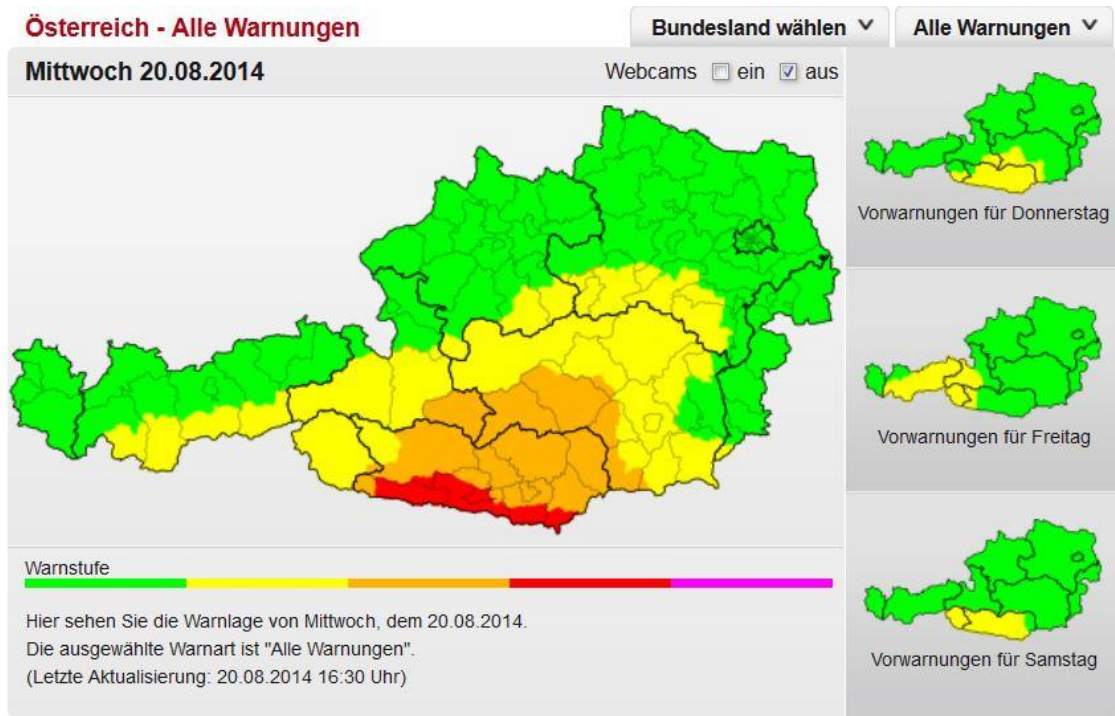


Abbildung 112: Wetterwarnung der UWZ-Österreichischen Unwetterzentrale am 20. August 2014 (UWZ, 2014)

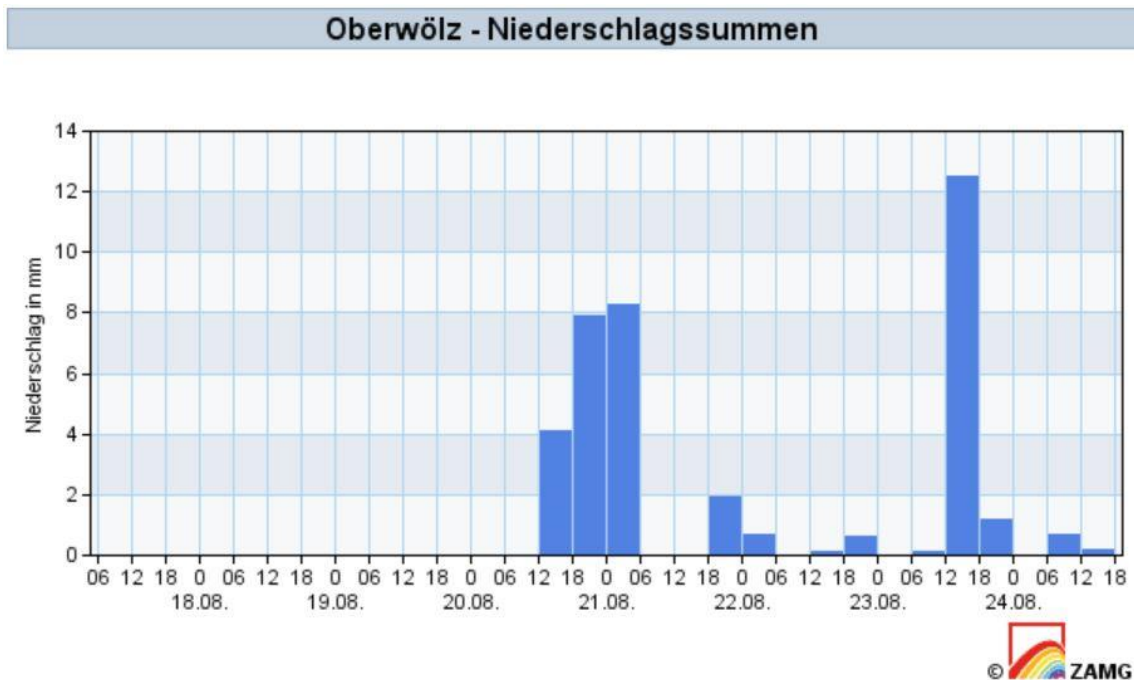


Abbildung 113: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 20. August 2014 (ZAMG, 2014)

4.3 Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet

Da mehr als die Hälfte des Schöttlbach-Einzugsgebiets bewaldet ist, kann wie in Kapitel 2.1.5 beschrieben von einem geringen Oberflächenabfluss ausgegangen werden. Jener Niederschlag der auf den Almen fällt, fließt nach Sättigung des Bodens zwar rascher ab, wird jedoch zum Teil noch vom darunterliegenden Wald abgefangen. Für unser Einzugsgebiet bedeutet dies, dass nur etwa rund 10 bis 20 % des tatsächlichen Niederschlags wirklich im Wildbach ankommen und aus dem Gebiet abfließen. In Tabelle 3 kann der gebietsweise Abfluss (rot umrandet) anhand der gefallenen Niederschlagsmengen nachgelesen werden.

Berechnung

Die nachfolgende Berechnung wird basierend auf den Niederschlagsmessungen im Einzugsgebiet durchgeführt. Dabei soll aus der gefallenen Niederschlagsmenge der Abfluss, welcher im Schöttlbach zu erwarten ist, berechnet werden. Jene Daten der ClimCatch-Wetterstation die zur Berechnung herangezogen wurden können dem Anhang 10.4.5 entnommen werden.

Niederschlag vom 13. August 2014: 2.7 mm / h

Einzugsgebiet vom oberen Schöttlbach: 30 km²

Oberflächenabflusswert aus Tabelle 3: Fichtenaltbestand / rund 20 %

$$30[\text{km}^2] = 30\,000\,000[\text{m}^2]$$

$$2.7 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right] = \frac{2.7}{60 \cdot 60} = 0.00075 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right]$$

$$30\,000\,000[\text{m}^2] \cdot 0.00075 \left[\frac{\text{l}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right] = 22\,500 \left[\frac{\text{l}}{\text{s}} \right] = 22.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

$$22.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \cdot 20\% = 4.5 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Die Berechnung zeigt, dass bei bekanntem konstanten Niederschlag im Einzugsgebiet (siehe Anhang 10.4.5) der Abfluss gut ermittelt werden kann. Tatsächlich betrug der Abfluss an der Brücke Schöttlkapelle am 13. August 2014 gegen 19:15 Uhr $3.83 \text{ m}^3/\text{s}$ mit einem zugehörigen Pegelstand von 0.871 m laut Pegelschlüssel. Dabei ist anzumerken, dass rund $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ vom Ausleitungskraftwerk II flussaufwärts der Brücke Krumeggerbach abgezweigt werden und sich ein Gesamtabfluss von rund $5 \text{ m}^3/\text{s}$ für das obere Einzugsgebiet von 30 km^2 ergibt.

Zu berücksichtigen ist jedoch die Abflussdauer. In dieser Berechnung wurde ausschließlich die zweite Stunde des Niederschlags betrachtet. In der ersten Stunde finden das Verfüllen der Porenräume sowie die Abflussbildung statt.

Laut Beobachtungen beträgt die Zeit bis der Abfluss im Fließgewässer nach einem Niederschlag merkbar ansteigt zwischen 45 und 60 min.

Die Niederschlagsmessungen vom 12. und 13. August 2014, welche im Oberwölzer Stadtgebiet gemessen wurden, können der Abbildung 114 entnommen werden (ZAMG, 2014).

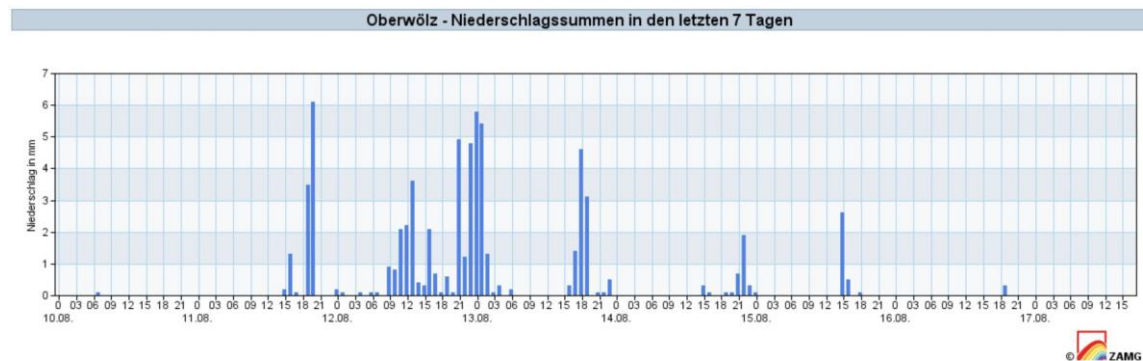


Abbildung 114: Niederschlagsmessung für den 13. August 2014 in Oberwölz (ZAMG, 2014)

Fließzeitermittlung

In Tabelle 39 sind die Zeiten und Daten der einzelnen Pegelstände nach größeren Unwettern im Einzugsgebiet des Schöttlbaches aufgelistet. Darin ist ersichtlich, dass die Hochwasserwelle in den meisten Fällen bereits nach 45 min vom ersten Anstieg den Höchststand im betrachteten Querschnitt erreicht (beige hinterlegt). Von der Brücke Schöttlkapelle bis zur Brücke Hintereggertor beträgt die

Fließzeit der Hochwasserwelle ebenfalls rund 45 min. Daraus resultiert für die rund 7.5 km lange Fließstrecke eine Abflussgeschwindigkeit von 2.78 m/s.

Tabelle 39: Fließzeitermittlung zwischen den Brücke Schöttlkapelle und der Hintereggertor

Abfluss von Hochwasserwellen aus dem Einzugsgebiet								
		Brücke Hintereggertor			Brücke Schöttlkapelle			
Datum		Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Uhrzeit	Wasserstand [m]	Abfluss [m³/s]	Fließzeit [min]
15/07/2012	Höchststand	11:00	1.423	30.02	10:00 - 11:00	1.156	7.64	30 - 60
02/06/2013	Beginn	01:00	0.625	3.81	00:15	0.456	0.80	45
	Höchststand	04:30	1.166	16.05	02:15	0.803	3.15	135
03/07/2013	Beginn	16:30	0.502	2.25	16:20	0.234	0.17	-
	Höchststand	17:15	1.243	20.99	17:00	0.988	5.22	-
13/08/2014	Beginn	18:45	0.507	2.60	-	-	-	-
	Höchststand	19:30	0.954	10.72	19:15	0.871	3.83	-

Die mittlere Fließgeschwindigkeit für ein MQ von 0.616 m³/s beträgt laut Barbas (2014) 0.599 m/s. Dies resultiert in einer Fließzeit von 3.5 h zwischen der Brücke Schöttlkapelle und der Brücke Hintereggertor. Somit bewegt sich eine Hochwasserwelle rund 5-mal schneller talwärts als das Wasser bei Normalabfluss.

Nach Formel 6 errechnet sich für den Bereich flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0.556 m/s. Aufgrund der geringen Wassertiefe wird von einem Rechteckprofil ausgegangen. Die mittlere Wassertiefe wird mit 15 cm gewählt, wobei die Querschnittsbreite beträgt 7 m. Das Gefälle wurde mit 4.1 % und ein Stricklerbeiwert von 10 angenommen.

$$v_m = k_{St} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} = 10 \cdot \left(\frac{7 \cdot 0.15}{7 + 0.15 + 0.15} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0.041} = 0.556 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$Q_m = v \cdot A = 0.556 \cdot (7 \cdot 0.15) = 0.58 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Der mittlere Abfluss beträgt demnach 0.58 m³/s. Es gilt zu beachten, dass es sich beim betrachteten Abfluss nicht um den Gesamtabfluss aus dem oberen Einzugsgebiet handelt. Das Brauchwasser vom Kraftwerk II am Schöttlbach sollte zusätzlich berücksichtigt werden.

5. Ergebnisse im Labor

Dieses Kapitel stützt sich auf ein Untersuchungsprogramm zur Erfassung der für den Sedimenttransport relevanten bodenmechanischen Parameter. Es wurden drei Großscherversuche, drei Kornverteilungsanalysen, eine Korndichtenbestimmung sowie das Wasseraufnahmevermögen von Gesteinskörnern aus der Region durchgeführt. Die Durchführung der Versuche erfolgte im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau an der Technischen Universität Graz.

5.1 Großscherversuch

Um eine exakte Schergerade zu erhalten werden bei den Versuchen drei verschiedene Einzelscherversuche durchgeführt. Jeder dieser Versuche liefert einen Punkt auf der Schergeraden. Jeder Einzelversuch wird über einen Zeitraum von 20 h konsolidiert. Dabei wird in der 30 cm x 30 cm großen Scherbuchse eine Materialdichte von rund $2.22 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ erreicht. Die aufgewendeten Normalspannungen für jeden Einzelversuch sind in der nachkommenden Tabelle 40 aufgelistet.

Die Konsolidierungsspannung σ_{Kons} beträgt für jeden Einzelscherversuch $550 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F = 49.5 \text{ kN}$.

Tabelle 40: Normalspannungen pro Einzelscherversuch

18839_1-100	$\sigma_{\text{N}} = 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F = 9 \text{ kN}$
18839_1-200	$\sigma_{\text{N}} = 200 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F = 18 \text{ kN}$
18839_1_350	$\sigma_{\text{N}} = 350 \text{ kN/m}^2 \rightarrow F = 31.5 \text{ kN}$

Daten zum Großscherversuch

Der Einbau erfolgt mit einem Größtkorn von 40 mm.

Scherweg: 60 mm

Grundfläche $G = 30 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} = 900 \text{ cm}^2$

Höhe $h = 20 \text{ cm}$

Volumen $V = G \cdot h = 900 \text{ cm}^2 \cdot 20 \text{ cm} = 18000 \text{ cm}^3$

Einbaudichte: $M = V \cdot \rho \rightarrow \rho = \frac{M}{V} = \frac{40000}{18000} = 2.22 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Schergeschwindigkeit: $0.1 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

Mit einem ermittelten Reibungswinkel von 39° und einer zugehörigen Kohäsion von 11 kN/m erreicht das Material im Bachbett flussaufwärts der Hohenbichlersperre nicht ganz jene Werte der Böschungsprobe, welche ebenfalls flussaufwärts der Hohenbichlersperre entnommen wurde. Der Reibungswinkel der Böschungsprobe ist mit 39° ident mit dem des Bachbettmaterials, jedoch besitzt das Böschungsmaterial mit 18.5 kN/m^2 eine höhere Kohäsion. Der Versuch zeigt, dass sich der Reibungswinkel der zwei Materialien kaum unterscheidet, da es sich beim Böschungsmaterial im Grunde genommen um das gleiche Material wie in der Bachsohle handelt, jedoch im Bachbett die Schluff und Tonanteile sofort ausgewaschen und abtransportiert werden. Dies macht sich in der sinkenden Kohäsionskraft vom Material der Bachsohle bemerkbar. Aufgrund der höheren Kohäsion im Böschungsmaterial kann eine Steigerung des sich einstellenden Böschungswinkels durchaus möglich sein. Zur Abschätzung und zu Vergleichszwecken wurde die Böschung an mehreren Stellen mit einer vier Meter langen Messlatte und einem Winkelmessgerät vermessen (siehe Kapitel 4.1.6).

Abbildung 115 zeigt die Ergebnisse der Probe aus dem Querschnittsprofil der Brücke Schöttlkapelle mit einem ermittelten Reibungswinkel von 42.5° und einer Kohäsion von 42.9 kN/m^2 . Bei diesem Scherversuch mit der Probe aus dem Bachbett der Brücke Schöttlkapelle (18839_3) handelt es sich bei der Kohäsion

um scheinbare Kohäsion (siehe Kapitel 3.2.2). Bei der betrachteten Probe handelt es sich hauptsächlich um Kies mit rund 25 % Feinanteilen wie anhand der Körnungslinie (siehe Anhang 10.5.3) ersichtlich ist. Diese 25% sind jedoch nicht zu vernachlässigen, da diese einen wesentlichen Beitrag zur kompakten Matrixbildung liefern.

Bei der graphischen Darstellung der "Schengerade" kann davon ausgegangen werden, dass es sich in Wirklichkeit um eine gekrümmte Verbindungslinie der einzelnen Scherpunkte handelt die gegen Null geht und somit keine bzw. nur eine geringe Kohäsion ausgibt (siehe Kapitel 3.2.2). Für das betrachtete grobkörnige Sohlenmaterial kann Kohäsion weitgehend ausgeschlossen werden (Abbildung 115). Wesentliche Beachtung sollte der Kapillarwirkung unter den Gesteinskörnern geschenkt werden (siehe Kapitel 2.1.1.6). In dem betrachteten Einzugsgebiet des Schöttlbaches konnte loser Partikeltransport als auch Saugspannung, welche beim Entfernen von größeren Steinen aus der Gewässersohle wirkt, beobachtet werden.

Abbildung 115 stellt letztlich die Bruchkurve, welche aus den Einzelscherversuchen resultiert dar. In Abbildung 116 ist das zugehörige Spannungsdiagramm mit den einzelnen Scherkurven angeführt.

Im Anhang 10.5.2 sind die Ausgabeprotokolle der durchgeführten Großscherversuche 18839_1 bis 18839_2 angeführt.

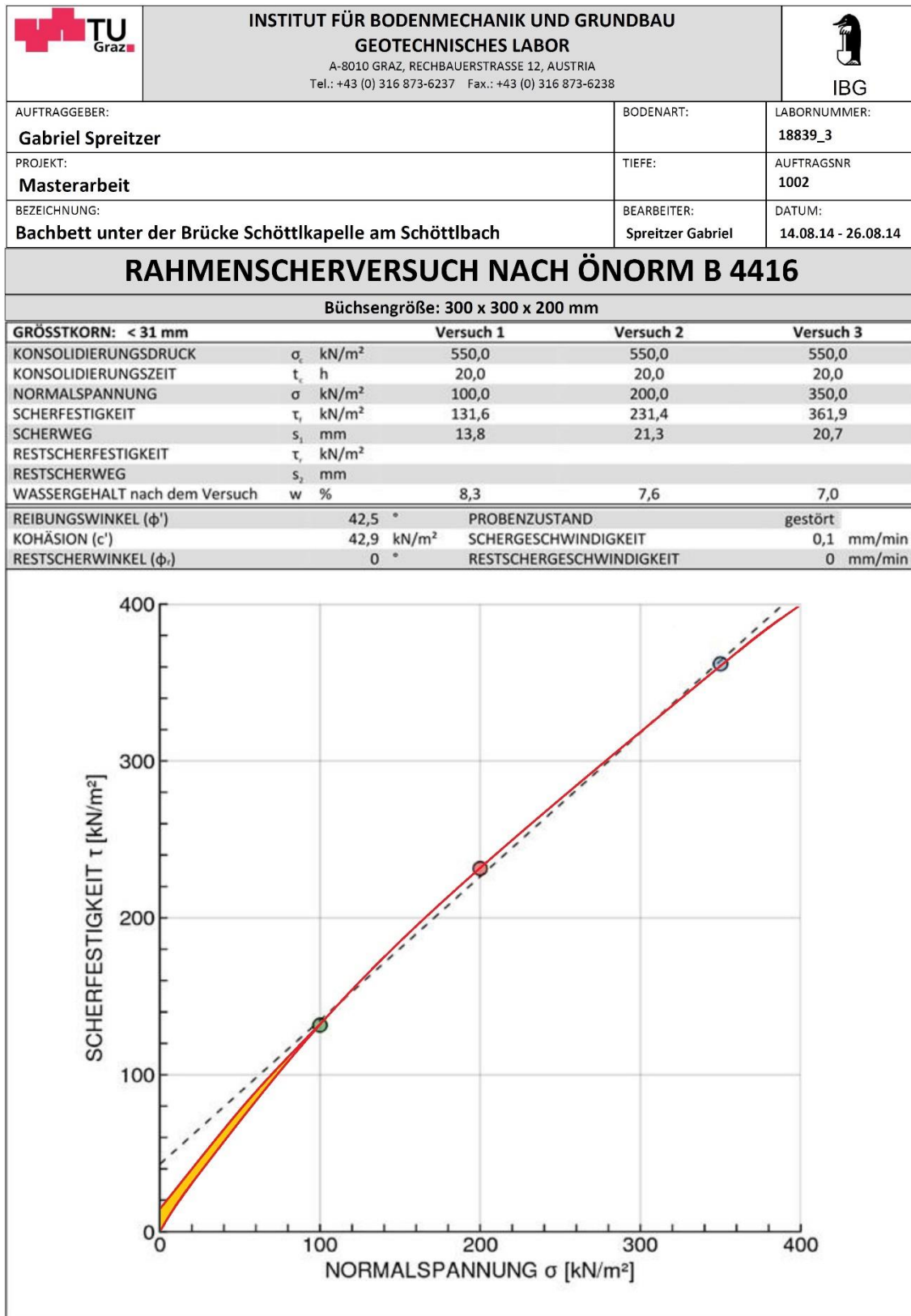


Abbildung 115: Versuchsprotokoll des Rahmenscherversuchs der Probe aus dem Bachbett beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle

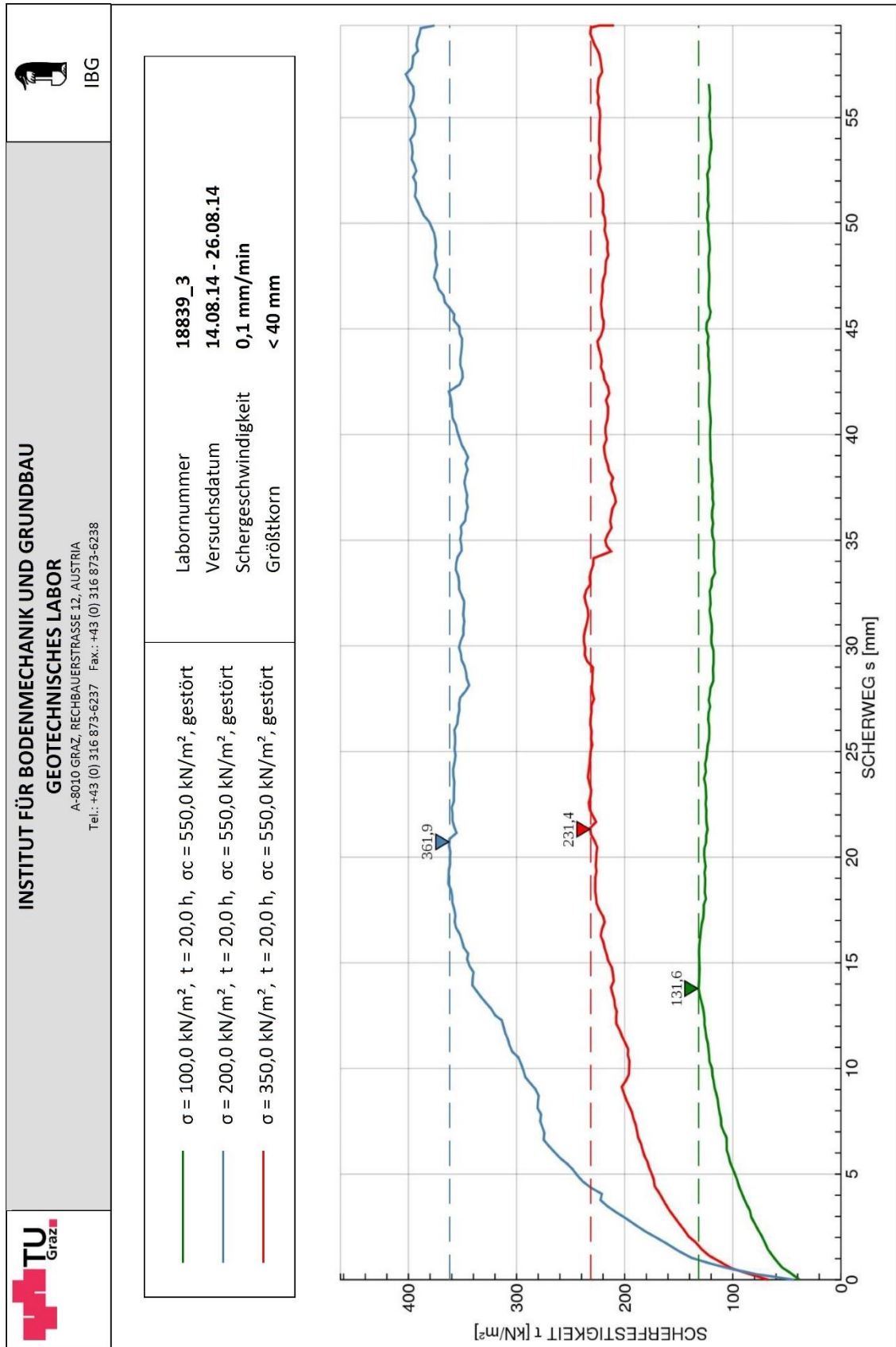


Abbildung 116: Spannungsdiagramm des Rahmenschersversuchs der Probe aus dem Bachbett beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle

Die nachfolgende Abbildung 117 zeigt ein Beispiel für scheinbarere Kohäsion, bei welcher mittels eines Handpenetrometers die Festigkeit von Sandkugeln bestimmt wurde. Beim Sand handelt es sich um ein Körnungsgemisch zwischen 0.063 mm und 1 mm aus dem Einzugsgebiet des Schöttlbaches, welches im feuchten Zustand zu Kugeln mit 8 cm Durchmesser geformt und diese anschließend bei 105° getrocknet wurden. Die Festigkeitsprüfung ergab einen Wert von 0 kN (kein Ausschlag des Schleppzeigers am Penetrometer).

Abbildung 118 zeigt die Kohäsion des Bachbettmaterials, welches nach dem Scherversuch bei 105° im Ofen getrocknet wurde.



Abbildung 117: Festigkeitsermittlung der scheinbaren Kohäsion am Beispiel von Sandkugeln



Abbildung 118: Kohäsion vom Scherversuchsmaterial aus dem Bachbett welches zur Wassergehaltsbestimmung bei 105° getrocknet wurde

5.2 Korngrößenverteilung

Neben den Großscherversuchen (Kapitel 5.1) wurden an den definierten Stellen zusätzlich Kornverteilungsanalysen durchgeführt.

Für das Material aus dem Bachbett wurde ein Kleinstsieb mit der Maschenweite von 0.063 mm gewählt, da es sich um ein sandig-kiesiges Material handelt und von einem Feinanteil < 0.125 mm von weniger als 10 % der Gesamtprobenmasse ausgegangen werden kann. Beim Probenmaterial, welches aus der Böschung entnommen wurde, sind Schluff- bzw. geringe Tonanteile enthalten, wodurch eine zusätzliche Schlämmanalyse erforderlich ist.

Abbildung 119 zeigt das Versuchsprotokoll der Korngrößenverteilung vom Material welches aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde. In Abbildung 120 ist die zugehörige Körnungslinie des Materials dargestellt.

Wie aus den Kornverteilungen von ersichtlich, weisen sowohl Gewässersohle als auch Böschung ein sehr breitgefächertes Korngrößenband auf.

Im Anhang 10.5.3 können die Körnungslinien vom Bachbettmaterial flussaufwärts der Geschiebesperre und beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle eingesehen werden.



	INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238</small>		 IBG																																										
	KORNGRÖSSENVERTEILUNG																																												
ANGABEN ZUR PROBE																																													
Projekt:	Masterarbeit	Labornummer:	18839_2																																										
Projekt Nr.:	1002	Tiefe:	-																																										
Auftraggeber:	Gabriel Spreitzer	Bearbeiter:	Spreitzer Gabriel																																										
Bezeichnung:	Böschung oberhalb der Geschiebesperre am Schöttlbach	Datum:	30.07.14 - 03.08.14																																										
ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE																																													
<p>Siebanalyse</p> <table> <thead> <tr> <th>Ø [mm]</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>31,5</td><td>96,9</td></tr> <tr><td>16,0</td><td>84,9</td></tr> <tr><td>8,0</td><td>72,4</td></tr> <tr><td>4,0</td><td>58,1</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>48,5</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>40,3</td></tr> <tr><td>0,5000</td><td>34,8</td></tr> <tr><td>0,2500</td><td>30,0</td></tr> <tr><td>0,1250</td><td>25,6</td></tr> </tbody> </table> <p>Schlämmanalyse</p> <table> <thead> <tr> <th>Ø [mm]</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,0601</td><td>20,1</td></tr> <tr><td>0,0444</td><td>17,8</td></tr> <tr><td>0,0326</td><td>15,6</td></tr> <tr><td>0,0216</td><td>12,6</td></tr> <tr><td>0,0129</td><td>10,1</td></tr> <tr><td>0,0077</td><td>7,7</td></tr> <tr><td>0,0048</td><td>5,8</td></tr> <tr><td>0,0028</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>0,0014</td><td>3,5</td></tr> </tbody> </table>				Ø [mm]	%	45,0	100,0	31,5	96,9	16,0	84,9	8,0	72,4	4,0	58,1	2,0	48,5	1,0	40,3	0,5000	34,8	0,2500	30,0	0,1250	25,6	Ø [mm]	%	0,0601	20,1	0,0444	17,8	0,0326	15,6	0,0216	12,6	0,0129	10,1	0,0077	7,7	0,0048	5,8	0,0028	4,5	0,0014	3,5
Ø [mm]	%																																												
45,0	100,0																																												
31,5	96,9																																												
16,0	84,9																																												
8,0	72,4																																												
4,0	58,1																																												
2,0	48,5																																												
1,0	40,3																																												
0,5000	34,8																																												
0,2500	30,0																																												
0,1250	25,6																																												
Ø [mm]	%																																												
0,0601	20,1																																												
0,0444	17,8																																												
0,0326	15,6																																												
0,0216	12,6																																												
0,0129	10,1																																												
0,0077	7,7																																												
0,0048	5,8																																												
0,0028	4,5																																												
0,0014	3,5																																												

Abbildung 119: Versuchsprotokoll der Kornverteilung jener Probe welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde

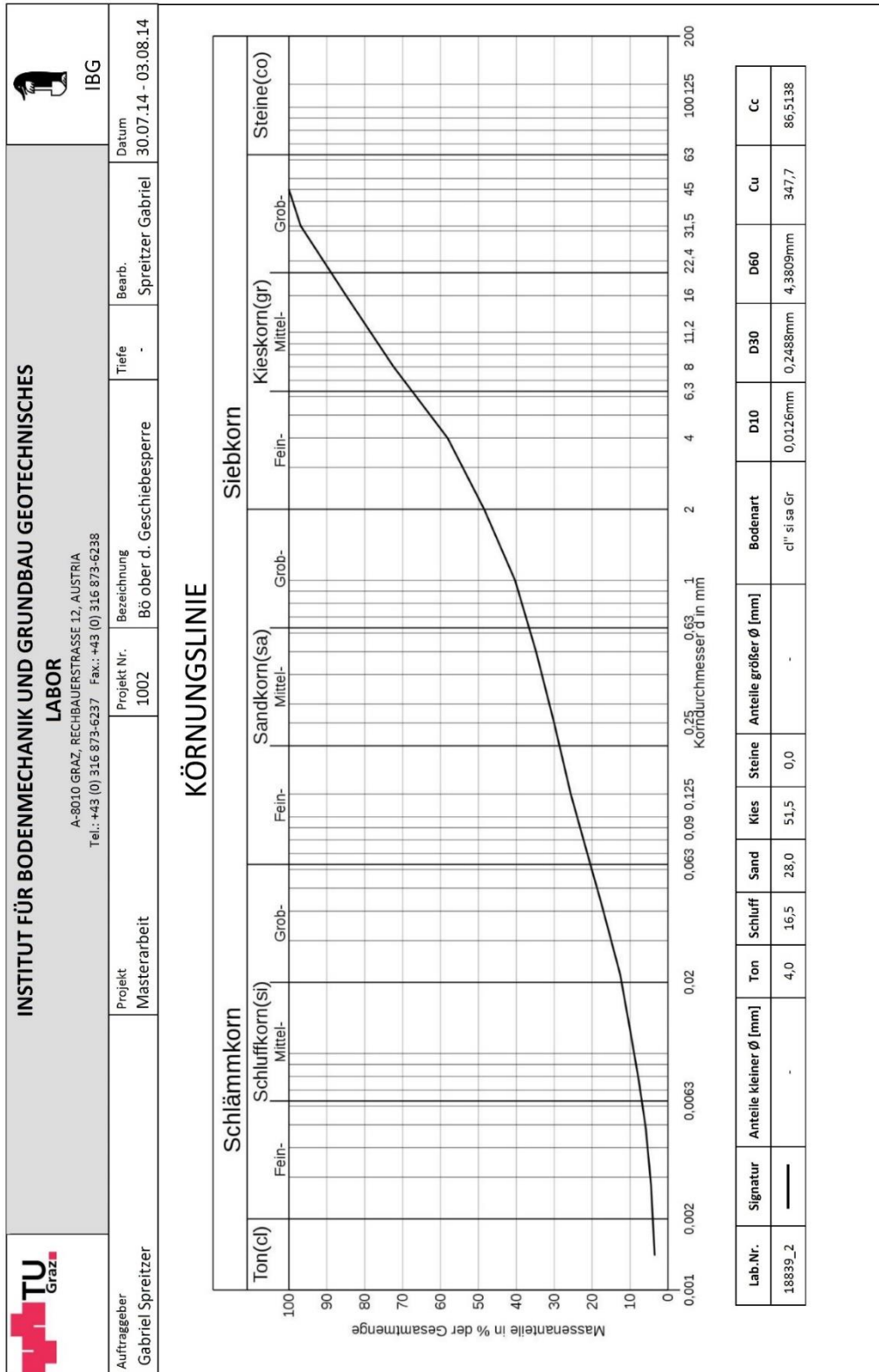


Abbildung 120: Körnungslinie jener Probe welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebeperrre entnommen wurde

5.3 Korndichte

5.3.1 Pyknometersversuch < 4 mm

 TU Graz Graz University of Technology	INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR	
	RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238	

AUFTRAGGEBER: Gabriel Spreitzer	BEZEICHNUNG: Entnahme bei Brücke Schöttlkapelle	LABORNUMMER: 18839_4
PROJEKT: ClimCatch / Oberwölz	BODENART: Sohlmaterial < 4 mm	PROJEKTNUMMER: 1002
	BEARBEITER: Spreitzer Gabriel	DATUM: 21.08.2014

KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pyknometer-Nr.				111	112	92
2	Tara	g	m_0	T	49.505	48.0492	48.216
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	m_1	L	71.397	65.5163	68.625
4	Trockenmasse Probe	g	m_2	3-2	21.892	17.4671	20.409
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	m_3	L	164.8930	160.4864	164.8230
6	Versuchstemperatur Probe + Wasser	°C	t	L	24	24.5	24.6
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	Δm	T	-0.0914	-0.103	-0.106
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20 °C	g	m_4	T	150.485	149.016	151.41
9	Masse Pyknometer +Wasser bei t °C	g	m_5	7+8	150.3936	148.913	151.304
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm ³	ρ_w	T	0.9973	0.9972	0.9972
11	Bodenvolumen	cm ³	V_K	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.412	5.910	6.909
12	Korndichte	Mg/m ³	ρ_s	$\frac{4}{11}$	2.953	2.955	2.954
13	Mittelwert aus allen Versuchen	Mg/m ³	$\rho_{s,i.M.}$		2.95		

ANMERKUNG: Relativ hohe Korndichte mit 2.95 g/cm³, Jedoch für ein Gneis-Quarz-Gemisch durchaus möglich.

Abbildung 121: Versuchsprotokoll der Korndichtenbestimmung (< 4.0 mm)

Bei der Korndichtebestimmung (Abbildung 121) mittels Pycnometer wurde ein Wert von $\rho_s = 2.95 \text{ g/cm}^3$ ermittelt. Dieser ist sehr hoch, jedoch für ein Gneis-Quarz-Gemisch, wie es im Einzugsgebiet des Schöttlbaches vorherrscht, durchaus möglich.

5.3.2 Dichtebestimmung von Kies

Für den Grobkies (40 mm) wurde wie in Tabelle 41 ersichtlich eine Korndichte von 2.77 g/cm^3 ermittelt. Das angewandte Verfahren wird in Kapitel 3.2.4 beschrieben.

Tabelle 41: Dichtebestimmung von Kieskörnern (Korndurchmesser rund 40 mm)

Höhe des Wassers	20.00	[cm]
Durchmesser	17.25	[cm]
Grundfläche	233.71	[cm ²]
Volumen	4674.10	[cm ³]
Höhe des Wassers mit Steinen	23.90	[cm]
Durchmesser	17.25	[cm]
Grundfläche	233.71	[cm ²]
Volumen	5585.55	[cm ³]
Volumendifferenz	911.45	[cm ³]
Trockengewicht der Steine	2521.80	[g]
Dichte	2.767	[g/cm ³]
Dichte vom Kiesmaterial mit einem Korndurchmesser von rund 40 mm	2.77	[g/cm³]

5.4 Wasseraufnahme

Der Gewichtsunterschied zwischen den gesättigten Kieskörnern und den 100% trockenen Kieskörnern wurde anhand des Wasseraufnahmeverfahrens ermittelt und beträgt 12.2 g bezogen auf eine Gesamttrockenmasse von 2521.8 g. Dies hat mit einem Dichteunterschied von 0.01 g/cm³ keine Auswirkungen und kann vernachlässigt werden. Das Wasseraufnahmevermögen von dem im Einzugsgebiet betrachteten Gestein, einer Mischung aus Gneis und Quarzit, beträgt weniger als 0.5 % (Tabelle 42).

Tabelle 42: Wasseraufnahmevermögen

Wassergesättigtes Gewicht	2534.00	[g]
Trockengewicht	2521.80	[g]
Wassermenge	12.20	[g]
Wasseraufnahmevermögen	0.48	[%]

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge dieser Arbeit wurden grundlegende hydraulische Aspekte sowie bodenmechanische Eigenschaften des Materials im betrachteten Untersuchungsgebiet ausgearbeitet. Diese hydraulischen und bodenmechanischen Daten sollen im Rahmen des Forschungsprojekts ClimCatch als Basis für noch ausstehende Berechnungen, wie zum Beispiel den Transportbeginn unter Einbeziehung des inneren Reibungswinkels oder die Auswirkung der Saugspannung auf die Widerstandsfähigkeit der Gesteinspartikel in einem Fließgerinne, dienen.

Für das im Einzugsgebiet vorkommende Gestein konnte mittels Laborversuchen ein Reibungswinkel von 42.5° sowie eine Korndichte von 2.77 g/cm^3 ermittelt werden. Wie zahlreiche Sieb- als auch Linienzahlanalysen zeigten, handelt es sich im Bachbett um eine sehr breitbandige Sedimentfraktion, wobei Kohäsion weitgehend ausgeschlossen werden kann. Die steilen Böschungen, welche die darunterliegenden Wildbäche durch stetig nachrutschendes Material mit Sediment versorgen, versagen bei Neigungen zwischen 40 und 45° .

Einen weiteren wesentlichen Punkt dieser Arbeit stellen die ausgewerteten Pegelschlüssel zu den einzelnen Querprofilen der Brücke Hintereggertor, Brücke Schöttlkapelle sowie der Brücke Krumeggerbach dar. Für niedrige Wasserstände liefern diese Pegelschlüssel sehr zuverlässige Werte, jedoch ist über eine Sohlerrhöhung im Hochwasserfall relativ wenig bekannt. Diese Sohlerrhöhung aufgrund des stattfindenden Geschiebetransports hat klare Auswirkungen auf den Pegelstand im betrachteten Querprofil und muss für einen aussagekräftigen und zuverlässigen Pegelschlüssel berücksichtigt werden. Abbildung 97 in Kapitel 4.1.4 zeigt den Pegelschlüssel mit dem rot schraffierten Bereich der Sohlerrhöhung am Querprofil der Brücke Hintereggertor. Die Erforschung des Geschiebetransports in Hochwasserfällen, vor allem in Wildbächen, stellt somit für die Sicherheit als auch für exakte Abflussvorhersagen ein wesentliches Kriterium dar. Je genauer die Vorhersagen bei bestimmten Abflüssen getroffen werden können, desto abschätzbarer wird die Gefahr, die von Wildbächen ausgehen kann.

Eine Möglichkeit zur Erfassung des Geschiebetransports in Wildbächen stellen Farbtracersteine dar. Im Zuge des ClimCatch Projektes wurden am Schöttlbach

insgesamt 101 und am Krumeggerbach 27 Tracersteine ausgesetzt und deren Bewegungsverhalten über die Jahre 2012, 2013 und 2014 verfolgt. Die Abstände der Registrierungen im Jahr 2014 wurden in der vorliegenden Arbeit nach jedem Starkregenereignis, ansonsten alle zwei Wochen mit einer Kontrollbegehung anberaumt. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, jedes Hochwasserereignis einzeln zu erfassen, um das Bewegungsverhalten der Tracersteine dem entsprechenden Abfluss zuordnen zu können. Jedoch ist dies im Falle von länger andauernden Niederschlägen aufgrund der Wassertrübung erheblich schwieriger. Aufschlussreiche Begehungen zur Registrierung der Farbtracersteine konnten nur bei Schönwetter mit klarem Abfluss sinnvoll durchgeführt werden. Bei zukünftigen Registrierungen der Tracersteine mit Hilfe eines GPS-Geräts sollte darauf geachtet werden, dass es bei Schlechtwetter zu starken Abweichungen der GPS-Koordinaten kommt. Die Abweichungen der Markierungspunkte bereiten in der Auswertung des Bewegungsverhaltens der Tracersteine Schwierigkeiten.

Am Schöttlbach kam es im Jahr 2014 zu keinem markanten Hochwasserabfluss, wodurch die schwereren Farbtracersteine keine Lageänderung erfuhren. Versuche mit Farbtracersteinen, welche eine Masse von bis zu 800 g aufweisen, haben jedoch gezeigt, dass bereits bei leicht erhöhten Abflüssen von $1.59 \text{ m}^3/\text{s}$ Transportstrecken von 52 m zurückgelegt werden. Dabei durchwanderten die kleinen Farbtracersteine vor allem den Außenbogen etwa 50 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle, ehe sie wieder quer über das Bachbett ans rechte Ufer transportiert und teilweise abgelagert wurden. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass die größeren ausgesetzten Farbtracersteine, welche keine Bewegung erfuhren, in die Sohle eingebettet wurden - ein Anzeichen dafür, dass auch bei geringeren Abflüssen Sedimenttransport stattfindet. Am 13. August 2014 fanden bei einem Abfluss von $3.85 \text{ m}^3/\text{s}$ zahlreiche Bewegungsvorgänge statt. Dabei wurde Farbtracerstein 4B mit einer Masse von 8 kg rund 27 m weit abtransportiert, wobei jedoch im Vergleich Farbtracerstein 1x mit einer Masse von 0.8 kg lediglich 55 m zurückgelegt hatte.

Beobachtungen zufolge ist der Sedimenttransport am Krumeggerbach bei einem Abfluss von $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$ bereits voll im Gange. Demnach wurde der Radiotelemetrietracerstein 8 mit einer Masse von 4.75 kg rund 25 m weit abtransportiert.

Farbtracerstein K15 (4.35 kg) legte bei diesem Abfluss eine Distanz von 15 m zurück. Es wird auf die runde Kornform der beiden Tracersteine hingewiesen. Die Auswirkungen des Kraftwerkbetriebs werden am Beispiel des 22. Juli 2014 deutlich, als der Abfluss innerhalb von 5 min von 0.1 m³/s auf 2.3 m³/s anstieg. Grund dafür dürfte das Ausleitungskraftwerk I am Krumeeggerbach gewesen sein, welches im Hochwasserfall vom Netz geht. Durch den daraus resultierenden sturzflutartigen Abfluss wurden sämtliche Steine in Bewegung gesetzt. Der schwerste Farbtracerstein, welcher am Krumeeggerbach ausgesetzt wurde, K12 mit einer Masse von 23.6 kg, wurde im Zuge dieses Ereignisses rund 12 m weit abtransportiert. Wesentlich ernster war die Lage am 13. September 2014, als es bei einem Abfluss von rund 7.5 m³/s zu einer Umlagerung des gesamten Bachbettes des Krumeeggerbaches gekommen war (siehe Anhang 10.2.3).

Mit der Kenntnis des kritischen Abflusses lassen sich über die Abflussganglinie Rückschlüsse auf das Bewegungsverhalten der Sedimentgesteine in Wildbächen ziehen. Somit konnte zum Beispiel am Krumeeggerbach das Bewegungsverhalten der Farbtracersteine K6 und K12 nachvollzogen werden. Farbtracerstein K12 (23.6 kg) wurde bei einem aus der Abflussganglinie ermittelten Abfluss von 2.27 m³/s abtransportiert. Der kritische Abfluss, welcher für den Farbtracerstein K12 am Krumeeggerbach berechnet wurde, beträgt 1.83 m³/s. Für den Farbtracerstein K6 (1.6 kg) wurde ein kritischer Abfluss von 0.33 m³/s errechnet, wobei bei einem Abfluss von 0.56 m³/s deutliche Bewegungen von K6 am Krumeeggerbach registriert werden konnten. Die Berechnung des kritischen Abflusses für den kleinen Tracerstein 8x (0.15 kg) am Schöttlbach zeigt, dass bereits bei einem Abfluss von 0.47 m³/s der Transportbeginn für diese kleine Sedimentfraktion anläuft. Tatsächlich konnte beobachtet werden, dass diese kleinen Farbtracersteine schon bei sehr geringen Abflüssen transportiert werden.

Zur Erfassung bzw. Erforschung des Geschiebetransports in alpinen Einzugsgebieten stellen Farbtracersteine eine gute und einfache Möglichkeit dar. Jedoch ist auf eine ausreichende Vorbereitung sowie eine regelmäßige Registrierung dieser Tracersteine besonderer Wert zu legen. Die Bestimmung der Kornform und Kornabmessungen sowie die Dokumentation des Gewichts der Tracersteine sollte sehr gewissenhaft durchgeführt werden, um bei einem Wiederauffinden der

Tracersteine die Zuordnung zu erleichtern und eine exakte Auswertung zu gewährleisten. Die Tracersteine in Wildbächen sind starken Witterungsbedingungen ausgesetzt, was sich in der Statistik der Wiederauffindwahrscheinlichkeit mit sinkender Tendenz bemerkbar macht.

Der am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz gebaute große Helley-Smith-Geschiebefänger fand aufgrund von zu geringen Abflüssen keine Anwendung. Der große Helley-Smith-Geschiebefänger bietet eine sehr gute Möglichkeit zur Erfassung des tatsächlichen Geschiebetransports in Hochwasserfällen. Für geringere Abflüsse konnten mit dem kleinen Helley-Smith-Geschiebefänger gute Abschätzungen erzielt werden. Demzufolge ergab die Hochrechnung für den 30. Juni 2014 mit einem leicht erhöhten Abfluss von 900 l/s am Querprofil der Brücke Schöttlkapelle eine Tagesgeschiebefracht von rund 1.5 Tonnen.

Mit der am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz entwickelten Simulationssoftware Bed-Load Analyzer lassen sich auch für Wildbäche Berechnungen durchführen, wobei diese Berechnungen jedoch aufgrund des Rauigkeits-Geometrie-Verhältnisses vorwiegend für den höheren Abflussbereich Geltung finden. Im Zuge dieser Arbeit wurde intensiv mit dieser Software gearbeitet, um bei der Erstellung der Pegelschlüssel, als auch bei der Ermittlung des Geschiebetransports zusätzliche Anhaltspunkte bzw. eine weitere Kontrolle zu erhalten. Im Großen und Ganzen korrelieren die tatsächlich im Feld durchgeführten Abflussmessungen mittels Nautilusmessgerät sowie der Salztracermethode gut mit den im Simulationsprogramm berechneten Abflüssen. Bei der Simulation der Geschiebetransportraten wurde aufgrund der großen Querprofilabmessungen für geringe Abflüsse kein stimmiges Ergebnis erzielt. Jedoch muss angemerkt werden, dass die wirklich relevanten Transportraten erst bei größeren Abflüssen zustande kommen.

Diese Arbeit bietet eine erste Grundlage zur Berechnung von Abflüssen nach lokalen Niederschlägen im untersuchten Einzugsgebiet. Ziel ist es, jene Niederschlagsmenge exakt abschätzen zu können, welche letztlich im Wildbach ankommt und abfließt. Den Ergebnissen dieser Arbeit zufolge gelangen lediglich

zwischen 10 und 20 % des tatsächlich gefallenen Niederschlags im Einzugsgebiet zum Abfluss im Wildbach. Somit kann über die benötigte Abflusszeit und den gefallenen Niederschlag im Einzugsgebiet der Abfluss des Wildbaches bestimmt und gegebenenfalls eine vorzeitige Hochwasserwarnung ausgegeben werden. Für eine exakte Niederschlagsüberwachung könnten entsprechende Wetterstationen mit direkter Funkübertragung installiert werden.

Eine zusätzliche Überwachung der Wildbäche und der aktuellen Wettersituation könnte durch die Installation von Webcams bzw. durch die Echtzeitdatenübertragung der Druckpegelmessungen sowie der Wetterstationen erfolgen. Diese Webcams sowie die Liveübertragungen der Messsignale würden eine wesentliche Erleichterung zur Erforschung der Wildbäche im betrachteten Einzugsgebiet mit sich bringen.

Da Wildbäche ein enormes Gefahrenpotential in sich tragen, sollte zumindest das Bachbett vom eingetragenen Wildholz befreit bzw. dieses klein geschnitten werden, um Verklausungen an Engpässen und größere Schäden durch Wildholztransport zu vermeiden.

7. Literaturverzeichnis

- Aberle, J. (2000). *Untersuchung der Rauheitsstruktur zur Bestimmung des Fließwiderstands in Gebirgsbächen unter Klarwasserabfluss. Mitt Nr. 207, Institut für Wasserwesen und Kulturtechnik, Univ. Karlsruhe.*
- Badoux, A., & Rickenmann, D. (2008). *Berechnungen zum Geschiebetransport während der Hochwasser 1993 und 2000 im Wallis. Wasser Energie Luft / Heft 3 . CH-5401 Baden: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband.*
- Bambynek, J. (2011). *Durchflussermittlung mit der Salzverdünnungsmethode, Präsentation, Technische Universität Braunschweig.* Abgerufen am 15. August 2014 von http://134.169.6.103/Geo/03.Studierende/Lehrveranstaltungen/pdf/Traecer_2011.pdf
- Barbas, T. (2014). *Untersuchung des Geschiebetransports in Wildbächen mittels Tracerverfahren, Masterarbeit am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz.*
- Bechteler, W. (2006). *Sustainable Sediment Management in Alpine Reservoirs considering ecological and economical aspects; Sedimentquellen und Transportprozesse; Volume 2.* Abgerufen am 16. August 2014 von http://www.alpine-space.org/uploads/media/ALPRESERV_sedimentaion_sources_and_transport_processes_DE.pdf
- Bezzola, G., & Minor, H. (2004). *Vorlesungsskriptum Flussbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.*
- Bing.Maps. (2014). *Kartenmaterial.* Abgerufen am 26. Juli 2014 von <http://www.bing.com/maps/#Y3A9NDcuMDgzMTk5fjE1LjQ3OTAwMCZsdmw9NyZzdHk9ciZ3aGVyZTE9T2JlcnciQzMIQjZseg==>
- BMLFUW. (2011). *Beiträge zu Hydrographie Österreichs, Heft Nr. 60, Flächenverzeichnis der österreichischen Flussgebiete, Murgebiet.* Wien: Ministerium für ein Lebenswertes Österreich. Abgerufen am 14. Juni 2014 von www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische_daten/einzugsgebiete2011/FIV_erz_Mur_2011.pdf

- BMLFUW. (2011a). *Wildbäche - Ministerium für ein lebenswertes Österreich*.
Abgerufen am 10. August 2014 von <http://www.bmlfuw.gv.at/forst/schutz-naturgefahren/naturgefahren/wildbaeche/Wildbaeche.html>
- Bollrich, G. (2013). *Technische Hydromechanik 1 - Grundlagen; Kapitel 6.3 - Seite 263*. Berlin-Wien-Zürich: Beuth Verlag GmbH. Von <http://books.google.at/books?id=eYDtsdqNPiEC&pg=PA263&lpg=PA263&dq=Cypin+1980&source=bl&ots=4xkVPzLrkO&sig=g-LrABe57rob3d88fAAwbUllrjc&hl=de&sa=X&ei=pub5U6nvGqrD0QW9woCwAg&ved=0CCgQ6AEwAQ#v=onepage&q=Cypin%201980&f=false> abgerufen
- Bollrich, Gerhard; Preißler, Günter. (1985). *Technische Hydromechanik Band 1*. Dresden: VEB Verlag für Bauwesen - Berlin.
- Burbaum, U. (2009). *Adhäsion bindiger Böden an Werkstoffoberflächen von Tunnelvortriebsmaschinen, Dissertation aus dem Fachbereich Material- und Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt*. Von http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/1999/2/Diss_Burbaum_Adhaesion_bindige_Boeden.pdf abgerufen
- DVWK. (1992). *Deutscher Verband für Wasserkraft und Kulturbau. Regeln zur Wasserwirtschaft. Geschiebemessungen*. Hamburg: Verlag: Paul Parey.
- DVWK. (1997). *Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung, Schriften Heft 118, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser*. Bonn.
- Enzyklo. (2014). *Interzeptionsverlust*. Abgerufen am 17. August 2014 von <http://www.enzyklo.de/Begriff/Interzeptionsverlust>
- Expondo. (2013). *Kranwaage LCD 5000kg, Produktdatenblatt*. Abgerufen am 16. August 2014 von <http://www.expondo.de/products/de/Waagen/Kranwaagen/Kranwaage-5000kg-LCD-SBS-KW-5TC-5000-kg-LCD.html>
- Fleißner, R., & Dorfmann, C. (2013). Referenzhandbuch "Bed-Load Analyzer" Version 2.0. *Software zur Berechnung von hydraulischen und sedimentologischen Parametern in gegliederten Querschnitten*. Graz: Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Graz.

- ForstG 1975 §99 Abs.1. (2014). Gesamte Rechtsvorschrift für Forstgesetz 1975 §99 Abs.1. *Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird(Forstgesetz 1975)*. Wien: Bundeskanzleramt.
- ForstG 1975 §99 Abs.3. (2014). Gesamte Rechtsvorschrift für Forstgesetz 1975. *Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird(Forstgesetz 1975)*. Wien: Bundeskanzleramt.
- Gasperl, M. (2006). *Planzen und Tiere erobern das Land, Die Entstehung des ersten Lebens*. Von <http://m.gasperl.at/downloads/landeroberung.pdf> abgerufen
- Gemmologie. (2014). *Härte und Festigkeit*. Abgerufen am 07. 06 2014 von http://www.gemmologie.at/mediaCache/Haerte_Pruefverfahren_275172.pdf
- GeoDZ. (2014). *Kornrundung, Das Lexikon der Erde - GeoDZ.com*. Von <http://www.geodz.com/deu/d/Kornrundung> abgerufen
- Geomorphologie. (2000). *Gestaltung der Landschaft durch Fließgewässer, Geomorphologie Geologie & Hydrologie Schweiz*. Abgerufen am 10. August 2014 von <http://raonline.ch/pages/edu/st/geom0201.html>
- Google Earth. (2014). *Kartenmaterial - Google Earth*. Abgerufen am 15. Juli 2014 von <https://www.google.de/intl/de/earth/>
- Günther, A. (1971). *Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen. Mitt. Nr. 3, VAW, ETH Zürich*.
- Habersack, H. (1997). *Raum-Zeitliche Variabilitäten im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau, Wiener Mitteilungen Wasser - Abwasser - Gewässer (Bd. 144)*. Wien: Universität für Bodenkultur.
- Hermann, S. (1997). *Tiefreichende Hangdeformationen im Kristallin der Niederen Tauern / Dissertation / Seite 76-77*. Graz: Karl-Franzens-Universität.
- Hodel, H. (1992). Untersuchung des Fließwiderstandes der Bachbette von Wildbächen und des Einflusses von Ueberfallsschwellen auf die Fließzeit. *Internationales Symposium, Tagungspublikation, Band 4, Seite 197 - 214*. Bern, Schweiz.
- Hübl, J., Eisl, J., Hohl, D., Kogelnig, B., & Mühlböck, F. (2011). Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse Wölzerbach. Band 1. Wien: BMFLUW. Abgerufen am 06. Juni 2014 von

http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H87000/H87100/IAN_Reports/REP0143_Band1.pdf

Hydroconsult GmbH. (2011). *Hochwasserdokumentation Wölzertal 7.7.2011*. Von www.wasserwirtschaft.steiermark.at:
http://www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/11531070_4660198/3f4c2be2/HW-Doku-FA19B.pdf abgerufen

Karl Metz. (1976). *Der geologische Bau der Wölzer Tauern, Band 106, Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark-Graz*. Abgerufen am 20. Mai 2014 von http://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/MittNatVerSt_106_0051-0075.pdf

Klammer, D. (2013). *Gesteinslehre Vorlesung*. TU Graz.

Klasz, G. (2013). *Die Flussmorphologische Situation der Donau im Hinblick auf Sohlerosion, Heft 29*. Abgerufen am 16. August 2014 von http://www.donauauen.at/dateien/6900_NPDA_29_2013_Klasz_Donau_Sohl_erosion.pdf

Klimafonds. (2011). *Projekt ClimCatch - Förderungen des Klima und Energiefonds*. Abgerufen am 19. Juli 2014 von <http://www.klimafonds.gv.at/foerderungen/geofoerderte-projekte/detail/?plistcall=1&pid=174762&merken=1>

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

Kolesnik, C. (2013). *Mündliche Mitteilung, Firma OTT Hydromet GmbH*.

Kresser, W. (1964). *Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. Österr. Wasserw. 16, H. 1/2*.

Liu, Q. (2014). *Rockmass Charakterisation - Vorlesungsskriptum*. TU Graz.

Magazin des Vereins Kleinwasserkraft Österreich. (2008). *Kraftwerk Schöttlbach, Wasserkraft - Das Magazin des Vereins Kleinwasserkraft Österreich, Seite 16 & 17*. Abgerufen am 15. August 2014 von http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/wasserkraft_zeitschrif22.pdf

- Matschoss, C. (1901). *Geschichte der Dampfmaschine*. Berlin: Julius Springer.
- Mayer-Tasch, P. (2009). *Welt ohne Wasser, Geschichte und Zukunft eines knappen Gutes*. Campus Verlag GmbH.
- Oberhauser, R., & Bauer, F. K. (1980). *Der Geologische Aufbau Österreichs*. Wien: Springer-Verlag, Geologische Bundesanstalt.
- Oberwoelz-Lachtal. (2014). *Gemeindenvereinigung Oberwoelz-Lachtal, Webseite*. Abgerufen am 29. Mai 2014 von <http://www.oberwoelz-lachtal.at>
- Oberwölz. (2014). *Stadtgemeinde Oberwölz - Webseite*. Abgerufen am 29. Mai 2014 von <http://oberwoelz.istsuper.com/>
- ÖNORM B 2400. (2003). *Hydrologie - Hydrographische Fachausdrücke und Zeichen. . Ergänzende Bestimmungen zur ÖNORM EN ISO 772*. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 4412. (1974). *Erd- und Grundbau / Untersuchung von Bodenproben / Korngrößenverteilung*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 4413. (2010). *Geotechnik / Untersuchung von Bodenproben / Bestimmung der Korndichte mit dem Kapillarpiknometerverfahren unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-2*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B 4416. (1978). *Erd- und Grundbau / Untersuchung von Bodenproben / Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Scherversuchen*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN 13755. (2008). *Prüfverfahren für Naturstein - Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischem Druck*. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- OTT. (2000). *Bedienungsanleitung Magnetisch-Induktiver Strömungssensor Nautilus*. Abgerufen am 15. August 2014 von https://physio.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/ag_geo_phys/beschreibungen/Nautilus.pdf
- OTT Hydromet. (2009). *Betriebsanleitung, Radarsensor OTT RLS*. Kempten, Deutschland: OTT Hydromet GmbH.

- Oumeraci, H. (2014). *Hydromechanik - Vorlesungsskriptum der Technische Universität Braunschweig*. Abgerufen am 15. August 2014 von https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/hyku/lehre/skript_hydromechanik.pdf
- Parker, G., & Klingemann, P. (1982). *On Why Gravel Bed Stream Are Paved Water. Resour. Res., 18(5), 1409-1423.*
- Petrograph. (2014). *Sedimente und Kornform, Mineral - und Gesteinsbestimmungspraktikum an der Freien Universität Berlin*. Von http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/petrograph/sedimentite/lesen/se_merkmale/se_partikeleigenschaften/se_kornform_1/ abgerufen
- PI Mitterfellner GmbH. (2011). *Kleinwasserkraftwerk Krumeggerbach II - Kraftwerksdaten*. Abgerufen am 15. August 2014 von http://www.planing.at/fileadmin/user_upload/documents/PI_Info/PI.Info_KW_Krumeggerbach_II.pdf
- PI Mitterfellner, G. (2014). *E-Mail-Auskunft der Firma PI Mitterfellner betreff der Ausleitungskraftwerke am Krumeggerbach*. Krumegg, Oberwölz Umgebung, Scheifling.
- Pöllinger, U. (2007). *Beitrag zum Kraftwerk Krumeggerbach I - Tätigkeitsbericht der Umweltanwältin, Seite 19 / 20*. Abgerufen am 17. August 2014 von http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/10127883_74838167/1e3f5627/T%C3%A4tigkeitsbericht2007neu.pdf
- Raudkivi, A. (1982). *Grundlagen des Sedimenttransports*. Berlin: Springer.
- Rickenmann, D. (1991). *Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. Journal of Hydraulic Engineering, 117 (11), 1419-1439.*
- Rickenmann, D. (2001). *Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. Water Resources Research 37, p.3295-3305.*
- Rickenmann, D. (2007). *Modellierung von Murgängen und Sedimenttransport in Wildbächen*. Wien / Birmensdorf: Ernst&Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & co.KG, Berlin. Von <http://www.baunat.boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H87000/department/>

kongress_mai07/beitraege/Modellierung_von_Murgngen_und_Sedimenttransport_in_Wildbchen.pdf abgerufen

Rosgen & David L. (1994). *Watershed Education Summit /Catena 22; A classification of natural rivers*. Von www.wildlandhydrology.com: <http://www.watershedsummit.org/images/rosgenlevel1.gif> abgerufen

Rosgen. (1994). *Fluvial Geomorphology / Geomorphologic Classification Systems/ Rosgen Classification Table and Continuum Concept*. Von http://www.fgmorph.com/images/04/04_16_01.jpg abgerufen

Rosgen. (1996). *Lane's Balance*. Von <http://riverrestoration.wikispaces.com/Sediment+transport+models> abgerufen

Sass, O. (2012a). *Poster ClimCatch - Sedimentfracht und Klimawandel in alpinen Einzugsgebieten*. Abgerufen am 19. Juli 2014 von http://static.uni-graz.at/fileadmin/urbinstitute/Geographie/downloads/misc/pdf/poster_climcatch.pdf

Sass, O. (2012b). *Zwischenbericht - Projekt ClimCatch*. Abgerufen am 10. August 2014 von <https://www.yumpu.com/de/document/view/23872869/climcatch-klima-und-energiefonds>

Schay, Gustav; Barth, Ulrike; Gumpinger, Clemens ; Poimer, Claudia; Fritzl, Wolfgang. (2008). *Morphologischer Vergleich natürlicher und antropogen veränderter Gewässerabschnitte im Krems-System, Gewässerschutz Bericht 38*. Von http://www.land-oberoesterreich.gv.at/files/publikationen/U_GWB38.pdf abgerufen

Schöniger, M., & Dietrich, J. (2008). *Erläuterung des Interzeptionsverlusts in Waldbeständen, Hydro Script*. Abgerufen am 17. August 2014 von http://www.hydroskript.de/html/_index.html?page=/html/hykp0603.html

Schwaiger. (2014). Referenzbilder vom Krumeggerbach aus den 50iger, 70iger und 2000er Jahren, Familie Schwaiger. Kurmegg, Oberwölz Umgebung.

Shields, A. (1936). *Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Mitteilung der Preussischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffsbau, Heft 26*. Berlin.

- Steinbergsystems. (2013). *Waagen und Messgeräte - Steinbergsystems, Katalog 2013*. Abgerufen am 16. August 2014 von http://www.steinbergsystems.de/wp-content/download/steinberg_systems.pdf
- UWZ. (2014). *Österreichische Unwetterwarnzentrale - Webseite*. Abgerufen am 20. Juli 2014 von <http://www.uwz.at/at/de/>
- Van Rijn, L. (1987). *Mathematical Modeling of Morphological Processes in the Vase of Suspended Sediment Transport, Delft Hydraulics Communication No. 382*.
- Vollmers, H.-J. (2012). *Kritische Geschwindigkeiten und Schubspannungen, Universität der Bundeswehr München*. Abgerufen am 12. August 2014 von <http://vzb.baw.de/publikationen/dresdner-wasserbauliche-mitteilungen/0/05%20Kritische%20Geschwindigkeiten%20und%20Schubspannungen.pdf>
- Wald-in-Not. (1999-2014). *Oberflächenabfluss, Regenmassen und die Folgen aus dem Bericht Wilde Wasser zämt der Wald*. Abgerufen am 17. August 2014 von <http://www.wald-in-not.de/download11/wildewasser.pdf>
- Wasserland.Steiermark. (2013). *Hochwasserschutz am Wölzerbach, Presseinformation vom Land Steiermark*. Abgerufen am 06. Juni 2014 von <http://www.wasserland.steiermark.at/cms/beitrag/11915254/1344399/>
- Wildbach- und Lawinenverbauung. (2014). E-Mail-Auskunft betreff der ausgebaggerten Geschiebemengen an der Hohenbichlersperre im Jahr 2014, WLV Gebietsleitung Steiermark West. 8811 Scheifling, Steiermark.
- ZAMG. (2014). *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik / ZAMG*. Von <http://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell> abgerufen
- Zanke, U. (1982). *Grundlagen der Sedimentbewegung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag.
- Zanke, U. (1990). *Der Beginn der Sedimentbewegung als Wahrscheinlichkeitsproblem. Wasser im Boden, Heft 1*.
- Zanke, U. (2002). *Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer*. Parey. Berlin.

- Zeller , J., & Trümpler, J. (1984). *Rutschungsentwässerungen - Hinweise zur Bemessung steiler Entwässerungsgräben. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 276p.* Birmensdorf.
- Zotter. (2006). *Daten zum Kraftwerk I am Schöttlbach, Webseite von Zotter-Bau-GmbH & Co KG.* Abgerufen am 15. August 2014 von <http://www.zotterbau.at/wasserkraft/kw-sch%C3%B6ttlbach-1/>
- Zotter. (2008). *Daten zum Kraftwerk II am Schöttlbach, Webseite von Zotter-Bau-GmbH & Co KG.* Abgerufen am 15. August 2014 von <http://www.zotterbau.at/wasserkraft/kw-sch%C3%B6ttlbach-2/>

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektüberblick.....	1
Abbildung 2: Hochwasserwelle vom 3. Juli 2013	4
Abbildung 3: Seitenerosion im Außenbogen der Kurve sowie Bankbildung im Innenbogen (Bezzola & Minor, 2004)	10
Abbildung 4: Flussabschnitte eines Fließgewässers (Geomorphologie, 2000)	11
Abbildung 5: Klassifikation von natürlichen Fließgewässern (Rosgen & David L., 1994).....	13
Abbildung 6: Exakte Klassifikation von natürlichen Fließgewässern (Rosgen, 1994).....	13
Abbildung 7: Körnungslinie	14
Abbildung 8: Sechs Kategorien der Kornrundungen (GeoDZ, 2014)	15
Abbildung 9: Hauptachsenbestimmung am Gesteinskorn (Bezzola & Minor, 2004).....	15
Abbildung 10: Gesamte Feststofftransport eines Fließgewässers (Bechteler, 2006).....	16
Abbildung 11: Sedimentwaage nach Lane, 1955 (Rosgen, 1996)	18
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Deckschichtbildung mitsamt der Körnungslinie (Bezzola & Minor, 2004).....	19
Abbildung 13: Exposure- und Hiding-Effekt für Ein- und Mehrkornmaterial (Zanke, 2002)	20
Abbildung 14: Kapillarwirkung / Adhäsion in der Gewässersohle.....	22
Abbildung 15: Kräfte am Flüssigkeitselement (Bechteler, 2006)	23
Abbildung 16: Diagramm nach Shields (1936) modifiziert von Zanke (1990)...	26
Abbildung 17: Definition der kritischen Schubspannung nach Schöberl, 1990 (Bechteler, 2006)	29
Abbildung 18 & 19: Links: Quarzit; Rechts: Granatglimmerschiefer.....	38
Abbildung 20: Baustelle: Unholzrechen bei Niederwölz	39

Abbildung 21: Unholzrechen nach dem Regenereignis vom 13. August 2014 .	39
Abbildung 22: Einzugsgebiet Wölzerbach (Hübl et al., 2011, bearbeitet)	41
Abbildung 23: Höhenprofil des Wölzerbaches, von der Quelle bis zur Mündung in die Mur (Google Earth, 2014)	41
Abbildung 24: Hochwasserereignisse seit 1935 mit den Intensitäten 1=“Leicht“, 2=“Mittel“ und 3=“Schwer“ (Hübl et al., 2011)	43
Abbildung 25: Höhenprofil Schöttlbach (Google Earth, 2014)	43
Abbildung 26: Übersichtskarte der unteren Hälfte des Schöttlbach- Einzugsgebiets	44
Abbildung 27: Höhenprofil Krumeggerbach (Google Earth, 2014).....	45
Abbildung 28 & 29: Anwesen von Familie Schwaiger, Krumegg 1950-iger und 70-iger (Schwaiger, 2014)	46
Abbildung 30 & 31: Krumeggerbach nach dem Unwetter von 2002 und 2011 (Schwaiger, 2014)	46
Abbildung 32 & 33: Krumeggerbach nach 2011 (Schwaiger, 2014)	46
Abbildung 34: Gefahr von Wildholzeintrag in den Schöttlbach bei einem Starkregenereignis im Einzugsgebiet des Hühnerbaches	47
Abbildung 35 & 36: Salchauerbach im Juli 2014 bei trockener Witterung	48
Abbildung 37 & 38: Salchauerbach bei höherem Abfluss, August 2014.....	48
Abbildung 39 & 40: Sediment-Impact-Sensor auf beschädigtem Untergrund bzw. mit beschädigter Befestigungsschraube	50
Abbildung 41: Herstellung der Sediment-Impact-Sensoren	51
Abbildung 42 Links: Geschiebefangkorb am Querprofil der Sohlschwelle flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle Rechts: Verlandeter Geschiebefangkorb am Querprofil der Brücke Krumeggerbach.....	52
Abbildung 43: Helley-Smith Geschiebefänger (DVWK, 1992)	54
Abbildung 44: Ablauf der Geschiebemessung mittels Helley-Smith Geschiebefänger. Links und Mitte; beim Einheben in das Fließgewässer, rechts; absenken bis auf die Gewässersohle.	54

Abbildung 45 & 46: Kleine Helley-Smith-Geschiefbefänger & Messung am Fließquerschnitt	55
Abbildung 47: Kleine Helley-Smith Messung bei höheren Abflüssen	56
Abbildung 48: Querschnittunterteilung nach Schweitzer (Knoblauch & Schneider, 2014)	58
Abbildung 49: Querschnittunterteilung und Darstellung der einzelnen Punktmessungen am Profil der Brücke Schöttlkapelle	58
Abbildung 50: Nautilusmessgerät samt Zubehör.....	59
Abbildung 51: Salz-Tracer Messgerät samt Zubehör	60
Abbildung 52: Schema Salztracer-Methode (Bambynek, 2011).....	63
Abbildung 53: Fließgeschwindigkeitsverteilung, ermittelt mittels Nautilusmessgerät	65
Abbildung 54: Messstation Brücke Hintereggertor (Barbas, 2014).....	65
Abbildung 55: Querprofil der Brücke Schöttlkapelle 2014 in Blickrichtung flussaufwärts.....	66
Abbildung 56: Druckpegelmessstation Brücke Krumeggerbach.....	67
Abbildung 57: Brücke Schöttlkapelle (Blickrichtung flussaufwärts), Wasserstand bei einem Abfluss von ca.3.5 m ³ /s, 2014	69
Abbildung 58: Wasserstand für den im Bed-Load Analyzer simulierten Abfluss von 3.5 m ³ /s, 2014	69
Abbildung 59: Querschnittsprofil Brücke Schöttlkapelle 2012 und 2013 (Barbas, 2014).....	70
Abbildung 60: Farbtracersteine im Labor nach dem Beschriften jedoch noch nicht lackiert.....	73
Abbildung 61: Teststeine welche mit verschiedenen Methoden präpariert wurden	73
Abbildung 62: Großscherapparat am Institut für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz	76

Abbildung 63: Gekrümmte Bruchkurve eines nicht bindigen, dicht gelagerten Bodens (ÖNORM B 4416).....	77
Abbildung 64: Korndichtenbestimmung mittels Pyknometer.....	79
Abbildung 65: Dichtebestimmung von grobkörnigen Material mittels Verdrängungsmethode Links: Der mit Wasser befüllte Messzylinder (Volumen bekannt) Mitte: Nach dem Einlegen der Kieskörner (Bestimmung der Volumendifferenz) Rechts: Aus der Seitenansicht	80
Abbildung 66: Lageplan der Hohenbichler-Geschiebesperre am Schöttlbach mit den Probenentnahmestellen (Google Earth, 2014)	83
Abbildung 67: Lageplan der Probenentnahmestelle "Brücke Schöttlkapelle" (Bing.Maps, 2014).....	83
Abbildung 68: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 5. September 2013 und dem 10. April 2014.....	92
Abbildung 69: Längsprofile zur zusätzlichen Kontrolle beim Auffinden der Tracersteine	93
Abbildung 70: Aussetzung von sechs Farbtracersteinen mit der Beschriftung "5" etwa 7 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle	94
Abbildung 71: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 8. Juli 2014. Farbtracerstein S33 befindet sich unbewegt bei rund 420 m flussabwärts der Brücke.....	95
Abbildung 72: Aussetzung von sieben Farbtracersteinen rund 6 m flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle am 6. August 2014.....	96
Abbildung 73: Aussetzung von 2 Farbtracersteinen sowie 14 kleinen roten Steinen rund 8 m flussabwärts der Brücke Schöttlkapelle am 6. August 2014	96
Abbildung 74: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 8. Juli 2014 und dem 6. August 2014. Die Farbtracersteine S8, S23 sowie S33 konnten am 6. August nicht wieder aufgefunden werden. S28 wird seine Lage bis zum 10. September nicht mehr verändern.	97

Abbildung 75: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 6. August 2014 und dem 17. August 2014.....	98
Abbildung 76: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014.....	99
Abbildung 77: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014	100
Abbildung 78: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der ausgesetzten Tracersteine im Bereich der Brücke Schöttlkapelle	101
Abbildung 79: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der kleinen roten Tracersteine mit einer Masse von weniger als 1 kg.....	102
Abbildung 80: Abrasion im Schöttlbach nach einem bzw. vier Monaten	102
Abbildung 81: Einflussfaktoren, welche die Wiederauffindung im Fließgewässer erschweren Li. oben: Algenbewuchs, Mitte oben: Abrasion, Re. oben: Überlagerung/Einbettung in die Sohle Li. unten: Einbettung in die Sohle sowie Re. unten: Bruch aufgrund der wirkenden Kräfte.....	103
Abbildung 82: Transportdistanz, welche Tracersteine mit einer Masse von weniger als 1.0 kg bei einem maximalen Abfluss von 1.59 m ³ /s am 23. August 2014 zurückgelegt haben	104
Abbildung 83: Transportdistanz, welche die Tracersteine bei einem maximalen Abfluss von 3.85 m ³ /s am 13 August 2014 zurückgelegt haben	104
Abbildung 84: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. Oktober 2013 und dem 7. Mai 2014, und der zusätzlichen Aufnahme vom 17. Mai 2014.....	106
Abbildung 85: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. Mai 2014 und dem 9. Juni 2014	107
Abbildung 86: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 22. Juli 2014.....	108
Abbildung 87: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 22. Juli 2014 und dem 17. August 2014.....	110

Abbildung 88: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014	111
Abbildung 89: Bewegungsverhalten der Tracersteine zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014.....	112
Abbildung 90: Transportbeginn am Krumeggerbach, ermittelt aus dem Bewegungsverhalten der Tracersteine im Jahr 2014	113
Abbildung 91: Transportdistanz am Krumeggerbach im Hochwasserfall von 5.36 [m ³ /s]	114
Abbildung 92: Wiederauffindwahrscheinlichkeit der Farb- und Radiotelemetrietracersteine am Krumeggerbach	115
Abbildung 93: Wiederauffindwahrscheinlichkeit aller Tracersteine am Krumeggerbach.....	115
Abbildung 94: Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das Jahr 2012.....	120
Abbildung 95: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Hintereggertor bis 30 m ³ /s	123
Abbildung 96: Vergleich der Pegelkurve Brücke Hintereggertor mit dem im Bed-Load Analyzer ermittelten Abfluss von 25 m ³ /s → Wasserstand = 1.415 m	124
Abbildung 97: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Hintereggertor bis 100 m ³ /s. Der rot schraffierte Bereich stellt die mögliche Sohlerrhöhung durch Geschiebetransport im Hochwasserfall dar.....	124
Abbildung 98: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle bis 10 m ³ /s	126
Abbildung 99: Pegelkurve beim Querprofil der Brücke Krumeggerbach bis 3.5 m ³ /s	127
Abbildung 100: Querprofil der Brücke Krumeggerbach simuliert im Bed-Load Analyzer	129
Abbildung 101: Abfluss bei der Brücke Krumeggerbach am 1. September 2014	129
Abbildung 102: Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2012	131

Abbildung 103: Linienzahlanalysen am Schöttlbach bei der Brücke Schöttlkapelle	132
Abbildung 104: Linienzahlanalysen am Krumeggerbach flussaufwärts der Brücke.....	132
Abbildung 105: Betrachtete Böschung	133
Abbildung 106: Winkelmessgerät, Böschungswinkel 44.5°	134
Abbildung 107: Böschungswinkel Beta im Mittel mit 41.3°	134
Abbildung 108: Wetterwarnung für das Gebiet Oberwölz-Umgebung am 20. Juli 2014 (UWZ, 2014)	136
Abbildung 109: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 20. Juli 2014 (ZAMG, 2014)	138
Abbildung 110: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 13. August 2014 (ZAMG, 2014)	139
Abbildung 111: Wetterwarnung der UWZ-Österreichischen Unwetterzentrale am 13. August 2014 (UWZ, 2014)	140
Abbildung 112: Wetterwarnung der UWZ-Österreichischen Unwetterzentrale am 20. August 2014 (UWZ, 2014)	141
Abbildung 113: ZAMG-Wetterbericht für Oberwölz Stadt vom 20. August 2014 (ZAMG, 2014)	141
Abbildung 114: Niederschlagsmessung für den 13. August 2014 in Oberwölz (ZAMG, 2014)	143
Abbildung 115: Versuchsprotokoll des Rahmenscherversuchs der Probe aus dem Bachbett beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle.....	148
Abbildung 116: Spannungsdiagramm des Rahmenscherversuchs der Probe aus dem Bachbett beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle.....	149
Abbildung 117: Festigkeitsermittlung der scheinbaren Kohäsion am Beispiel von Sandkugeln.....	150
Abbildung 118: Kohäsion vom Scherversuchsmaterial aus dem Bachbett welches zur Wassergehaltsbestimmung bei 105° getrocknet wurde	150

Abbildung 119: Versuchsprotokoll der Kornverteilung jener Probe welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde	152
Abbildung 120: Körnungslinie jener Probe welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde	153
Abbildung 121: Versuchsprotokoll der Korndichtenbestimmung(< 4.0 mm) ..	154

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korngrößenklassifikation	14
Tabelle 2: Strickler-Beiwert k_{st} für die Gesamtrauheit von Naturgerinnen nach (Zeller & Trümpler, 1984).....	25
Tabelle 3: Tatsächlicher Niederschlagsabfluss in Wildbächen (Wald-in-Not, 1999-2014)	33
Tabelle 4: Widerstandsfähigkeit der Minerale nach Rosiwal und Mohs (Liu, 2014).....	37
Tabelle 5: Mechanische Werkstoffeigenschaften von Gesteinen (Liu, 2014) ...	38
Tabelle 6: Abflussdaten Wölzerbach (Hübl et al., 2011)	40
Tabelle 7: Größe, Wasserfracht sowie Geschiebefracht der Teileinzugsgebiete (Hübl et al., 2011)	40
Tabelle 8: Abflussdaten Schöttlbach (Hübl, et al., 2011).....	42
Tabelle 9: Abflussdaten Krumeggerbach	45
Tabelle 10: Stationen und Anzahl der installierten Sediment-Impact-Sensoren	52
Tabelle 11: Transportvermögen pro Zeitraum für einen Abfluss von 900 l/s bei der Brücke Schöttlkapelle	86
Tabelle 12: 1. Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Samplern am 30. Juni 2014 beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle	86
Tabelle 13: 2. Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Samplern am 1. September 2014 beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle	87
Tabelle 14: Geschiebemessung mit dem kleinen Helley-Smith-Samplern am 1. September 2014 beim Querprofil der Brücke Krumeggerbach	87
Tabelle 15: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Hintereggertor	88
Tabelle 16: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Schöttlkapelle	89

Tabelle 17: Simulierte Geschiebetransportraten für das Querprofil der Brücke Krumeggerbach.....	90
Tabelle 18: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 5. September 2013 und dem 10. April 2014	91
Tabelle 19: Aufzeichnung des höchsten Abflusses zwischen dem 10. April 2014 und dem 17. Mai 2014.....	93
Tabelle 20: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 17. Mai 2014 und dem 9. Juni 2014.....	94
Tabelle 21: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 9. Juni 2014 und dem 8. Juli 2014	95
Tabelle 22: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 8. Juli 2014 und dem 6. August 2014	97
Tabelle 23: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 6. August 2014 und dem 17. August 2014	98
Tabelle 24: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 17. August 2014 und dem 25. August 2014	99
Tabelle 25: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse zwischen dem 25. August 2014 und dem 10. September 2014	100
Tabelle 26: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 17. Oktober 2013 bis zum 17. Mai 2014	106
Tabelle 27: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 17. Mai 2014 bis zum 9. Juni 2014.....	107
Tabelle 28: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 9. Juni 2014 bis zum 22. Juli 2014.....	108
Tabelle 29: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 22. Juli 2014 bis zum 17. August 2014	109
Tabelle 30: Aufzeichnung des höchsten Abflusses vom 17. August 2014 bis zum 25. August 2014	110
Tabelle 31: Aufzeichnung der höchsten Abflüsse vom 25. August 2014 bis zum 10. September 2014.....	112

Tabelle 32: Verwendete Korrekturfaktoren für die Oberflächengeschwindigkeit und die Querschnittsfläche im Verhältnis zur Wassertiefe	119
Tabelle 33: Salztracermessungen am Hühnerbach	121
Tabelle 34: Abflussmessungen mittels Salztracermethode am Salchauerbach	121
Tabelle 35: Vergleich zwischen Nautilusmessungen / Messstation und Bed-Load Analyzer Simulationsergebnissen	123
Tabelle 36: Vergleich zwischen Nautilus- und Salztracermessungen / Pegelschlüssel und den Bed-Load Analyzer Simulationsergebnissen im Querschnittsprofil der Brücke Schöttlkapelle Grün: Gute Korrelation, Gelb: Mäßige Korrelation, Rot: Schlechte Korrelation	126
Tabelle 37 Vergleich zwischen den Salztracermessungen, dem Pegelschlüssel und den im Bed-Load Analyzer simulierten Abflusswerten Grün: Gute Korrelation, Gelb: Mäßige Korrelation.....	128
Tabelle 38: Messen des Böschungswinkels mit einer Messlatte und einem Winkelmessgerät	133
Tabelle 39: Fließzeitermittlung zwischen den Brücke Schöttlkapelle und der Hintereggertor.....	144
Tabelle 40: Normalspannungen pro Einzelscherversuch	145
Tabelle 41: Dichtebestimmung von Kieskörnern (Korndurchmesser rund 40 mm).....	155
Tabelle 42: Wasseraufnahmevermögen	156

10. Anhang

Im Anhang bzw. auf der beiliegenden Daten-CD befinden sich sämtliche Originalprotokolle, Details zu den Kraftwerken, Messdaten und deren Auswertungen sowie Referenzbilder. Zur besseren Übersicht wurde der Anhang durchnummeriert.

10.2 Anhang zu Kapitel 2

10.2.1 Schutzwasserwirtschaft in der Steiermark / Kapitel 2.2.3

Projekt:	Wölzerbach, Hochwasserschutz Niederwölz		
Bauherr:	Gemeinde Niederwölz		
Kosten:	6.500.000 €		
Finanzierung:	Bund	50%	3.250.000 €
	Land	35%	2.275.000 €
	Gemeinde	15%	975.000 €
Bauausführung:	Teerag-Asdag AG		
Bauaufsicht:	Baubezirksleitung Obersteiermark West		
Bauzeit:	2013 – 2015		

Das Projekt wird vom Bundesministerium für ein lebenswertes Österreich, dem Land Steiermark und der Gemeinde Niederwölz unterstützt.

10.2.2 Kraftwerke im Schöttlbach Einzugsgebiet

10.2.2.1 Schöttlbach / Kapitel 2.2.4

Schöttlbach befinden sich zwei Ausleitungskraftwerke (KW I und KW II) sowie ein Krafthaus, welches vom Krumegegerbach gespeist wird. Das erste Kraftwerk (KW I) liegt direkt in Oberwölz und wird vom Ausleitungsbauwerk flussaufwärts der großen WLV-Geschiebesperre gespeist. Ein zweites Kraftwerk (KW II) befindet sich in etwa auf der halben Strecke zwischen der Brücke Schöttlkapelle und Oberwölz. Das Einlaufbauwerk zu KW II liegt rund 800 m flussaufwärts der Brücke Schöttlkapelle und ist ebenfalls als Tirolerwehr ausgeführt.

Beide Kraftwerke wurden von der Firma Zotter Bau GmbH & Co KG errichtet und werden durch die KWBG- Kleinstkraftwerke Betriebsgesellschaft mbH betrieben. Beide Kraftwerke verfügen über eine Fischaufstiegshilfe. Im unteren Bereich des Schöttlbaches blockieren die beiden Geschiebesperren den Fischaufstieg.



Im obigen Bild (Blickrichtung flussaufwärts) ist die Fischaufstiegshilfe (links im Bild) vom Ausleitungskraftwerk II am Schöttlbach dargestellt



Im obigen Bild (Blickrichtung flussaufwärts) ist die Konsolidierungssperre wenige Meter flussabwärts der Einmündung vom Krumeggerbach in den Schöttlbach dargestellt

Alle Informationen und technischen Details zu den beiden Kraftwerken stammen direkt von der Firma Zotter Bau GmbH & Co KG und von deren Homepage (<http://www.zotter-bau.at/wasserkraft>).

Technische Details zum Kraftwerk Schöttlbach I (Zotter, 2006)

Technische Details KW I – Schöttlbach.

Auftraggeber	KWBG- Kleinstkraftwerke Betriebsgesellschaft mbH	
Inbetriebnahme	Dezember 2006	
Turbinentyp	Durchström / 2-düsige Pelton	
Gewässer	Schöttlbach	
MQ	1.37	[m ³ /s]
O _{inst}	1.90	[m ³ /s]
Brutto Fallhöhe	63.50	[m]
Netto Fallhöhe	59.53	[m]
Druckrohrleitung (DN 1100)	1241	[m]
Pelekt.	970	kW
RAV	3.584.000	kWh

Eine Abschaltung des Kraftwerkes erfolgt ab einem $HQ1 = 13.0 \text{ m}^3/\text{s}$. Alle weiteren Details zum Kraftwerk Schöttlbach I können in der Tabelle eingesehen werden.

Restwasserabgabe (alt) WR

Basis: 270 l/s

Dynamisch bis bei $1.9 Q_{\text{inst}}$: 550 l/s

Restwasserabgabe (alt) NS

Restwasserabgabe (alt)

Von	Bis	Qdot min [m ³ /s]
01.01.	28.02.	0,27
01.03.	14.03.	0,34
15.03.	25.03.	0,45
26.03.	04.04.	0,55
05.04.	15.05.	0,70
16.05.	31.07.	0,34
01.08.	31.08.	0,32
01.09.	30.09.	0,30
01.10.	31.10.	0,28
01.11.	31.12.	0,27

Laut den Informationen von Zotter Bau wurden folgende neue Restwasserabgaben beantragt.

Restwasserabgabe (neu)

Monate	Datum	Restwasser
Wintermonate	1.12. bis 30.04.	200 l/s
Frühjahrsmonate	01.05. bis 30.06.	475 l/s
Sommermonate	01.07. bis 30.11.	200 l/s

Technische Details zum Kraftwerk Schöttlbach II (Zotter, 2008)*Technische Details KW II – Schöttlbach*

Auftraggeber	KWBG- Kleinstkraftwerke Betriebsgesellschaft mbH	
Inbetriebnahme	August 2008	
Turbinentyp	2-düsige Pelton	
Gewässer	Schöttlbach	
Einzugsgebiet	~ 30	[km ²]
MQ	0.73	[m ³ /s]
O _{inst}	1.20	[m ³ /s]
Brutto Fallhöhe	191.19	[m]
Netto Fallhöhe	183.27	[m]
Druckrohrleitung (DN 1000)	1789	[m]
Druckrohrleitung (DN 900)	2028	[m]
Pelekt.	1.947	kW
RAV	7.447.000	kWh

Eine Abschaltung des Kraftwerkes erfolgt ab einem HQ1 = 6.50 m³/s. Alle weiteren Details zum Kraftwerk Schöttlbach II können in der Tabelle eingesehen werden.

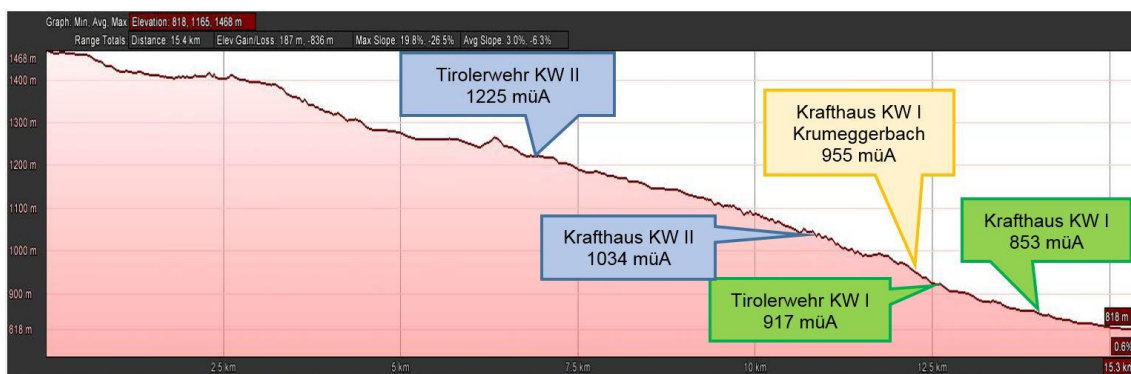
Restwasserabgabe (alt) WR*Restwasserabgabe (alt)*

Monate:	Datum:	Restwasser:
Wintermonate:	1.11. bis 31.03.	100 l/s
Sommermonate:	01.04. bis 31.10.	170 l/s

Restwasserabgabe neu (beantragt)*Restwasserabgabe (neu)*

Monate:	Datum:	Restwasser:
Wintermonate:	1.12. bis 30.04.	100 l/s
Frühjahrsmonate:	01.05. bis 30.06.	300 l/s
Sommermonate:	01.07. bis 30.11.	180 l/s

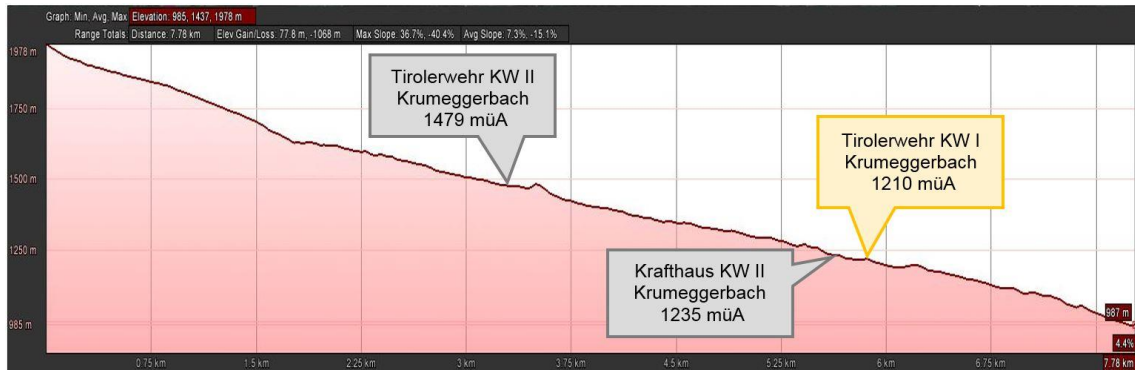
Derzeit gibt es in der Steiermark rund 420 Kleinwasserkraftwerke die zusammen 1.3 Mrd. kWh Strom produzieren und 270.000 Haushalte versorgen. Bei den Druckrohrleitungen handelt es sich um GFK-Rohre der Firma Superlit. Der Wasserschiff für das etwa 30 km² große obere Einzugsgebiet des Schöttlbaches befindet sich auf einer Seehöhe von 1.225 müA. Das Krafthaus KW II liegt auf einer Seehöhe von 1034 müA. Die Judenburger Baufirma Zotter arbeitete teils parallel an Krafthaus, Druckrohrleitung und Ausleitungsbauwerk. Als besondere Herausforderung galt es die 3817 m lange Druckrohrleitung in alpines Gelände zu verlegen. Das Krafthaus besitzt zwei völlig voneinander getrennte Maschinensätze mit je zweidüsigen Pelton-Turbinen. Das theoretische Triebwasserminimum, welches durch das KW II am Schöttlbach abgearbeitet werden kann, beträgt bei einem Wirkungsgrad von 85 % rund 60 l/s. (Magazin des Vereins Kleinwasserkraft Österreich, 2008)



Höhenprofil Schöttlbach mit den Stationen der Kraftwerke (Google Earth, 2014)

Im Höhenprofil des Schöttlbaches, welches mit Google Earth ausgearbeitet wurde, zeigt die obige Abbildung die einzelnen Stationen der Kraftwerke und deren Ausleitungsstationen.

10.2.2.2 Krumeggerbach / Kapitel 2.2.5



Höhenprofil Krumeggerbach, Kraftwerke (Google Earth, 2014)

Das Krafthaus des Kraftwerks I (KW I) liegt auf einer Höhe von rund 955 müA und befindet sich bereits am Schöttlbach. Die obige Abbildung zeigt die beiden Entnahmestellen und das Kraftwerk II am Krumeggerbach (Google Earth, 2014).

Die Ausleitung erfolgt mit einer 2240 m langen Gussrohrleitung, welche auf einem Durchmesser von 400 mm bemessen wurde. Die aus dem Gelände resultierende Fallhöhe beträgt 221 m.

Daten zum Ausleitungskraftwerk Krumeggerbach I

Technische Details KW I – Krumeggerbach

Auftraggeber	Hörl-Steiner GesbR	
Inbetriebnahme	-	
Turbinentyp	-	
Gewässer	Krumeggerbach	
MQ	-	[l/s]
OA	-	[l/s]
Brutto Fallhöhe	-	[m]
Netto Fallhöhe	-	[m]
Druckrohrleitung	-	[m]
Druckrohrleitung Durchmesser	-	[mm]
Leistung	860	kW
RAV	-	kWh

Nach dem Kraftwerk II liegt eine 1.8 km lange Restwasserstrecke bis zur Einmündung in den Schöttlbach. (Pöllinger, 2007)

Zum Kraftwerk I am Krumeggerbach konnten nur wenige Daten erhoben werden.

Technische Daten zum Kleinwasserkraftwerk Krumeggerbach II (PI Mitterfellner GmbH, 2011)

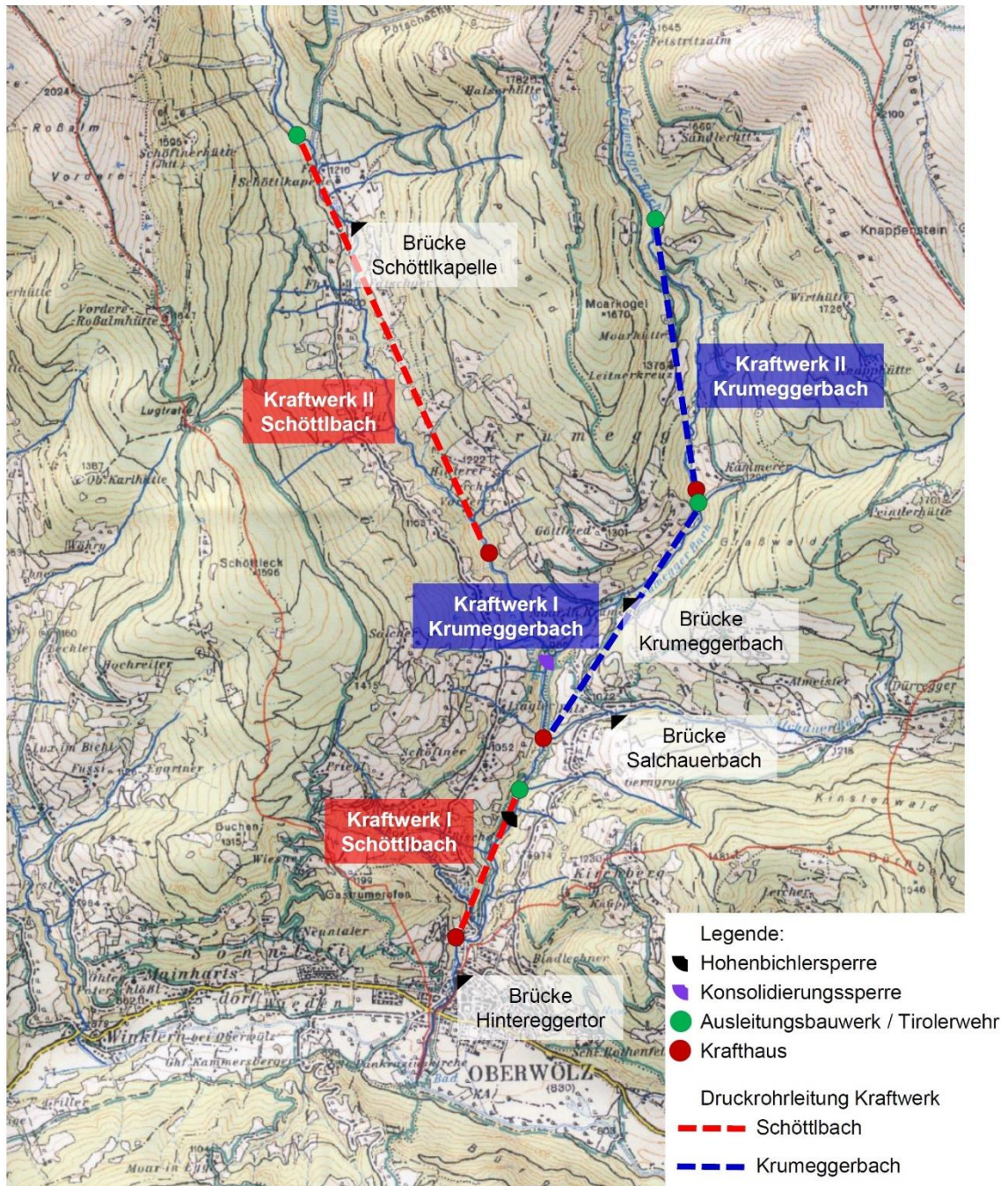
Technische Details KW II – Krumeggerbach

Auftraggeber	Hörl-Steiner GesbR	
Inbetriebnahme	Juli 2011	
Turbinentyp	2-düsige Pelton	
Gewässer	Krumeggerbach	
Einzugsgebiet	7	[km ²]
MQ	268	[l/s]
O _A	180	[l/s]
Q _{RW,ganzjährig}	45	[l/s]
Brutto Fallhöhe	221.10	[m]
Netto Fallhöhe	-	[m]
Druckrohrleitung	2240	[m]
Druckrohrleitung Durchmesser	400	[mm]
Leistung	320	kW
RAV	2.100.000	kWh

Die Druckrohrleitung besteht aus betonverkleideten Gussrohren.

Die Anlage wird im Falle von Hochwasser nicht automatisch abgeschaltet. Der Betreiber wird aber zur eigenen Sicherheit die Anlage möglicherweise bereits bei einem $0.5 \cdot HQ_1$ abschalten bzw. zumindest via Kamera beobachten. (PI Mitterfellner, 2014)

Im Folgenden wird eine Übersichtskarte gezeigt, in welcher die Kraftwerke des Schöttlbach-Einzugsgebiets inklusive Triebwasserweg dargestellt sind. Dabei steht rot für den Schöttlbach und blau für den Krumeggerbach.



Kraftwerke im Schöttlbach-Einzugsgebiet

10.2.3 Bilder vom Krumeggerbach nach Starkregenereignissen / Kapitel 2.2.5

Im Folgenden werden Referenzbilder vom Krumeggerbach nach dem Hochwasserabfluss von rund 7,50 m³/s am 13. September 2014 gezeigt. Rot stellt die Veränderung und blau den Referenzpunkt dar.

Krumeggerbach am 1. September 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach am 25.August 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach am 22. Juli 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach am 25. August 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach am 17. August 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeeggerbach am 17. August 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach am 9. Juni 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeeggerbach am 25. August 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeggerbach 9. Juni 2014 sowie am 30. September 2014



Krumeeggerbach am 17. August 2014 sowie am 30. September 2014



10.3 Anhang zu Kapitel 3

10.3.1 Geschiebefangkorb Brücke Krumeggerbach / Kapitel 3.1.1.1

Gesteinscharakterisierung

In den Geschiebekorb geschwemmt - 1. September 2014

Ort: Brücke Krumeggerbach

Nach einem Regenereignis zwischen dem 25. August und dem 1. September 2014 wurde der rechte Geschiebefangkorb unter der Brücke Krumeggerbach mit Geschiebe verlandet.

Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie/ Form	Farbe	Meter abseits der Brücke	Masse [kg] (Handwaage)	Koordinaten
-	3.45	25.0	13.0	8.5	kantig				
-	1.25	20.0	10.5	3.5	oval plattig				
-	1.30	14.0	10.0	6.0	halb rund				
-	0.80	8.5	8.0	5.5	rund				
-	0.35	13.0	6.5	2.0	plattig				
-	0.35	9	6	4.5	rund				
-	0.30	10.0	7.0	2.5	plattig				
-	0.45	8.00	6.00	5.00	rund				
-	0.30	6.5	6.0	4.0	rund				

Gesamtgeschiebemenge im Korb: 35.5 kg

Anm.: sehr viele flache/plattige und nur wenig runde Steine im Geschiebefangkorb.

10.4 Anhang zu Kapitel 4

10.4.1 Tracersteindokumentation Schöttlbach / Kapitel 4.1.2.1

Im Anschluss sind die Koordinaten der Farbtracer- und der Radiotelemetrietracersteine angeführt, welche bei der Brücke Schöttlkapelle ausgesetzt wurden. Zusätzlich sind die Transportdistanzen der einzelnen Tracersteine aufgelistet.

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlikapelle

Ausgesetzt am 10. April 2014 direkt unterhalb der Brücke Schöttlikapelle																		
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	05. Mai 2013			17. Mai 2013			09. Juni 2014				
								Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]		
4 A	29.20	41.5	25.5	21.0	halb-kantig	blau	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 B	8.05	21.0	18.5	15.5	halb-kantig	blau	8.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 C	8.50	22.0	18.0	13.5	halb-rund	blau	8.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 D	6.65	23.5	19.5	11.5	halb-rund	blau	6.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 E	5.85	22.0	15.0	12.0	rund	blau	6.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 F	0.70	10.0	9.0	5.5	rund	blau	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 G	5.35	22.5	15.0	13.0	kantig	blau	5.55	47°15'26.43"N	14°16'15.34"E	5	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E	0	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E	0	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E
4 H	3.00	20.5	20.0	5.0	halb-rund (Platte)	blau	3.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 I	4.10	24.0	12.0	11.0	kantig	blau	4.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 J	1.25	13.5	11.0	6.0	halb-rund	blau	1.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 K	4.20	25.0	17.0	7.5	halb-rund	blau	4.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 L	1.30	14.0	10.5	6.5	halb-kantig	blau	1.45	47°15'26.43"N	14°16'15.34"E	5	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E	0	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E	0	47°15'26.54"N	14°16'15.24"E
4 M	4.15	18.5	16.0	8.0	rund	blau	4.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlikapelle

Ausgesetzt am 10. April 2014 direkt unterhalb der Brücke Schöttlikapelle																		
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	17. August 2014			25. August 2014			10. September 2014				
								Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]		
4 A	29.20	41.5	25.5	21.0	halb-kantig	blau	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4 B	8.05	21.0	18.5	15.5	halb-kantig	blau	8.35	47°15'26.36"N	14°16'16.74"E	27	47°15'26.31"N	14°16'16.57"E	0	47°15'26.10"N	14°16'17.47"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.20"E
4 C	8.50	22.0	18.0	13.5	halb-rund	blau	8.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 D	6.65	23.5	19.5	11.5	halb-rund	blau	6.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 E	5.85	22.0	15.0	12.0	rund	blau	6.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 F	0.70	10.0	9.0	5.5	rund	blau	0.80	47°15'26.40"N	14°16'15.75"E	9	47°15'26.26"N	14°16'15.74"E	0	47°15'26.33"N	14°16'16.08"E	0	47°15'26.33"N	14°16'16.08"E
4 G	5.35	22.5	15.0	13.0	kantig	blau	5.55	47°15'26.31"N	14°16'16.02"E	7	47°15'26.26"N	14°16'15.74"E	0	47°15'26.33"N	14°16'16.08"E	0	47°15'26.33"N	14°16'16.08"E
4 H	3.00	20.5	20.0	5.0	halb-rund (Platte)	blau	3.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 I	4.10	24.0	12.0	11.0	kantig	blau	4.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 J	1.25	13.5	11.0	6.0	halb-rund	blau	1.35	-	-	-	-	-	-	47°15'26.37"N	14°16'15.22"E	7	47°15'26.37"N	14°16'15.22"E
4 K	4.20	25.0	17.0	7.5	halb-rund	blau	4.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 L	1.30	14.0	10.5	6.5	halb-kantig	blau	1.45	47°15'26.54"N	14°16'16.33"E	13	47°15'26.29"N	14°16'16.06"E	0	47°15'26.42"N	14°16'16.78"E	0	47°15'26.42"N	14°16'16.78"E
4 M	4.15	18.5	16.0	8.0	rund	blau	4.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bewegungsvorgang der Testracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlikapelle

Ausgesetzt am 10. April 2014 direkt unterhalb der Brücke Schöttlikapelle										17. Mai 2014			06. August 2014			17. August 2014		
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]		
A	4.70	18.5	17.0	13.0	rund	gelb	4.90	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0		
A	3.90	21.0	13.5	12.5	kantig	blau	4.10	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.41"N	14°16'15.64"E	12		
B	4.30	20.0	13.5	11.5	rund	weiß	4.50	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0		
B	2.25	21.5	12.5	6.0	halb-rund (Scheibe)	weiß	2.40	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0		
C	3.55	23.5	11.0	10.5	kantig	grün	3.75	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	3	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0		
C	4.30	23.5	15.0	10.5	halb-rund	grün	4.50	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.40"N	14°16'15.15"E	2		

Bewegungsvorgang der Testracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlikapelle

Ausgesetzt am 10. April 2014 direkt unterhalb der Brücke Schöttlikapelle										25. August 2014			10. September 2014			
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
A	4.70	18.5	17.0	13.0	rund	gelb	4.90	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.20"E	5	47°15'26.31"N	14°16'15.20"E	5
A	3.90	21.0	13.5	12.5	kantig	blau	4.10	47°15'26.33"N	14°16'15.64"E	1	47°15'26.32"N	14°16'15.62"E	0	47°15'26.32"N	14°16'15.62"E	0
B	4.30	20.0	13.5	11.5	rund	weiß	4.50	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	0	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	0
B	2.25	21.5	12.5	6.0	halb-rund (Scheibe)	weiß	2.40	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.30"N	14°16'18.31"E	4	47°15'26.30"N	14°16'18.31"E	4
C	3.55	23.5	11.0	10.5	kantig	grün	3.75	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	3	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	3
C	4.30	23.5	15.0	10.5	halb-rund	grün	4.50	47°15'26.40"N	14°16'15.15"E	0	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	0	47°15'26.30"N	14°16'14.94"E	2

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	17. August 2014			25. August 2014			10. September 2014		
								Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
5 A	15.10	45.0	17.0	11.5	rechteckig kantig	blau	15.50	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0
5 B	7.25	24.0	21.0	10.5	rund	blau	7.50	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.52"E	0
5 C	1.65	16.5	11.0	7.5	halb-rund	blau	1.85	47°15'26.63"N	14°16'14.00"E	-	-	-	-	-	-	-
5 D	1.25	13.0	10.0	8.0	halb-rund	blau	1.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 E	2.45	15.5	13.0	7.0	halb-rund	blau	2.65	47°15'26.40"N	14°16'14.80"E	4	-	-	-	-	-	-
5 F	0.65	9.5	8.5	6.0	halb-rund	blau	0.80	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	2	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'26.31"N	14°16'15.20"E	0
5 G	1.50	15.0	8.0	7.5	halb-rund/ halb-kantig	blau	1.65	47°15'26.40"N	14°16'15.15"E	6	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	2	47°15'26.37"N	14°16'15.22"E	7
5 H	11.95	39.5	20.5	10.0	halb-rund	gelb	12.40	47°15'26.63"N	14°16'14.00"E	0	47°15'26.63"N	14°16'14.00"E	0	47°15'26.63"N	14°16'14.00"E	0
5 I	5.50	26.0	14.0	10.5	halb-kantig	gelb	5.70	nicht ausgesetzt								
5 J	0.70	8.0	6.5	6.5	kantig	gelb	0.80	47°15'26.32"N	14°16'16.33"E	14	47°15'26.34"N	14°16'15.95"E	0	-	-	-
5 K	4.55	23.0	16.0	11.5	kantig	gelb	4.75	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0
5 L	2.15	15.0	12.5	7.5	halb-rund	gelb	2.30	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0	47°15'26.30"N	14°16'15.46"E	0
5 M	2.15	20.0	11.5	9.5	kantig	gelb	2.30	47°15'26.32"N	14°16'16.33"E	12	47°15'26.36"N	14°16'16.27"E	0	47°15'26.24"N	14°16'17.35"E	11

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Ausgesetzt am 06. August 2014 im Bereich der Brücke Schöttlkapelle										17. August 2014				25. August 2014				10. September 2014			
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Masse [kg] (Handwaage)	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]		
6 A	9,75	35,5	21,5	7,5	flach halb rund	gelb	10,05	47°15'26,39"N	14°16'15,57"E	0	47°15'26,29"N	14°16'15,33"E	0	47°15'26,29"N	14°16'15,33"E	0	47°15'26,29"N	14°16'15,33"E	0		
6 B	0,45	10,0	7,5	4,5	kantig	gelb	0,55				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 C	2,15	12,0	11,0	10,0	kantig	gelb	2,35				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 D	4,30	19,5	13,0	11,0	halb rund	gelb	4,55				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 E	0,85	14,0	9,5	5,5	stark kantig	gelb	1,05				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 F	4,45	26,5	13,0	8,5	halb rund	gelb	4,60				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 G	0,60	15,5	7,5	4,5	kantig	gelb	0,75				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 H	3,35	20,0	14,0	8,0	halb rund	gelb	3,60				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 I	0,75	11,5	10,0	5,5	halb rund	gelb	0,90				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 J	8,65	25,0	16,0	12,5	halb rund	gelb	9,05	47°15'26,31"N	14°16'16,02"E	4	47°15'26,26"N	14°16'15,74"E	0	47°15'26,33"N	14°16'16,08"E	0	47°15'26,33"N	14°16'16,08"E	0		
6 K	1,05	18,5	10,0	3,0	halb rund	gelb	1,20				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 L	2,20	18,0	12,5	6,0	rechteckig	gelb	2,35				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 M	2,55	17,0	14,0	7,0	halb rund	gelb	2,75				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 N	7,90	27,5	18,0	11,0	halb rund	gelb	8,20	47°15'26,30"N	14°16'14,94"E	6	47°15'26,30"N	14°16'14,94"E	0	47°15'26,30"N	14°16'14,94"E	0	47°15'26,30"N	14°16'14,94"E	0		
6 O	1,90	14,5	10,5	7,5	kantig	gelb	2,05				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							
6 P	2,70	19,5	10,5	10,0	kantig	gelb	2,90				nicht ausgesetzt			nicht ausgesetzt							

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Kleinen roten Steine <1,0 kg, am 06. August 2014 ausgesetzt.										17. August 2014				25. August 2014				10. September 2014			
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Geometrie Form	Farbe	Meter abseits der Brücke	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]		
1x	0,80	11,0	8,0	5,0	flach	rot	8	47°15'25,64"N	14°16'18,28"E	55	47°15'26,29"N	14°16'16,06"E	12	47°15'25,32"N	14°16'17,94"E	0	47°15'25,32"N	14°16'17,94"E	0		
2x	0,80	10,0	9,0	6,0	halb-rund	rot	8				47°15'26,29"N	14°16'15,90"E	0	47°15'26,32"N	14°16'16,23"E	0	47°15'26,32"N	14°16'16,23"E	0		
3x	0,50	6,0	6,0	6,0	halb rund	rot	8			13	47°15'26,20"N	14°16'15,90"E	0								
4x	0,30	7,0	5,0	4,0	rund	rot	8			33	47°15'26,24"N	14°16'17,19"E									
5x	0,25	8,0	4,0	3,0	oval	rot	8			19	47°15'26,36"N	14°16'16,74"E	0	47°15'26,36"N	14°16'16,74"E	0	47°15'26,30"N	14°16'15,61"E	0		
6x	0,20	7,0	4,0	3,0	oval	rot	8			0	47°15'26,30"N	14°16'17,93"E	41	47°15'26,30"N	14°16'17,93"E	41	47°15'26,30"N	14°16'18,41"E	53		
7x	0,20	6,0	5,5	1,0	oval	rot	8			10	47°15'26,28"N	14°16'16,42"E		47°15'25,58"N	14°16'17,94"E	54	47°15'24,39"N	14°16'18,41"E	0		
8x	0,15	3,0	3,0	1,0	flach	rot	8			0	47°15'26,30"N	14°16'15,61"E	0	47°15'26,30"N	14°16'15,61"E	0	47°15'26,30"N	14°16'15,61"E	0		
9x	0,15	4,0	2,0	1,0	rund	rot	8			0	47°15'26,30"N	14°16'17,90"E	52	47°15'25,80"N	14°16'17,90"E						
10x	0,10	3,0	2,0	1,0	oval	rot	8														
11x	0,05	2,0	2,0	1,0	rund	rot	8														
12x	0,05	2,0	1,0	1,0	rund	rot	8														
13x	0,05	1,0	1,0	1,0	rund	rot	8														
14x	0,05	1,0	1,0	1,0	rund	rot	8														

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeleitet (Barbas, 2014)										05. September 2013 (Barbas, 2014)			10. April 2014			17. Mai 2014		
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Farbe	Ausgesetzt	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
S 8	1.10	12.0	9.5	5.0	grün	08/01/2013	47°15'22.73"N	14°16'18.73"E	150	47°15'22.68"N	14°16'18.90"E	0	47°15'22.68"N	14°16'18.90"E	0	47°15'22.68"N	14°16'18.90"E	0
S9	1.15	12.0	7.5	7.5	grün	08/01/2013	47°15'11.98"N	14°16'17.53"E	380	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S 23	0.65	13.5	8.0	5.0	blau	15/05/2013	47°15'23.00"N	14°16'18.60"E	15	47°15'23.32"N	14°16'18.57"E	0	47°15'23.32"N	14°16'18.57"E	0	47°15'23.32"N	14°16'18.57"E	0
S 26	4.25	22.0	15.5	10.0	blau	15/05/2013	47°15'25.84"N	14°16'17.73"E	65	47°15'25.83"N	14°16'17.86"E	0	47°15'25.83"N	14°16'17.86"E	0	47°15'25.83"N	14°16'17.86"E	0
S 27	30.10	45.0	30.0	17.5	blau	15/05/2013	47°15'26.46"N	14°16'16.33"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0
S 28	16.85	23.0	21.0	20.0	blau	15/05/2013	47°15'22.59"N	14°16'18.79"E	0	47°15'25.54"N	14°16'18.10"E	0	47°15'22.61"N	14°16'18.93"E	0	47°15'22.61"N	14°16'18.93"E	0
S 29	18.70	36.0	22.0	16.0	blau	15/05/2013	47°15'25.94"N	14°16'17.72"E	0	47°15'25.69"N	14°16'18.12"E	0	47°15'25.65"N	14°16'18.24"E	0	47°15'25.65"N	14°16'18.24"E	0
S 30	19.65	35.0	24.0	18.0	blau	15/05/2013	47°15'25.32"N	14°16'18.31"E	0	47°15'25.32"N	14°16'18.36"E	0	47°15'25.41"N	14°16'18.29"E	0	47°15'25.41"N	14°16'18.29"E	0
S31	3.70	17.0	14.0	10.5	pink	15/05/2013	47°15'21.77"N	14°16'19.49"E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S 33	0.60	11.0	8.0	5.0	grün	15/05/2013	47°15'15.03"N	14°16'17.57"E	0	47°15'14.86"N	14°16'18.88"E	0	47°15'14.86"N	14°16'18.88"E	0	47°15'14.86"N	14°16'18.88"E	0

Bewegungsvorgang der Tracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeleitet (Barbas, 2014)										09. Juni 2014			08. Juli 2014			10. September 2014		
Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Farbe	Ausgesetzt	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
S 8	1.10	12.0	9.5	5.0	grün	08/01/2013	47°15'22.69"N	14°16'18.79"E	0	47°15'22.69"N	14°16'18.79"E	0	47°15'22.69"N	14°16'18.79"E	0	47°15'22.69"N	14°16'18.79"E	0
S9	1.15	12.0	7.5	7.5	grün	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S 23	0.65	13.5	8.0	5.0	blau	15/05/2013	47°15'23.04"N	14°16'18.70"E	0	47°15'23.25"N	14°16'18.54"E	0	47°15'23.25"N	14°16'18.54"E	0	47°15'25.76"N	14°16'17.83"E	0
S 26	4.25	22.0	15.5	10.0	blau	15/05/2013	47°15'25.73"N	14°16'17.98"E	0	47°15'25.98"N	14°16'18.22"E	0	47°15'25.98"N	14°16'18.22"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0
S 27	30.10	45.0	30.0	17.5	blau	15/05/2013	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0	47°15'26.35"N	14°16'16.37"E	0
S 28	16.85	23.0	21.0	20.0	blau	15/05/2013	47°15'22.47"N	14°16'18.80"E	4	47°15'21.86"N	14°16'19.18"E	22	47°15'21.86"N	14°16'19.59"E	0	47°15'21.86"N	14°16'19.59"E	0
S 29	18.70	36.0	22.0	16.0	blau	15/05/2013	47°15'25.92"N	14°16'17.96"E	0	47°15'25.31"N	14°16'17.98"E	0	47°15'25.31"N	14°16'17.98"E	0	47°15'25.31"N	14°16'17.98"E	0
S 30	19.65	35.0	24.0	18.0	blau	15/05/2013	47°15'25.04"N	14°16'18.31"E	7	47°15'25.01"N	14°16'18.45"E	0	47°15'24.82"N	14°16'18.25"E	0	47°15'24.82"N	14°16'18.25"E	0
S31	3.70	17.0	14.0	10.5	pink	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S 33	0.60	11.0	8.0	5.0	grün	15/05/2013	47°15'15.52"N	14°16'17.32"E	0	47°15'15.52"N	14°16'17.32"E	0	47°15'15.52"N	14°16'17.32"E	0	47°15'15.52"N	14°16'17.32"E	0

Bewegungsvorgang der Telemetrietracersteine am Schöttlbach / Brücke Schöttlkapelle

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeführt. (Barbas, 2014)

Bezeichnung	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Farbe	Ausgesetzt	05. September 2013 (Barbas, 2014)			10. April 2014		
							Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
10	6.75	23.0	17.0	12.5	grün	15/11/2012	47°15'19.74"N	14°16'19.11"E	0	-	-	-
18	3.60	16.0	12.0	9.5	grün	15/11/2012	47°15'21.83"N	14°16'19.37"E	0	-	-	-
21	4.10	28.0	14.5	8.0	grün	15/11/2012	47°15'22.22"N	14°16'19.03"E	0	-	-	-
24	3.80	22.0	13.5	8.5	grün	15/11/2012	47°15'22.29"N	14°16'19.01"E	0	-	-	-
25	2.65	18.0	12.5	9.0	grün	15/11/2012	47°15'22.12"N	14°16'19.21"E	170	-	-	-
26	5.25	20.0	13.5	9.5	grün	08/01/2013	47°15'12.87"N	14°16'18.74"E	0	-	-	-

10.4.2 Tracersteindokumentation Krumeggerbach / Kapitel 4.1.2.2

Im Anschluss sind die Koordinaten der Farbtracer- und der Radiotelemetrietracersteine angeführt, welche in den Jahren 2012 und 2013 bei der Brücke Krumeggerbach ausgesetzt wurden. Zusätzlich sind die Transportdistanzen der einzelnen Tracersteine aufgelistet.

Bewegungsvorgang der Farbtracersteine am Krumeggerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeleitet. (Barbas, 2014)

Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	77. Oktober 2013 <small>(Barbas, 2014)</small>			07. Mai 2014			
							Breitegrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitegrad	Längengrad	Distanz [m]	
K 1	rot	4,20	20,5	16,0	6,5	08/01/2013							
K 2	rot	6,80	25,0	18,0	15,0	08/01/2013	47°13'52,91"N	14°17'55,82"E	0	47°13'52,89"N	14°17'55,69"E	0	
K 3	rot	3,05	21,0	15,0	6,5	08/01/2013	47°13'50,26"N	14°17'52,26"E	3	47°13'50,01"N	14°17'52,26"E	0	
K 4	rot	2,15	18,0	8,0	7,5	08/01/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,60"E	0	47°13'52,55"N	14°17'55,06"E	14	
K 5	rot	1,25	13,0	9,5	5,0	08/01/2013	47°13'48,92"N	14°17'48,67"E	0	47°13'48,87"N	14°17'48,79"E	0	
K 6	rot	1,60	14,5	9,5	8,5	08/01/2013	47°13'49,78"N	14°17'50,70"E	0	47°13'49,78"N	14°17'50,70"E	0	
K 7	rot	0,95	11,0	9,0	5,5	08/01/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,74"E	0				
K 8	rot	0,50	9,0	8,5	4,5	08/01/2013							
K 9	rot	0,30	7,5	6,5	3,5	08/01/2013							
K 10	rot	0,30	7,0	5,5	4,5	08/01/2013							
K 11	rot	0,65	10,0	8,0	5,5	08/01/2013							
K 12	rot	23,60	47,0	29,0	19,0	15/05/2013	47°13'52,92"N	14°17'55,92"E	0	47°13'52,78"N	14°17'55,83"E	0	
K 13	rot	16,85	37,0	28,0	14,5	15/05/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,60"E	0	47°13'52,80"N	14°17'55,54"E	0	
K 14	rot	13,00	32,0	23,0	13,0	15/05/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,60"E	0	47°13'52,81"N	14°17'55,51"E	0	
K 15	rot	4,35	22,0	18,0	11,0	15/05/2013							
K 16	rot	1,40	18,0	12,0	6,0	15/05/2013	47°13'52,92"N	14°17'55,92"E	0				
K 17	rot	1,00	11,5	10,0	7,0	15/05/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,60"E	0				

Bewegungsvorgang der Farbrastersteine am Krumegegerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeführt (Barbas, 2014)

Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	17. Mai 2014			09. Juni 2014			22. Juli 2014		
							Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
K 1	rot	4,20	20,5	16,0	6,5	08/01/2013	47°13'52,89"N	14°17'55,69"E	0	47°13'52,55"N	14°17'55,60"E	0	47°13'53,27"N	14°17'54,52"E	8
K 2	rot	6,80	25,0	18,0	15,0	08/01/2013	47°13'50,01"N	14°17'52,26"E	0	47°13'49,88"N	14°17'52,21"E	0	47°13'50,59"N	14°17'52,88"E	0
K 3	rot	3,05	21,0	15,0	6,5	08/01/2013	47°13'52,55"N	14°17'55,06"E	0	-	-	0	47°13'52,08"N	14°17'54,87"E	27
K 4	rot	2,15	18,0	8,0	7,5	08/01/2013	47°13'48,87"N	14°17'48,79"E	0	47°13'48,87"N	14°17'48,79"E	0	47°13'50,18"N	14°17'45,92"E	40
K 5	rot	1,25	13,0	9,5	5,0	08/01/2013	47°13'49,75"N	14°17'50,18"E	11	47°13'49,54"N	14°17'50,01"E	3	47°13'50,93"N	14°17'47,52"E	36
K 6	rot	1,60	14,5	9,5	8,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 7	rot	0,95	11,0	9,0	5,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 8	rot	0,50	9,0	8,5	4,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 9	rot	0,30	7,5	6,5	3,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 10	rot	0,30	7,0	5,5	4,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 11	rot	0,65	10,0	8,0	5,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 12	rot	23,60	47,0	29,0	19,0	15/05/2013	47°13'52,78"N	14°17'55,83"E	0	47°13'52,25"N	14°17'56,05"E	0	47°13'52,82"N	14°17'55,23"E	12
K 13	rot	16,85	37,0	28,0	14,5	15/05/2013	47°13'52,80"N	14°17'55,54"E	0	47°13'52,49"N	14°17'55,49"E	0	47°13'52,82"N	14°17'55,23"E	12
K 14	rot	13,00	32,0	23,0	13,0	15/05/2013	47°13'52,81"N	14°17'55,51"E	0	47°13'52,49"N	14°17'55,49"E	0	47°13'52,82"N	14°17'55,23"E	13
K 15	rot	4,35	22,0	18,0	11,0	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 16	rot	1,40	18,0	12,0	6,0	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 17	rot	1,00	11,5	10,0	7,0	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	47°13'52,35"N	14°17'55,15"E	33

Bewegungsvorgang der Farbrastersteine am Krumegegerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeführt (Barbas, 2014)

Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	17. August 2014			25. August 2014			10. September 2014		
							Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
K 1	rot	4,20	20,5	16,0	6,5	08/01/2013	47°13'49,82"N	14°17'51,39"E	127	47°13'49,74"N	14°17'51,69"E	0	47°13'51,26"N	14°17'49,41"E	37
K 2	rot	6,80	25,0	18,0	15,0	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 3	rot	3,05	21,0	15,0	6,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 4	rot	2,15	18,0	8,0	7,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 5	rot	1,25	13,0	9,5	5,0	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 6	rot	1,60	14,5	9,5	8,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 7	rot	0,95	11,0	9,0	5,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 8	rot	0,50	9,0	8,5	4,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 9	rot	0,30	7,5	6,5	3,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 10	rot	0,30	7,0	5,5	4,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 11	rot	0,65	10,0	8,0	5,5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 12	rot	23,60	47,0	29,0	19,0	15/05/2013	47°13'52,51"N	14°17'54,98"E	25	47°13'51,83"N	14°17'55,14"E	0	47°13'52,64"N	14°17'53,92"E	0
K 13	rot	16,85	37,0	28,0	14,5	15/05/2013	47°13'52,24"N	14°17'53,99"E	25	47°13'51,96"N	14°17'54,39"E	0	47°13'51,93"N	14°17'54,25"E	0
K 14	rot	13,00	32,0	23,0	13,0	15/05/2013	47°13'52,35"N	14°17'54,28"E	18	47°13'51,92"N	14°17'54,43"E	0	47°13'51,57"N	14°17'52,57"E	0
K 15	rot	4,35	22,0	18,0	11,0	15/05/2013	47°13'51,04"N	14°17'53,34"E	15	47°13'50,56"N	14°17'53,08"E	15	47°13'50,89"N	14°17'52,58"E	0
K 16	rot	1,40	18,0	12,0	6,0	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 17	rot	1,00	11,5	10,0	7,0	15/05/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bewegungsvorgang der Telemetrietracersteine am Krumegegerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DI Barbas übernommen und weitergeführt. (Barbas 2014)

Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	17. Oktober 2013 (Barbas 2014)				07. Mai 2014			
							Breitegrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitegrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitegrad	Längengrad
0	grün	2.40	18.5	10.0	8.0	15/11/2012	47°13'51.66"N	14°17'53.75"E	0	47°13'51.87"N	14°17'53.91"E	0		
1	grün	3.10	13.5	12.0	9.0	15/11/2012	47°13'50.77"N	14°17'53.10"E	0	47°13'50.33"N	14°17'52.97"E	12		
2	grün	1.90	16.0	10.5	8.0	15/11/2012	47°13'49.92"N	14°17'51.31"E	0	47°13'49.70"N	14°17'51.15"E	3		
6	grün	8.75	23.0	15.5	13.5	08/01/2013	47°13'52.91"N	14°17'55.82"E	0	47°13'52.81"N	14°17'55.73"E	0		
7	grün	4.35	15.5	14.0	10.0	08/01/2013	47°13'49.88"N	14°17'51.57"E	8	47°13'49.67"N	14°17'50.03"E	33		
8	grün	4.75	19.5	13.0	9.0	11/07/2013	47°13'52.92"N	14°17'55.92"E	0	-	-	-		
11	grün	5.50	30.0	15.5	7.5	15/11/2012	47°13'52.28"N	14°17'54.45"E	0	47°13'52.12"N	14°17'54.08"E	9		
12	grün	2.50	15.0	11.0	8.5	15/11/2012	47°13'49.90"N	14°17'50.95"E	2	47°13'49.71"N	14°17'50.24"E	15		
13	grün	5.55	21.0	16.5	7.5	08/01/2013	47°13'52.31"N	14°17'54.50"E	0	47°13'52.12"N	14°17'54.08"E	9		
27	grün	1.95	12.0	9.5	8.0	15/11/2012	47°13'48.73"N	14°17'47.24"E	0	-	-	-		

Bewegungsvorgang der Telemetrietracersteine am Krumeggerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DJ Barbas übernommen und weitergeführt (Barbas, 2014)															
Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	17. Mai 2014			09. Juni 2014			22. Juli 2014		
							Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
0	grün	2.40	18.5	10.0	8.0	15/11/2012	47°13'51.87"N	14°17'53.91"E	0	47°13'51.68"N	14°17'53.92"E	6	-	-	-
1	grün	3.10	13.5	12.0	9.0	15/11/2012	47°13'49.61"N	14°17'52.82"E	0	47°13'49.61"N	14°17'51.10"E	0	-	-	-
2	grün	1.90	16.0	10.5	8.0	15/11/2012	47°13'49.61"N	14°17'51.20"E	0	47°13'52.46"N	14°17'55.64"E	0	47°13'53.10"N	14°17'54.87"E	12
6	grün	8.75	23.0	15.5	13.5	08/01/2013	47°13'52.81"N	14°17'55.73"E	0	47°13'49.49"N	14°17'50.33"E	0	47°13'49.77"N	14°17'49.85"E	3
7	grün	4.35	15.5	14.0	10.0	08/01/2013	47°13'49.60"N	14°17'50.32"E	0	-	-	-	-	-	-
8	grün	4.75	19.5	13.0	9.0	11/07/2013	-	-	-	47°13'52.06"N	14°17'54.32"E	0	47°13'52.11"N	14°17'54.78"E	3
11	grün	5.50	30.0	15.5	7.5	15/11/2012	47°13'52.12"N	14°17'54.08"E	0	47°13'49.75"N	14°17'50.18"E	0	47°13'50.87"N	14°17'47.81"E	21
12	grün	2.50	15.0	11.0	8.5	15/11/2012	47°13'49.75"N	14°17'50.18"E	0	47°13'51.91"N	14°17'54.45"E	5	47°13'51.66"N	14°17'55.30"E	2
13	grün	5.55	21.0	16.5	7.5	08/01/2013	47°13'52.12"N	14°17'54.08"E	0	-	-	-	-	-	-
27	grün	1.95	12.0	9.5	8.0	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-

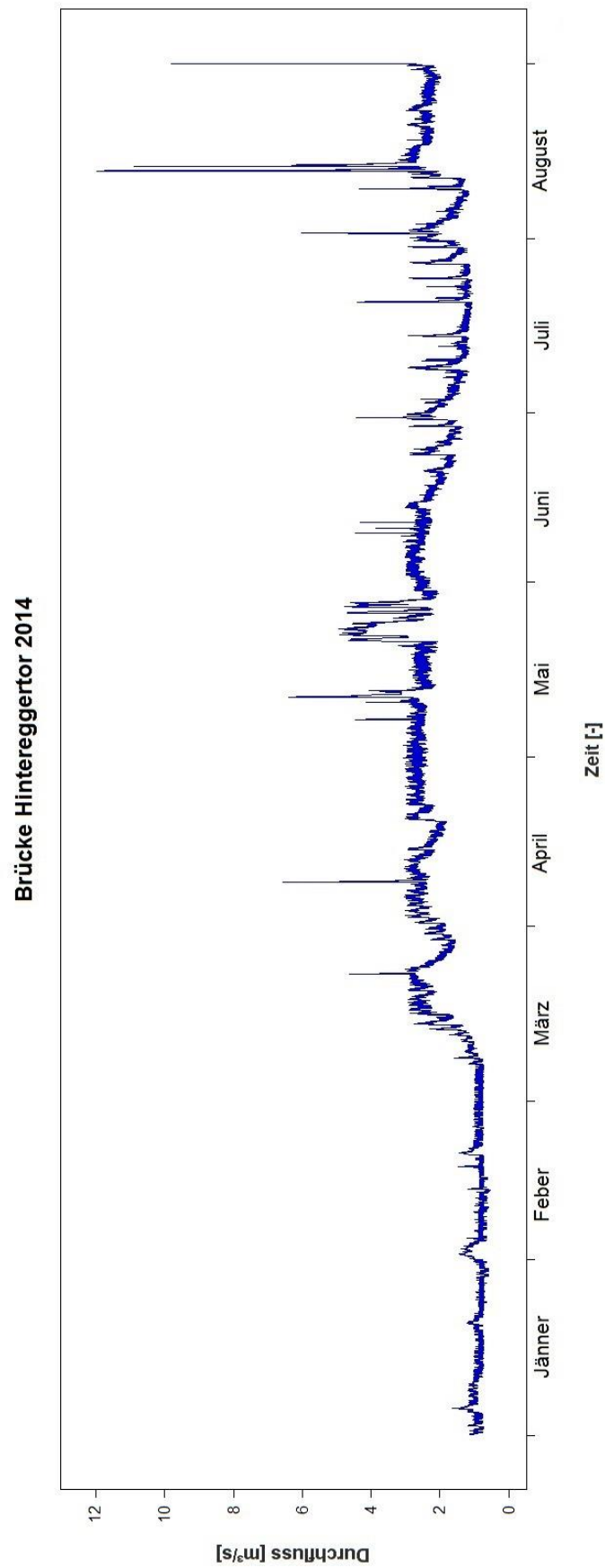
Bewegungsvorgang der Telemetrietracersteine am Krumeggerbach

Folgende Gesteinscharakterisierung wurde von Frau DJ Barbas übernommen und weitergeführt (Barbas, 2014)															
Bezeichnung	Farbe	Masse [kg]	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Ausgesetzt	17. August 2014			25. August 2014			10. September 2014		
							Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]	Breitengrad	Längengrad	Distanz [m]
0	grün	2.40	18.5	10.0	8.0	15/11/2012	-	-	-	47°13'50.23"N	14°17'52.88"E	-	-	-	-
1	grün	3.10	13.5	12.0	9.0	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	grün	1.90	16.0	10.5	8.0	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	grün	8.75	23.0	15.5	13.5	08/01/2013	47°13'50.04"N	14°17'52.52"E	98	47°13'49.85"N	14°17'52.78"E	0	47°13'50.22"N	14°17'52.05"E	0
7	grün	4.35	15.5	14.0	10.0	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	grün	4.75	19.5	13.0	9.0	11/07/2013	47°13'52.65"N	14°17'54.96"E	-	47°13'51.84"N	14°17'54.95"E	25	47°13'51.60"N	14°17'54.80"E	0
11	grün	5.50	30.0	15.5	7.5	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	grün	2.50	15.0	11.0	8.5	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	grün	5.55	21.0	16.5	7.5	08/01/2013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	grün	1.95	12.0	9.5	8.0	15/11/2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-

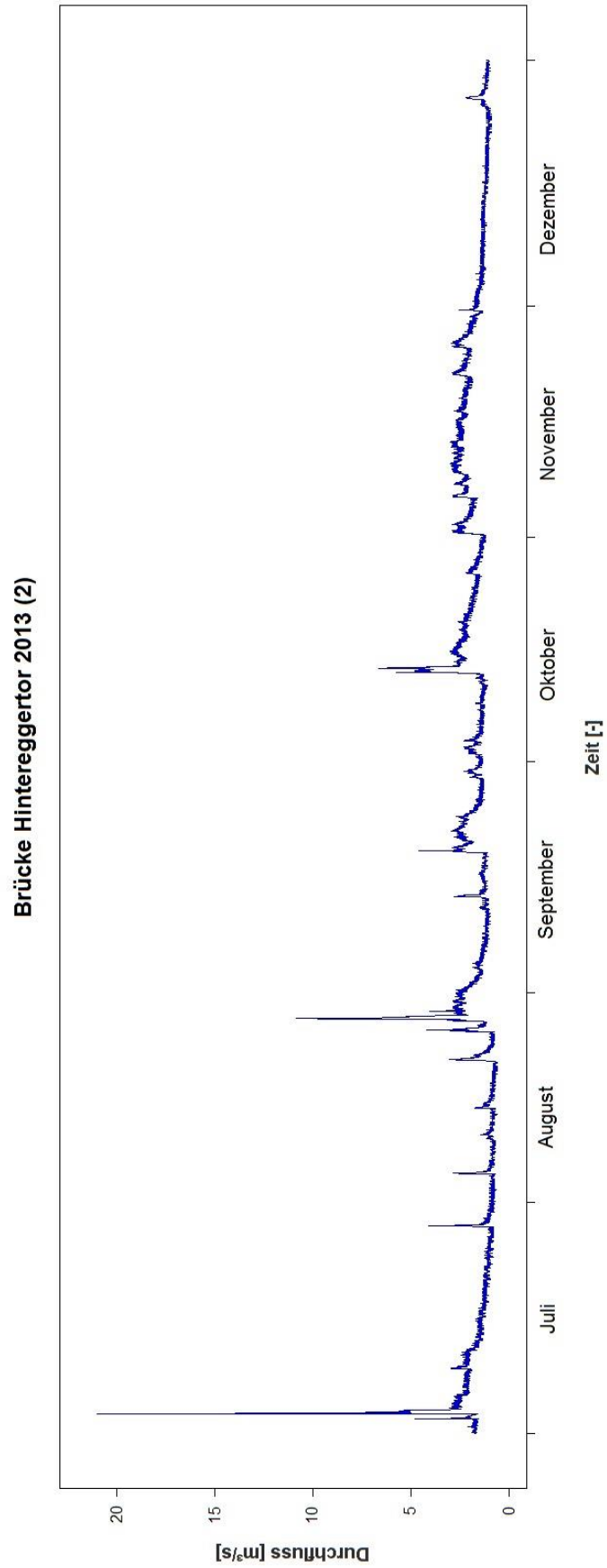
10.4.3 Abflussganglinien / Kapitel 4.1.3

Nachfolgende Diagramme zeigen den Abfluss über die Zeit. Für jedes der betrachteten Querprofile Brücke Hintereggertor, Brücke Schöttlkapelle und Brücke Krumeeggerbach wird der Abfluss zuerst halbjährlich und direkt im Anschluss zwei-monatlich dargestellt. Ebenso werden die Pegelstände zu diesen drei Querprofilen jeweils halbjährlich als auch in zwei-monatiger Auflösung angeführt. Angemerkt sei, dass es sich bei der Achsenskalierung (Durchfluss und Wasserstand) um variable Darstellungen handelt.

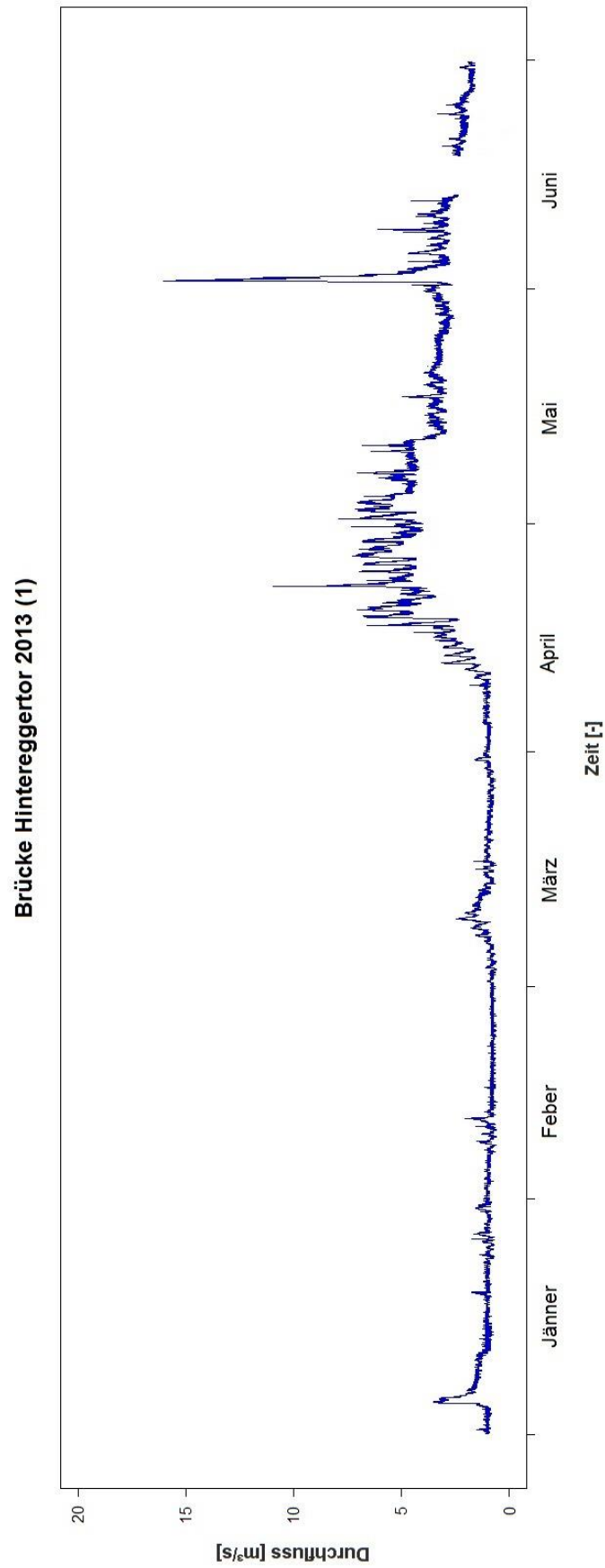
Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das Jahr 2014



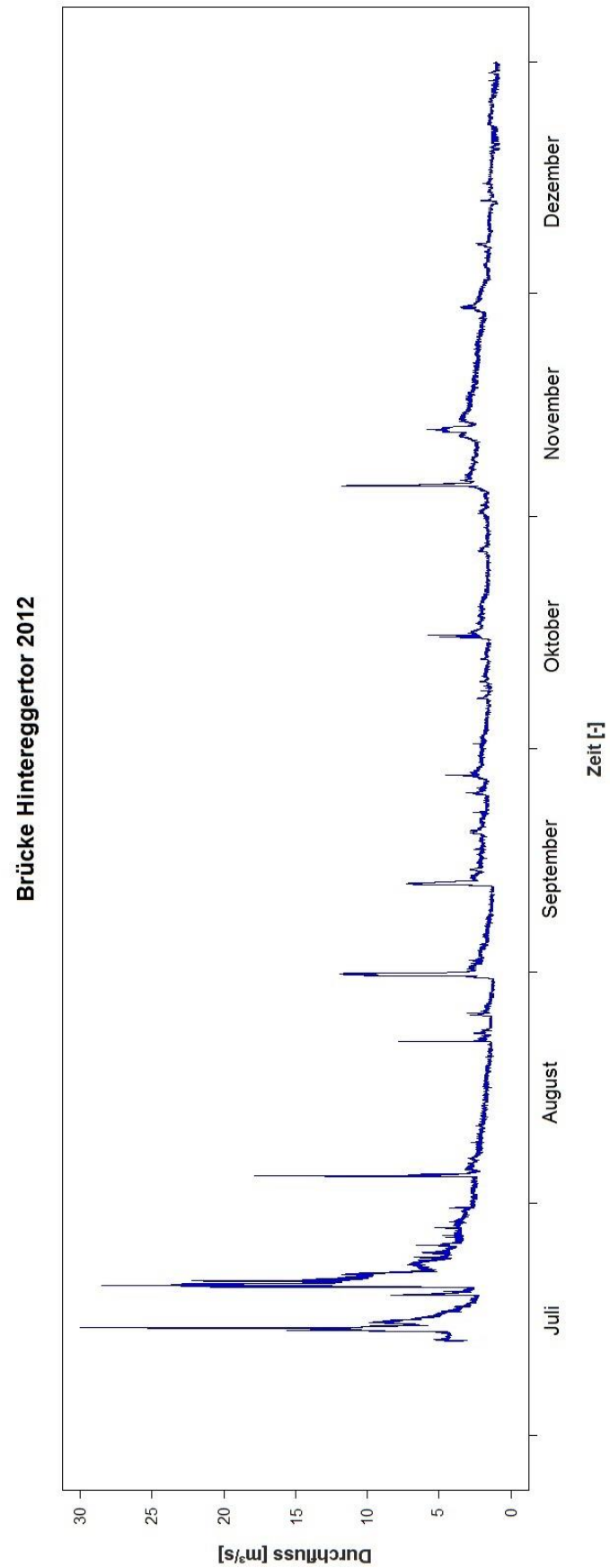
Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das zweite Halbjahr 2013



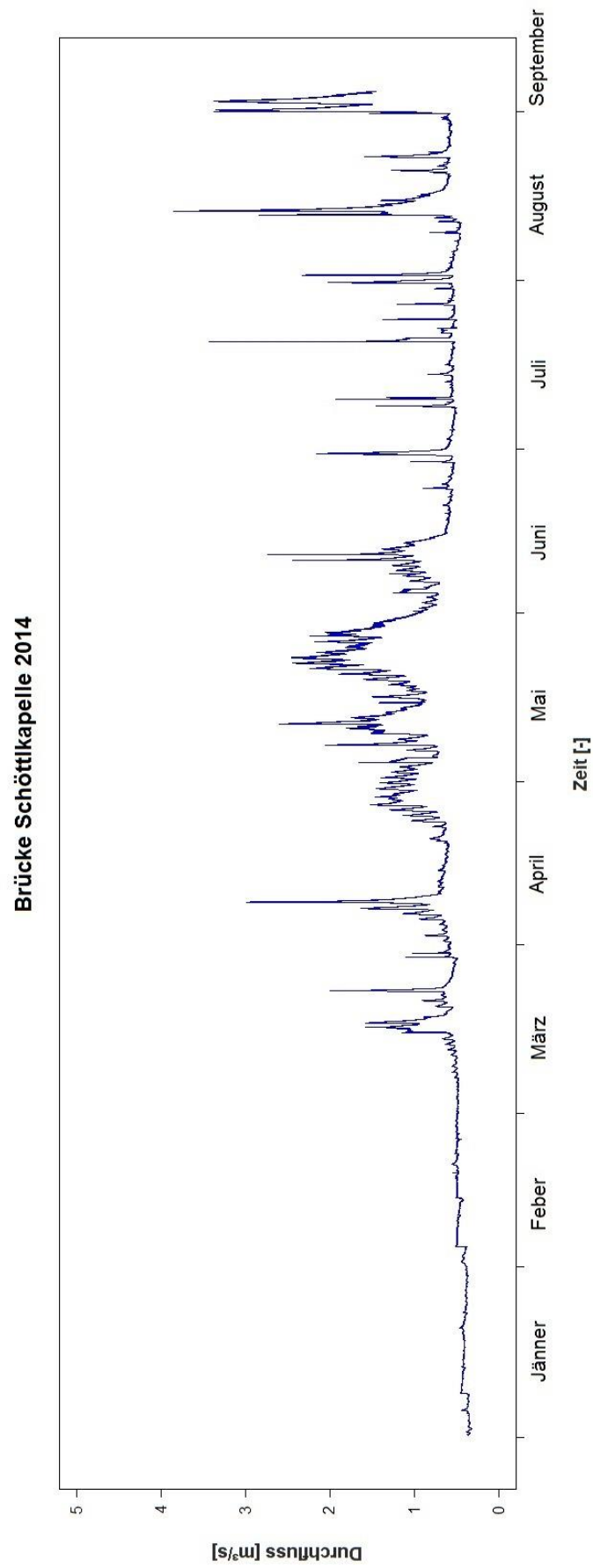
Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das erste Halbjahr 2013



Abflussganglinie Brücke Hintereggertor für das Jahr 2012

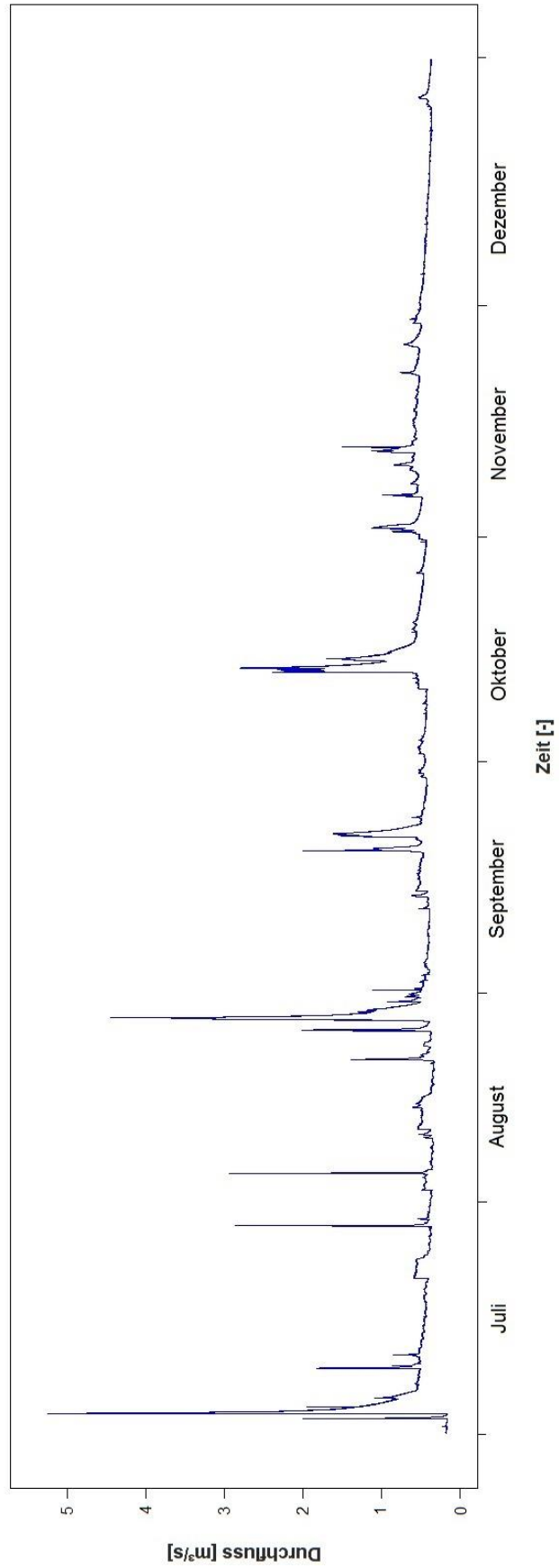


Abflussganglinie Brücke Schöttlkapelle für das Jahr 2014

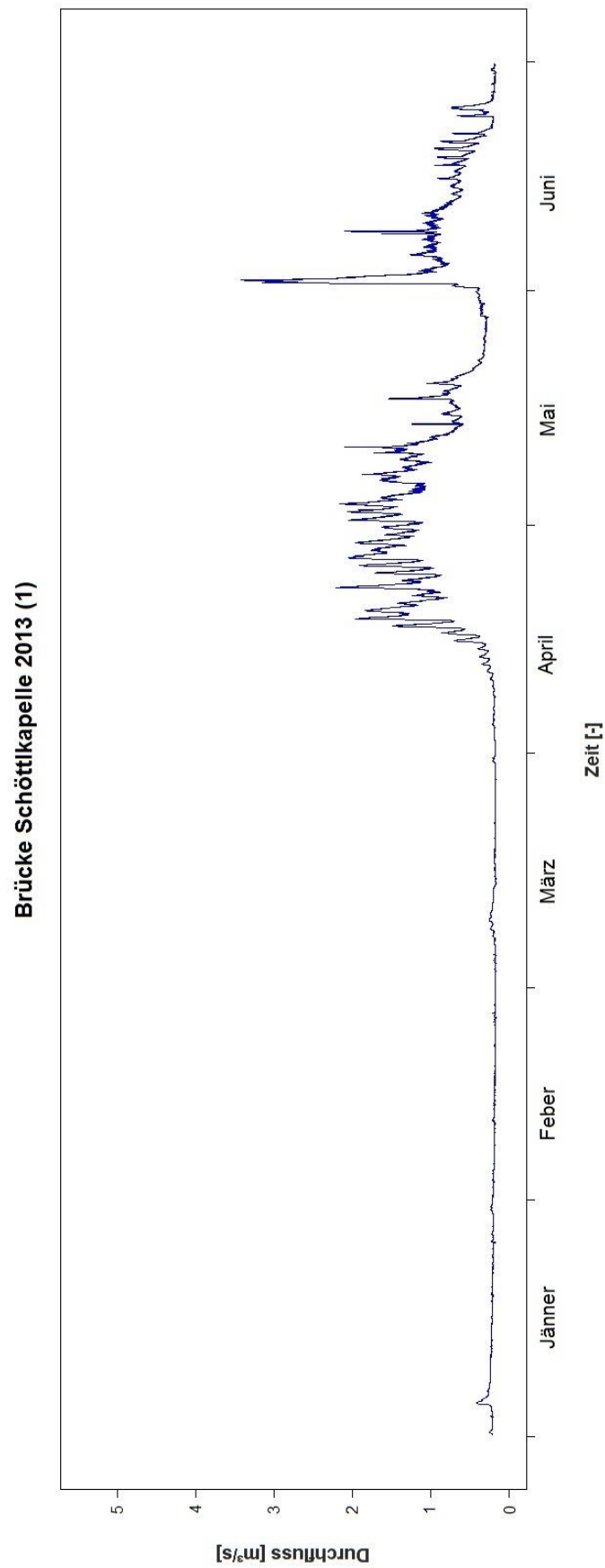


Abflussganglinie Brücke Schöttlkapelle für das zweite Halbjahr 2013

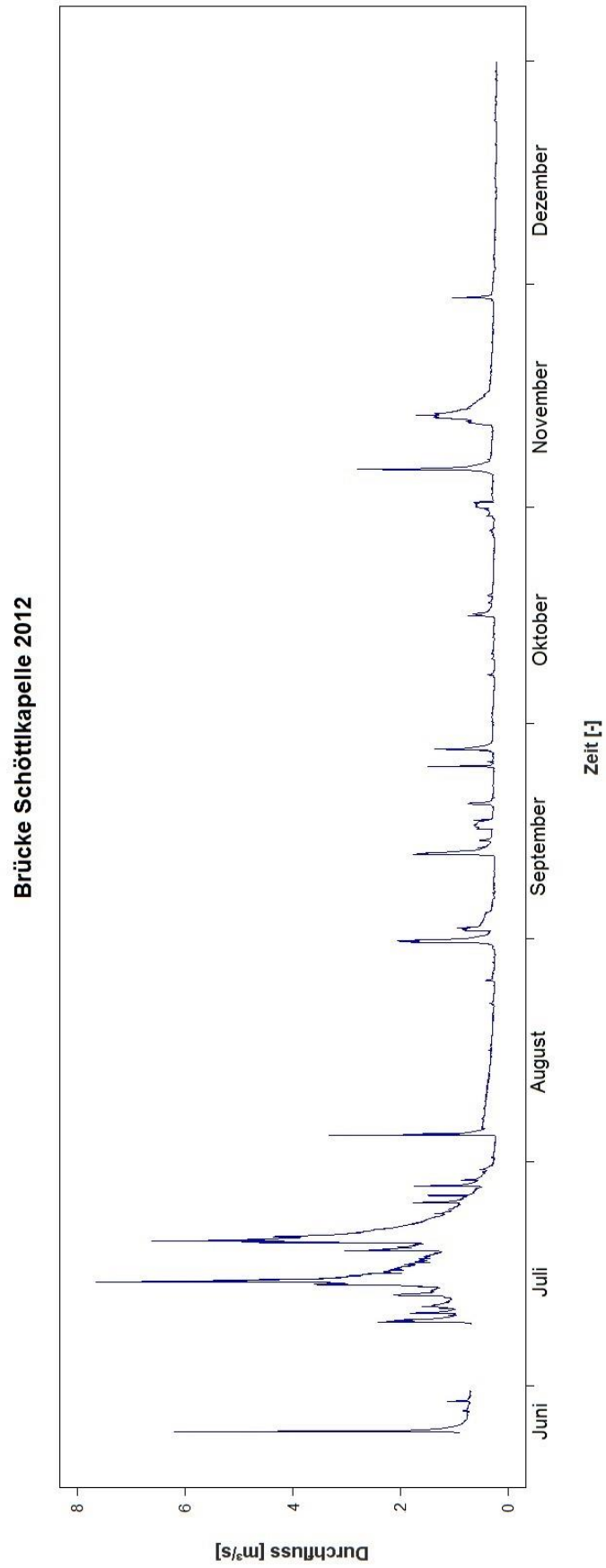
Brücke Schöttlkapelle 2013 (2)



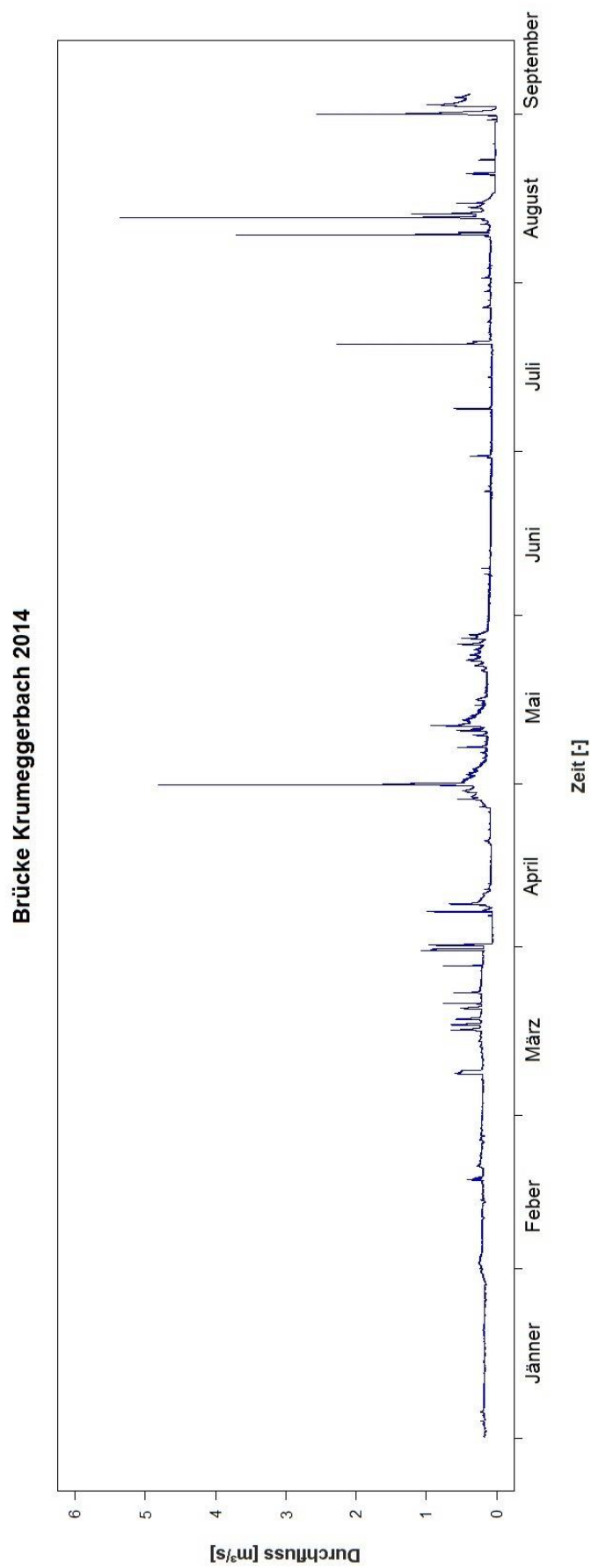
Abflussganglinie Brücke Schöttlkapelle für das erste Halbjahr 2013



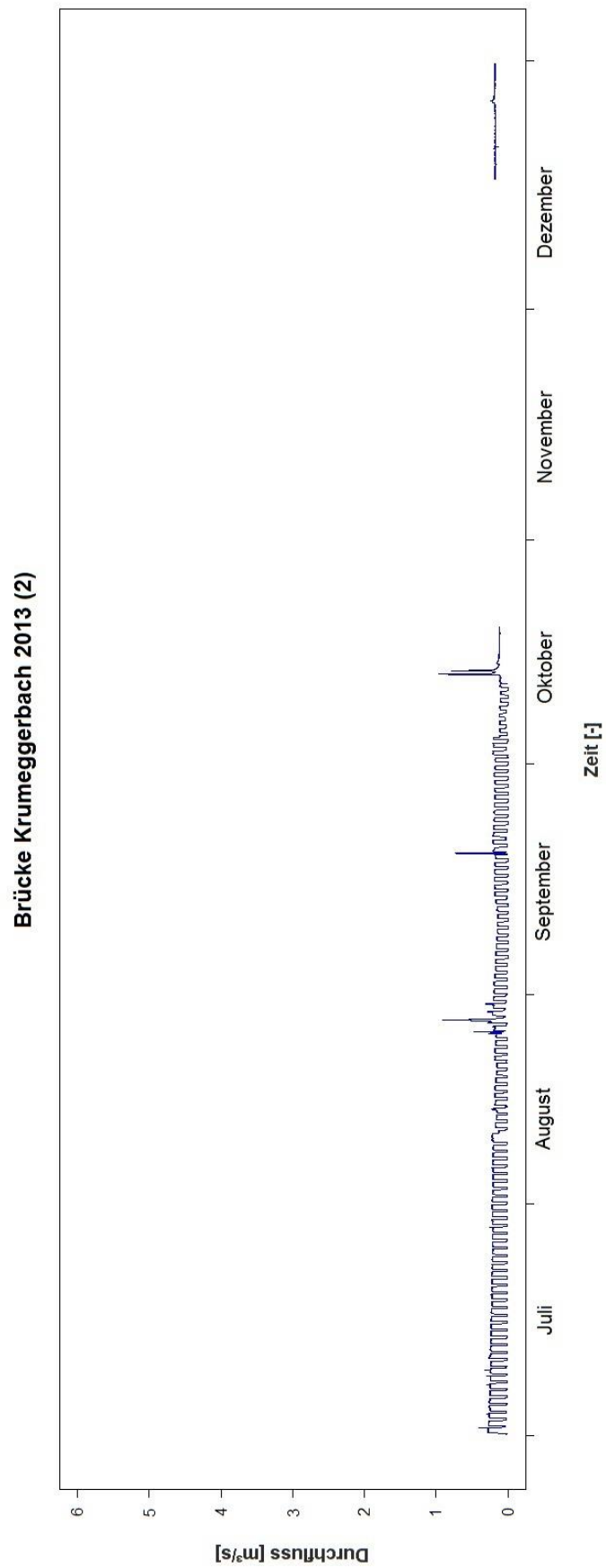
Abflussganglinie Brücke Schöttlkapelle für das Jahr 2012



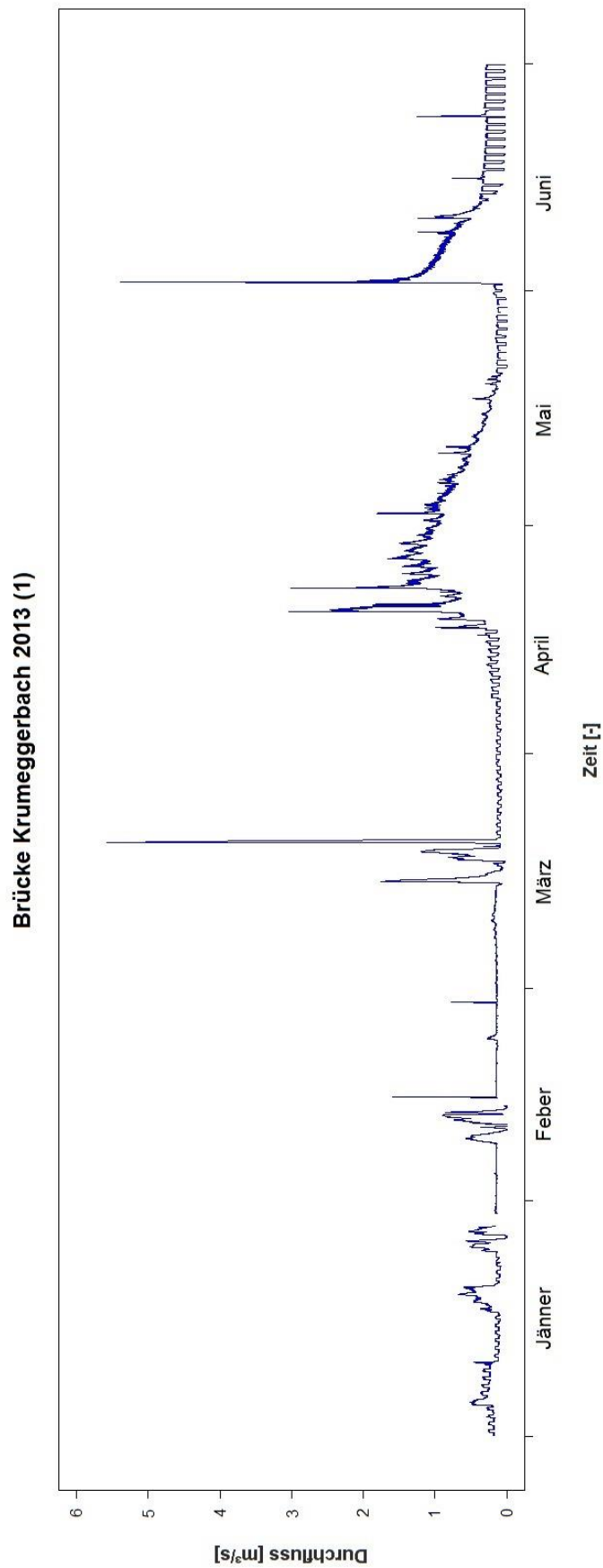
Abflussganglinie Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2014



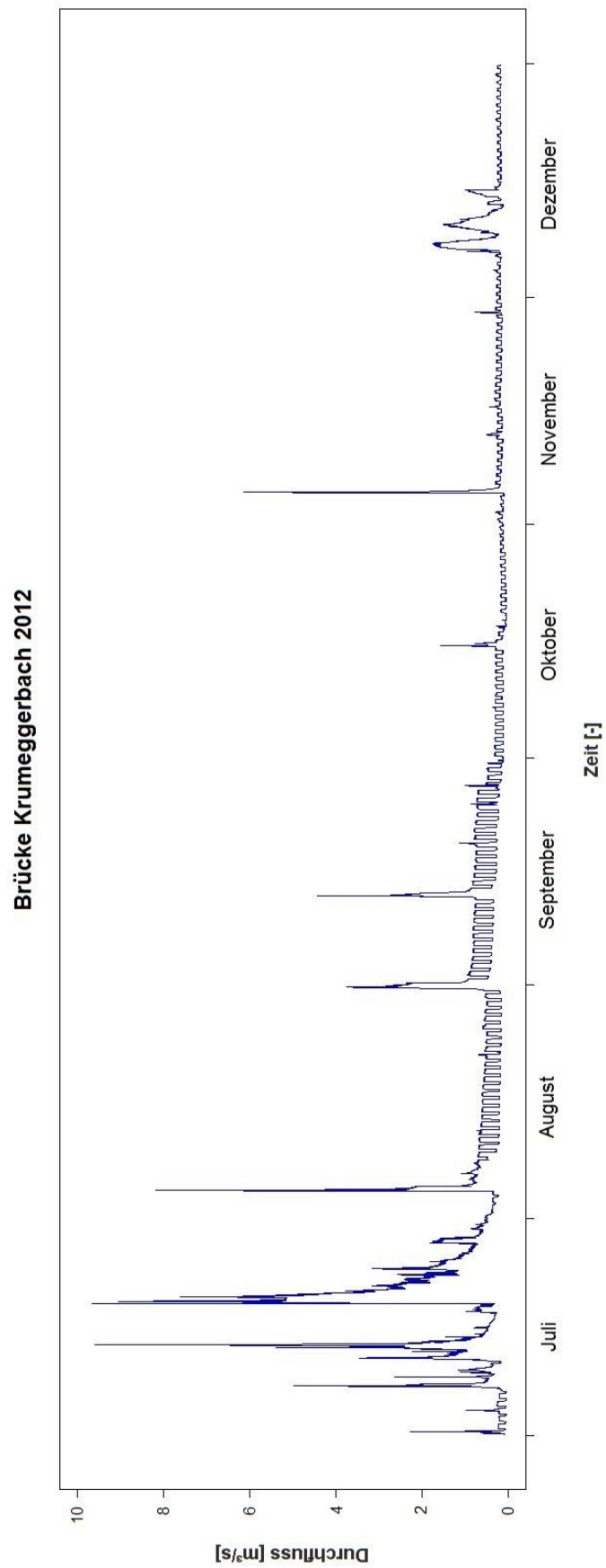
Abflussganglinie Brücke Krumeeggerbach für das zweite Halbjahr 2013



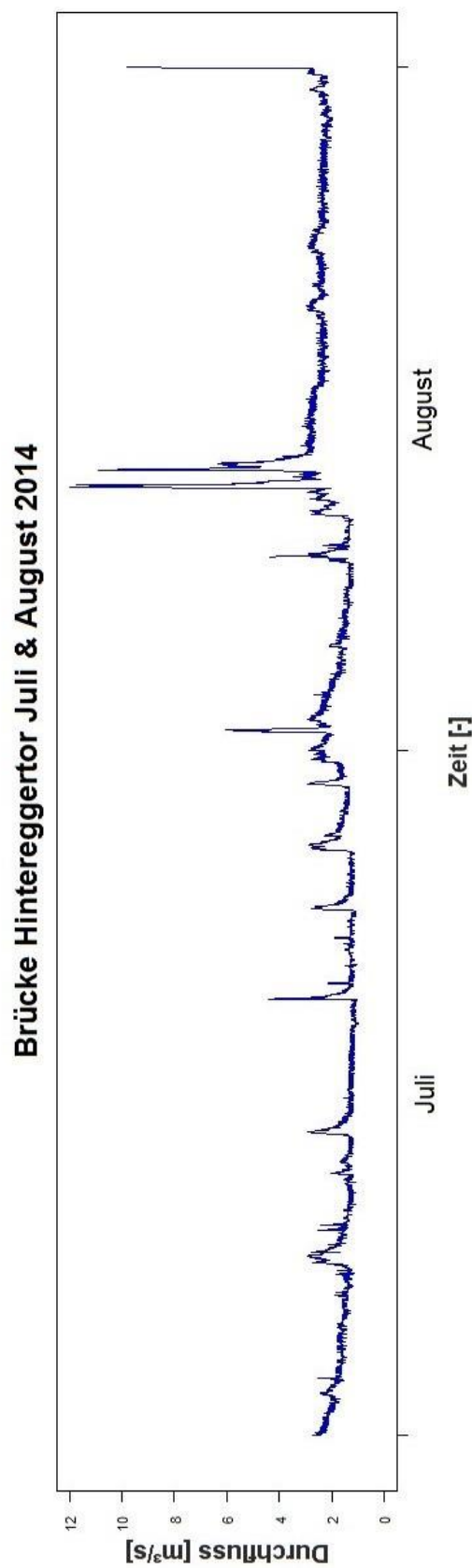
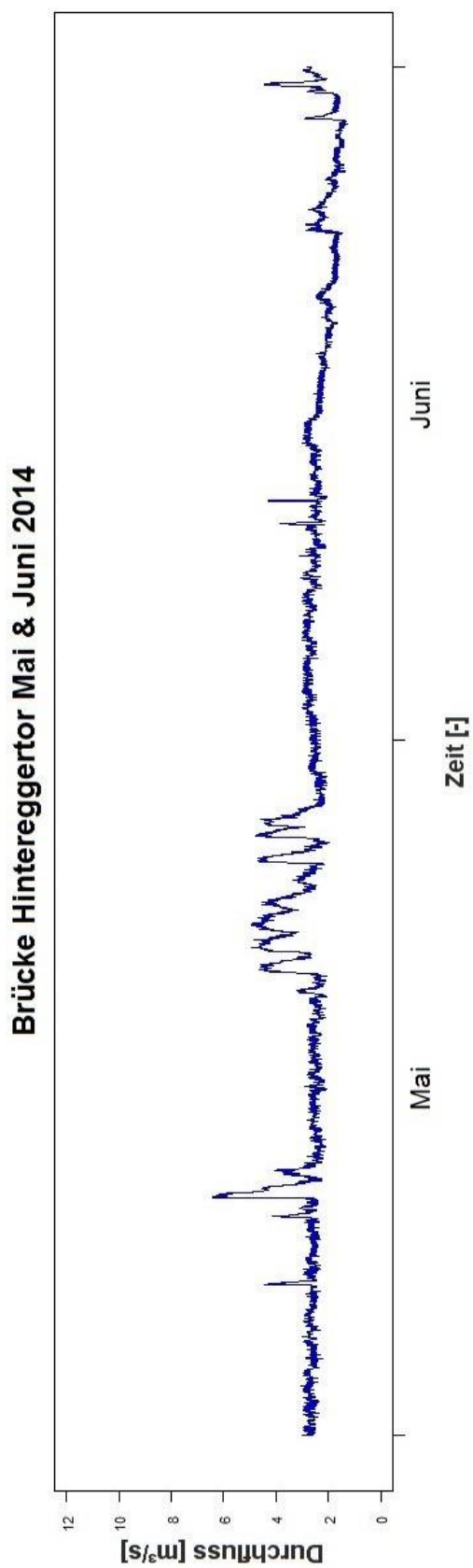
Abflussganglinie Brücke Krumeggerbach für das erste Halbjahr 2013



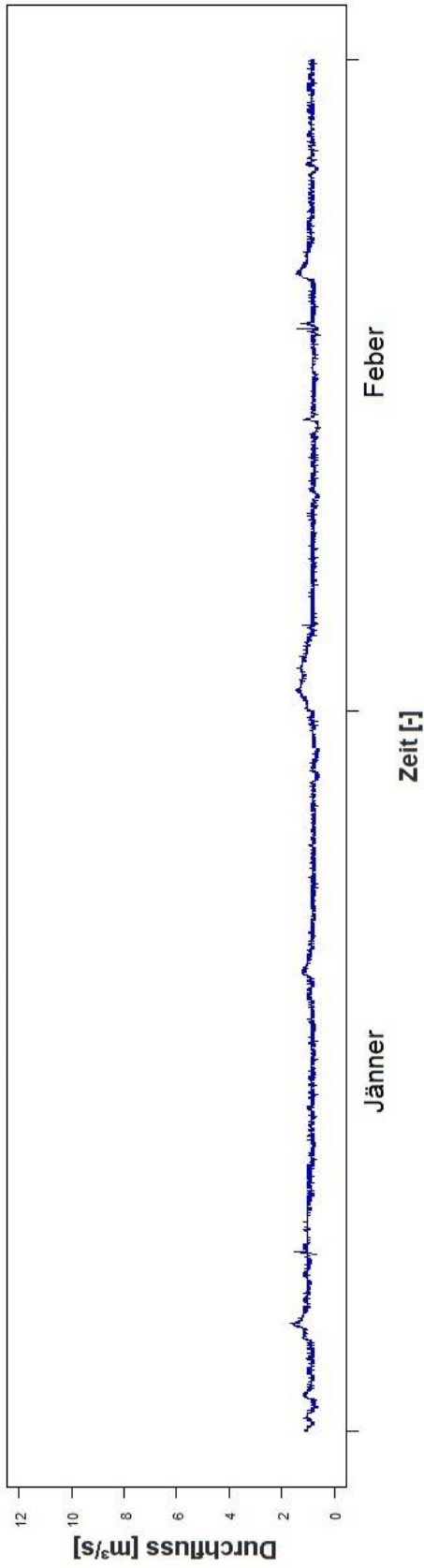
Abflussganglinie Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2012



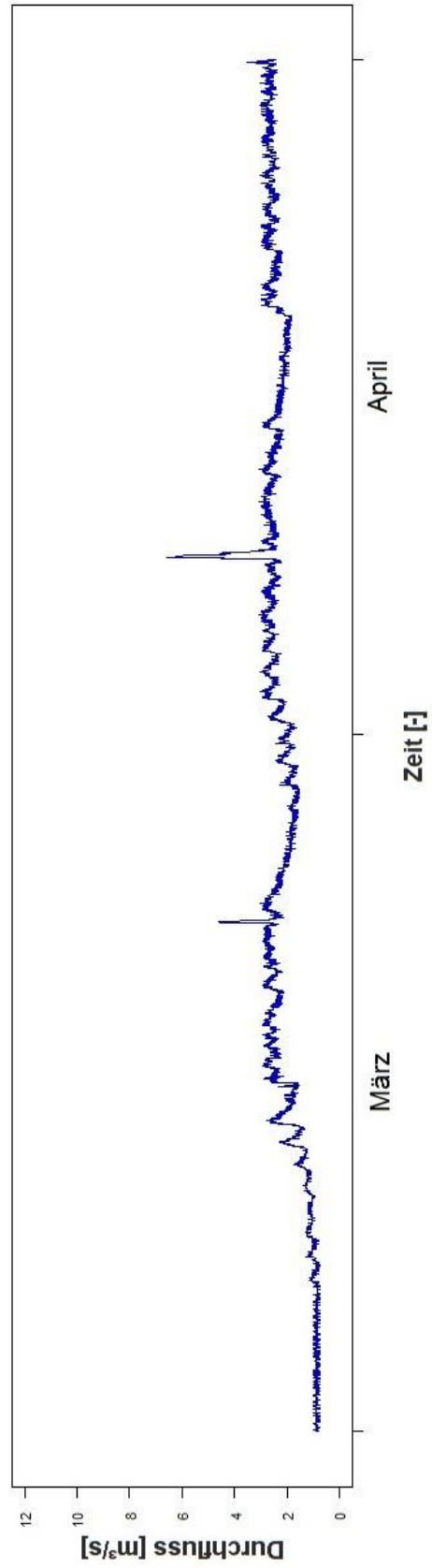
Durchflüsse Brücke Hintereggertor vom 13. Juli 2012 bis zum 31. August 2014



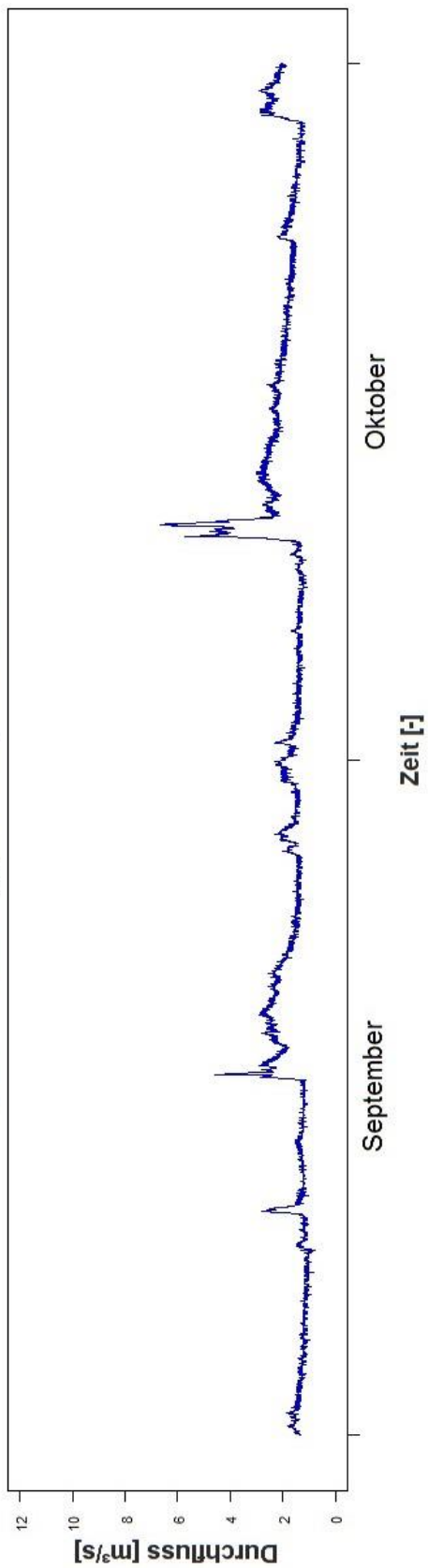
Brücke Hinteregger Tor Jänner & Feber 2014



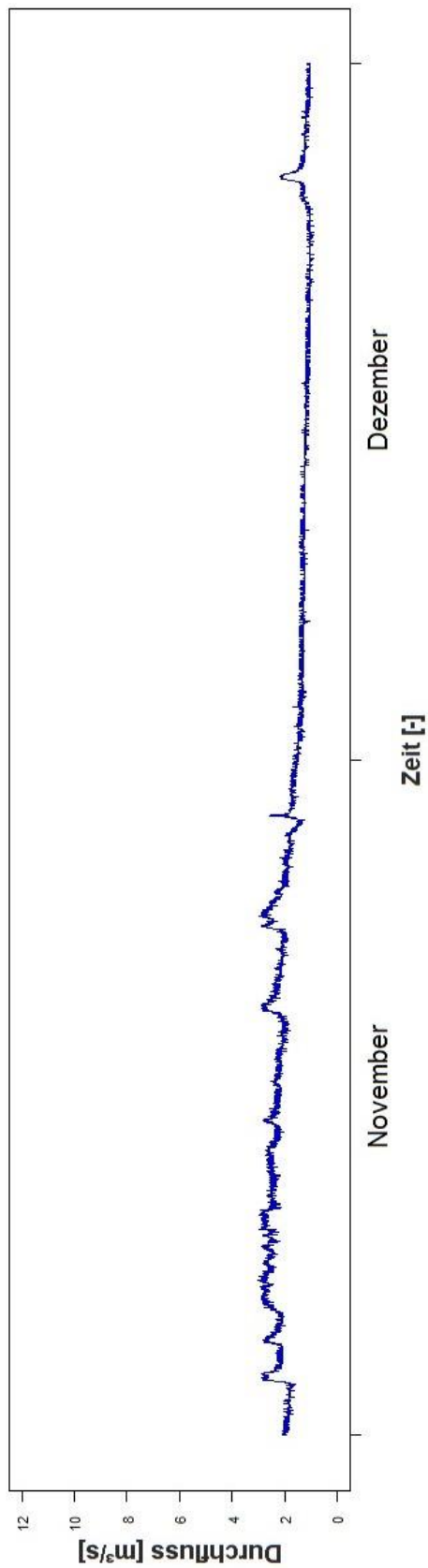
Brücke Hinteregger Tor März & April 2014

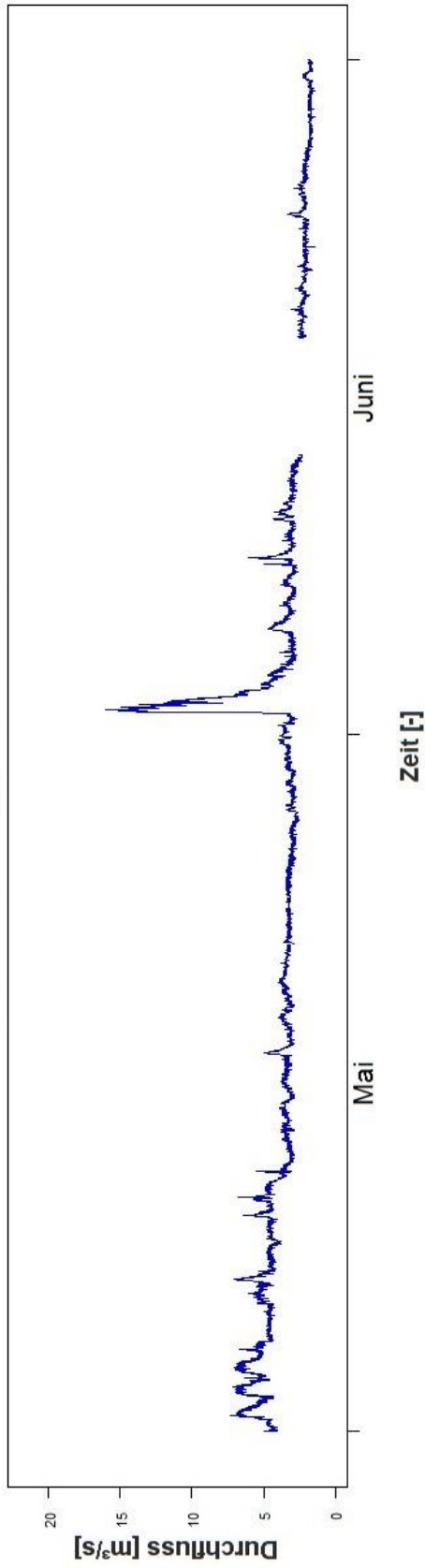
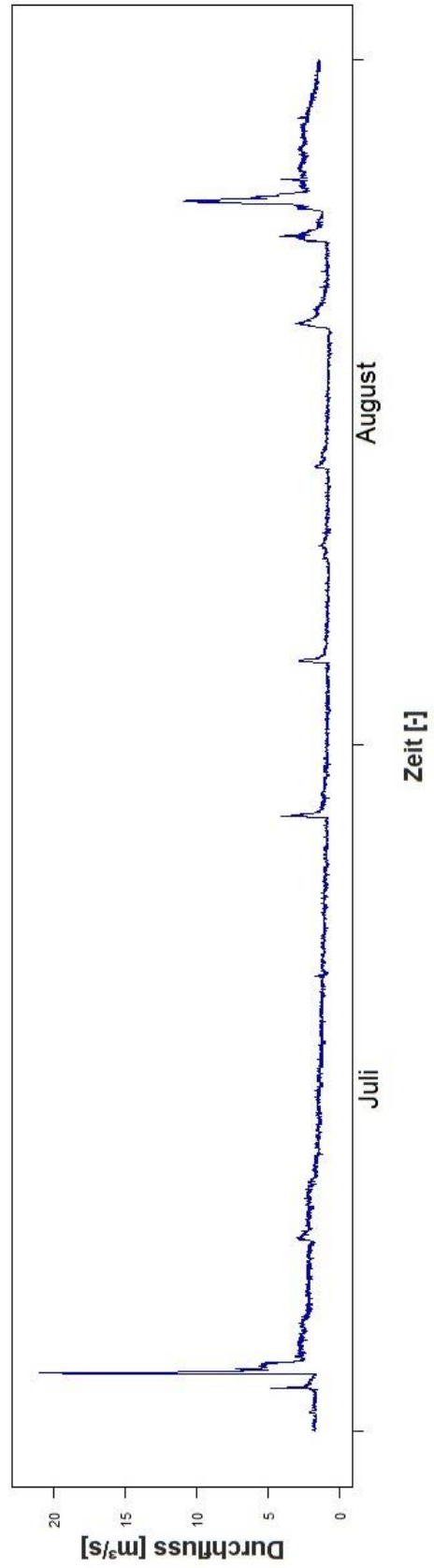


Brücke Hintereggertor September & Oktober 2013

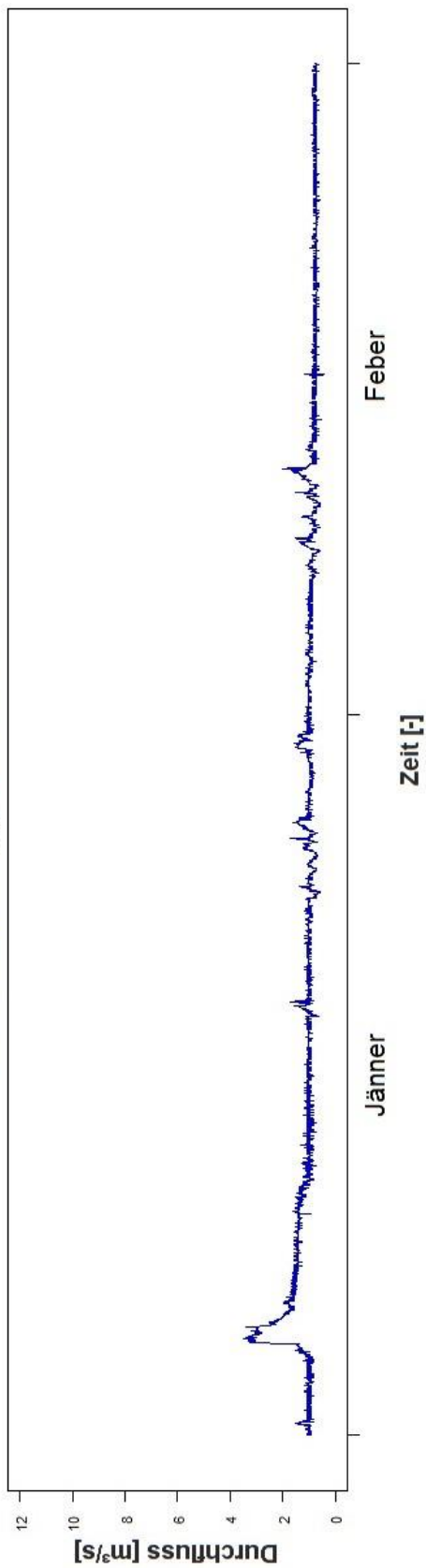


Brücke Hintereggertor November & Dezember 2013

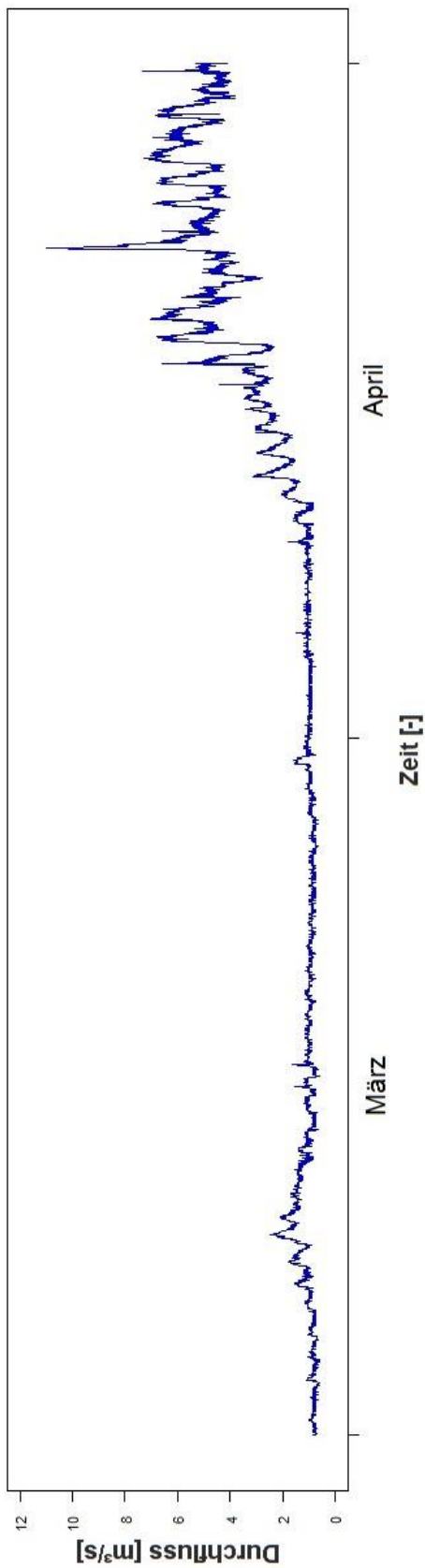


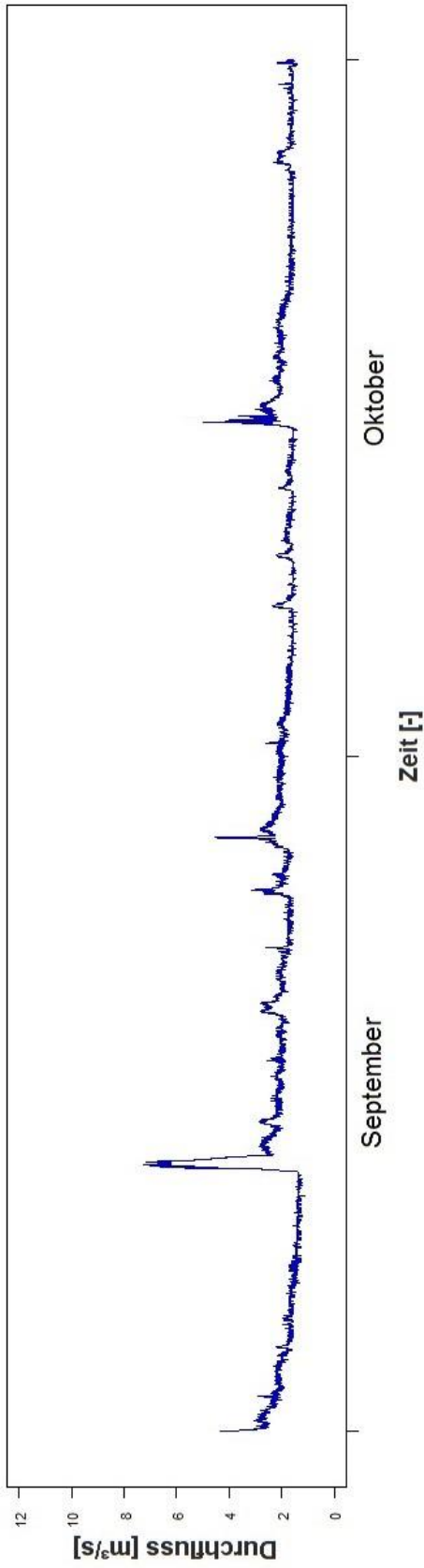
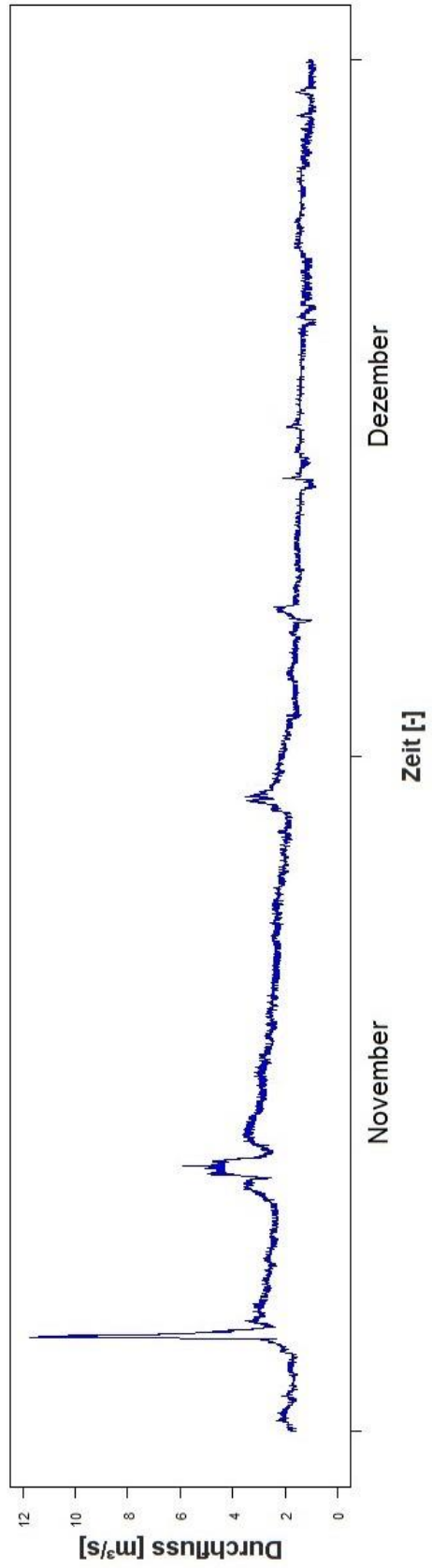
Brücke Hintereggertor Mai & Juni 2013**Brücke Hintereggertor Juli & August 2013**

Brücke Hinteregger Tor Jänner & Feber 2013

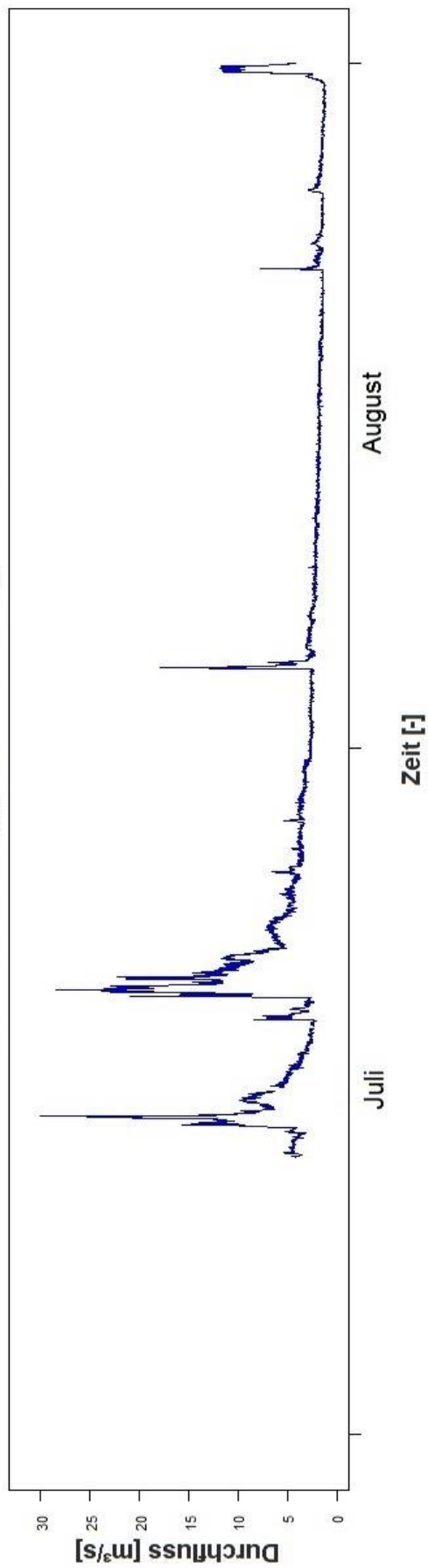


Brücke Hinteregger Tor März & April 2013

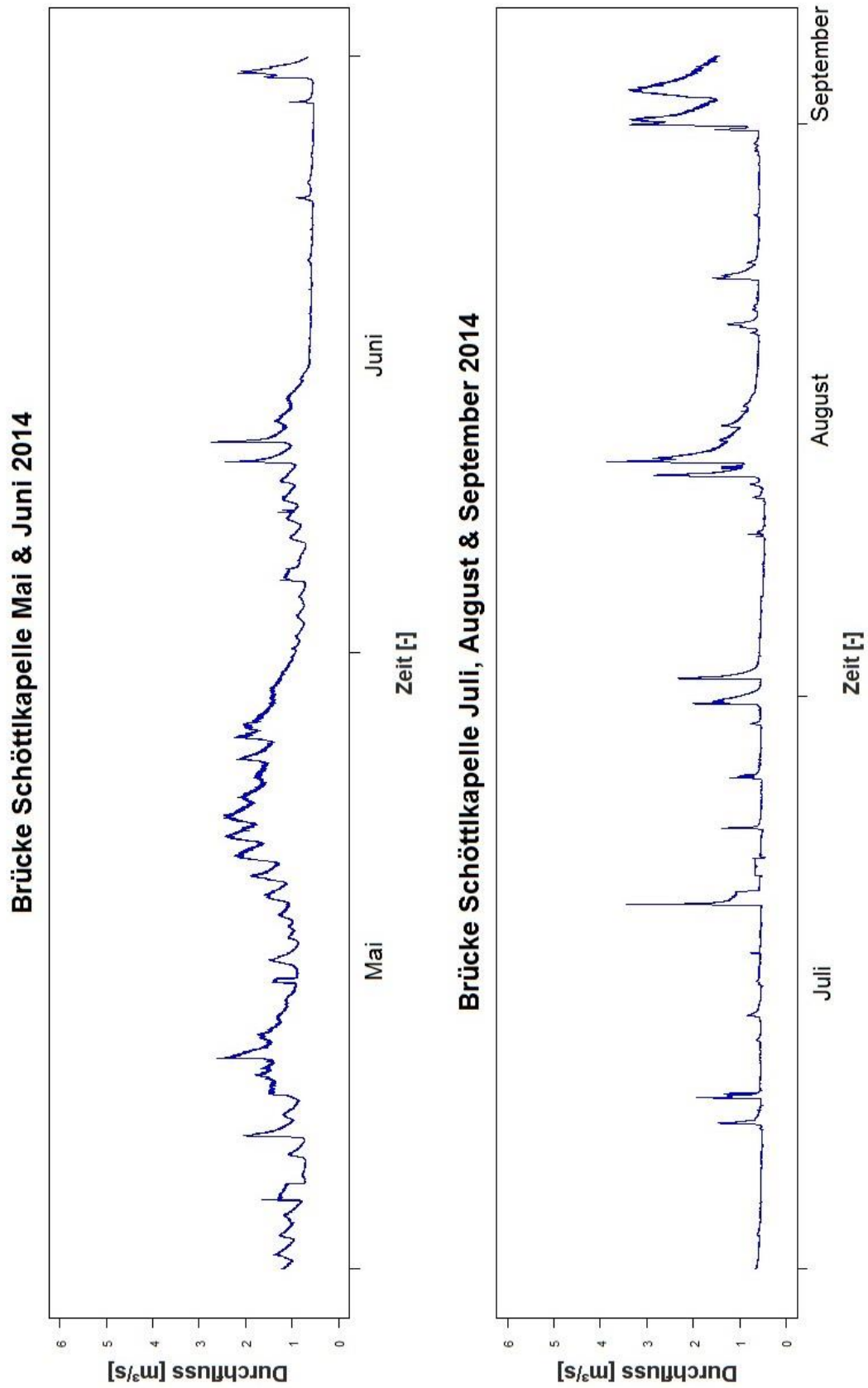


Brücke Hintereggertor September & Oktober 2012**Brücke Hintereggertor November & Dezember 2012**

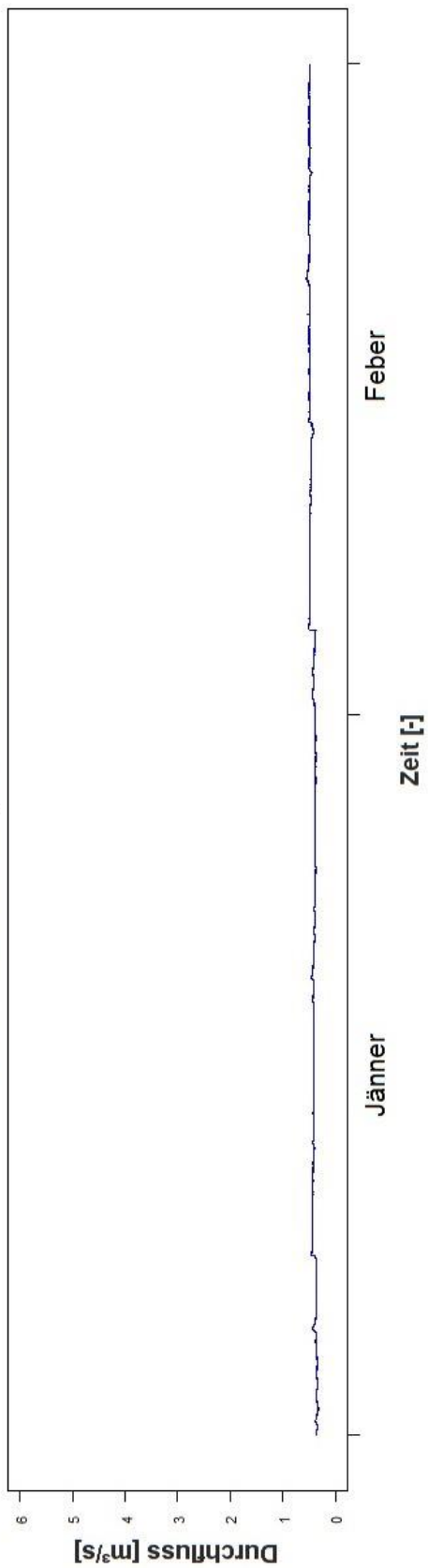
Brücke Hintereggertor Juli & August 2012



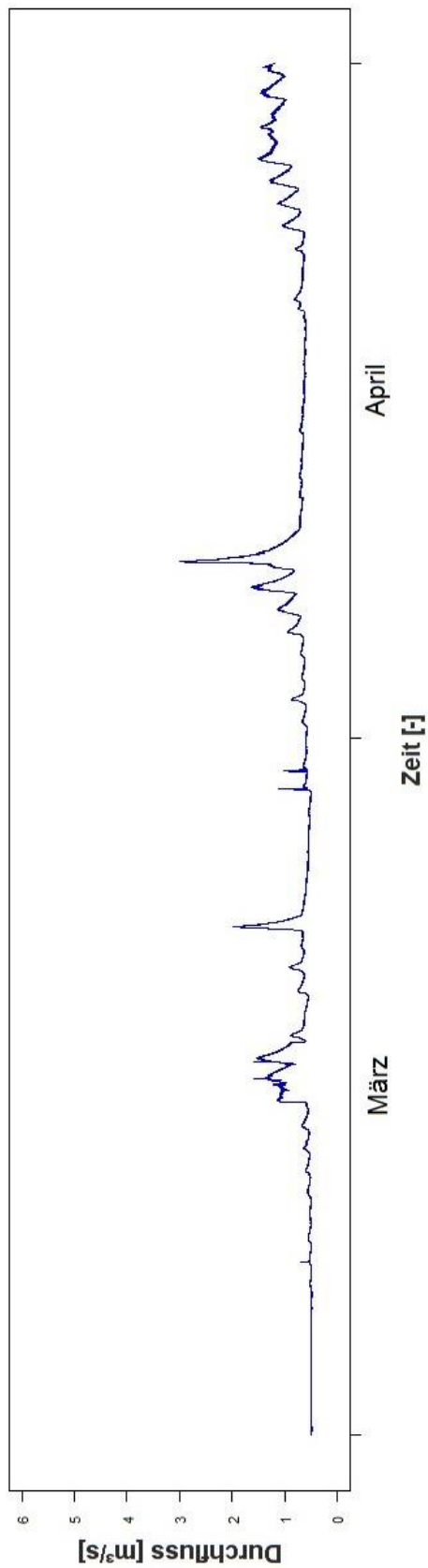
Durchfluss Brücke Schöttlkapelle vom 24. Juni 2012 bis zum 4. September 2014

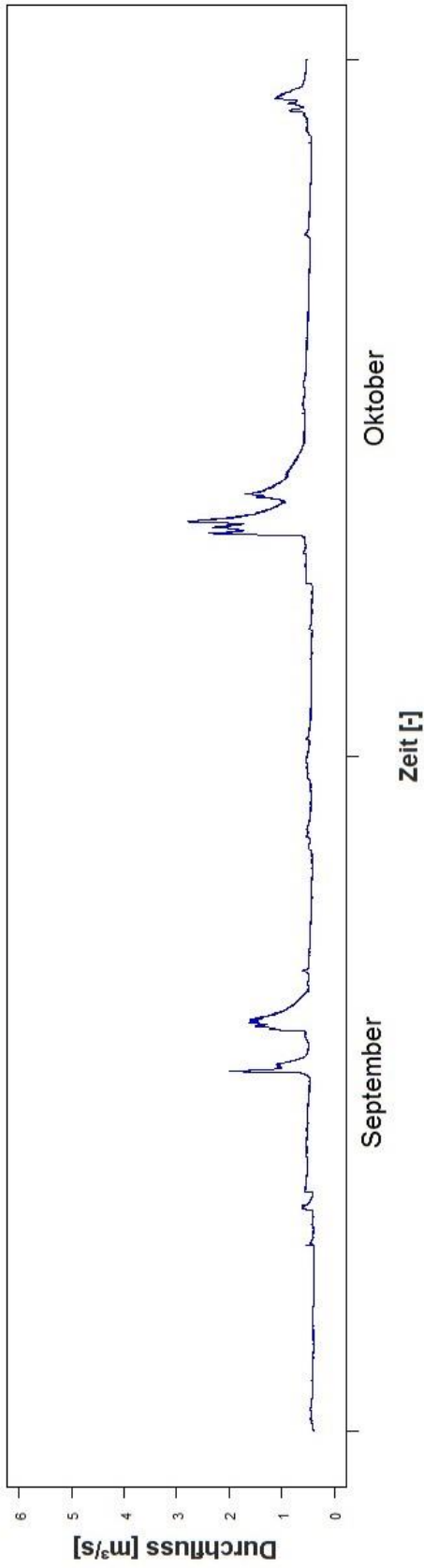
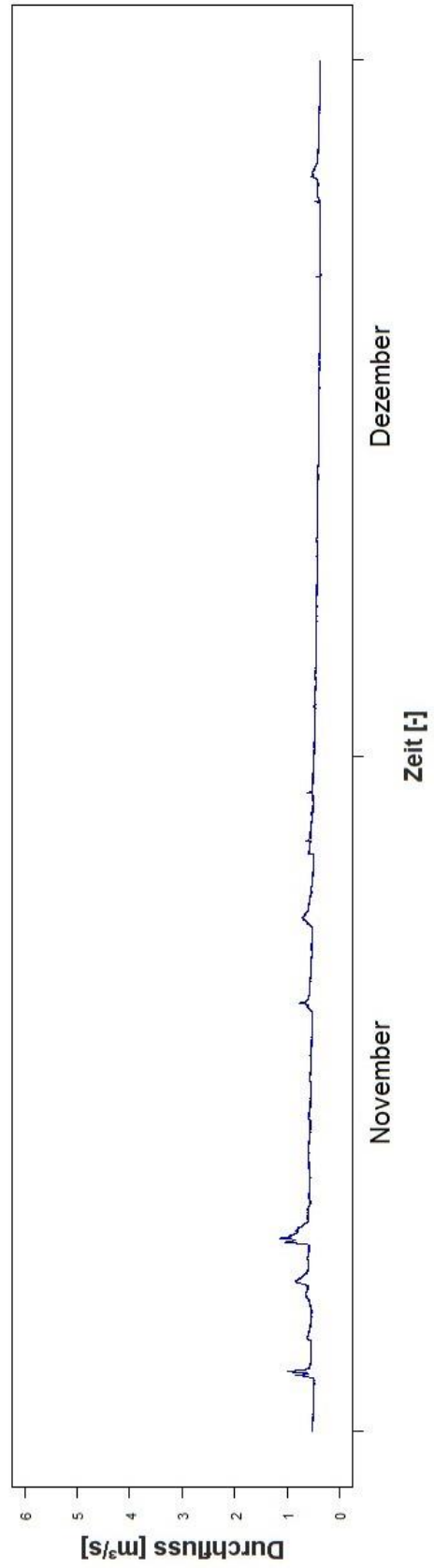


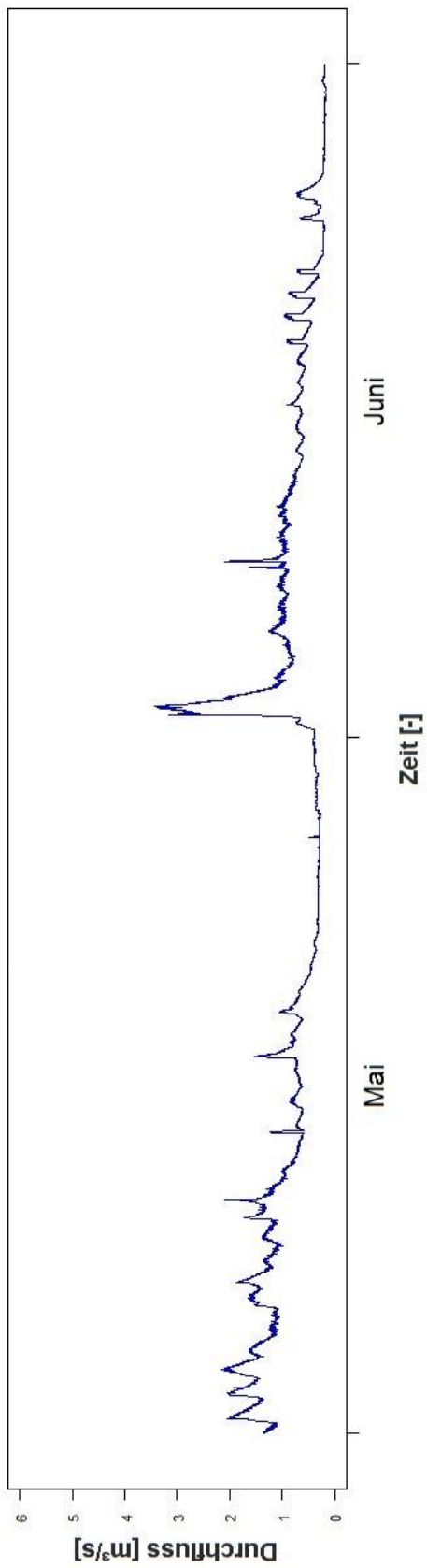
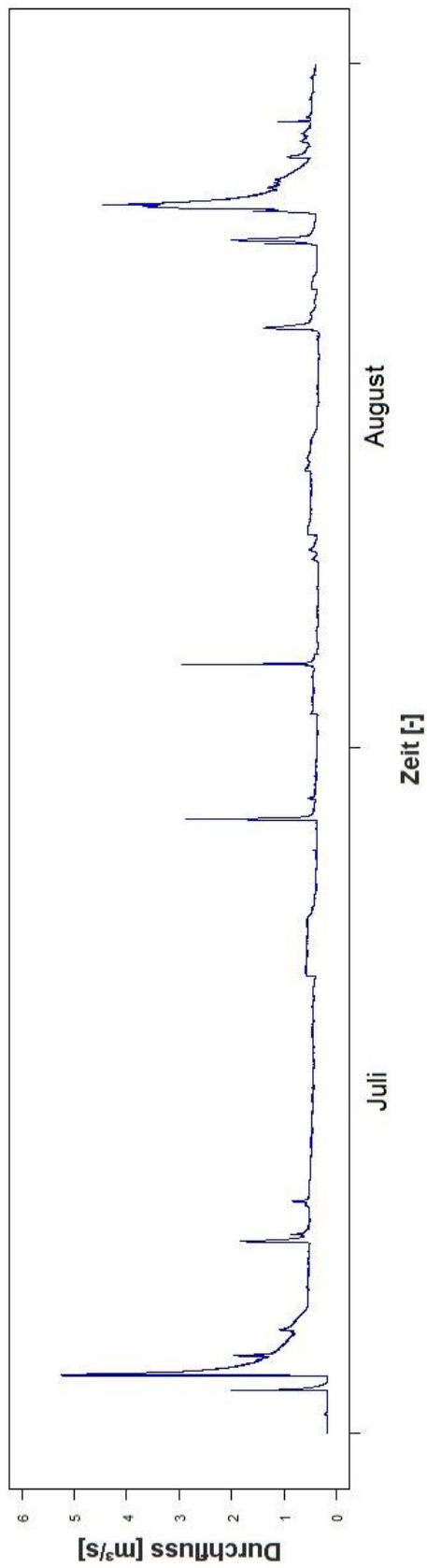
Brücke Schöttlkapelle Jänner & Feber 2014

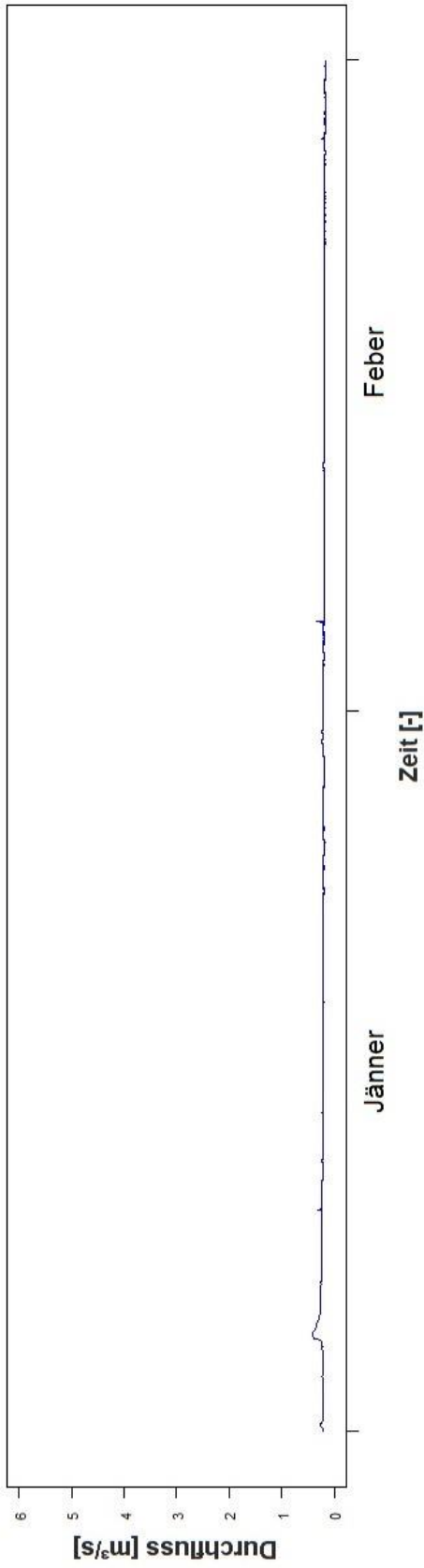
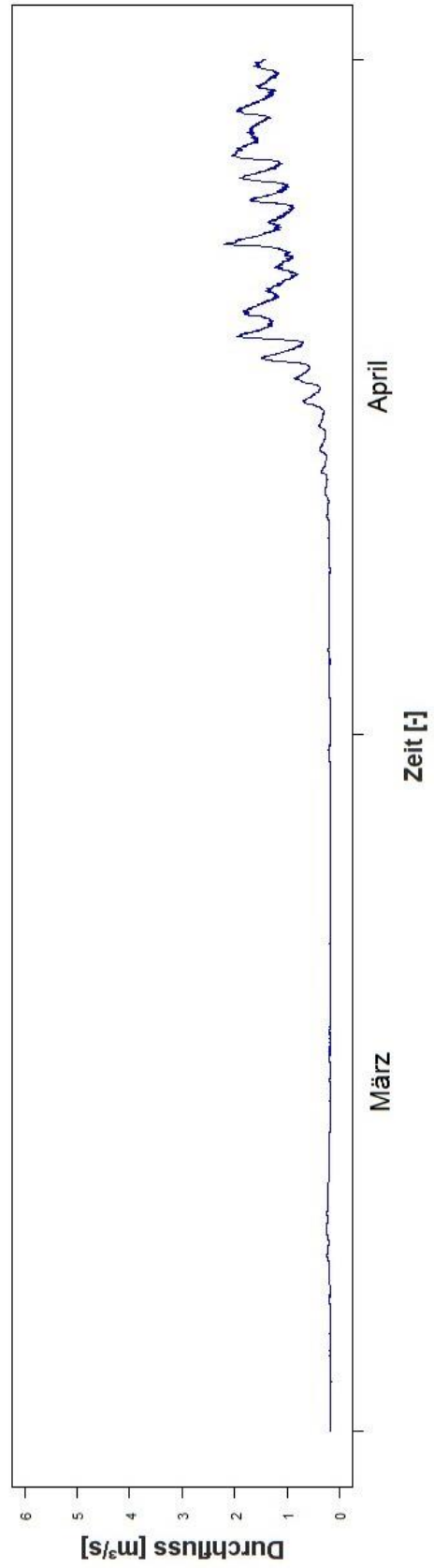


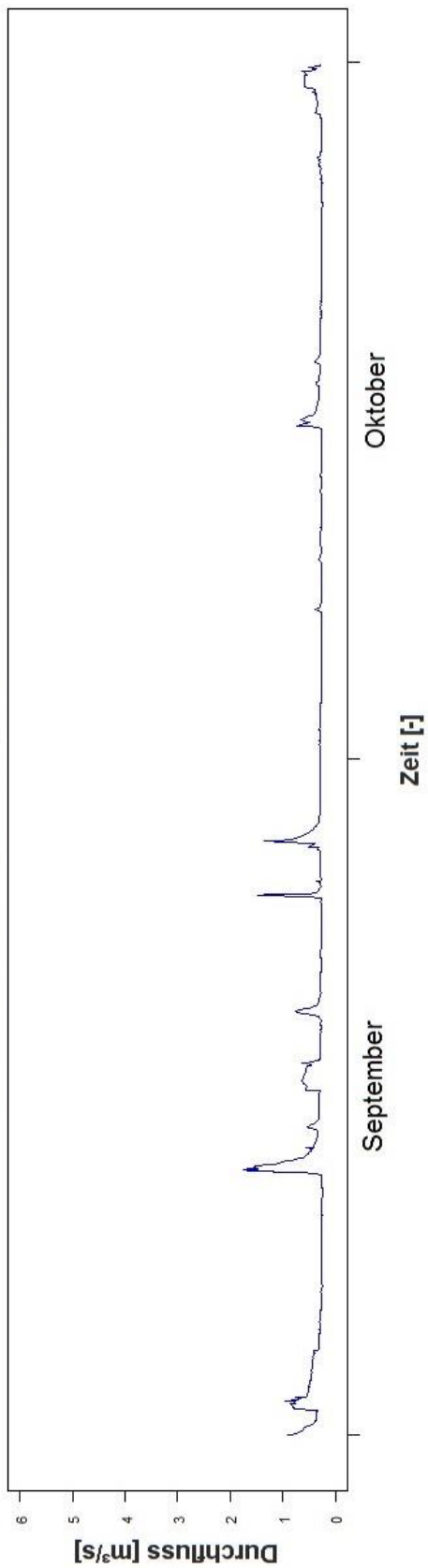
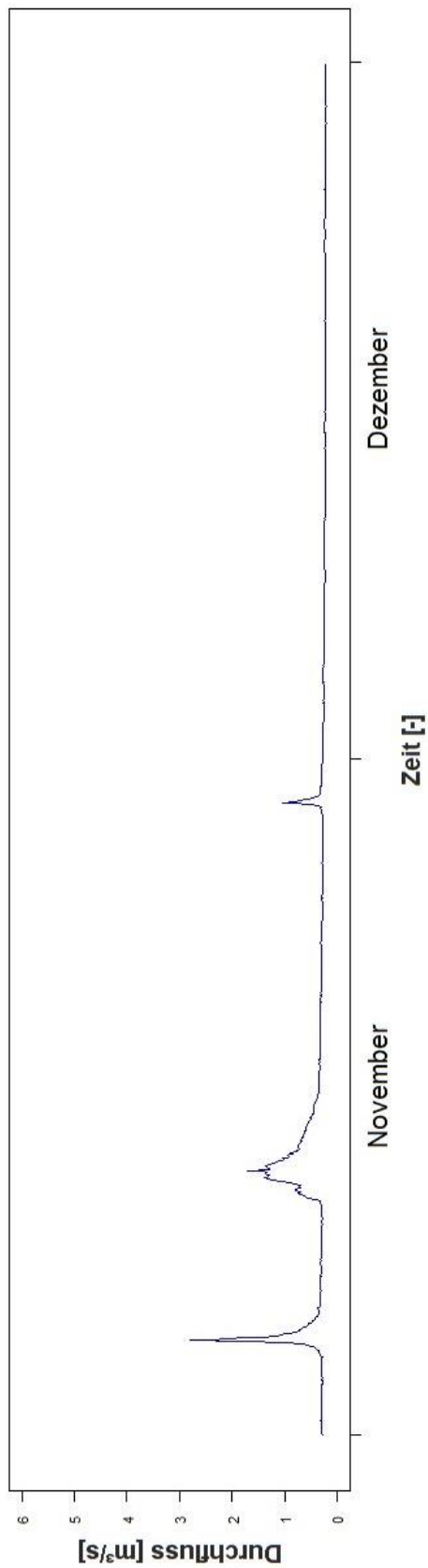
Brücke Schöttlkapelle März & April 2014

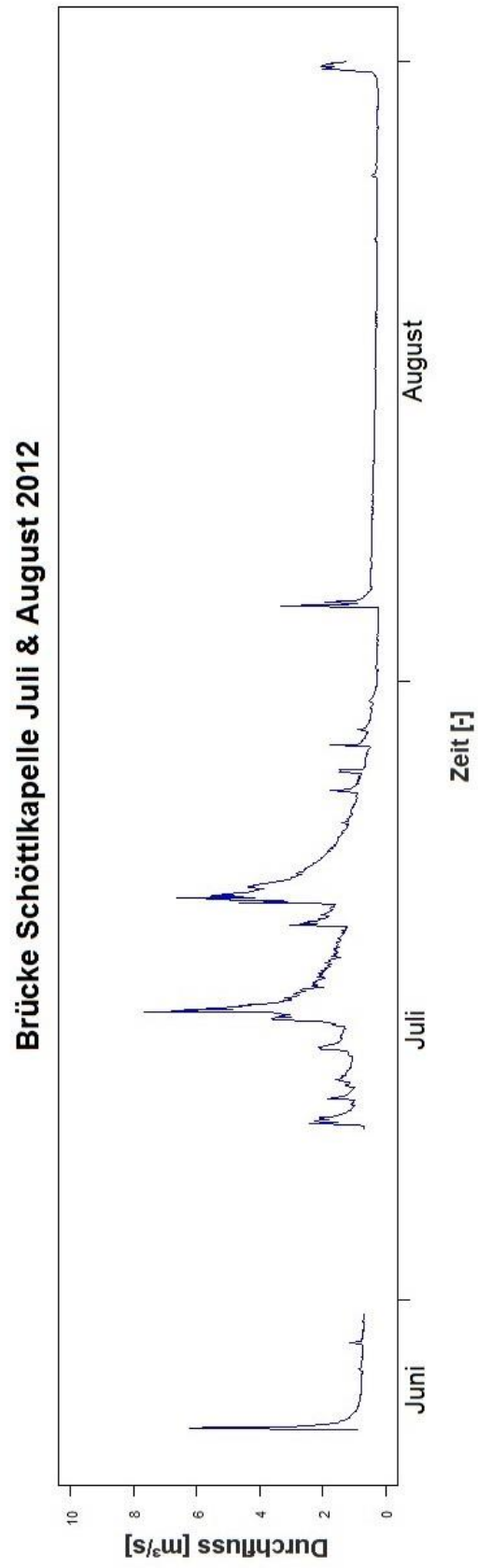


Brücke Schöttlikapelle September & Oktober 2013**Brücke Schöttlikapelle November & Dezember 2013**

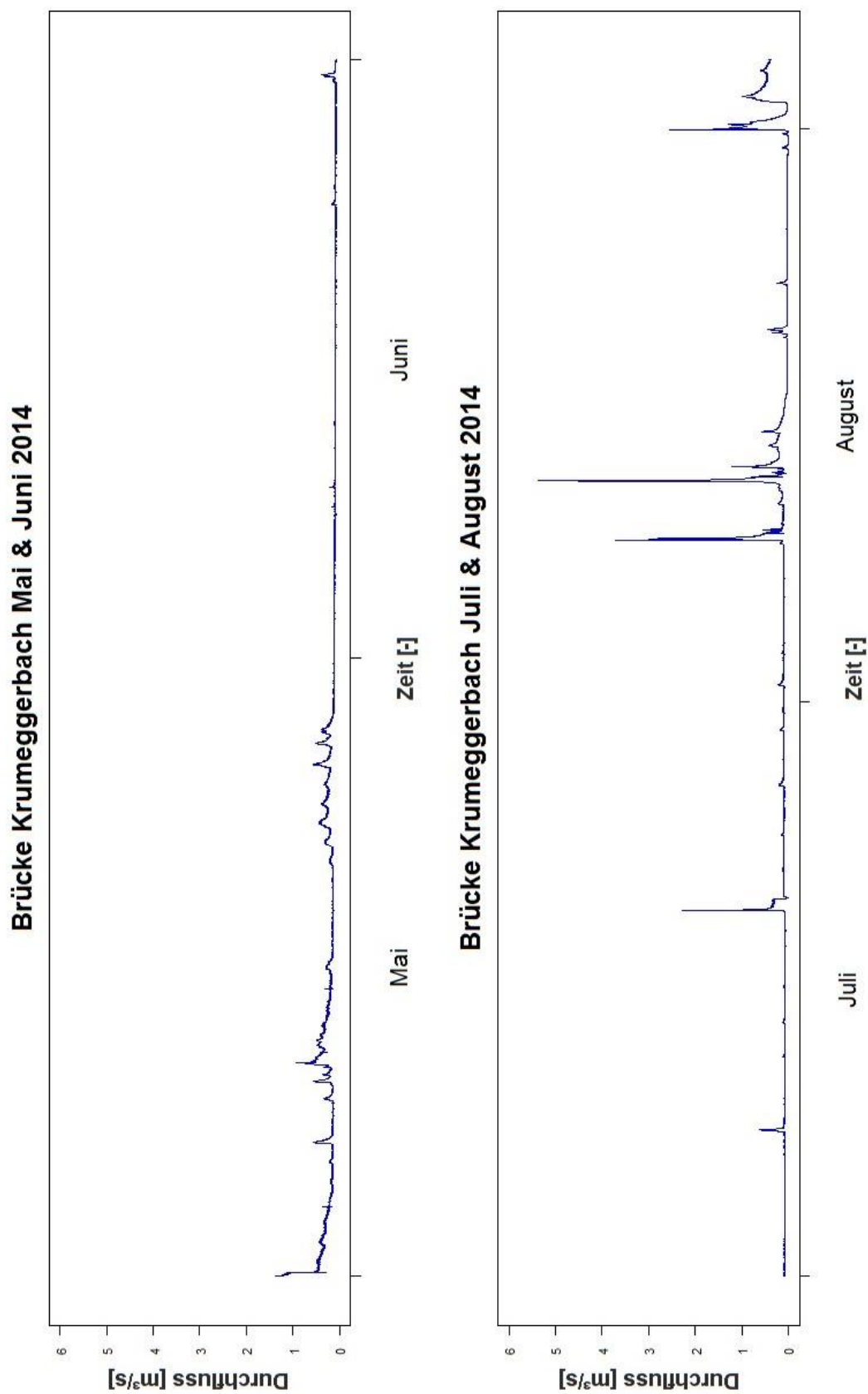
Brücke Schöttlikapelle Mai & Juni 2013**Brücke Schöttlikapelle Juli & August 2013**

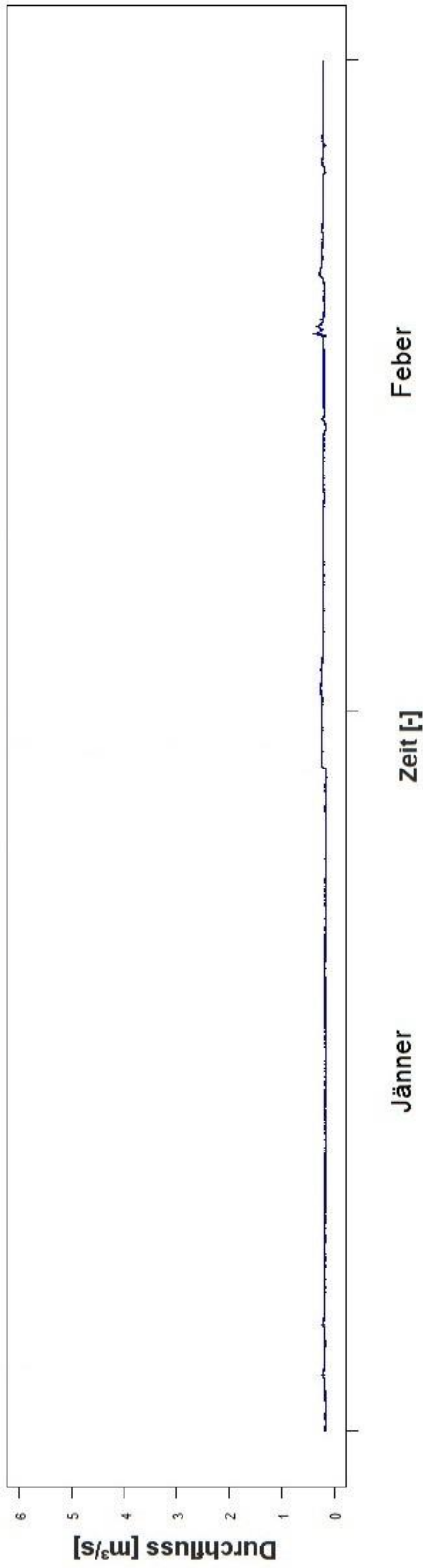
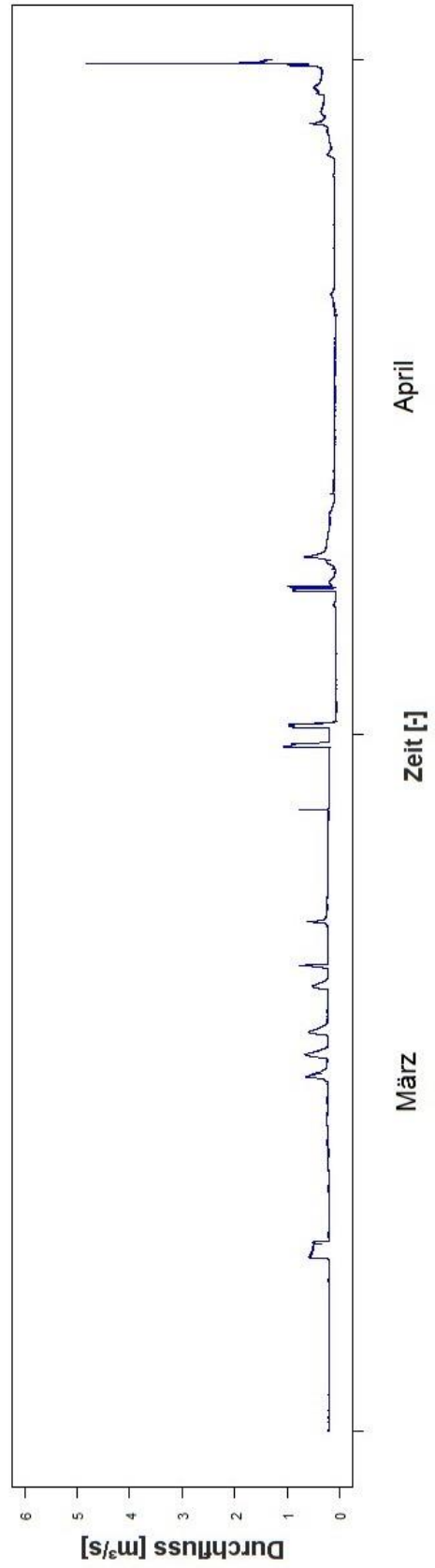
Brücke Schöttlkapelle Jänner & Feber 2013**Brücke Schöttlkapelle März & April 2013**

Brücke Schöttlkapelle September & Oktober 2012**Brücke Schöttlkapelle November & Dezember 2012**

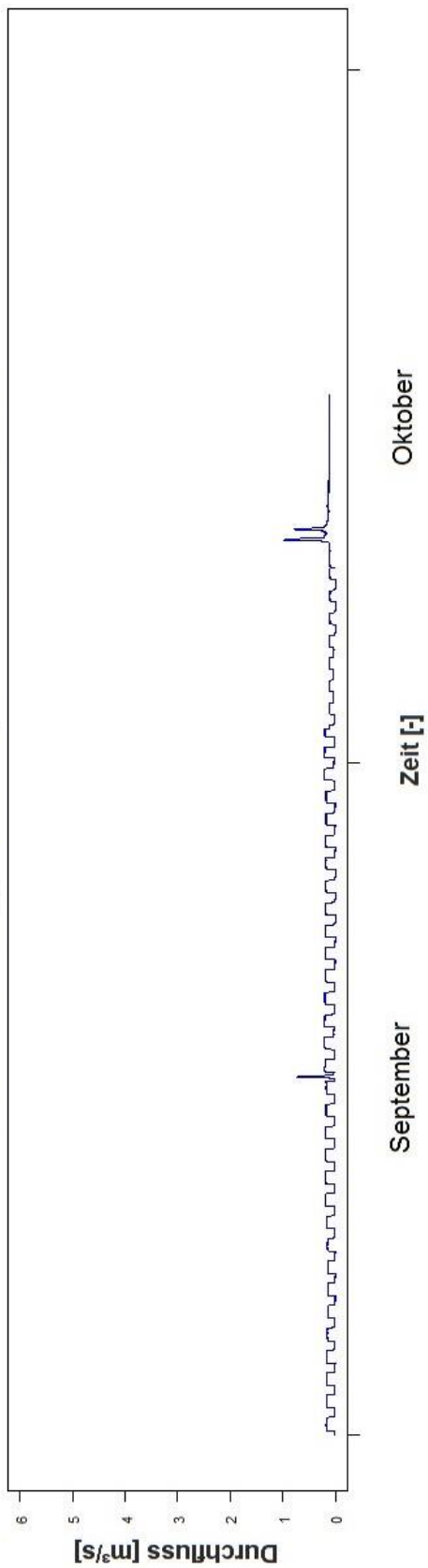


Durchfluss Brücke Krumeggerbach vom 3. Juli 2012 bis zum 4. September 2014

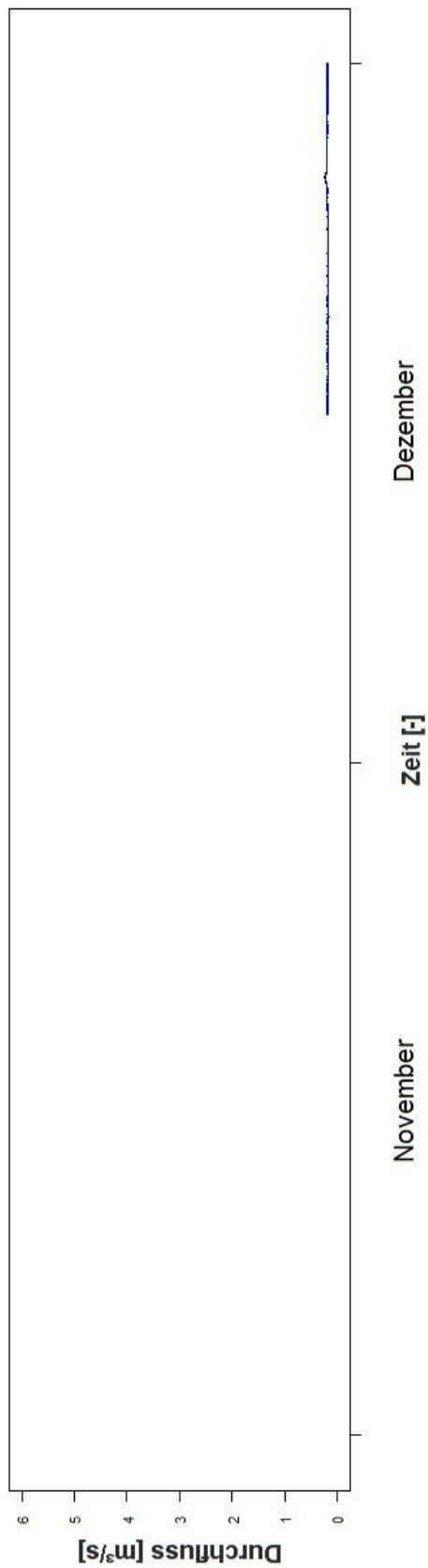


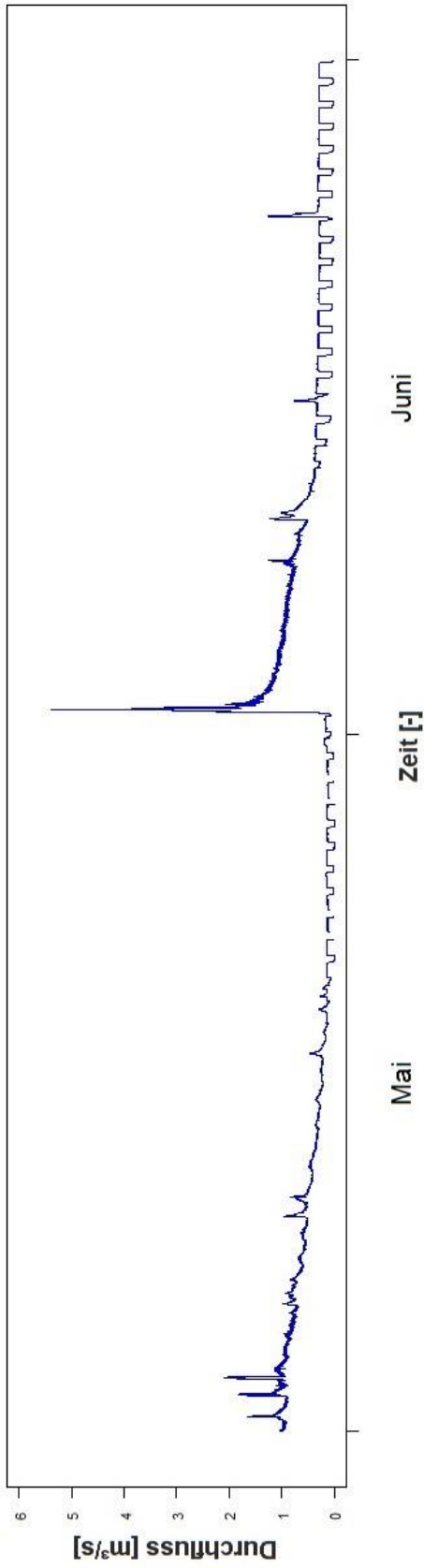
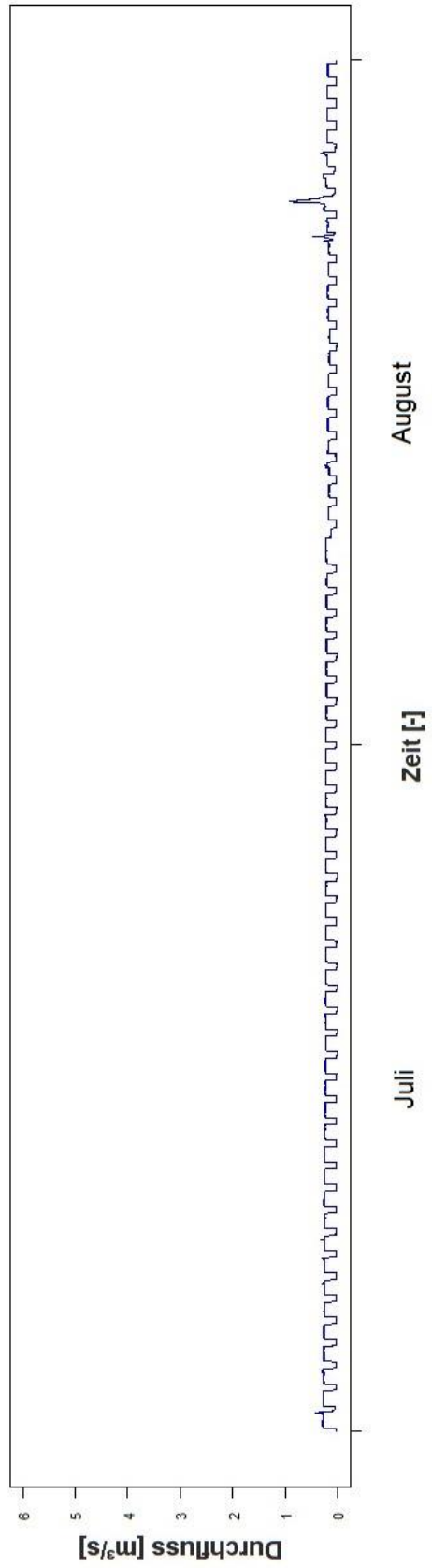
Brücke Krumeggerbach Jänner & Feber 2014**Brücke Krumeggerbach März & April 2014**

Brücke Krumeggerbach September & Oktober 2013

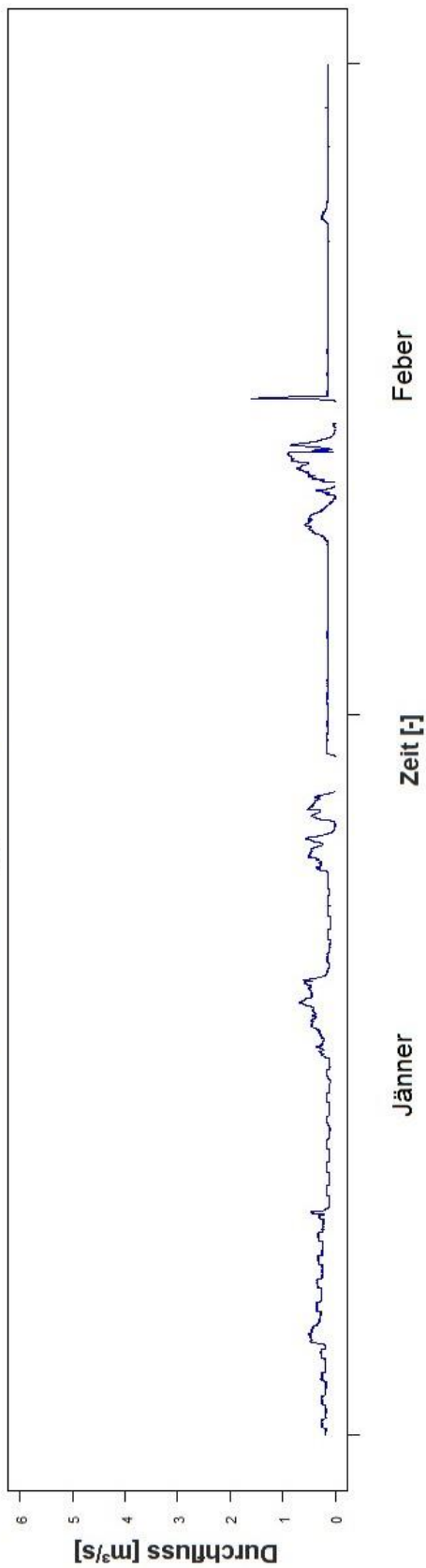


Brücke Krumeggerbach November & Dezember 2013

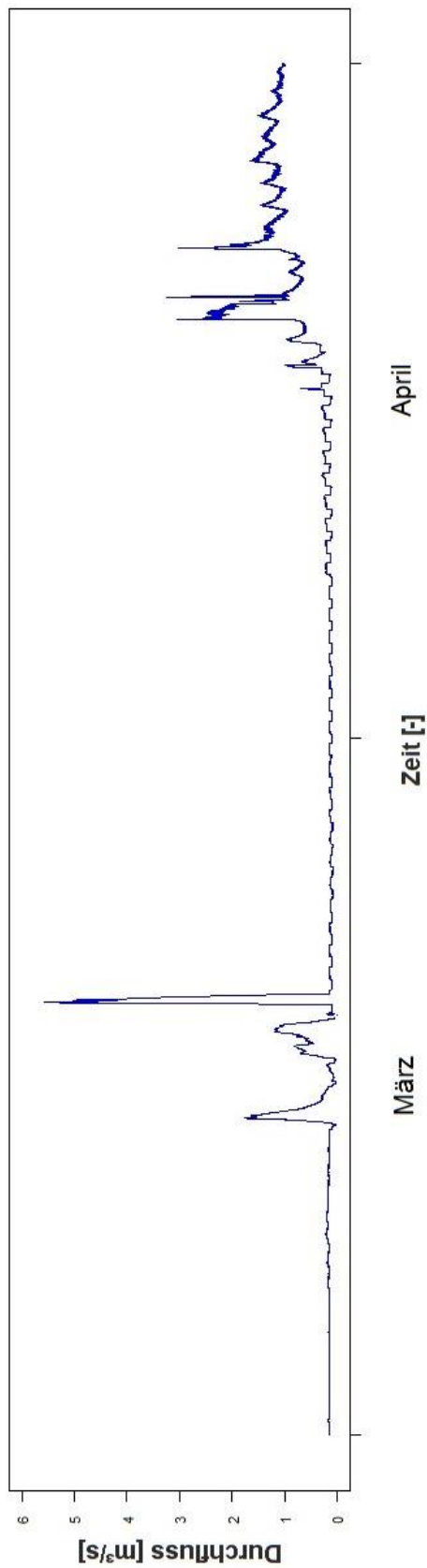


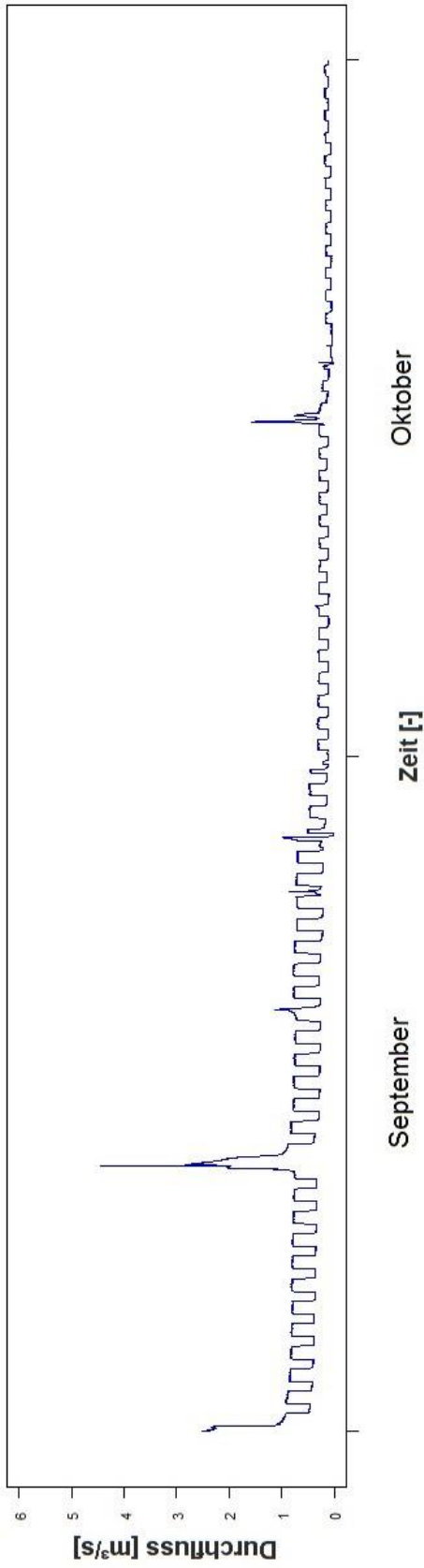
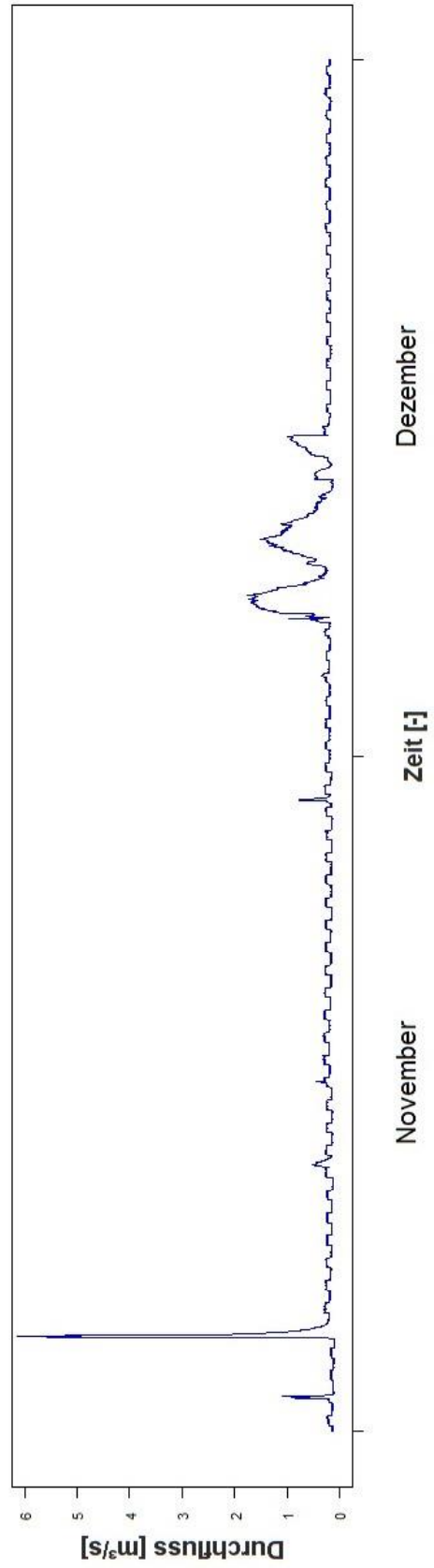
Brücke Krumeggerbach Mai & Juni 2013**Brücke Krumeggerbach Juli & August 2013**

Brücke Krumeggerbach Jänner & Feber 2013

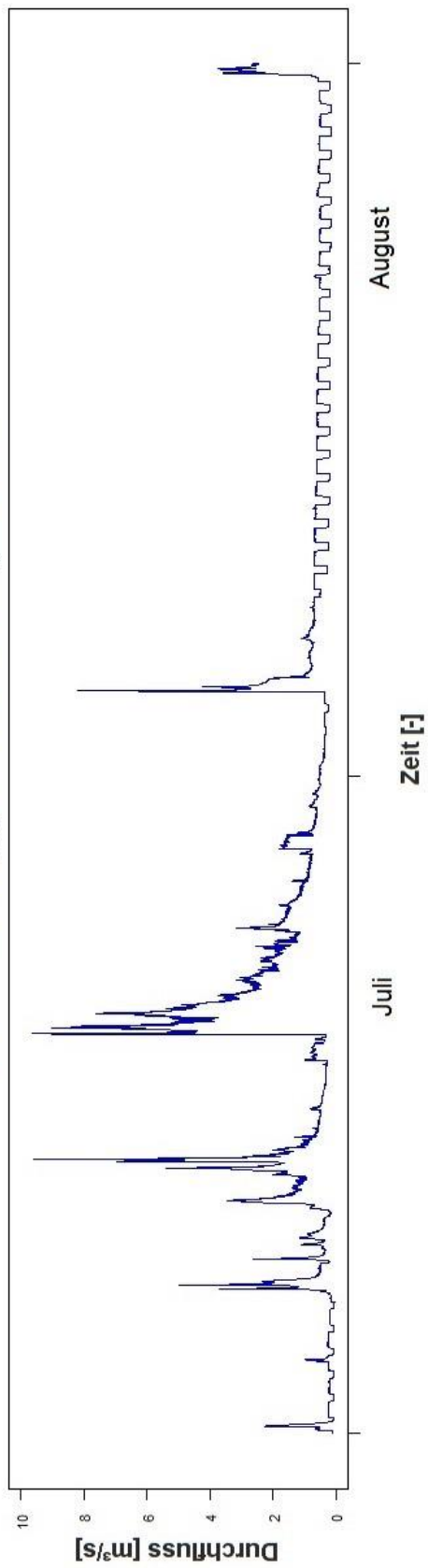


Brücke Krumeggerbach März & April 2013

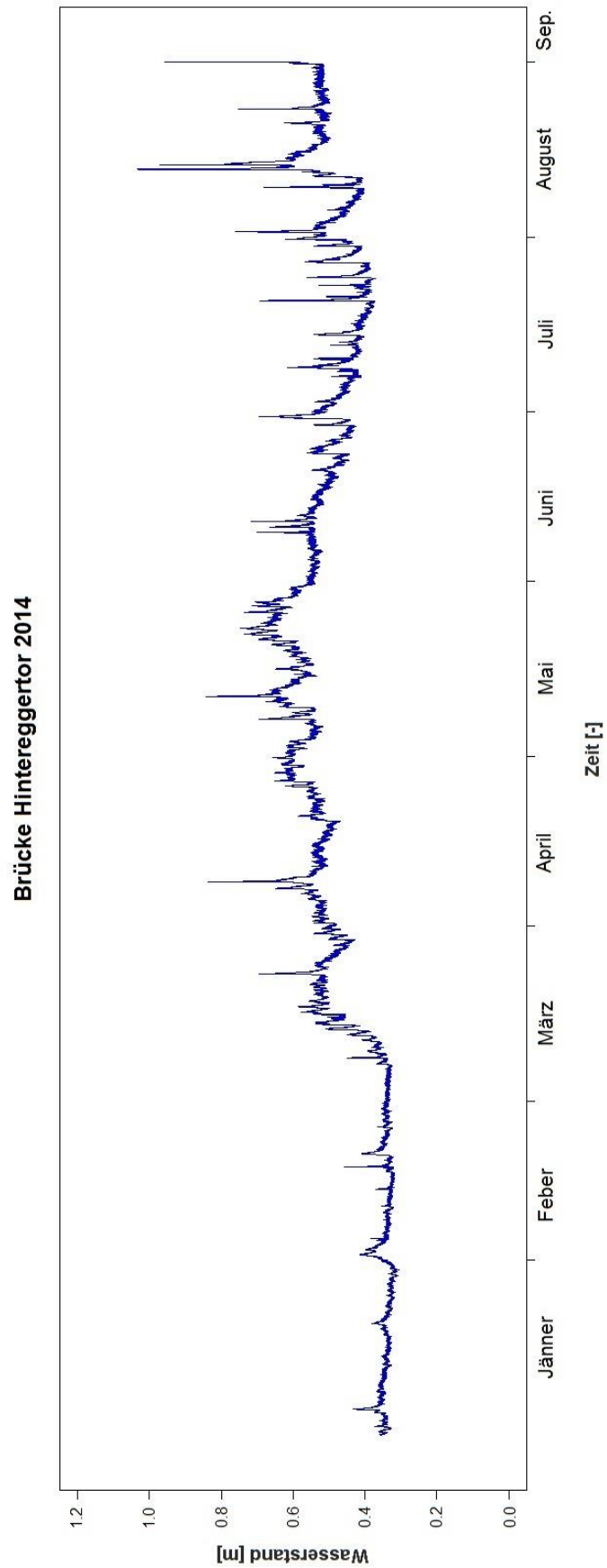


Brücke Krumeggerbach September & Oktober 2012**Brücke Krumeggerbach November & Dezember 2012**

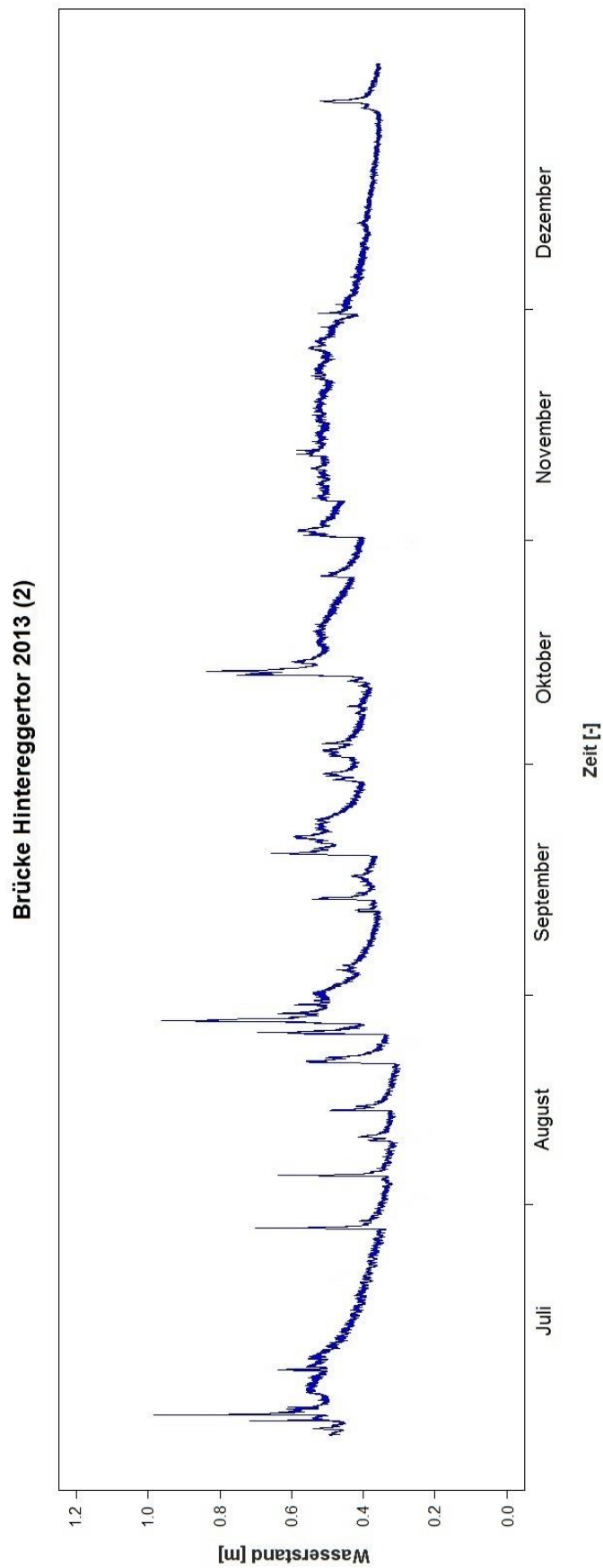
Brücke Krumeggerbach Juli & August 2012



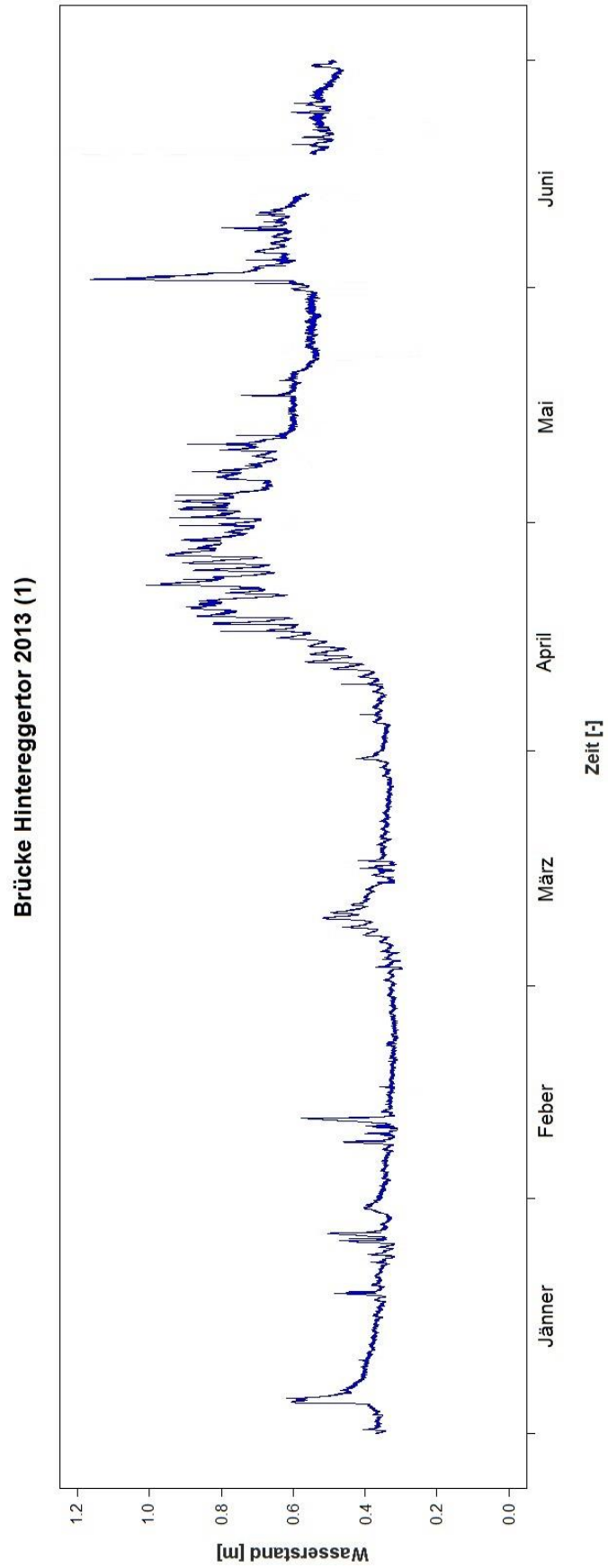
Pegelstand Brücke Hintereggertor für das Jahr 2014



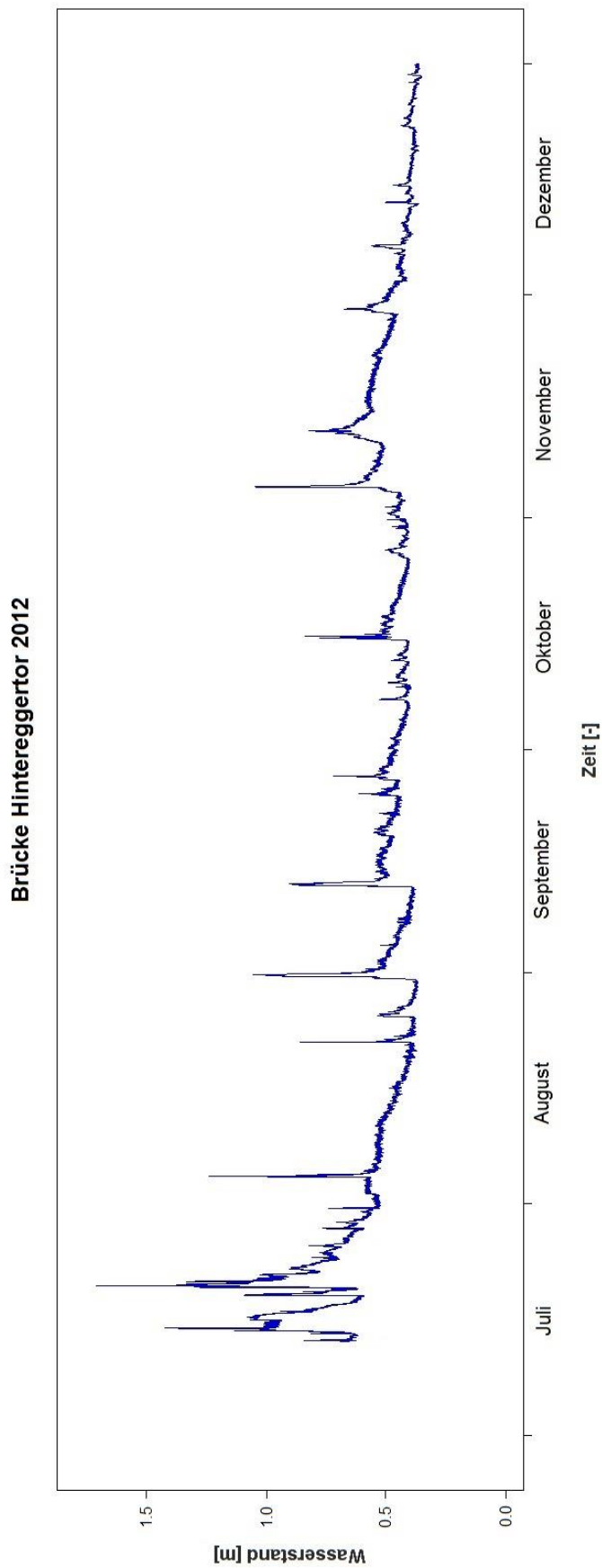
Pegelstand Brücke Hintereggertor für das zweite Halbjahr 2013



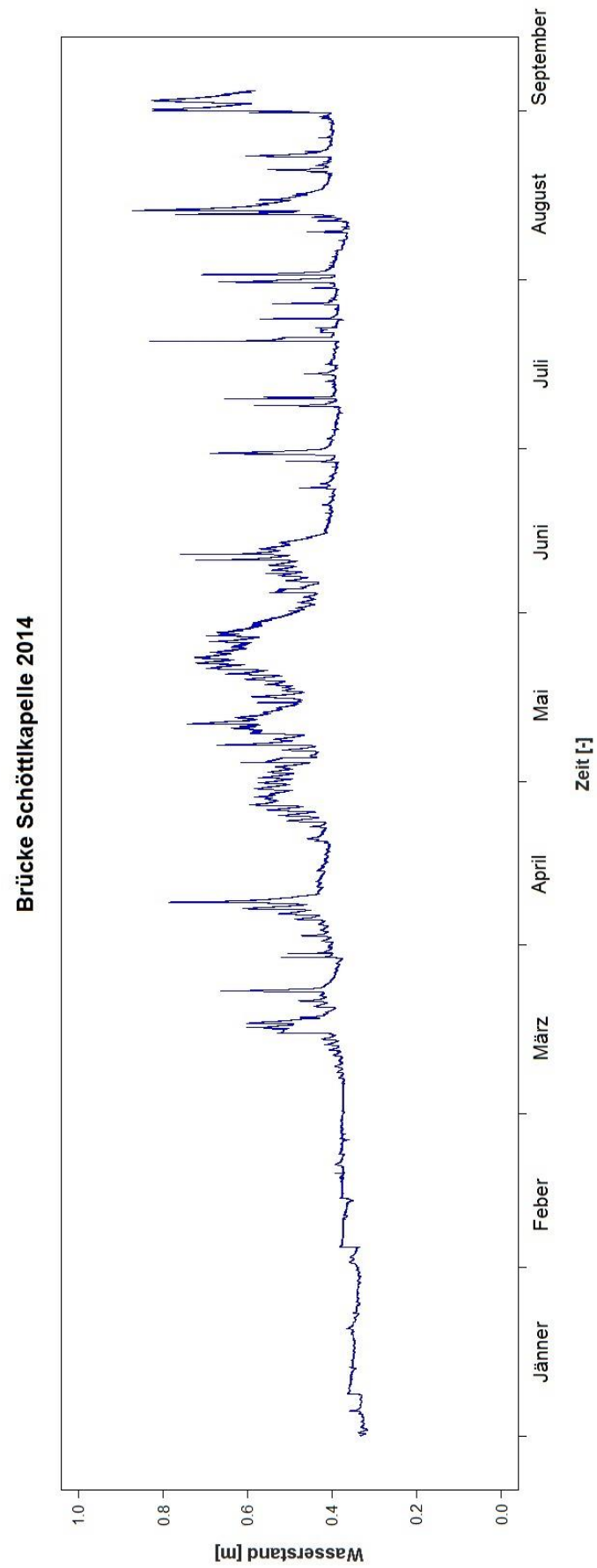
Pegelstand Brücke Hintereggertor für das erste Halbjahr 2013



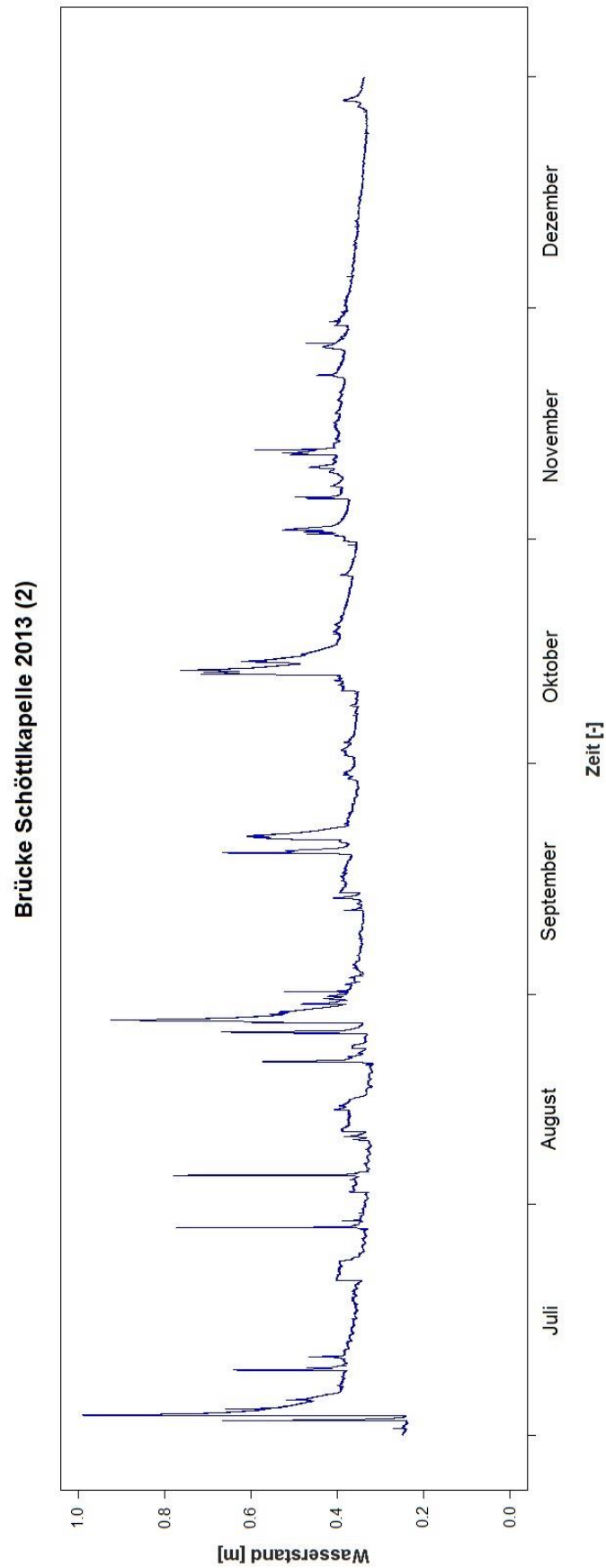
Pegelstand Brücke Hintereggertor für das Jahr 2012



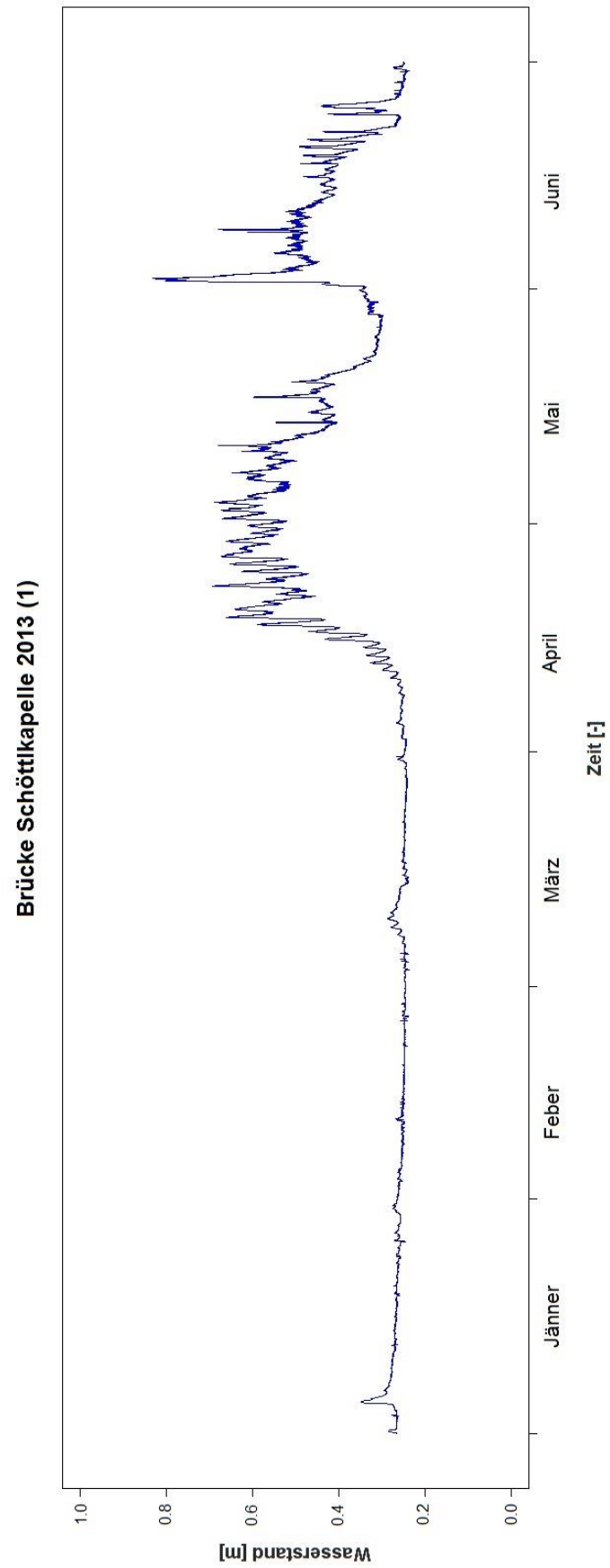
Pegelstand Brücke Schöttlkapelle für das Jahr 2014



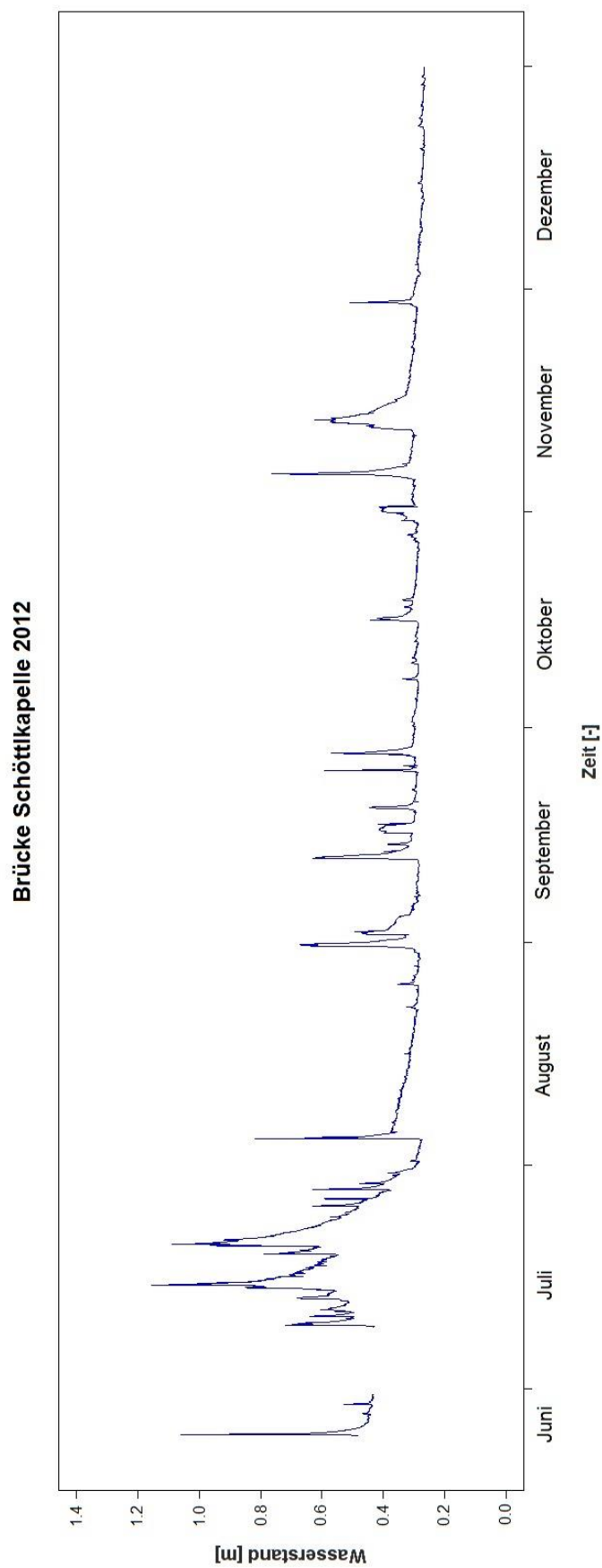
Pegelstand Brücke Schöttlkapelle für das zweite Halbjahr 2013



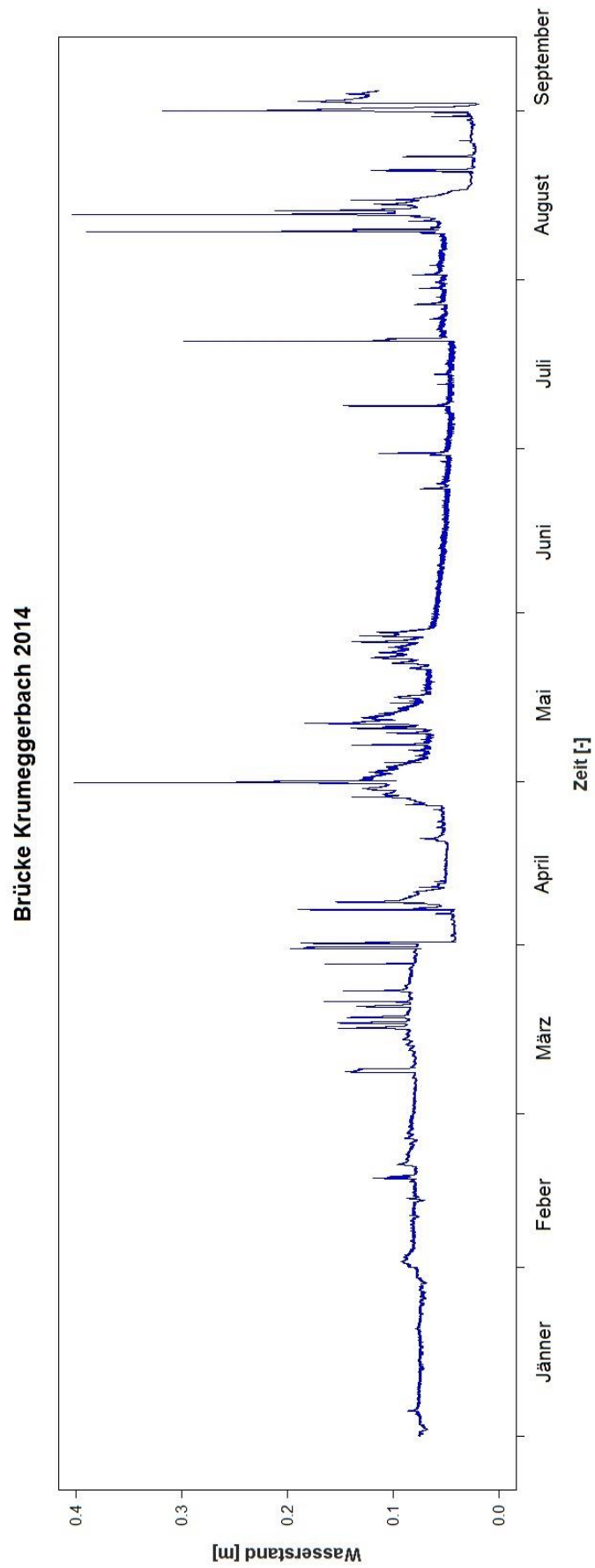
Pegelstand Brücke Schöttlkapelle für das erste Halbjahr 2013



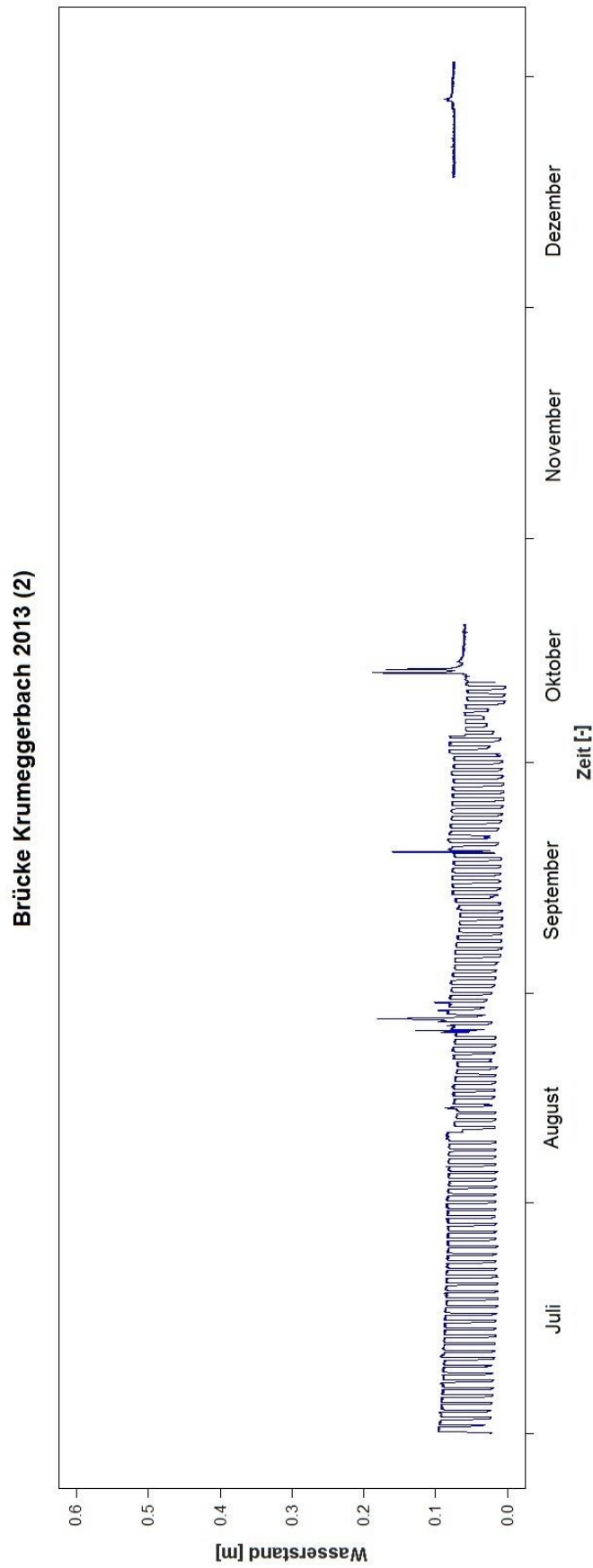
Pegelstand Brücke Schöttlkapelle für das Jahr 2012



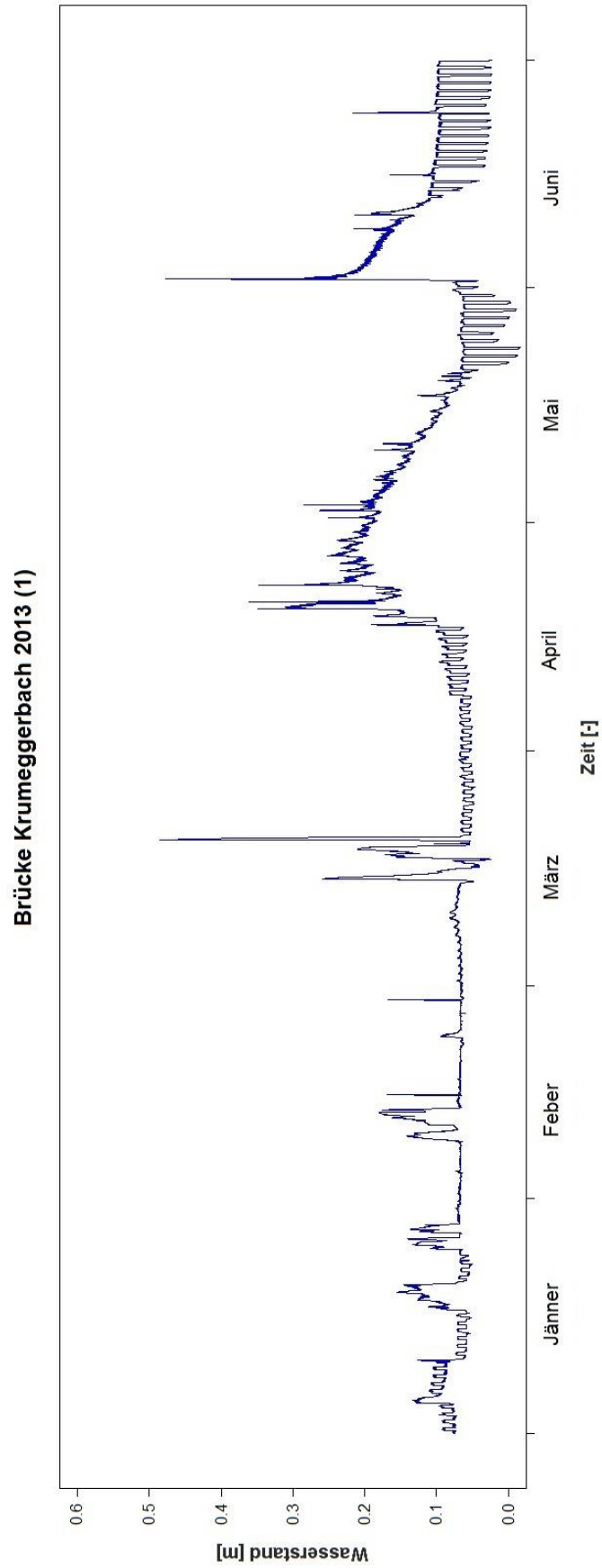
Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2014



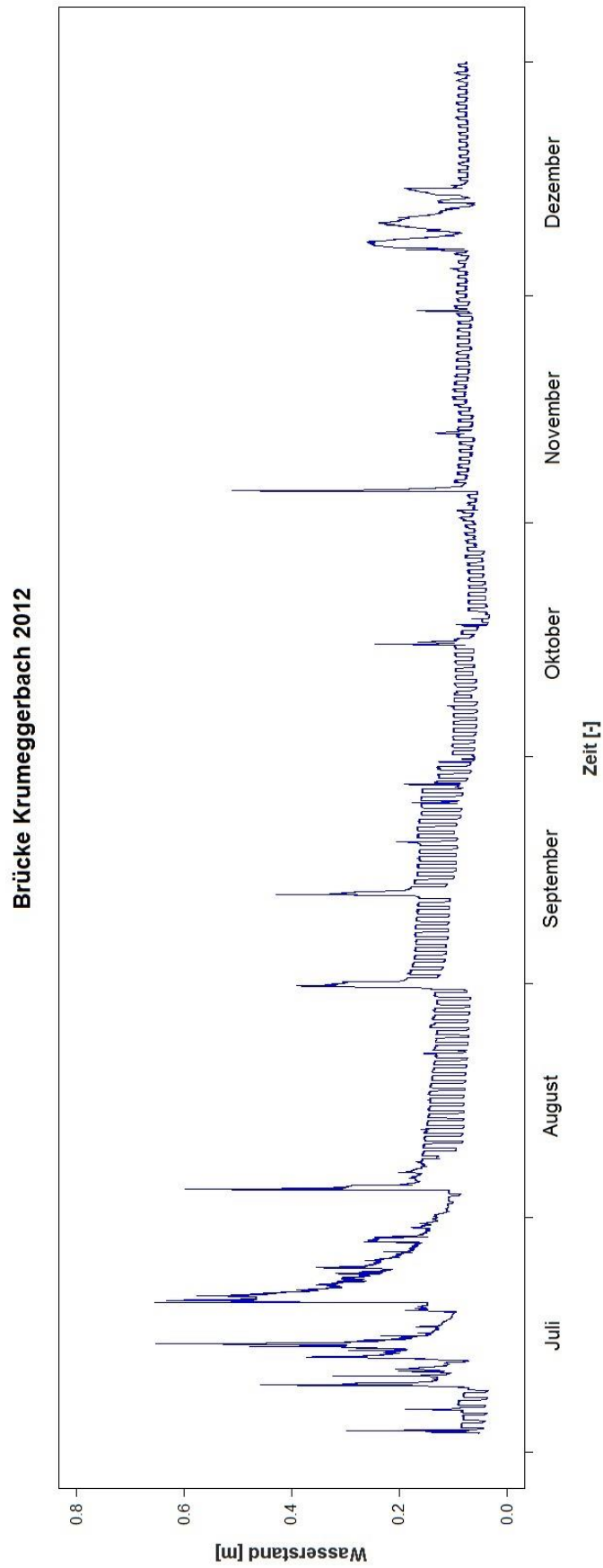
Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das zweite Halbjahr 2013



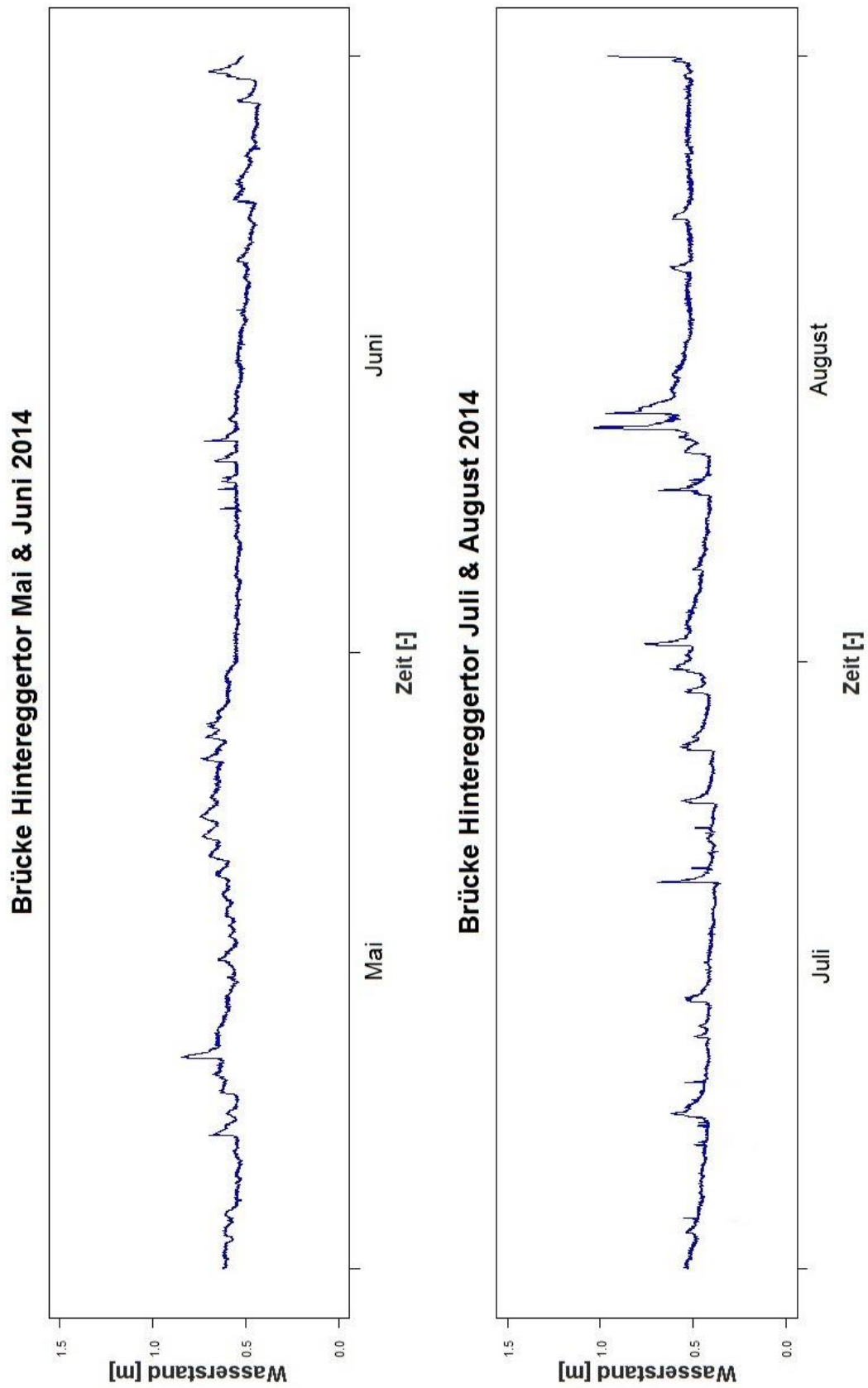
Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das erste Halbjahr 2013

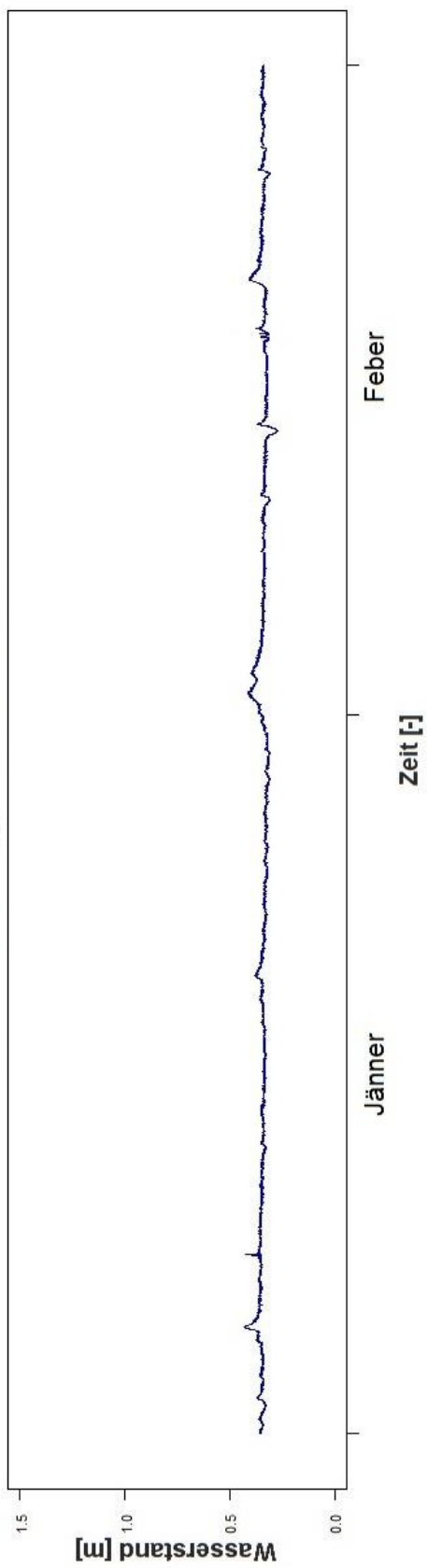
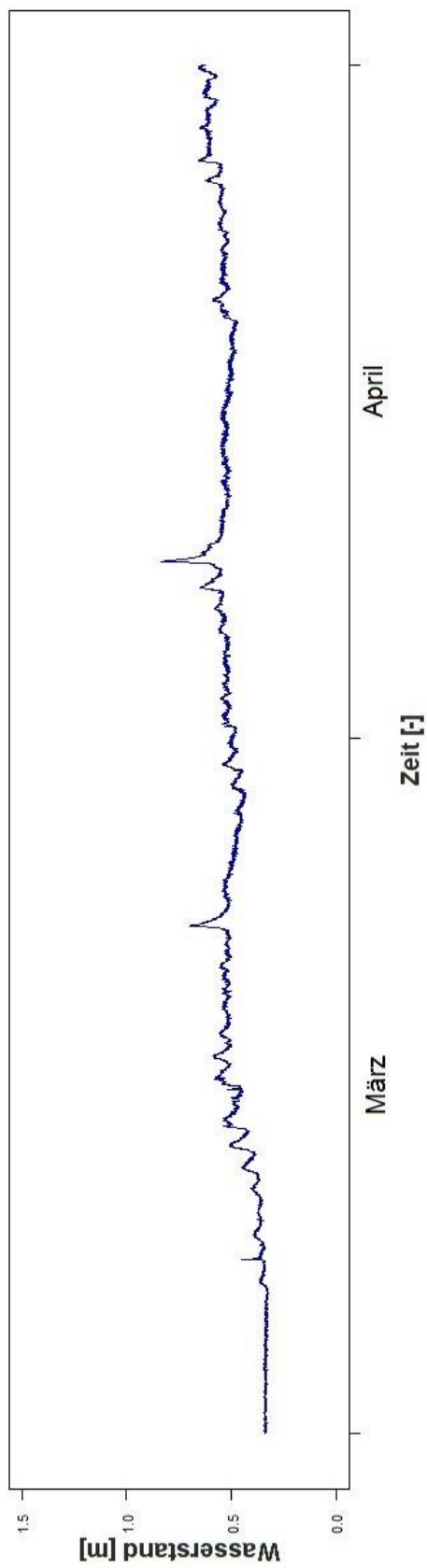


Pegelstand Brücke Krumeggerbach für das Jahr 2012

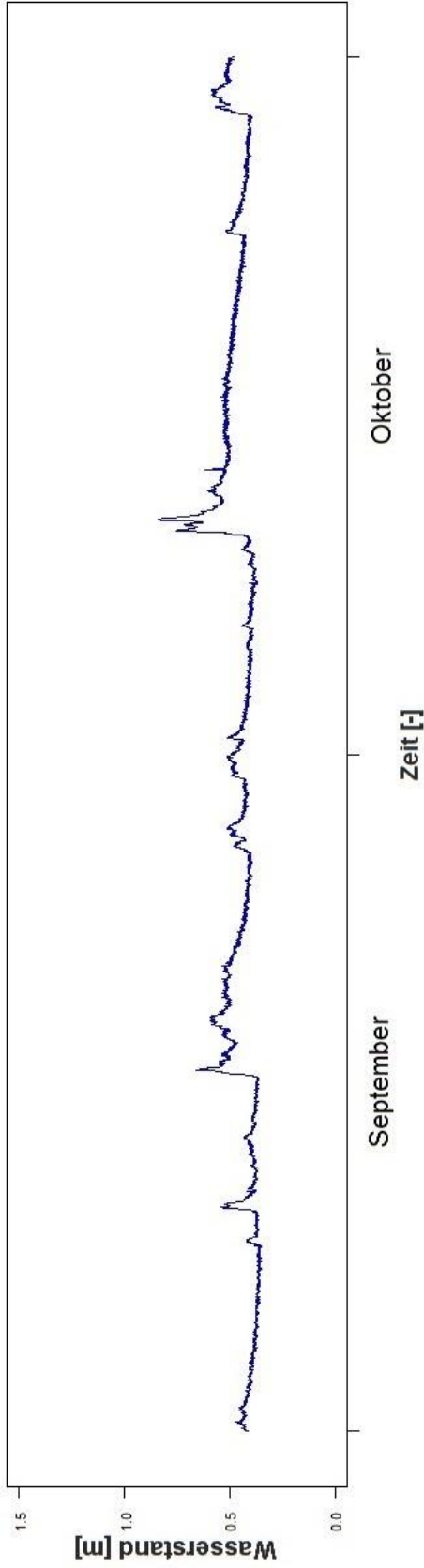


Pegelstand Brücke Hintereggertor vom 13. Juli 2012 bis zum 31. August 2014

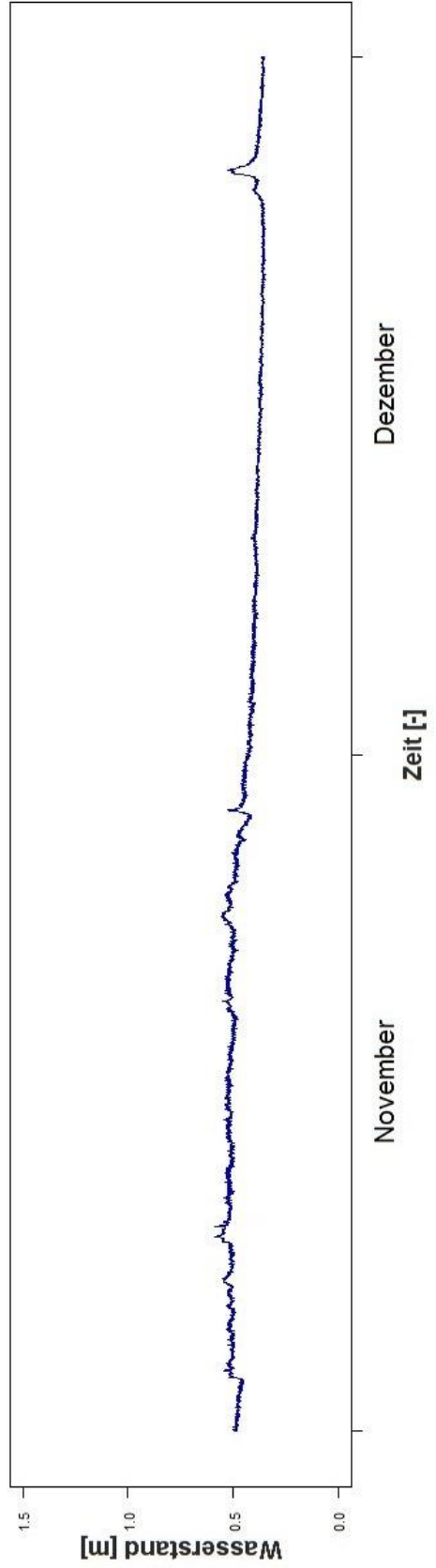


Brücke Hintereggertor Jänner & Feber 2014**Brücke Hintereggertor März & April 2014**

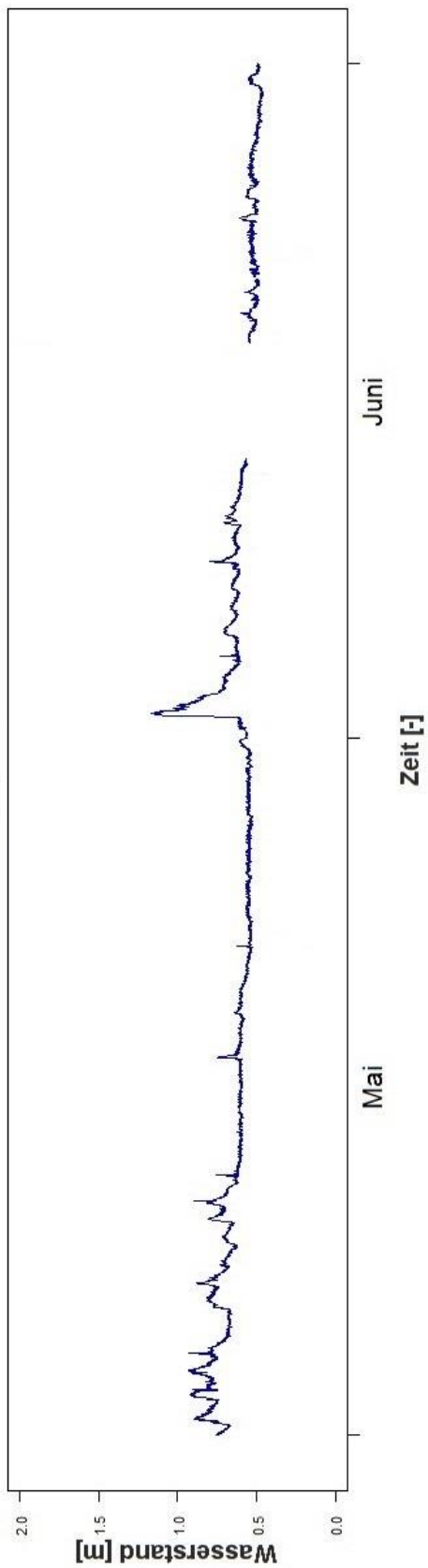
Brücke Hintereggertor September & Oktober 2013



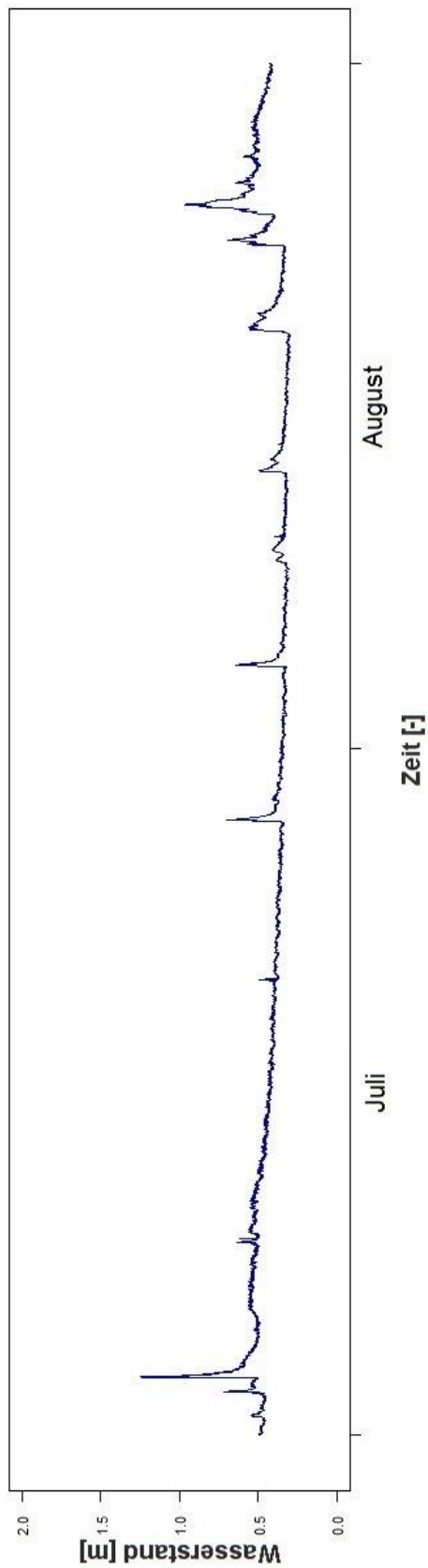
Brücke Hintereggertor November & Dezember 2013

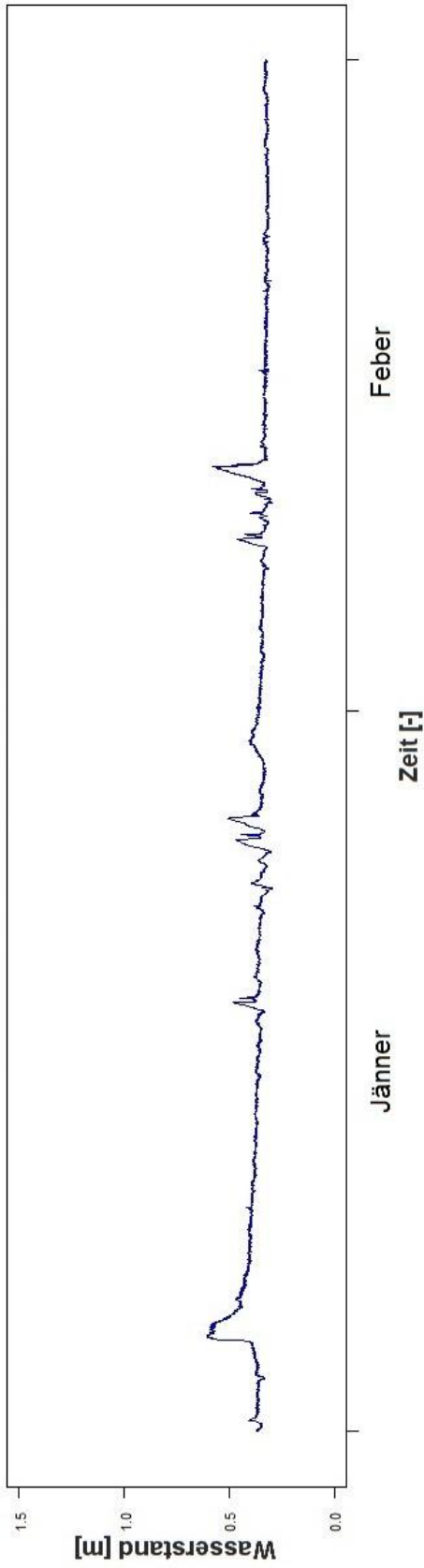
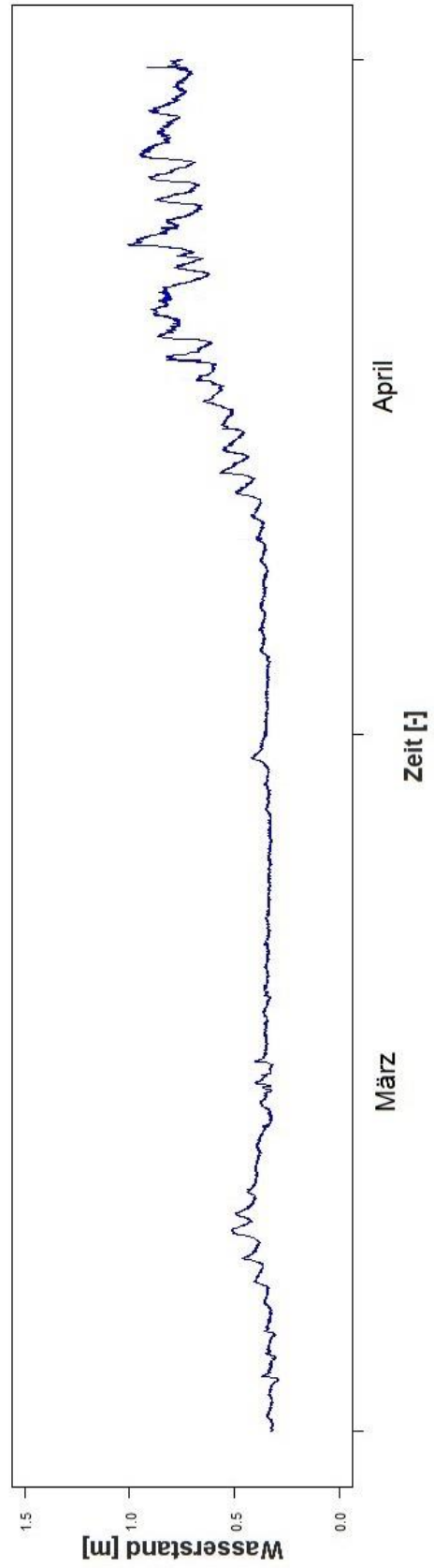


Brücke Hinteregger Mai & Juni 2013

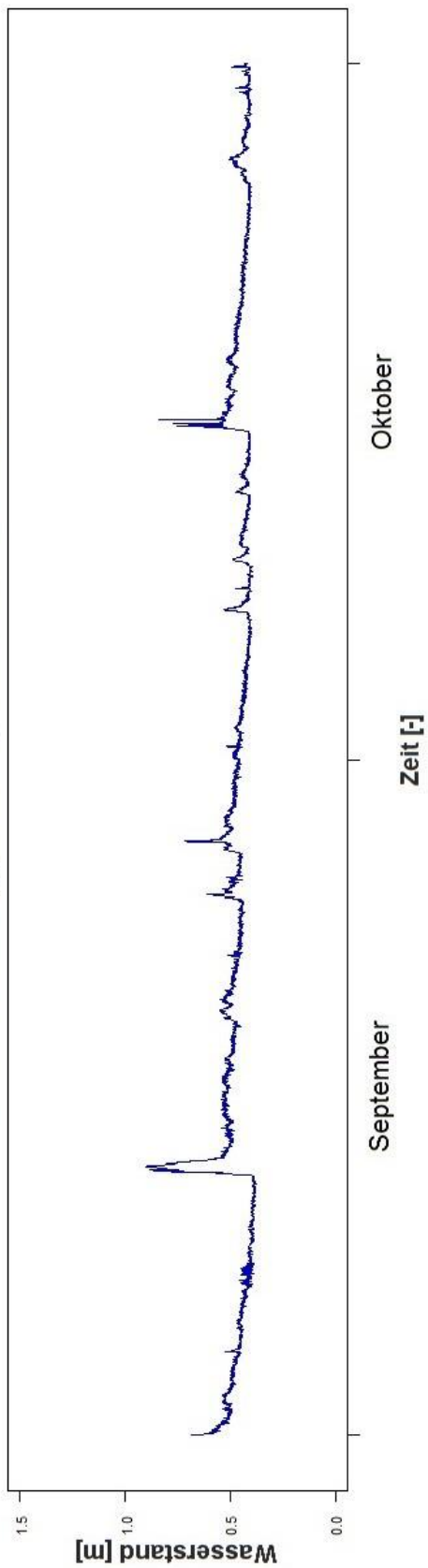


Brücke Hinteregger Juli & August 2013

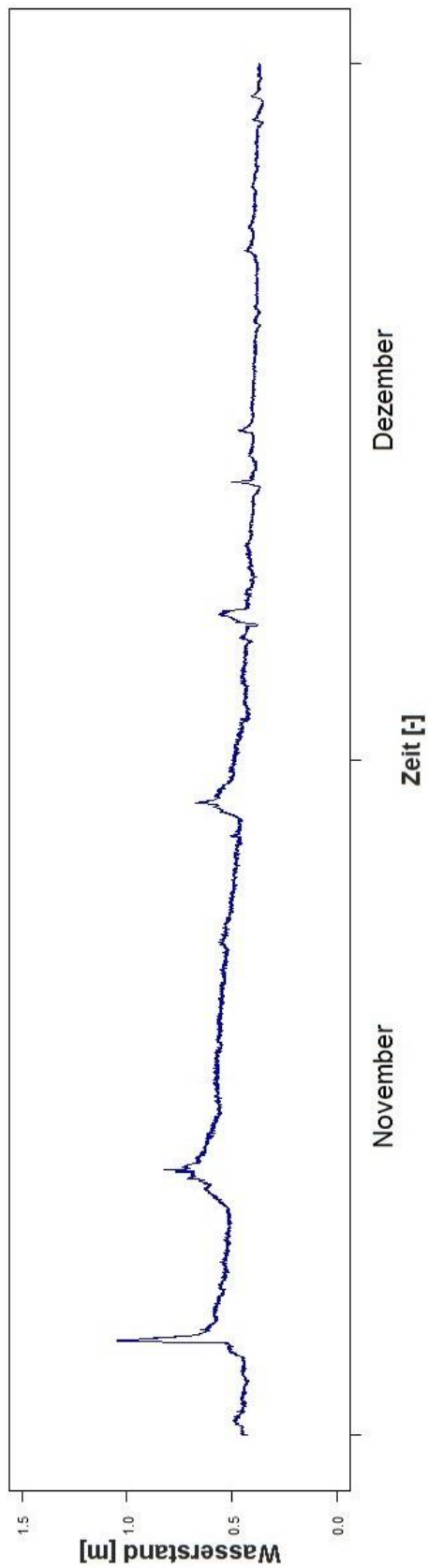


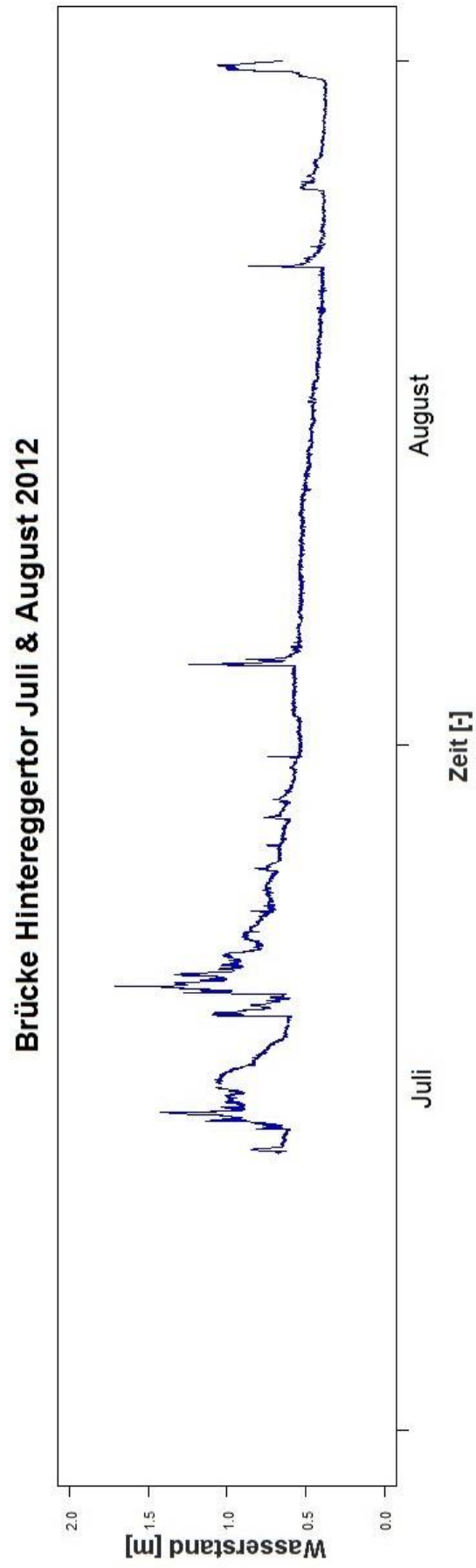
Brücke Hintereggertor Jänner & Feber 2013**Brücke Hintereggertor März & April 2013**

Brücke Hintereggertor September & Oktober 2012

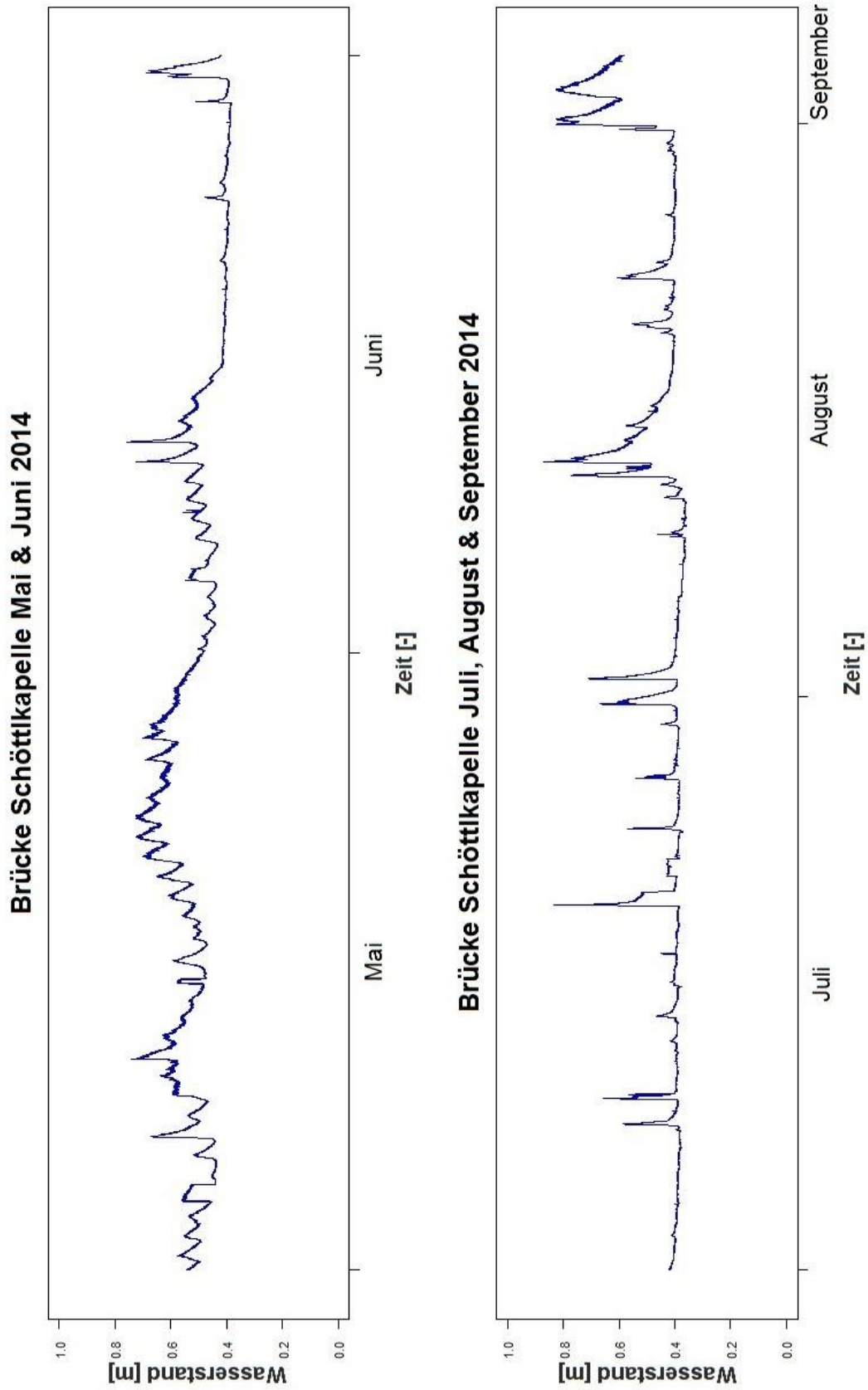


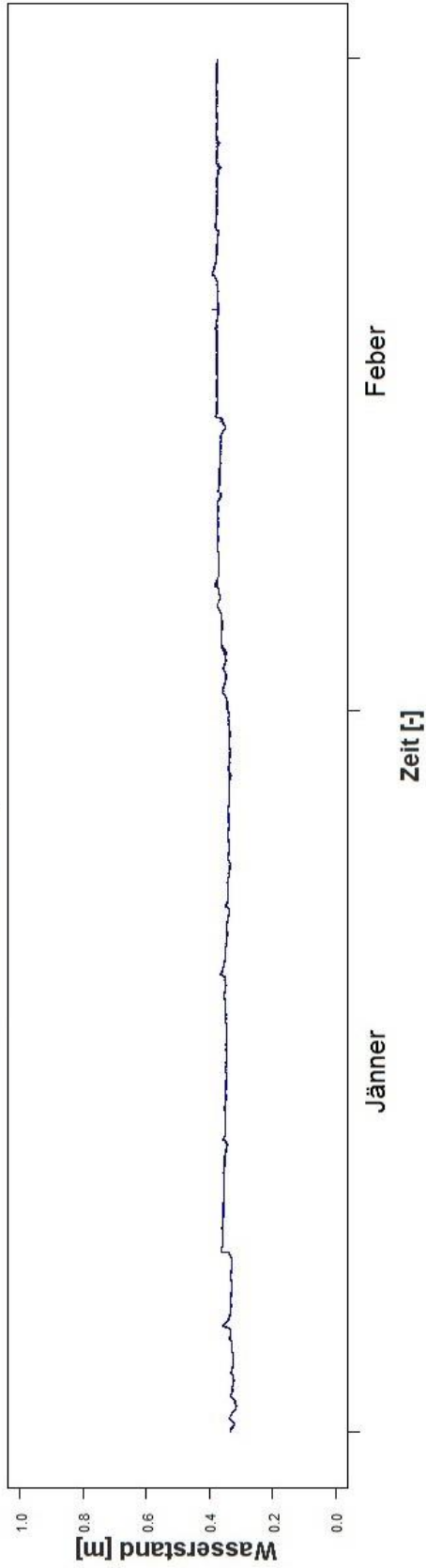
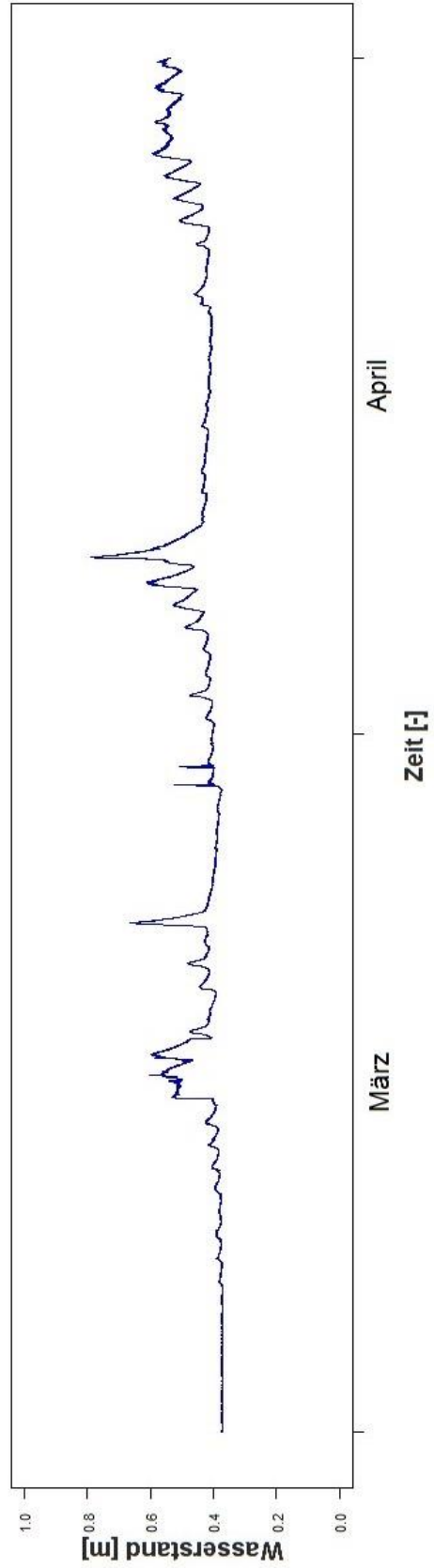
Brücke Hintereggertor November & Dezember 2012

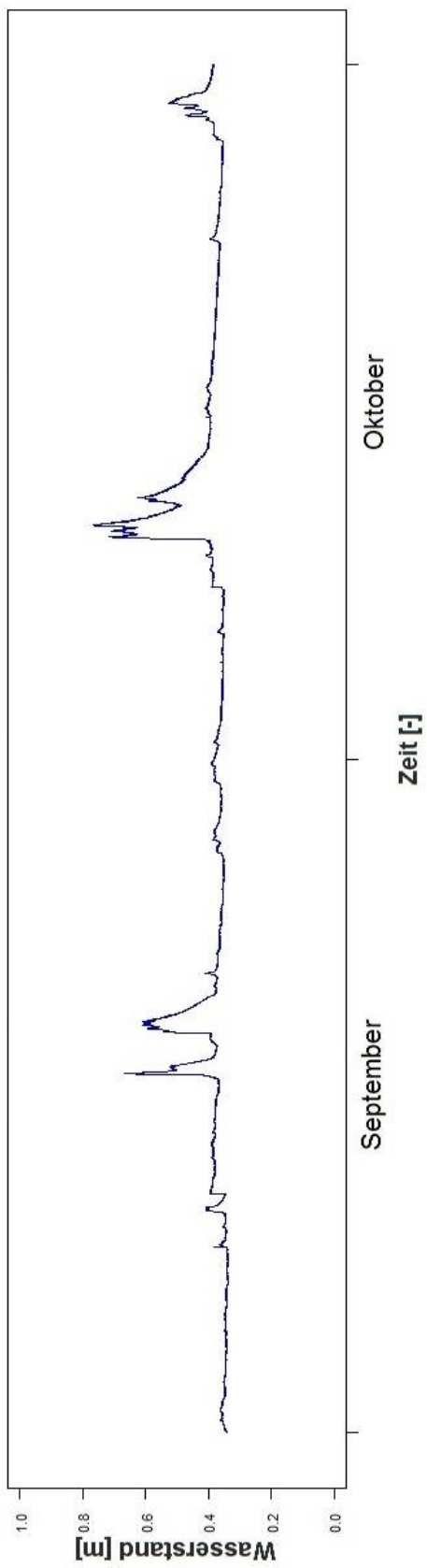
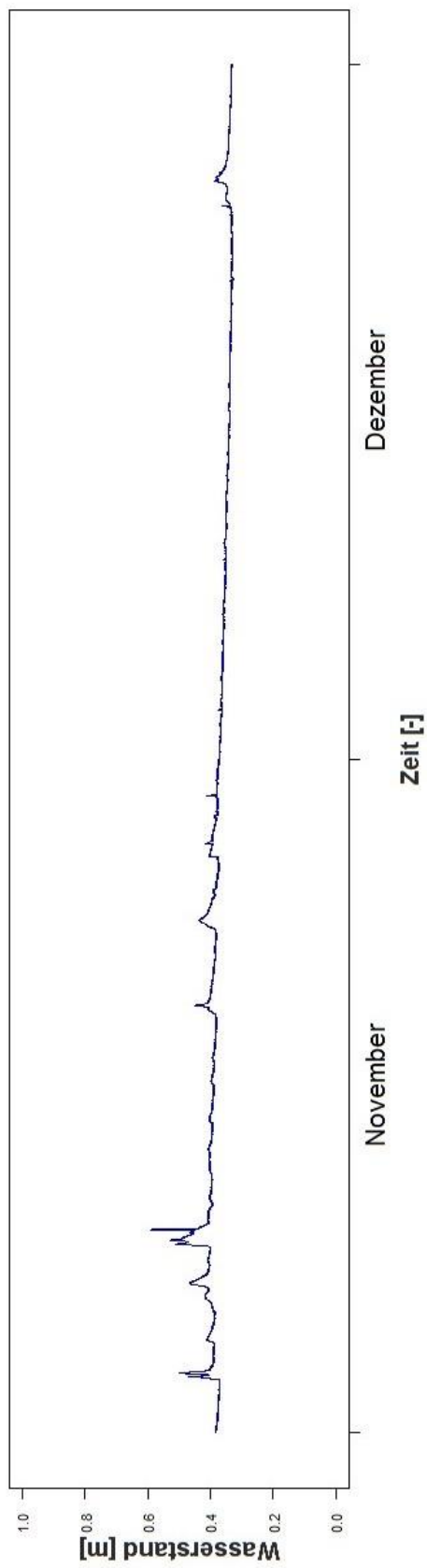


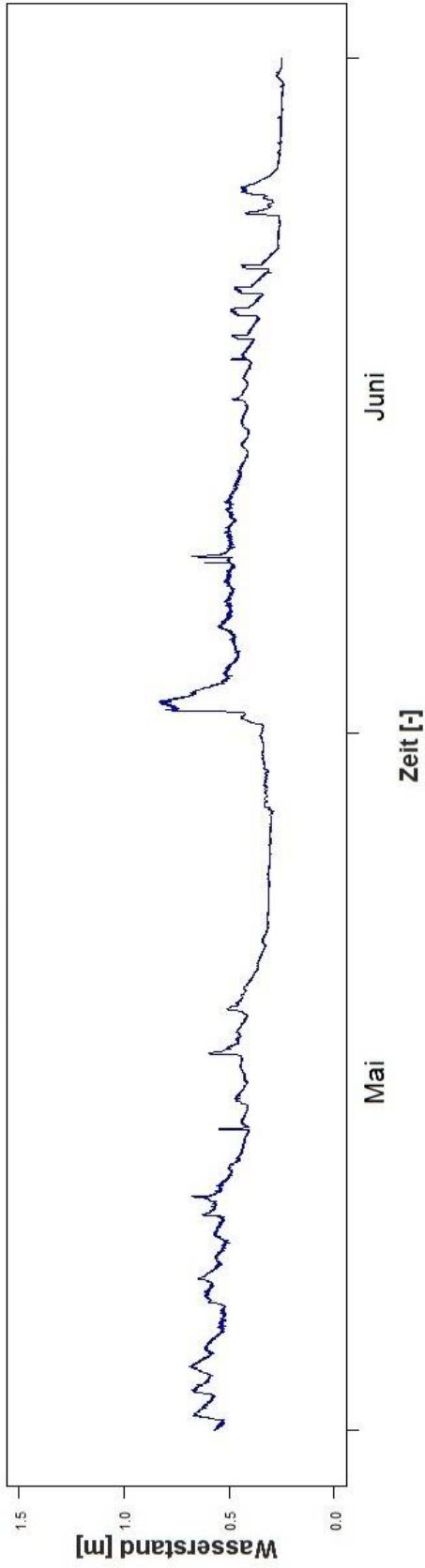
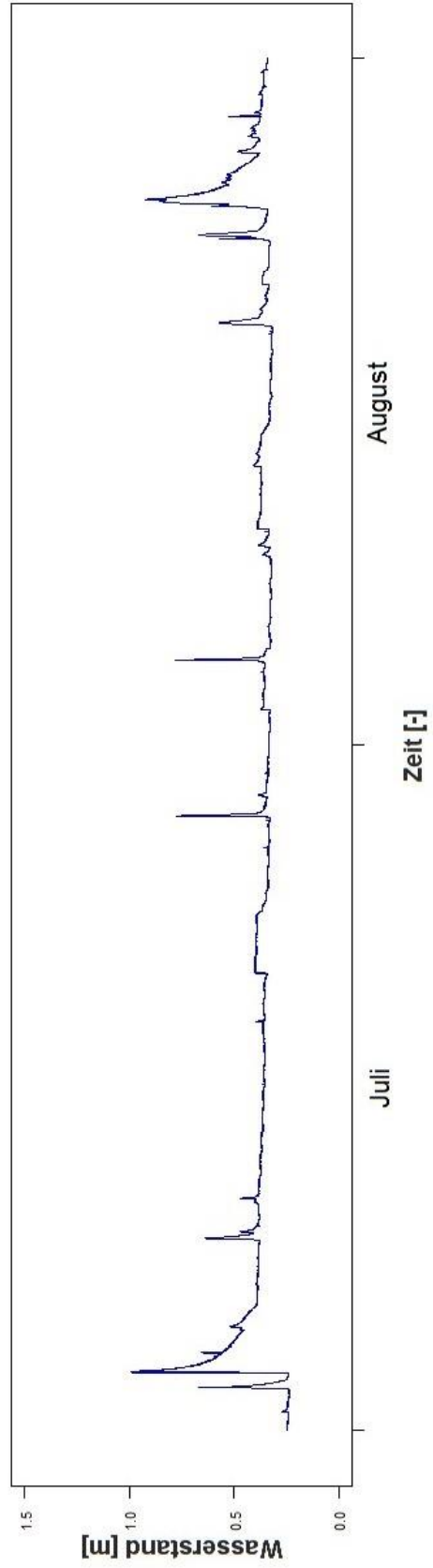


Pegelstand Brücke Schöttlkapelle vom 24. Juni 2012 bis zum 4. September 2014

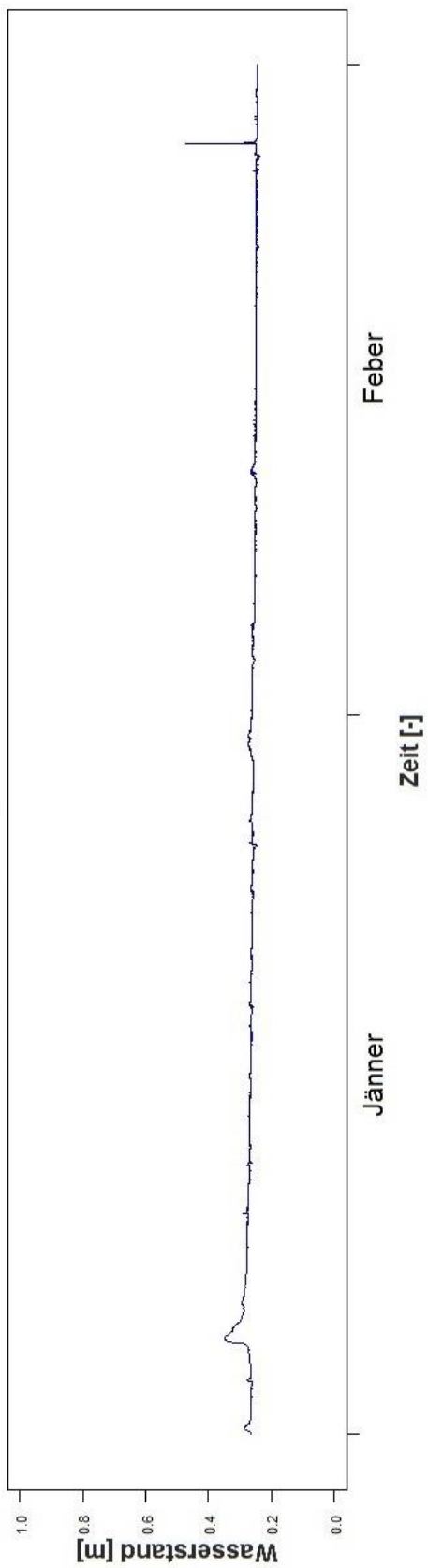


Brücke Schöttlikapelle Jänner & Feber 2014**Brücke Schöttlikapelle März & April 2014**

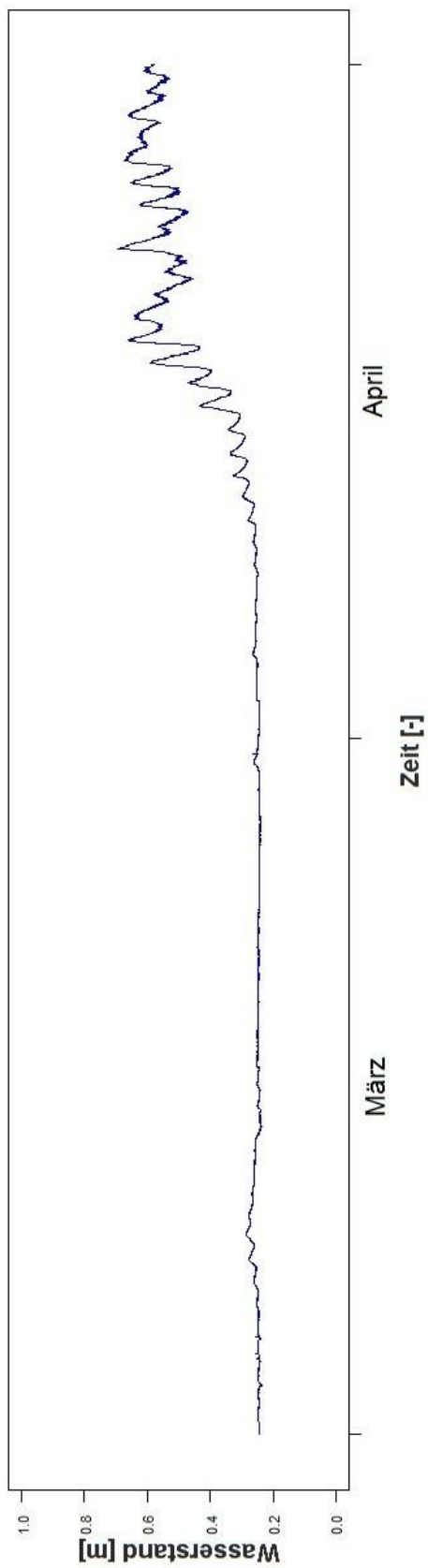
Brücke Schöttlkapelle September & Oktober 2013**Brücke Schöttlkapelle November & Dezember 2013**

Brücke Schöttlikapelle Mai & Juni 2013**Brücke Schöttlikapelle Juli & August 2013**

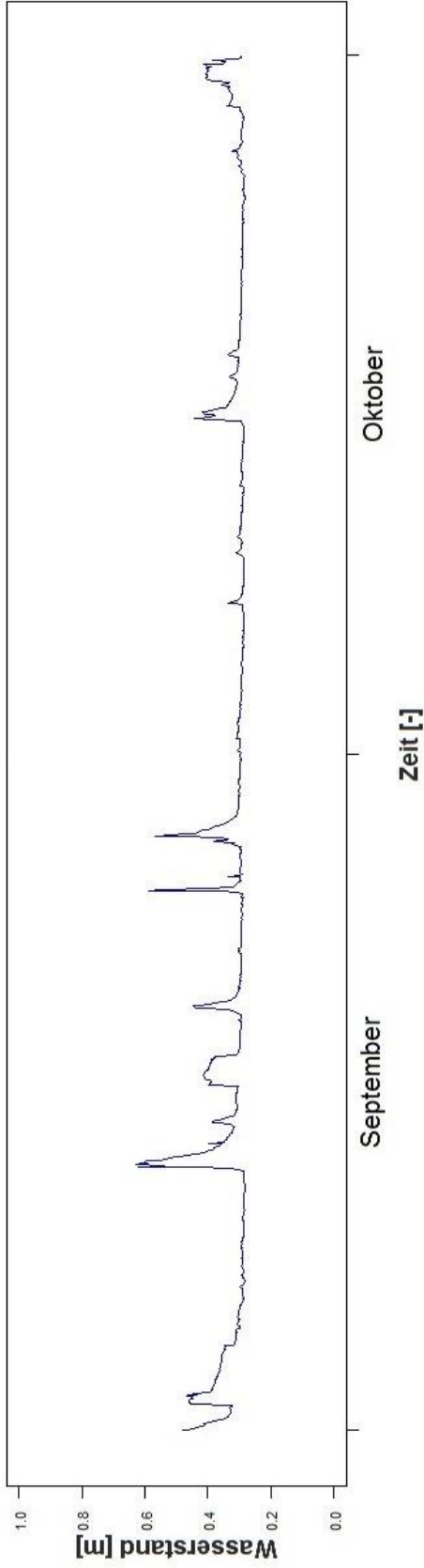
Brücke Schöttlkapelle Jänner & Feber 2013



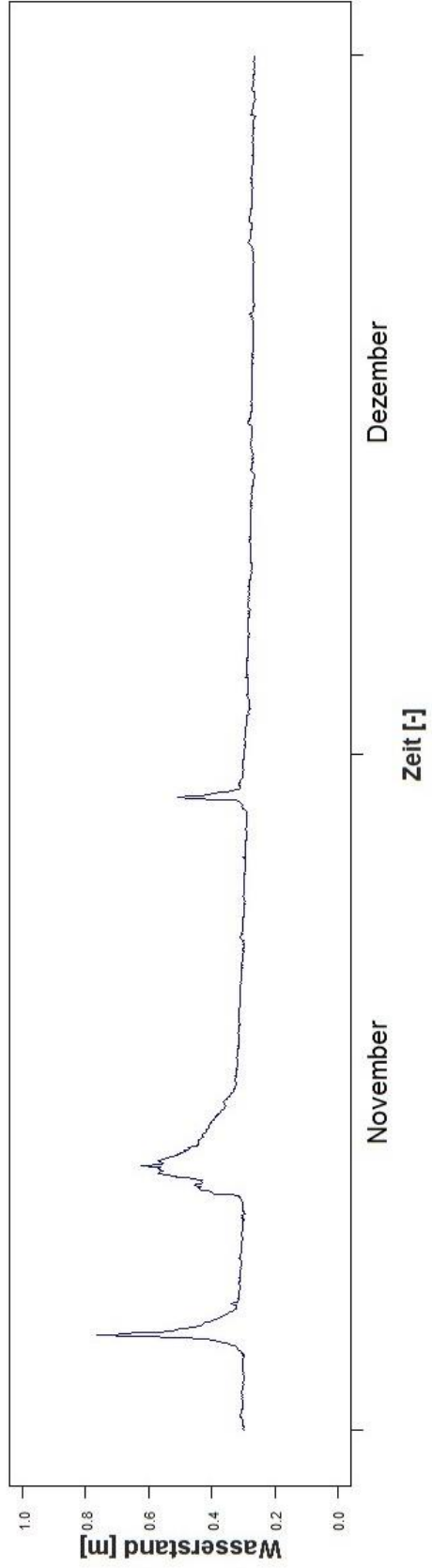
Brücke Schöttlkapelle März & April 2013



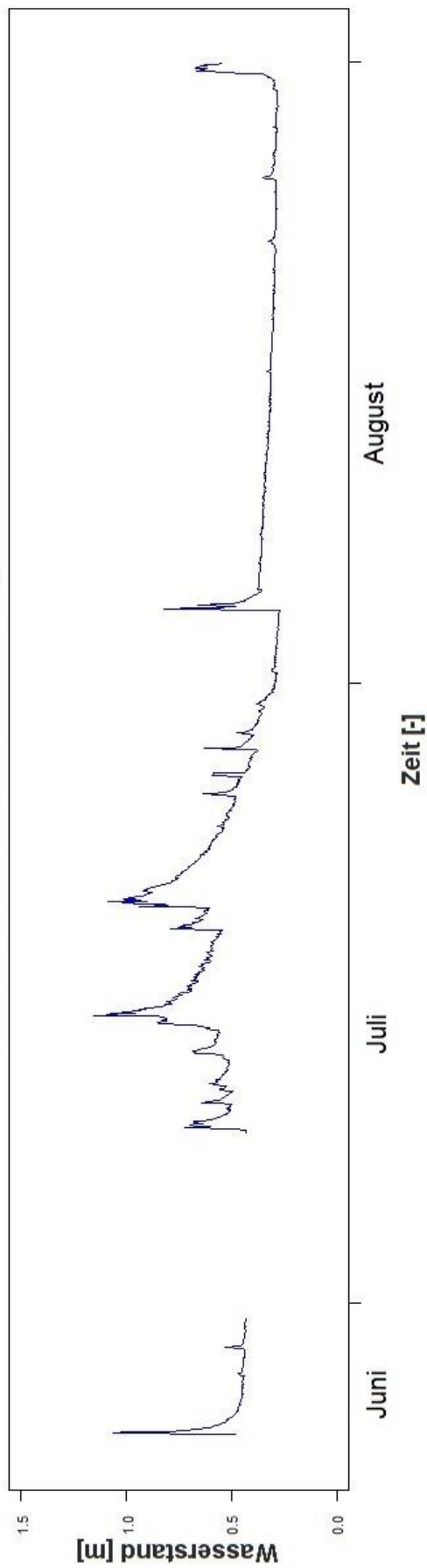
Brücke Schöttlikapelle September & Oktober 2012



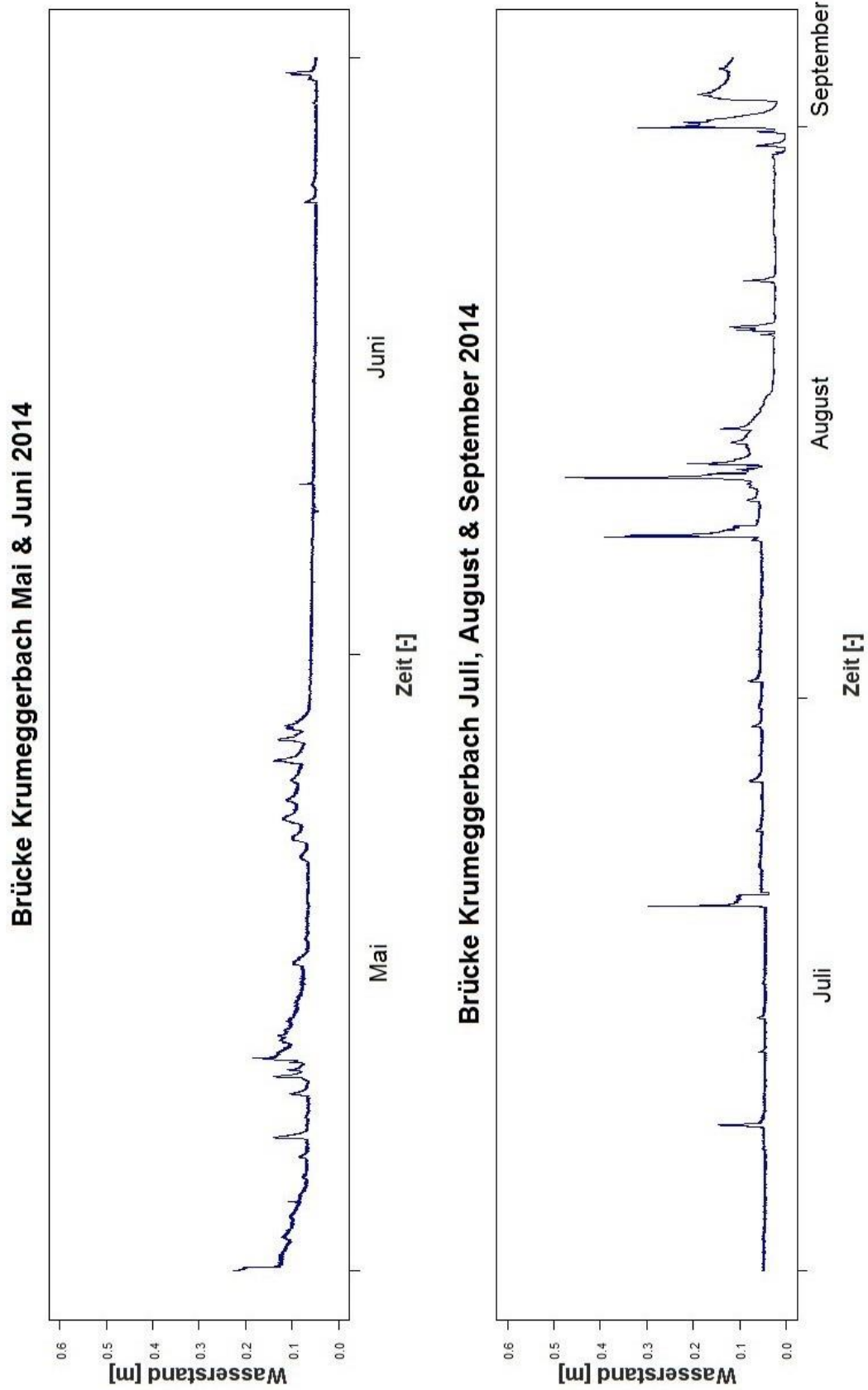
Brücke Schöttlikapelle November & Dezember 2012

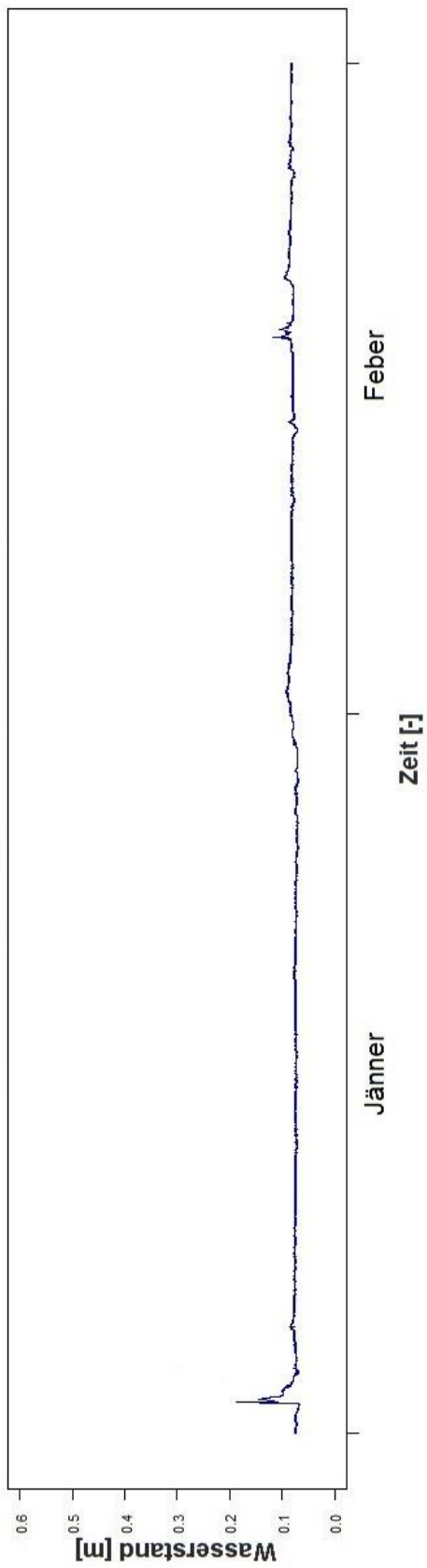
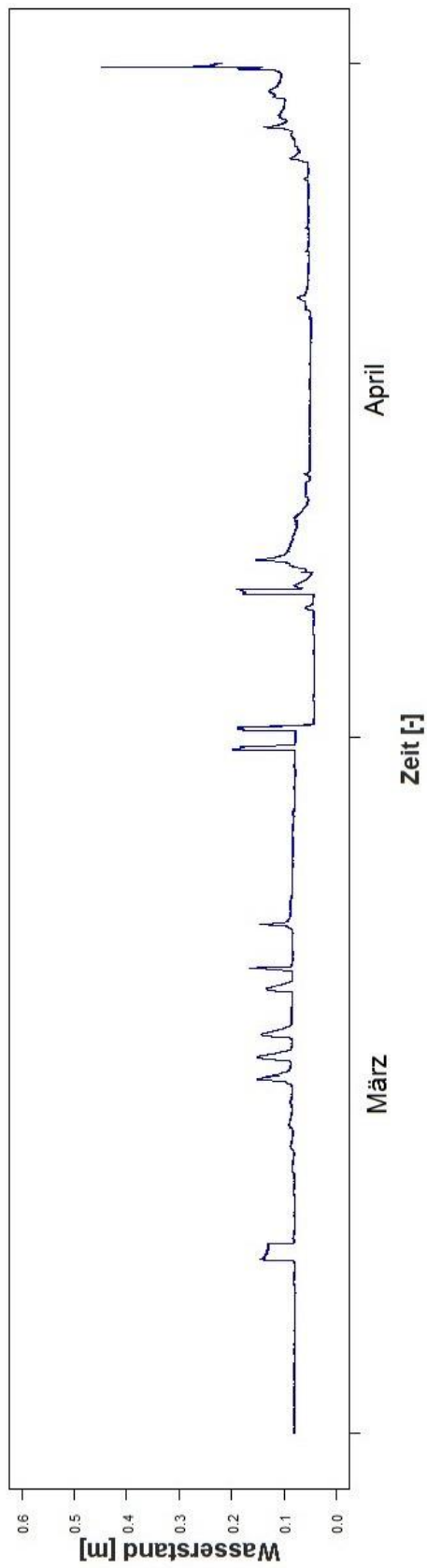


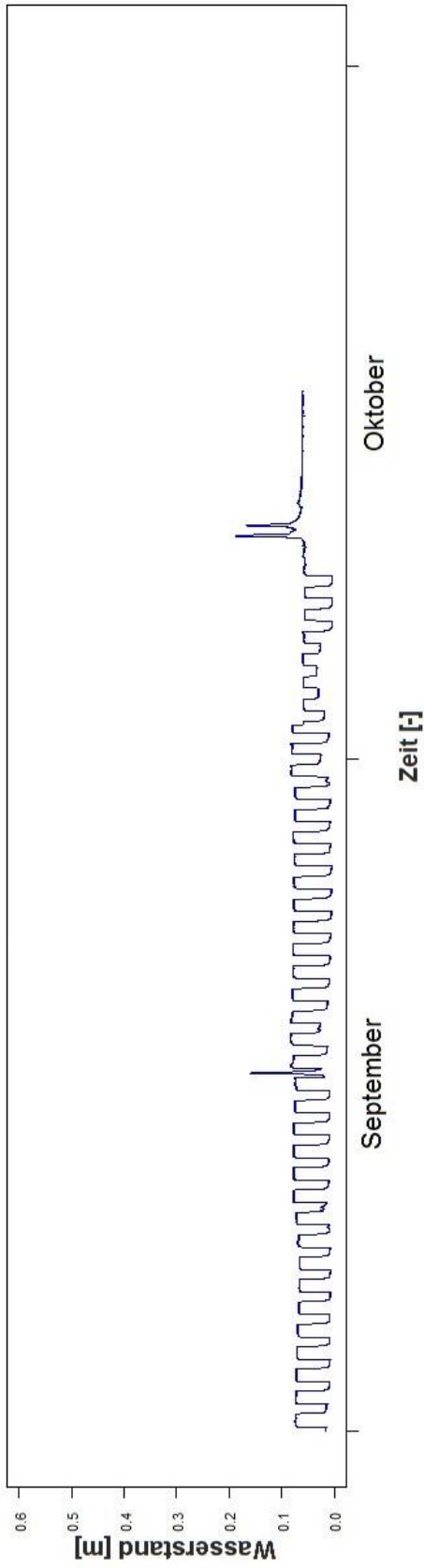
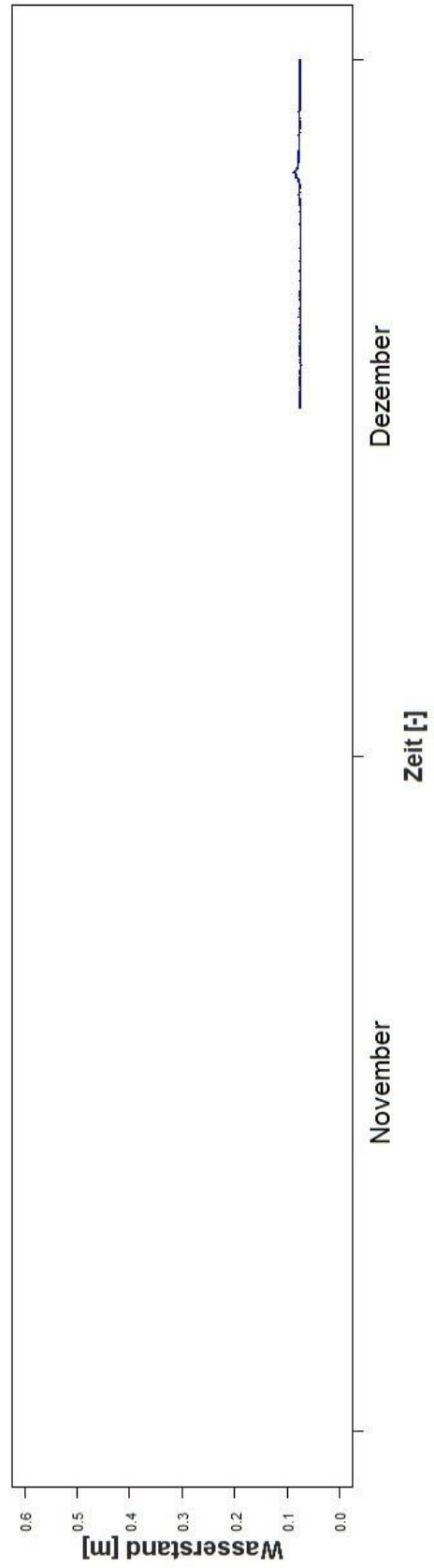
Brücke Schöttlikapelle Juli & August 2012



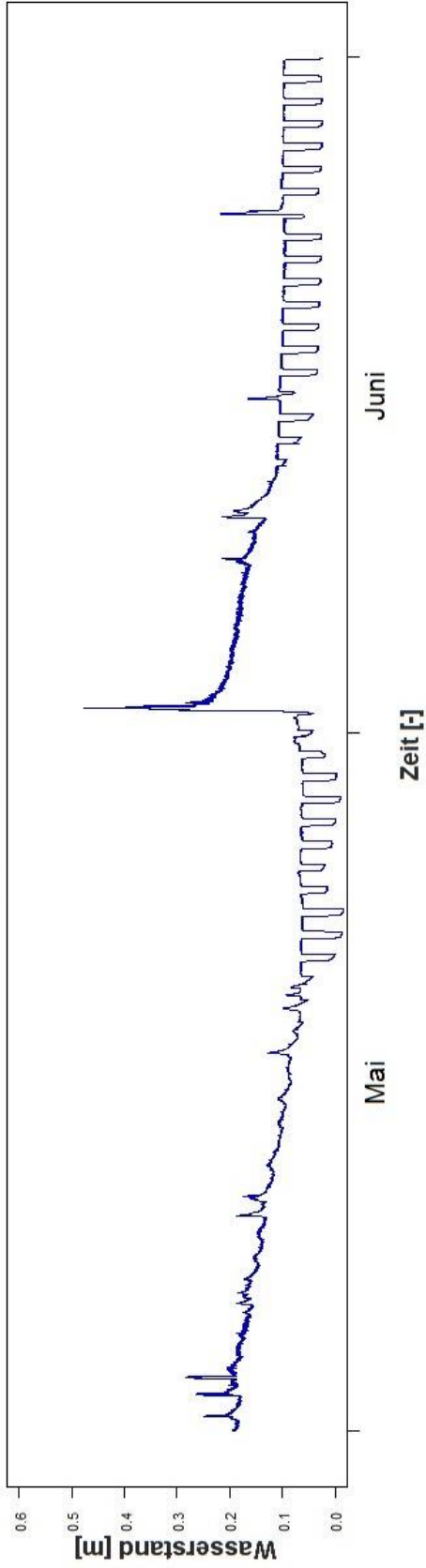
Pegelstand Brücke Krumeggerbach vom 3. Juli 2012 bis zum 4. September 2014



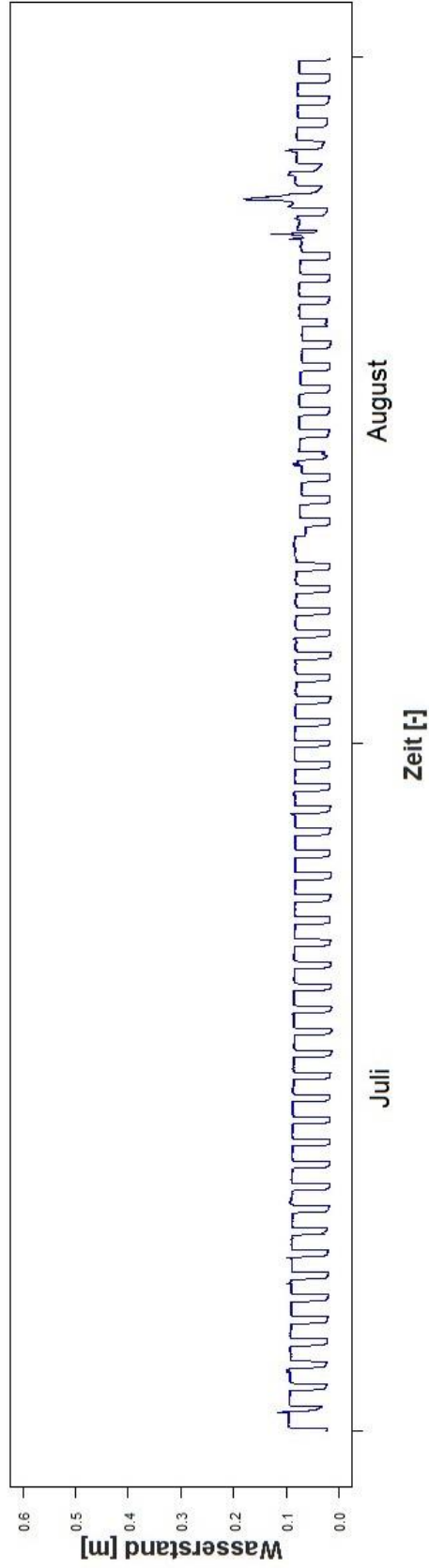
Brücke Krumeggerbach Jänner & Feber 2014**Brücke Krumeggerbach März & April 2014**

Brücke Krumeggerbach September & Oktober 2013**Brücke Krumeggerbach November & Dezember 2013**

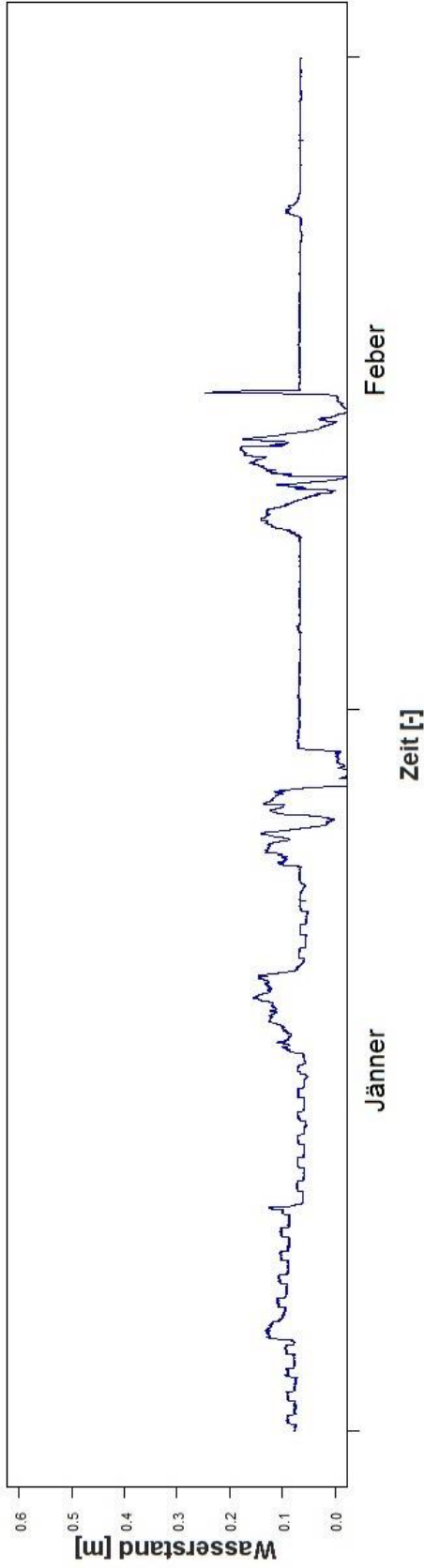
Brücke Krumeggerbach Mai & Juni 2013



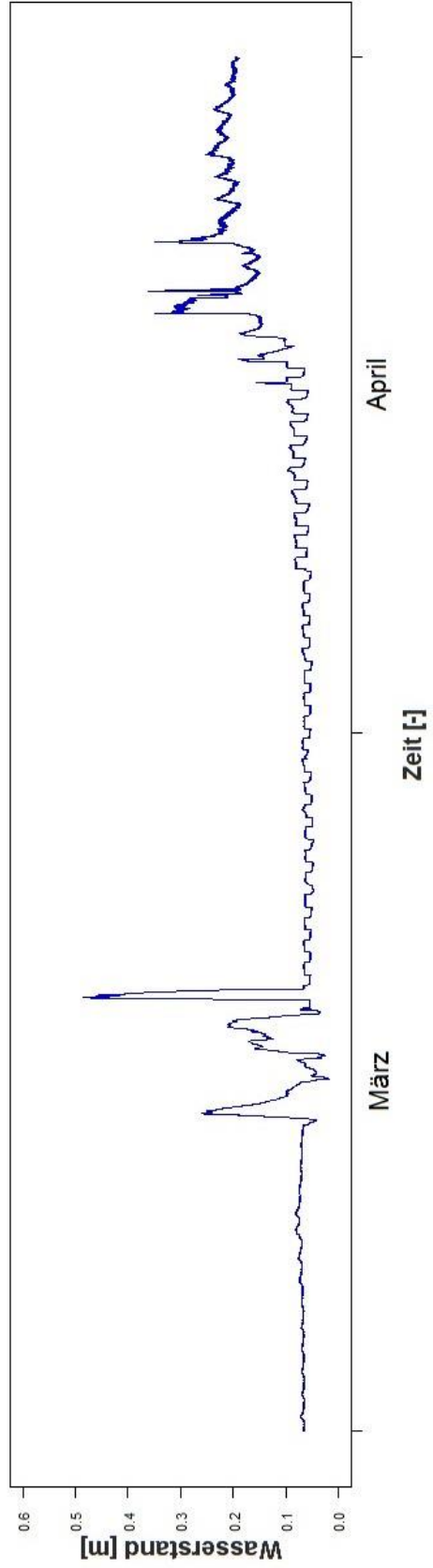
Brücke Krumeggerbach Juli & August 2013

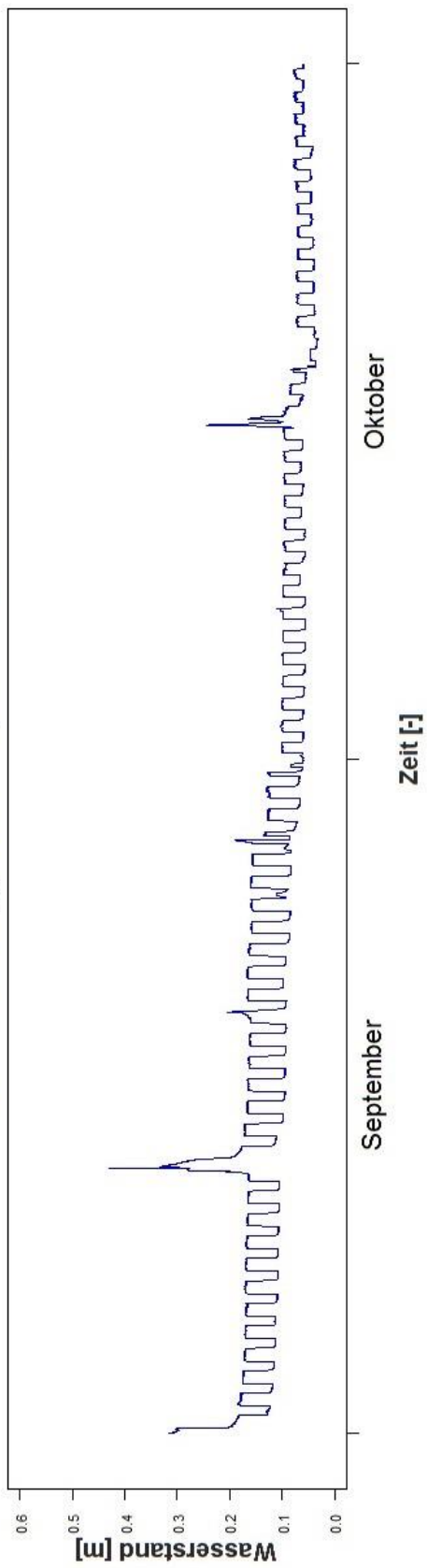
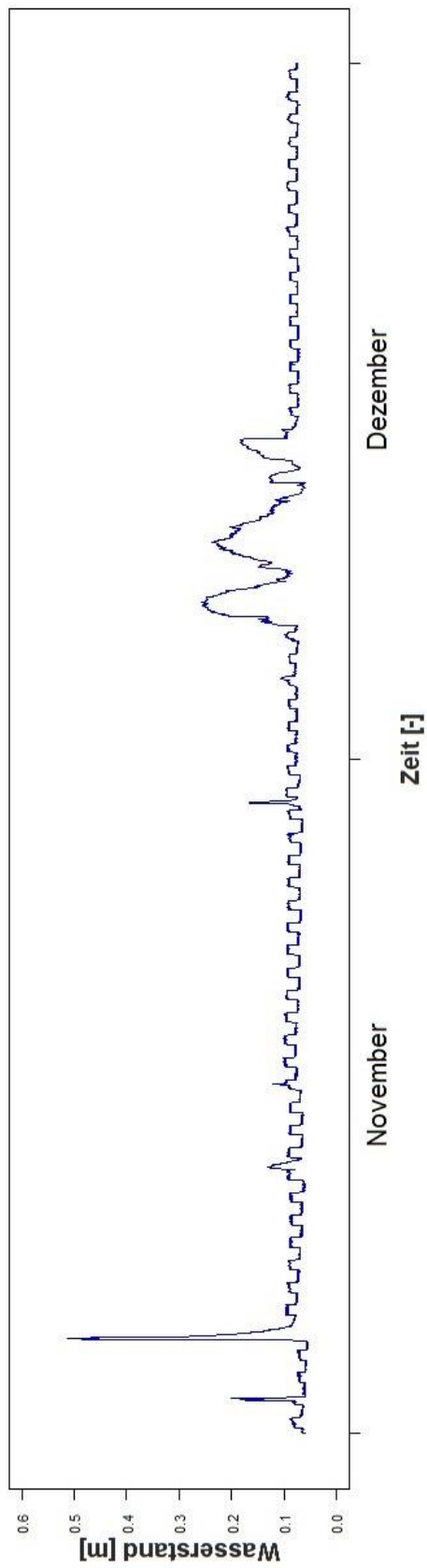


Brücke Krumeggerbach Jänner & Feber 2013

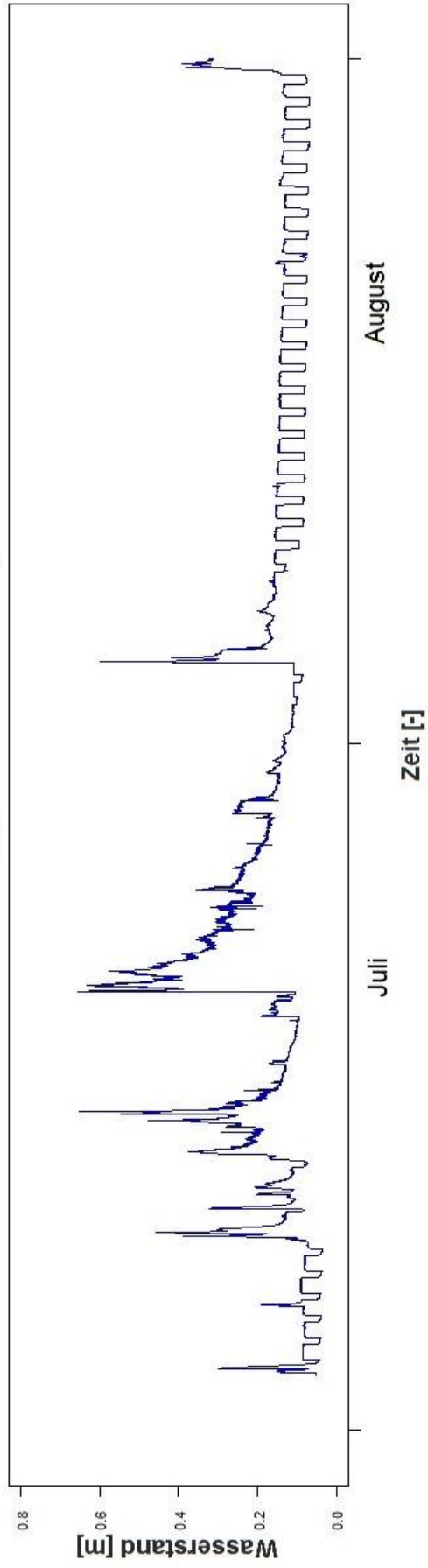


Brücke Krumeggerbach März & April 2013



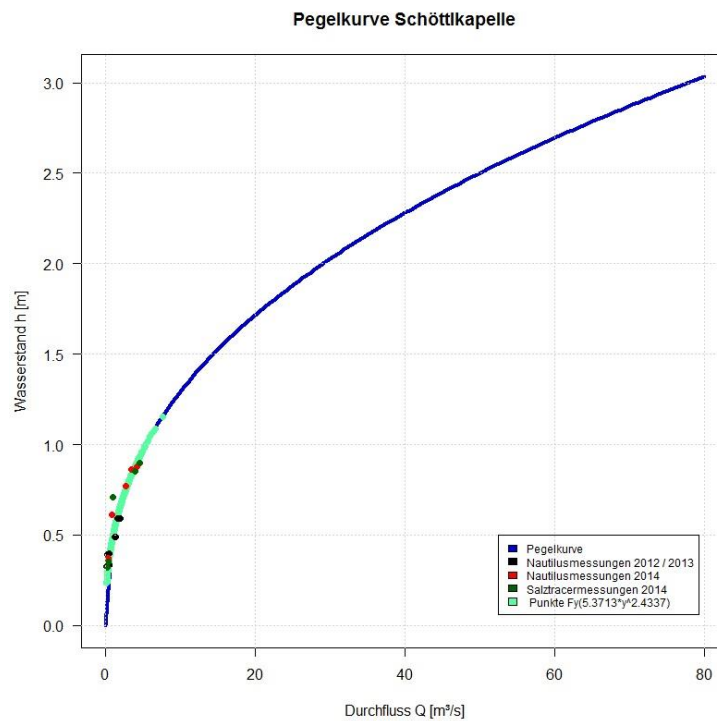
Brücke Krumeggerbach September & Oktober 2012**Brücke Krumeggerbach November & Dezember 2012**

Brücke Krumeggerbach Juli & August 2012

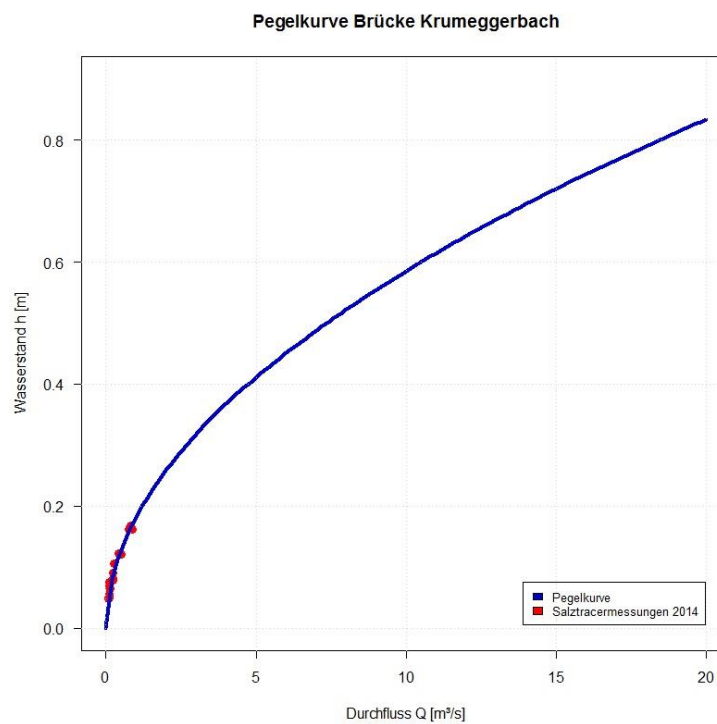


10.4.4 Pegelkurve

Am Querprofil der Brücke Schöttlkapelle für einen Bereich bis 80 m³/s



Am Querprofil der Brücke Krumeggerbach für einem Bereich bis zu 20 m³/s



10.4.5 Daten der ClimCatch-Wetterstation

Datum	Zeit	RR [mm]	TL [°C]	rel. Feuchte [%]	Schnee [cm]	Batt. [V]
Di, 12.08	22:30:00	760	10.7	94	88.1	12.7
Di, 12.08	22:40:00	760	10.5	95	88.6	12.7
Di, 12.08	22:50:00	760	10.5	95	73.8	12.7
Di, 12.08	23:00:00	761	10.3	95	97.6	12.7
Di, 12.08	23:10:00	764	10.2	96	88.3	12.7
Di, 12.08	23:20:00	765	10.1	97	61.6	12.7
Di, 12.08	23:30:00	768	10.0	97	95.6	12.7
Di, 12.08	23:40:00	773	9.9	97	12.3	12.7
Di, 12.08	23:50:00	778	9.8	98	63.3	12.7
Mi, 13.08	00:00:00	781	9.7	98	74.6	12.7
Mi, 13.08	00:10:00	783	9.7	98	74.5	12.7
Mi, 13.08	00:20:00	784	9.7	98	74.5	12.6
Mi, 13.08	00:30:00	786	9.7	98	64.0	12.7
Mi, 13.08	00:40:00	786	9.5	98	64.3	12.6
Mi, 13.08	00:50:00	787	9.5	98	64.4	12.7
Mi, 13.08	01:00:00	787	9.5	98	64.5	12.7
Mi, 13.08	01:10:00	787	9.4	99	64.3	12.6
Mi, 13.08	01:20:00	789	9.4	99	64.3	12.6
Mi, 13.08	01:30:00	789	9.1	98	64.3	12.6
Mi, 13.08	01:40:00	790	8.8	98	64.2	12.6
Mi, 13.08	01:50:00	791	8.7	98	64.1	12.6
Mi, 13.08	17:30:00	791	11.9	84	65.8	13.4
Mi, 13.08	17:40:00	793	11.3	90	115.4	13.0
Mi, 13.08	17:50:00	793	11.0	91	65.1	12.9
Mi, 13.08	18:00:00	795	10.7	93	31.3	12.8
Mi, 13.08	18:10:00	818	10.2	95	39.2	12.9
Mi, 13.08	18:20:00	827	10.1	96	39.1	13.8
Mi, 13.08	18:30:00	834	10.0	97	104.0	13.8
Mi, 13.08	18:40:00	838	10.2	98	76.2	13.8
Mi, 13.08	18:50:00	838	10.3	98	39.0	13.9
Mi, 13.08	19:00:00	838	10.0	97	38.8	13.9
Mi, 13.08	19:10:00	842	9.7	97	86.8	13.9
Mi, 13.08	19:20:00	844	9.4	97	73.3	13.7
Mi, 13.08	19:30:00	844	9.3	97	73.4	12.9

3.1 mm / m²
 ≈ 1.0 mm / h·m²

5.3 mm / m²
 ≈ 2.7 mm / h·m²

10.5 Anhang zu Kapitel 5

10.5.1 Orte der Versuchsdurchführungen



Geschieberückhaltebecken (Hohenbichlersperre) mit den Entnahmestellen im Hintergrund
Die Geschiebesperre befindet sich im unteren rechten Eck



Entnahmestellen im oberen Bereich des Geschieberückhaltebeckens





Probenentnahmestelle "Brücke Schöttlkapelle"

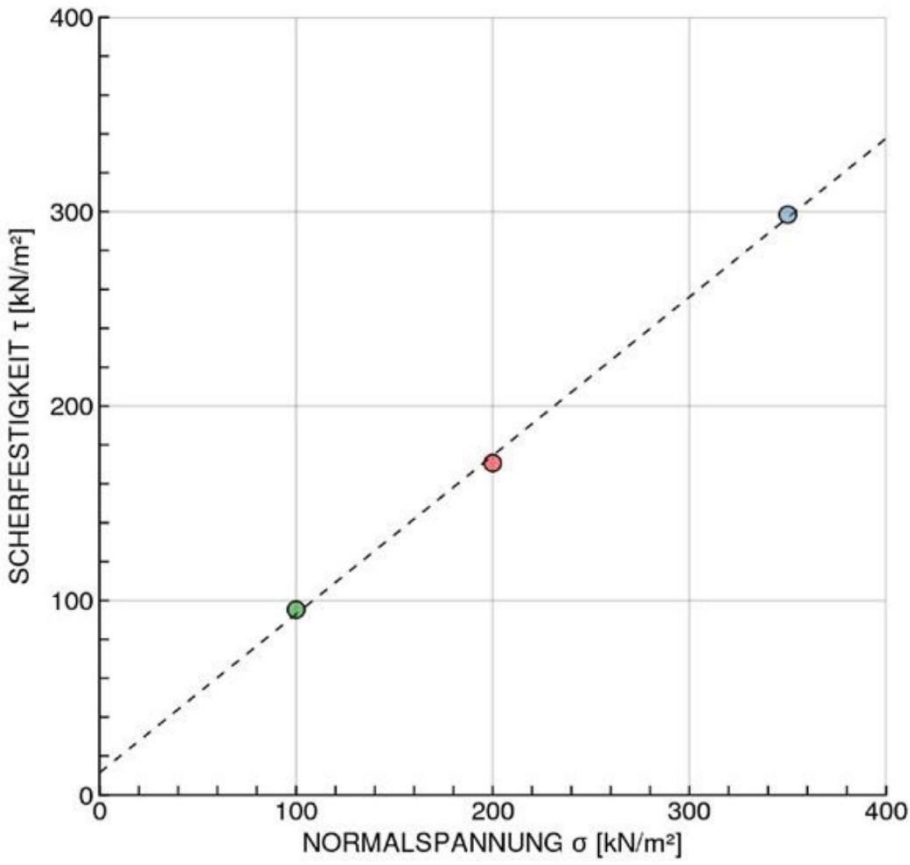
10.5.2 *Großscherversuch / Kapitel 5.1*

Anschließend folgen die Auswerteprotokolle der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Rahmenscherversuche. Es handelt sich dabei um jene Großscherversuche vom Kapitel 5.2.

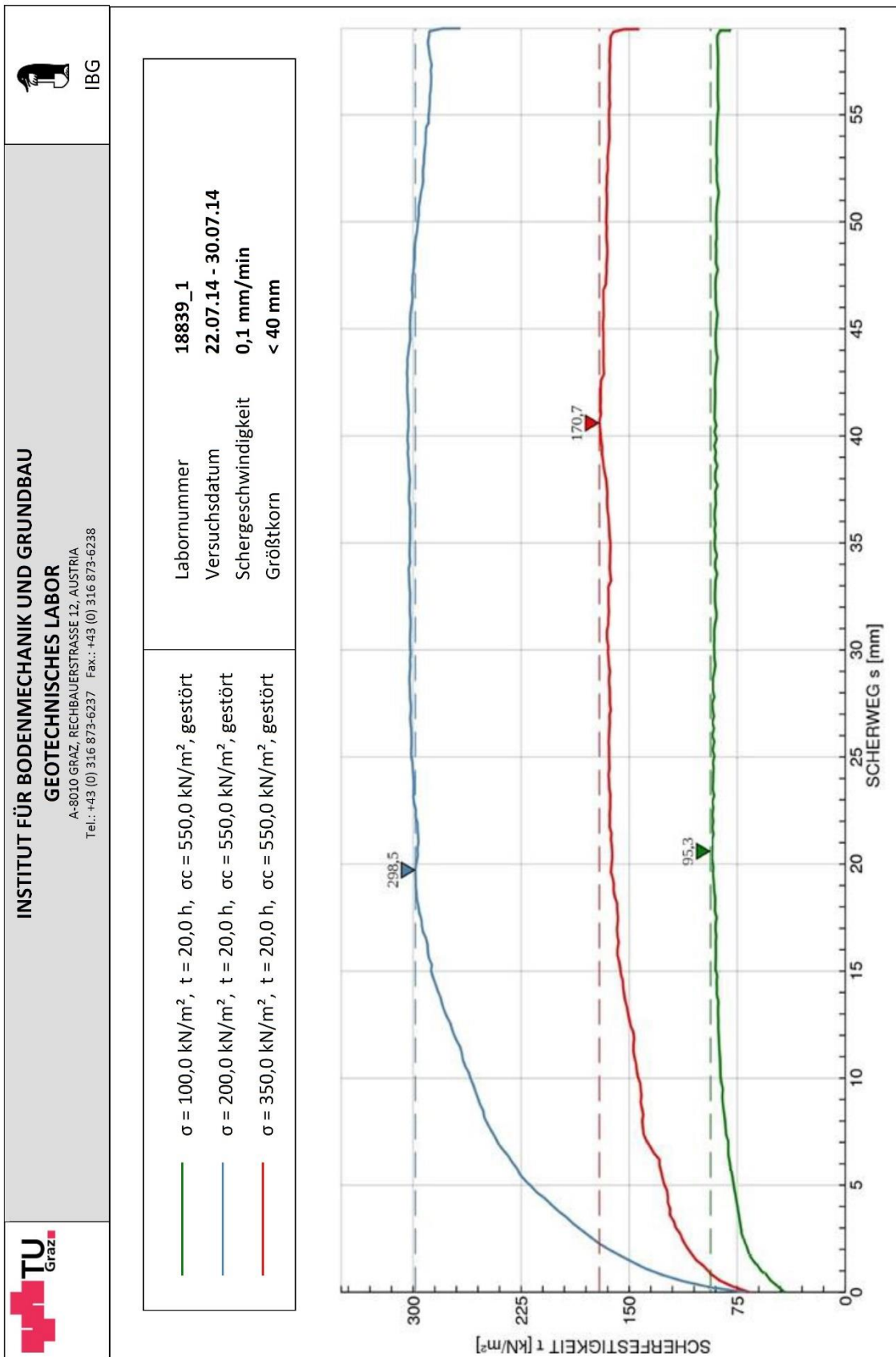
Der Scherversuch vom Material aus dem Bachbett beim Querprofil der Brücke Schöttlkapelle wird in der vorliegenden Arbeit diskutiert.

Versuchsprotokoll des Rahmenscherversuchs der Probe aus dem Bachbett
flussaufwärts der Geschiebesperre



	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: Gabriel Spreitzer	BODENART:	
PROJEKT: Masterarbeit	TIEFE:	AUFTRAGSNR: 1002	
BEZEICHNUNG: Bachbett ober der Geschiebesperre im Schöttlbach	BEARBEITER: Spreitzer Gabriel	DATUM: 22.07.14 - 30.07.14	
RAHMENSCHERVERSUCH NACH ÖNORM B 4416			
Büchsengröße: 300 x 300 x 200 mm			
GRÖSSTKORN: < 31 mm		Versuch 1	Versuch 2
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	σ_c kN/m ²	550,0	550,0
KONSOLIDIERUNGSZEIT	t_c h	20,0	20,0
NORMALSPANNUNG	σ kN/m ²	100,0	200,0
SCHERFESTIGKEIT	τ_r kN/m ²	95,3	170,7
SCHERWEG	s_r mm	20,6	40,6
RESTSCHERFESTIGKEIT	τ_r kN/m ²		
RESTSCHERWEG	s_r mm		
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	10,6	9,7
REIBUNGSWINKEL (ϕ')	39,2 °	PROBENZUSTAND gestört	
KOHÄSION (c')	11,4 kN/m ²	SCHERGESCHWINDIGKEIT 0,1 mm/min	
RESTSCHERWINKEL (ϕ_r)	0 °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT 0 mm/min	



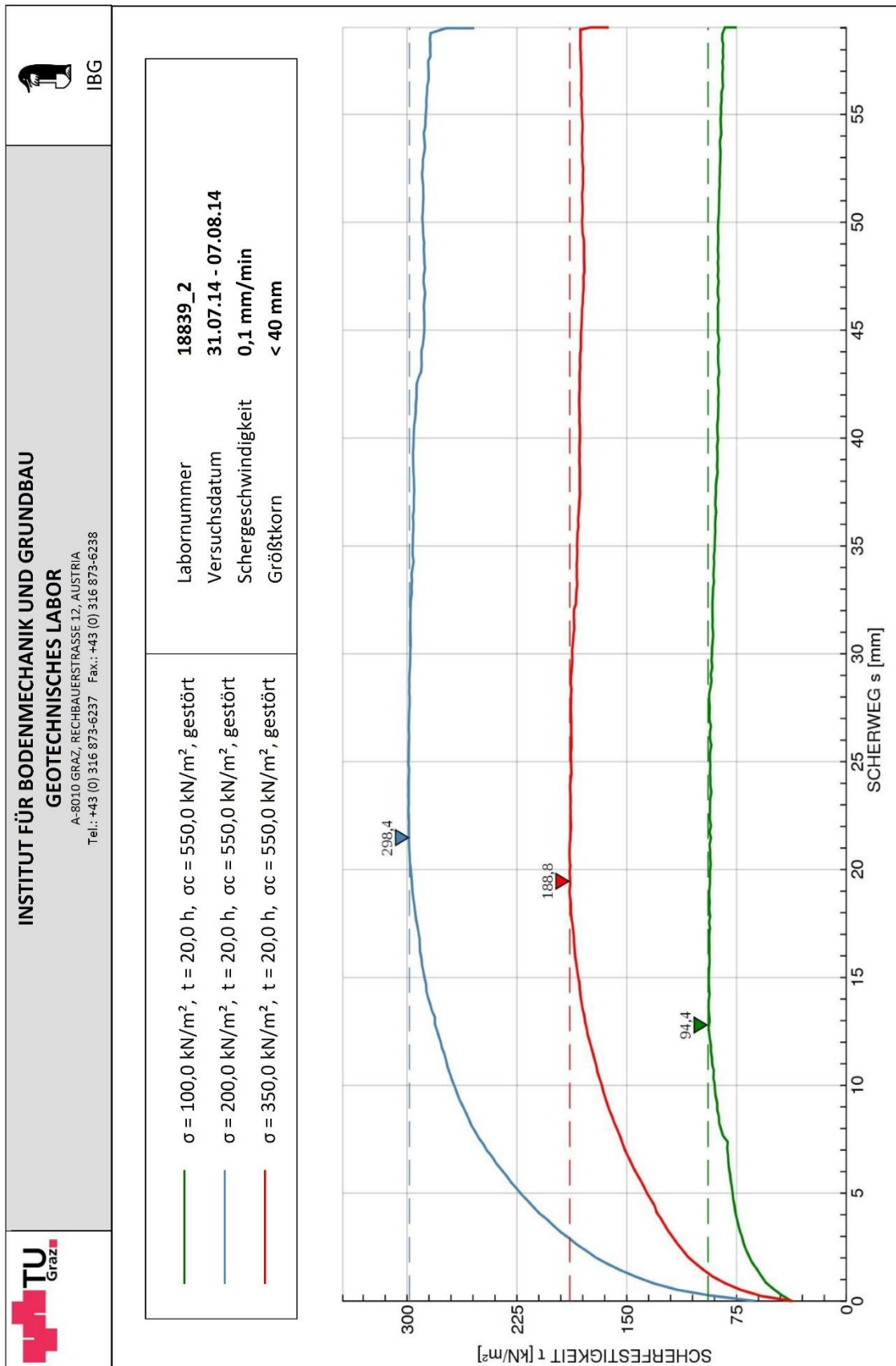
Spannungsdiagramm des Rahmenschersversuchs der Probe aus dem Bachbett
flussaufwärts der Geschiebesperre



Versuchsprotokoll des Rahmenscherversuchs der Probe, welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde

 INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238</small>		 IBG		
AUFTRAGGEBER: Gabriel Spreitzer		BODENART:	LABORNUMMER: 18839_2	
PROJEKT: Masterarbeit		TIEFE:	AUFTRAGSNR: 1002	
BEZEICHNUNG: Böschung bei der Geschiebesperre im Schöttlbach		BEARBEITER: Spreitzer Gabriel	DATUM: 31.07.14 - 07.08.14	
RAHMENSCHERVERSUCH NACH ÖNORM B 4416				
Büchsengröße: 300 x 300 x 200 mm				
GRÖSSTKORN: < 31 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	σ_c kN/m ²	550,0	550,0	550,0
KONSOLIDIERUNGSZEIT	t_c h	20,0	20,0	20,0
NORMALSPANNUNG	σ kN/m ²	100,0	200,0	350,0
SCHERFESTIGKEIT	τ_f kN/m ²	94,4	188,8	298,4
SCHERWEG	s_f mm	12,8	19,5	21,5
RETSCHERFESTIGKEIT	τ_r kN/m ²			
RETSCHERWEG	s_r mm			
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	9,0	8,2	7,0
REIBUNGSWINKEL (ϕ')	39 °	PROBENZUSTAND		gestört
KOHÄSION (c')	18,5 kN/m ²	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,1 mm/min
RETSCHERWINKEL (ϕ_r)	0 °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		0 mm/min

Spannungsdiagramm des Rahmenserversuchs der Probe, welche aus der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre entnommen wurde





10.5.3 Korngrößenverteilung / Kapitel 5.2

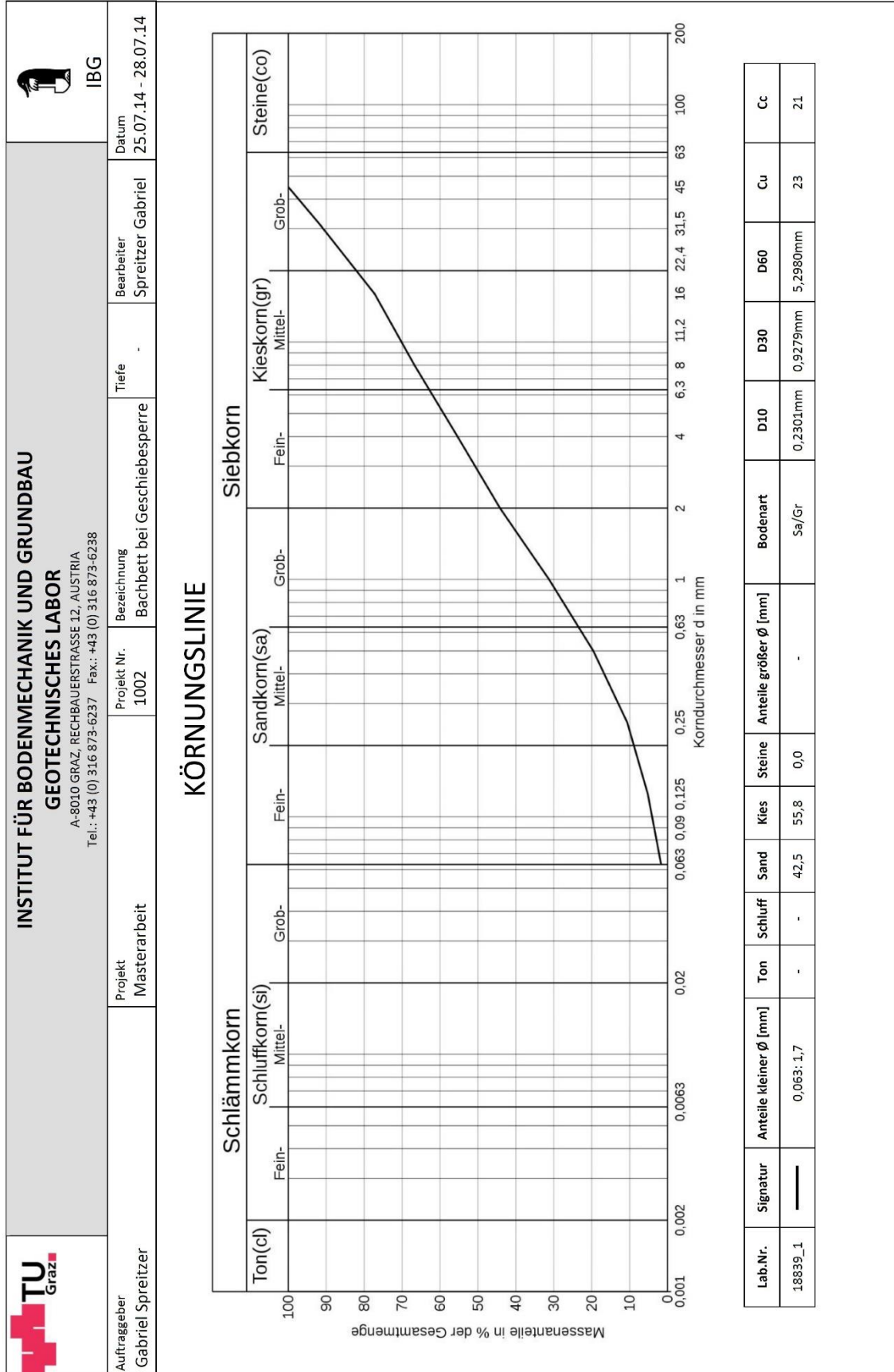
Anschließend folgen die Auswerteprotokolle der im Zuge dieser Arbeit durchgeführten Korngrößenverteilung. Es handelt sich dabei um jene Versuche vom Kapitel 5.3. Ausgegeben werden die Korngrößenverteilung sowie die Körnungslinie.

Die Kornverteilungsanalyse vom Material der Böschung flussaufwärts der Geschiebesperre wird in der vorliegenden Arbeit diskutiert.



Versuchsprotokoll der Probe aus dem Bachbett flussaufwärts der Geschiebesperre

	INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238</small>	 IBG																							
KORNGRÖSSENVERTEILUNG																									
ANGABEN ZUR PROBE																									
Projekt: Masterarbeit	Labornummer: 18839_1																								
Projekt Nr.: 1002	Tiefe: -																								
Auftraggeber: Gabriel Spreitzer	Bearbeiter: Spreitzer Gabriel																								
Bezeichnung: Bachbett ober der Geschiebesperre_im Schöttlbach (gestört)	Datum: 25.07.14 - 28.07.14																								
ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE																									
<p>Siebanalyse</p> <table style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Ø [mm]</th> <th style="text-align: left;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>40,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>31,5</td><td>91,8</td></tr> <tr><td>16,0</td><td>77,3</td></tr> <tr><td>8,0</td><td>66,8</td></tr> <tr><td>4,0</td><td>55,4</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>44,2</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>31,3</td></tr> <tr><td>0,5000</td><td>19,6</td></tr> <tr><td>0,2500</td><td>10,6</td></tr> <tr><td>0,1250</td><td>5,2</td></tr> <tr><td>0,0630</td><td>1,7</td></tr> </tbody> </table>		Ø [mm]	%	40,0	100,0	31,5	91,8	16,0	77,3	8,0	66,8	4,0	55,4	2,0	44,2	1,0	31,3	0,5000	19,6	0,2500	10,6	0,1250	5,2	0,0630	1,7
Ø [mm]	%																								
40,0	100,0																								
31,5	91,8																								
16,0	77,3																								
8,0	66,8																								
4,0	55,4																								
2,0	44,2																								
1,0	31,3																								
0,5000	19,6																								
0,2500	10,6																								
0,1250	5,2																								
0,0630	1,7																								

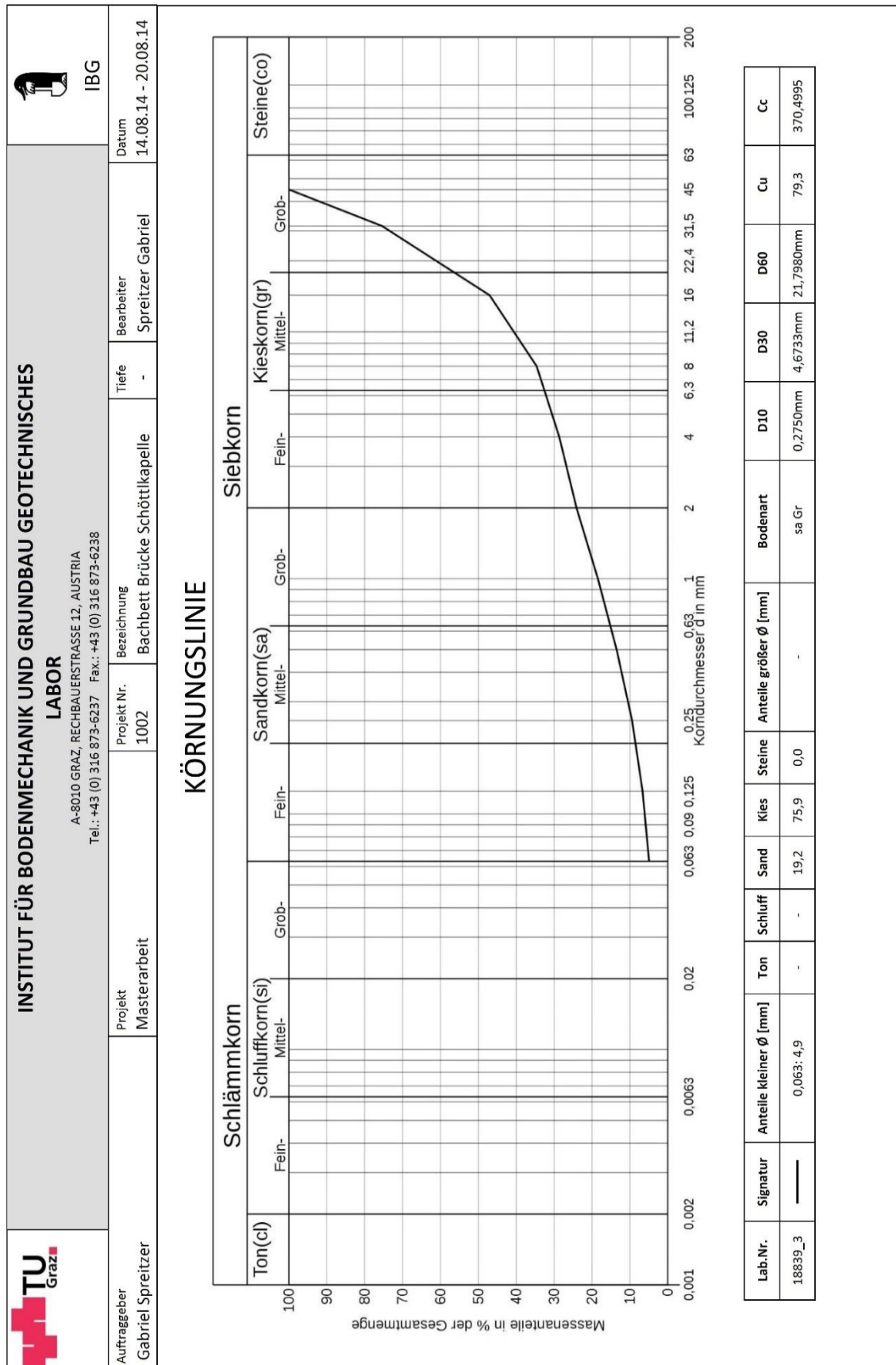
Körnungslinie der Probe aus dem Bachbett flussaufwärts der Geschiebesperre



Versuchsprotokoll der Kornverteilung jener Probe, welche am Querprofil der
Brücke Schöttlkapelle entnommen wurde

	INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR <small>A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA</small> <small>Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238</small>	 IBG																								
KORNGRÖSSENVERTEILUNG																										
ANGABEN ZUR PROBE																										
Projekt: Masterarbeit	Labornummer: 18839_3																									
Projekt Nr.: 1002	Tiefe: -																									
Auftraggeber: Gabriel Spreitzer	Bearbeiter: Spreitzer Gabriel																									
Bezeichnung: Bachbett Brücke Schöttlkapelle, Grobkörnig	Datum: 14.08.14 - 20.08.14																									
ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE																										
<p style="margin-left: 40px;">Siebanalyse</p> <table style="margin-left: 40px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Ø [mm]</th> <th style="text-align: left;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45,0</td><td>100,0</td></tr> <tr><td>31,5</td><td>75,4</td></tr> <tr><td>16,0</td><td>47,0</td></tr> <tr><td>8,0</td><td>34,6</td></tr> <tr><td>4,0</td><td>28,7</td></tr> <tr><td>2,0</td><td>24,1</td></tr> <tr><td>1,0</td><td>18,5</td></tr> <tr><td>0,5000</td><td>13,5</td></tr> <tr><td>0,2500</td><td>9,4</td></tr> <tr><td>0,1250</td><td>6,7</td></tr> <tr><td>0,0630</td><td>4,9</td></tr> </tbody> </table>			Ø [mm]	%	45,0	100,0	31,5	75,4	16,0	47,0	8,0	34,6	4,0	28,7	2,0	24,1	1,0	18,5	0,5000	13,5	0,2500	9,4	0,1250	6,7	0,0630	4,9
Ø [mm]	%																									
45,0	100,0																									
31,5	75,4																									
16,0	47,0																									
8,0	34,6																									
4,0	28,7																									
2,0	24,1																									
1,0	18,5																									
0,5000	13,5																									
0,2500	9,4																									
0,1250	6,7																									
0,0630	4,9																									

Körnungslinie jener Probe, welche am Querprofil der Brücke Schöttlikapelle entnommen wurde



10.6 Sonstiges

Technische Details Kranwaage (Steinberg Systems, 2013), (Expondo, 2013)

Modell	SBS-KW-5TC
Artikel	Kranwaage 5T
Messbereich	bis 5.000 kg
Einteilung	1kg und 2kg wählbar
Toleranz	0,04%
Artikelzustand	Neu
Funktionen	Halten Tarieren Nullsetzen Kalibrierung
Display	LCD
Maße (LxBxH)	26 x 72 x 20 cm
Gewicht	19,5 kg
Versandmaße (LxBxH)	66 x 30 x 36 cm
Versandgewicht	21,5 kg

Weitere Informationen zur Steinberg Systems Kranwaage SBS-KW-5TC:

- Mit Fernbedienung für Tara/Zero
- Kalibrierfähig
- Halten/Nullieren/Tarieren-Funktion
- Auswählbare Ziffernschritte
- Messgenauigkeit wählbar zwischen 1 kg und 2 kg
- Druckgussgehäuse
- Große grün leuchtende LCD-Anzeige, auch von weiter Entfernung ablesbar.
- Drehbarer Edelstahl Sicherheits-Haken inkl.
- Sicherheitsschäkel inkl.
- Sichere Überlastung: 150%
- Akku-Betrieb (Akku inkl.)
- Bis zu 150 Stunden Betriebsdauer
- Netzadapter inkl.
- Abschaltung manuell/automatisch
- Alle Zellen werden vor der Lieferung vorkalibriert!

Vermurter Zubringerbach im Schöttlbach-Einzugsgebiet



Verklausungsgefahr durch Wildholzeinträge im oberen Einzugsgebiet der Wildbäche. Nachfolgende Bilder wurden am Ort der Einmündung vom Hühnerbach in den Schöttlbach aufgenommen.

