

Kanton St.Gallen

Grundlagen zur Naturgefahrenanalyse

Verklausungsszenarien

Technischer Bericht

Erstellt am:

September 2015

Genehmigt:

St.Gallen, den

Ausfertigung für:



**Naturgefahrenkommission
Kanton St.Gallen**

Projektverfasser:

Ingenieure Bart AG

Waisenhausstrasse 15

9000 St.Gallen

Tel. 071 228 01 70 / Fax 071 228 01 71

Projekt 25239

Inhalt

1	Aufgabenstellung	1
2	Beurteilungskriterien Verklauungsszenarien	1
2.1	Tal- und Seitengewässer	1
2.2	Benötigte Querschnittflächen	2
2.3	Massgebendes Gefälle	3
2.4	Rückhaltebauwerke für Treibgut	4
2.5	Begrenzung bei hohen Fliessgeschwindigkeiten	5
2.6	Verklauungswahrscheinlichkeiten gutachterlich anpassen	5
2.7	Spezialbauwerke	6
3	Modellierungen	6
4	Literatur / Unterlagen	10
5	Anhang	11
5.1	Auswertungen Teilgebiete 4 bis 9	11
5.2	Ermittlung der benötigten Querschnittsfläche	17

I Aufgabenstellung

In der Naturgefahrenanalyse St.Gallen wurden im ganzen Kanton Brücken und Durchlässe danach beurteilt, ab welchen Abflüssen sie verklausen können und mit welcher Wahrscheinlichkeit dies zu erwarten ist. Diese Beurteilung hat auf die Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung massgeblichen Einfluss. Die gemachten Gefahrenabklärungen können Massnahmen an Brücken und Durchlässen auslösen. Der Planende muss zuverlässig abschätzen können, welche Verklausungswahrscheinlichkeit eine Massnahme zur Folge haben wird.

Die Methode zur Bestimmung der Verklausungswahrscheinlichkeiten ist beschrieben. Die Anwendung bei Bauvorhaben hat jedoch gezeigt, dass gewisse Vorgaben generell noch zu wenig klar sind, beispielsweise:

- Unterscheidung von Tal- und Seitengewässern
- Kriterien für die gutachterliche Herauf- oder Herabsetzung der Verklausungswahrscheinlichkeit
- Ermittlung der benötigten und der verfügbaren Querschnittfläche
- Bestimmung der massgebenden Gefälle
- Wann sind Bauwerke zum Rückhalt von Treibgut als günstig und wann als ungünstig zu beurteilen.
- Es ist nicht bekannt, wie sich eine Bemessung mit Freibord (z.B. nach KOHS) und eine ebensolche nach Verklausungskennziffer unterscheiden.
- Oft wurden vor Durchlässen und Brücken Beschleunigungsstrecken angeordnet. Deren genaue Auswirkungen auf die verbesserte Durchleitung und die Ermittlung der Verklausungskennziffer sind noch zu wenig bekannt und kompliziert exakt zu ermitteln.
- Die Durchleitung von Abfluss unter Druck könnte oft eine einfache Massnahme darstellen, knappe Kapazitäten optimal zu nutzen. Es ist vorerst nicht klar, wie eine solche Massnahme hinsichtlich Verklausungen genau zu beurteilen ist.
- In kleinen, steilen Gerinnen mit generell niedrigen Fliesstiefen, aber vergleichsweise hohen Fliessgeschwindigkeiten könnte das gewählte Vorgehen allzu ungünstige Beurteilung zur Folge haben.
- Oft bleibt unklar, wie sich hydraulisch abrupte Übergänge vom offenen Gerinne in einen Durchlass qualitativ und quantitativ auswirken.

In der Praxis hat sich zudem gezeigt, dass Fallbeispiele die Anwendung deutlich erleichtern könnten.

2 Beurteilungskriterien Verklausungsszenarien

Nachfolgende Ausführungen behandeln ausschliesslich Aspekte, welche bei der Bestimmung der Verklausungsszenarien klarer definiert werden sollen oder offene Fragen behandeln. Die Berechnung der Verklausungskennziffer und deren Umsetzung in Verklausungswahrscheinlichkeiten sind gegeben.

2.1 Tal- und Seitengewässer

Die Bezeichnungen der Gewässer im Zusammenhang mit Verklausungen von Durchlässen und Brücken bezieht sich auf deren häufiges Vorkommen entweder in Hanglagen oder im Talboden. Die topographische Lage selbst ist kein Kriterium. Der Regelfall unter den Gewässern ist der Typ Seitengewässer. Die zu begründende Ausnahme mit günstigerer Beurteilung der Verklausungswahrscheinlichkeit ist das Talgewässer.

Die wesentlichen Charakteristika eines Gewässers, um es als Talgewässer beurteilen zu können, sind ein ruhiger Abfluss, ein gleichmässig geringes Gefälle, Einzugsgebietsfläche i.d.R. über ca. 20 km² mit eher geringen Unterschieden zwischen einem 30- oder 300-jährlichen Abfluss und klarer Trennung von der Charakteristik als „Seitengewässer“ (z.B. durch Sammler, Retention, grosse Distanz). Den Charakter als Talgewässer kann ein Gewässer in der Regel nur dann erhalten, wenn dieser bis zur Einmündung in einen Vorfluter erhalten bleibt. Generell gelten nachstehend explizit oder beispielhaft genannte Gewässer als Talgewässer:

- Die Kantongewässer gemäss Wasserbaugesetz und vergleichbare Gewässer (explizit):
 - Seez ab Schluchtausgang (Rüfi) in Mels
 - Thur ab Unterwasser
 - Linthkanal
 - Rhein
 - Necker ab inkl. Brücke Neckerwis in St. Peterzell
 - Glatt ab Glattweier, Burgruine Helfenberg
 - Sitter ab Zufluss des Urnäsch
- Die grossen Binnenkanäle (beispielhaft)
 - Vilterser-Wangser-Kanal ab Zusammenfluss Vilterserbach und Grossbach in Vilters
 - Werdenberger Binnenkanal ab Panzergraben bei Plattis
 - Saar-Giessen ab inkl. Brücke zwischen Campion und Bofel
 - Rheintaler Binnenkanal ab Zufluss Steinenbach bei Äugstisried
- Ins Tal strömende Gewässer mit wirksamem Puffer (Sammler, Retention), Beispiele:
 - Simmi ab Sammler Wolfhag
 - Gasenzenbach ab Sammler bei Maad
 - Dürrenbach ab Sammler bei Hueb
 - Aubach (Eichberg) ab Sammler bei Chäppli
 - Widenbach (Altstätten) ab Sammler bei Hinterforst
- Alle Entwässerungsgräben in Meliorationen, die nicht einem Seitengewässer angeschlossen sind.
- Alle Gewässer, welche in der Erstbeurteilung als solche behandelt wurden (explizit).

Sofern künftig neue Gewässer beurteilt werden, welche oben nicht genannt sind, so müssen sie der oben umschriebenen Charakteristik entsprechen. Als wirksame Puffer, welche einen Übergang von einem Seiten- zu einem Hauptgewässer bilden können, gehören:

- stehende Gewässer
- Retentionsbecken, die neueren Bemessungskriterien genügen
- grössere Sammler, die nicht offensichtlich umflossen oder mit relevanten Geschiebemengen durchströmt werden können.

Der dem Puffer anschliessende Gewässerabschnitt muss vollständig und bis zur Einmündung in seinen Vorfluter der typischen Charakteristik eines Talgewässers entsprechen. Ein Sammler oder eine Retention stellen lediglich eine klare Trennung von Seiten zu Talgewässer dar.

2.2 Benötigte Querschnittflächen

Der benötigte Querschnitt ergibt sich in einem gegebenen Profil aus der Höhe der Fliesstiefe plus der halben Geschwindigkeitshöhe. In aller Regel reicht es aus, wenn das Querprofil vereinfacht aufgenommen und die Aufnahmen teilweise mit Standardwerten ergänzt werden. Oft finden sich an Brücken und Durchlässen Spezialkonstruktionen, deren Auswirkungen auf den Abfluss nicht ohne weiteres erfassbar sind und deren Beurteilung darum schwer fällt. Dazu gehören:

- Beschleunigungsstrecken
- Überfälle direkt vor dem Einlauf

- Trichterförmige Zuleitung auf eine Einschnürung

Solche Konstruktionen wurden typisiert und mit dem 2D-Modellierungsprogramm FLUMEN in hoher räumlicher Auflösung modelliert. Dadurch sollten Auswirkungen der Konstruktionen gefunden werden, welche sich verallgemeinern lassen und nicht in jedem Fall aufwändige Abklärungen erfordern. Ebenso wenig soll dabei auf rein gutachterliche Beurteilung abgestellt werden, da hier die rein intuitive Beurteilung der Situation zu Fehlschlüssen führen kann und publizierte Grundlagen zur Unterstützung der Beurteilung sind für die hier nötige Anwendung nicht zu finden. Die wichtigsten Ergebnisse der Modellierungen, welche die nachfolgenden Aussagen stützen, sind in Abbildung 3, Kapitel 3, zusammengestellt.

Beschleunigungsstrecken

Eine eindeutig günstige Wirkung zeigen sie, wenn die Sohle ohne Einschnürung durch den Durchlass erfolgt. Vergleicht man die benötigte Fliesstiefe vor Beginn der Beschleunigung mit jener vor dem Durchlass, so ist nach der Beschleunigungsstrecke die benötigte Fliesstiefe um 10 bis 25% geringer. Liegt das Verhältnis von Fliesstiefe zu Sohlenbreite bei ca. 1, so ist der geringste Effekt zu verzeichnen, bei einem Verhältnis von ca. 0.1 der grösste.

Beschleunigungsstrecken kombiniert mit Einschnürung

Hier gilt für alle untersuchten Fälle, dass der benötigte Querschnitt vor der Beschleunigungsstrecke geringer ist als beim Durchlasseinlauf. Die hier untersuchte Einschnürung ist geringfügig: Die Sohlenbreite des steilen Trapezprofils nimmt beim Einlauf von 2 m auf 1.3 m ab. Im Falle des trichterförmigen Zuflusses wird die Einschnürung über eine Länge von 20 m erreicht. Der Fall „Wand“ bildet links und rechts am Einlauf Anprallwände von je 0.35 m. Trotz geringer Einschnürung sind die Auswirkungen bemerkenswert.

Trichterförmiger Zufluss: Der benötigte Querschnitt ist vor der Beschleunigungsstrecke zwischen 2 und 20% geringer als beim Einlauf.

Abrupter Übergang mit „Wand“: Der benötigte Querschnitt ist vor der Beschleunigungsstrecke zwischen 20 und 30% geringer als beim Einlauf.

Fazit aus den Betrachtungen

Eine günstige Wirkung ist bei Beschleunigungsstrecken grundsätzlich nur dann zu erwarten, wenn das Durchflussprofil nicht eingeschnürt wird. Wenn aufgrund der Lage und Bedeutung der potentiellen Schwachstelle kein besonderer Aufwand gerechtfertigt ist, sollte der benötigte Querschnitt trotz geringfügig schlechterer Einschätzung vor der Beschleunigungsstrecke ermittelt werden. Dort dürfte annähernd Normalabfluss herrschen, während innerhalb einer Beschleunigungsstrecke die Fliesstiefen und –geschwindigkeiten nicht ohne weiteres zu bestimmen sind. Rechtfertigt sich ein besonderer Aufwand, so soll eine vertiefte Abklärung erfolgen.

2.3 Massgebendes Gefälle

Das Gefälle ist im Gelände so zu bestimmen, dass die Zuflussbedingungen auf einen Durchlass oder ein Brücke zutreffend ermittelt werden. Erst bei sehr flachen Gefällen oder ausgeprägt instationärem Abfluss, wenn Wasserspiegelneigung und Sohlenneigung sich deutlich unterscheiden, können 1D- oder 2D-Modellierungen nötig werden, um entweder die Sohlenneigung oder Wasserspiegelneigung genauer zu bestimmen. Auch diese Vertiefung der Betrachtung ist nur gerechtfertigt, wenn die Auslösestelle von herausragender Bedeutung ist.

2.4 Rückhaltebauwerke für Treibgut

Sehr oft sind bei Durchlasseinläufen Rechenkonstruktionen angeordnet. Ungeachtet der Gründe für solche Konstruktionen müssen spezielle Bedingungen erfüllt sein, damit eine günstige Wirkung im Sinne einer Verringerung der Verklauungswahrscheinlichkeit berücksichtigt werden darf. Für Rückhaltebauwerke sind unterschiedlichste Ergebnisse möglich:

- Wirkung ungünstig, Erhöhung der Verklauungswahrscheinlichkeit um eine Klasse
- Wirkung neutral, keine Veränderung der Verklauungswahrscheinlichkeit
- Wirkung günstig, Verringerung der Verklauungswahrscheinlichkeit um eine Klasse
- Verklauungssichere Bauweise, Verklauungswahrscheinlichkeit ist 0

Ungünstige Wirkung

Rechen, welche direkt dem Durchlass aufliegen, werden als ungünstig beurteilt. Die Verklauungswahrscheinlichkeit wird in aller Regel um eine Klasse heraufgesetzt, jedoch die maximale Verklauungswahrscheinlichkeit nicht überschritten.

Neutrale Wirkung

Liegt das Rückhaltebauwerk einige Meter vor dem Einlauf und steht nur ein minimaler Rückhalteraum zur Verfügung, so wird die rechnerische Verklauungswahrscheinlichkeit übernommen.

Günstige Wirkung

Eine eindeutig günstige Wirkung ist gegeben, wenn das Rückhaltebauwerk auf einen wirksamen Rückhalt von Treibgut bemessen ist. Minimal muss kumulativ gegeben sein:

- Der Rückhalteraum für Treibgut ist angemessen. Es kann schadlos Treibgut auf einem mehrfachen der Sohlenbreite zurückgehalten werden.
- Der Rechen liegt nicht unmittelbar auf der Einlassöffnung.

Verklauungssichere Bauweise

In der Regel handelt es sich dabei um Spezialbauwerke, für welche der Nachweis im Einzelnen erbracht werden muss. Besondere Bedeutung haben verklauungssichere Bauweisen bei Retentionsräumen, wo ein sicherer gedrosselter Abfluss gewährleistet sein muss. Als generelle Minimalanforderungen für Verklauungssicherheit gelten:

- Aufteilung in Grob- und Feinrechen
- Die Rechenflächen weisen einzeln ein mehrfaches der Fläche des Einlaufes auf
- Es steht ein grosser bis sehr grosser, nahezu strömungsfreier Rückhalteraum zur Verfügung.

Vorgesaltete Bauwerke

Gelegentlich liegen Rückhaltebauwerke in einiger Distanz zum beurteilten Durchlass. Solche Bauwerke dürfen grundsätzlich berücksichtigt werden.

Wenn jedoch das Zwischenstück über ca. 100-150 m lang ist und mindestens einer der nachfolgenden Fälle vorliegt, darf das Bauwerk nicht berücksichtigt werden:

- Relevanten Mengen von Zivilisationsmüll (Abfall, illegale Einbauten etc.) zu erwarten sind
- Sohle und Böschungen unverbaut (und erosionsanfällig) und Ufer oder der ufernahe Bereich bestockt ist
- das Gewässer im Wald liegt
- Ein relevantes Seitengewässer einmündet
- Augenfällige Hangprozesse (Sturz, Rutschung) bis ans Ufer reichen oder der Gerinneabschnitt im Einflussbereich von Lawinen liegt.

2.5 Begrenzung bei hohen Fließgeschwindigkeiten

Die KOHS hat Vorschläge zur Bemessung von Freiborden publiziert [1], inkl. Minima und Maxima. Relevante Widersprüche zwischen der Ermittlung der Verklauungswahrscheinlichkeit und den Anforderungen an das Freibord KOHS sollen vermieden werden. In aller Regel soll eine Verklauungswahrscheinlichkeit von 0 resultieren, wenn die Freibordbedingungen nach KOHS eingehalten sind. Die KOHS äussert sich nicht zu einer Versagenswahrscheinlichkeit bei ausreichendem Freibord und quantifiziert die Folgen nicht, falls das Freibord nicht ausreicht. Die Berechnung der Verklauungswahrscheinlichkeit erfolgt daher nach wie vor über das Verhältnis von verfügbarem zu benetztem Querschnitt.

Die rechnerisch ermittelte Verklauungskennziffer wird analog zur KOHS-Empfehlung nach oben begrenzt. Das minimale Freibord von 0.3 m gemäss KOHS wird bei der Bemessung der Verklauungskennziffer nicht berücksichtigt. Hier gilt nach wie vor und ohne Ausnahmen das Verhältnis der benetzten und verfügbaren Querschnittsfläche.

Das maximale Freibord soll bei der Bemessung der Verklauungsszenarien hingegen berücksichtigt werden. Beträgt das Freibord mehr als 1.5m (maximales Freibord gemäss KOHS [1]), so wird die Verklauungswahrscheinlichkeit in der Regel auf 0 gesetzt. Dabei sind nachfolgende Bedingungen bei der Bestimmung der Verklauungswahrscheinlichkeiten einzuhalten:

- Besteht ein Auflandungsszenario, so werden der verfügbare und der benetzte Querschnitt oberhalb der erwarteten Auflandungshöhe gleicher Häufigkeit (Jährlichkeit) ermittelt. (Vgl. dazu Kapitel 3.5 in [1], wo die Berücksichtigung der Sohlenveränderung beim Ereignis explizit erwähnt wird). Ist die Eintretenswahrscheinlichkeit der Auflandung kleiner 1, so kann die insgesamt resultierende Verklauungswahrscheinlichkeit gutachterlich um eine Klasse (25%) verringert werden. Die Auflandungshöhe wird jedoch nicht angepasst.
- Mögliche Sohlenabsenkungen während des Ereignisses dürfen für die Berechnung der Verklauungswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt werden.
- Langfristige Sohlenveränderungen (Kapitel 3.5 in [1]) werden bei der Berechnung der Verklauungswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt.
- Wäre das gemäss Beurteilung der Verklauungswahrscheinlichkeit notwendige Freibord erheblich grösser als das maximale Freibord nach KOHS, so muss im Einzelfall beurteilt werden, ob die Verklauungswahrscheinlichkeit auch bei einer Reduktion auf das maximale Freibord nach KOHS auf 0 gesetzt werden kann. Insbesondere bei murfähigen oder sehr steilen Gerinnen ist diese Einzelfallbeurteilung nötig.

2.6 Verklauungswahrscheinlichkeiten gutachterlich anpassen

In den Kapiteln 2.1 bis 2.5 sind die Kriterien für die Beurteilung der Verklauungswahrscheinlichkeiten umschrieben. Diese können jedoch nicht jeden Sonderfall ausreichend erfassen. Ebenso wenig macht es Sinn, zu viele Einzelabklärungen vorzunehmen, wenn es sich nicht um eigentliche Spezialbauwerke handelt. Folgende Hinweise können die Entscheidung erleichtern, gutachterliche Anpassungen vorzunehmen:

- Ist eine Schwachstelle von besonderer Bedeutung, weil das Versagen zu grossräumigen oder folgenschweren Überflutungen führt, so werden diese Fälle mit Vorteil von Beginn weg mit dem Auftraggeber abgesprochen. Damit kann eher sichergestellt werden, dass grossräumig gesehen, ähnliche Beurteilungen erfolgen.
- Ist der Anfall von Treibgut aller Art offensichtlich sehr unwahrscheinlich, kann eine günstigere Beurteilung in Abweichung der oben formulierten Kriterien oder der rechnerischen Bestimmung erfolgen.

- Weist eine Auslösestelle extrem ungünstige, konstruktive Eigenschaften auf, so kann eine Verklausungswahrscheinlichkeit gutachterlich erhöht werden. Beispiele dazu sind Fachwerkkonstruktionen, ungünstiges Längenprofil (Wechsel von Schiessen zu Strömen, Deckwalze), ausgeprägte Einschnürungen, Uferrutschungen in unmittelbarer Nähe oder ähnliches. Der Grund für eine gutachterliche Anpassung der Verklausungswahrscheinlichkeit ist in jedem Fall zu nennen.

2.7 Spezialbauwerke

Zu den Spezialbauwerken gehören grundsätzlich alle beweglichen Wehre, alle künstlich geschaffenen Retentionsräume und Trennbauwerke. Generelle Merkmale der Spezialbauwerke sind:

- Die Bedeutung der Einschätzung der Wirkung ist erheblich (grosse Überflutungen / Schäden bei Versagen der Bauwerke).
- Vereinfachte, standardisierte Verfahren reichen nicht aus.
- Die Bauwerke wurden hydraulisch in der Bauphase genauer abgeklärt (Detailrechnungen, Modellversuche).

Das Vorgehen bei Spezialbauwerken ist mit dem Auftraggeber im Einzelfall zu klären.

3 Modellierungen

Mit hydraulischen Modellierungen werden einzelne Fragestellungen gezielt untersucht. Es werden Gerinnegeometrien verwendet, welche die häufig auftretenden und massgebenden Fälle in generalisierter Form wiedergeben. Verwendet wird das hydraulische Modell Flumen, welches die tiefengemittelte Flachwassergleichung löst. Es werden daher nur hydraulische Effekte untersucht, welche mit einem solchen Modell auch bestimmt werden können. Konkret heisst dies, dass keine Übergänge von offenen Gerinnen in geschlossene nachgebildet werden. Die Abklärungen beschränken sich auf die Nachbildung von Gefällswechsel, Einschnürungen und Abstürzen, unterschiedliche resp. wechselnde Rauigkeiten und Kombinationen der genannten Einzeleffekte. Die Aufzählung der Kriterien zeigt, dass sehr viele Kombinationen möglich sind. Die Kombinationen sind daher auf die wichtigen Fälle eingeschränkt:

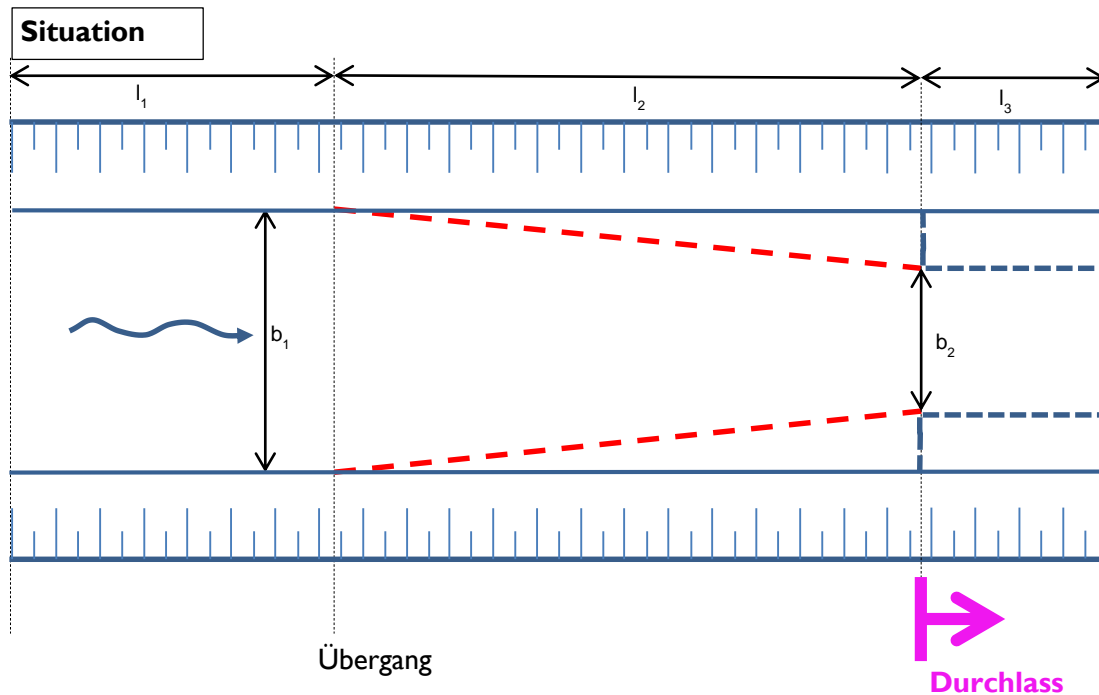
- Die massgebenden Geometrien im Bereich von Durchlässen und Brücken entstammen der Auswertung der Daten der Teilgebiete 4 bis 9. Trivialfälle ohne relevante Aussage oder komplexe Spezialbauwerke, die hohen Aufwand erfordern würden und keine Verallgemeinerung zulassen, werden weggelassen. Zu ersteren zählen die viel zu knappen Rohrdurchlässe an Kleingewässern. Ein komplexer Einzelfall ist beispielsweise die Auftrennung der Uze in Hauptgerinne und Hochwasserentlastungstollen.
- Grundsätzlich interessieren die Verhältnisse vor einem Einlauf in einen Durchlass (inkl. Brücken). Nicht untersucht werden die hydraulischen Vorgänge in einem Rohr oder Kanal resp. am Auslauf.
- Die Gefällsverhältnisse müssen so gewählt werden, dass die realen Fälle gemäss Datenauswertung aus den Teilgebieten 4 bis 9 gut repräsentiert werden.
- Die Abflüsse, Gewässerprofilformen, Gefällswchsel, Einschnürungen, Rauigkeiten entsprechen den häufig wiederkehrenden Fällen. Aus Gründen des Aufwandes sind die Kombinationen auf ein Minimum beschränkt. Die grosse Streuung der Abflussverhältnisse wird nachgebildet, indem mit der Variation der Abflussmengen auf einer einheitlichen Geometrie eine grosse Bandbreite der Verhältnisse von Fliesstiefe zu Sohlenbreite erreicht wird.

Als Profilformen werden steilwandige Trapezprofile verwendet. Die Durchlässe (Brücken und Rohre / Kanäle) werden ebenfalls als Trapezprofile mit sehr steilen Wänden dargestellt. Die Tiefe der Profile ist

so gewählt, dass keine Ausbrüche vorkommen. Die gewonnenen Daten sind nicht durch Ausbrüche verfälscht.

Es wird ausschliesslich mit konstanten Abflüssen (Blockganglinie) gerechnet. Letztlich interessieren die höchsten Abflüsse. Der Durchfluss ist solange konstant, bis sich stabile hydraulische Verhältnisse eingestellt haben.

Abbildung 1 Untersuchungstrecke, Situation schematisch



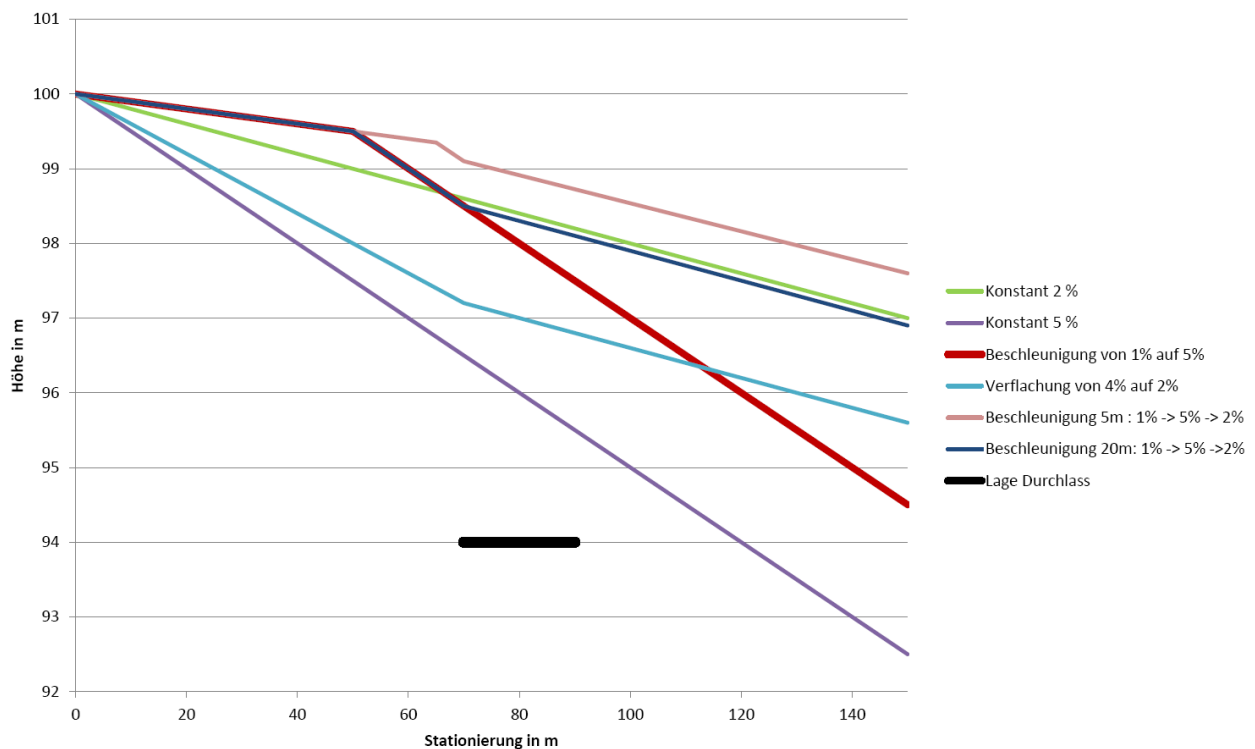
Die steilwandige Trapezform ist annähernd rechteckig im Querschnitt. Der Zufluss von links ist im Modell 50 m lang. Die ersten 30 m dienen der Einstellung des ungestörten Fließens (verfälscht durch Setzung der Quelle). Der Übergang liegt bei 50 m (l_1) und der Einlass bei 70 m (l_2). Der Verlauf der Sohle weist drei Varianten auf:

- Standard, durchgehend 2 m (blau, ausgezogen)
- Trichterförmig von 2 m auf 1.3 m (rot strichliert)
- Typ Wand, abrupte Verengung von 2 m auf 1.3 m (blau strichliert)

Die Gefällswechsel liegen in der Regel beim Übergang, teils am Durchlasseinlauf, teils zwischen Übergang und Durchlasseinlauf (vgl. Abbildung 3).

Da sich eine grosse Zahl an Kombinationen ergibt, wurden nach einigen Modellierungen die mutmasslich interessantesten Fälle ausgewählt und andere Kombinationen weggelassen.

Abbildung 2 Untersuchte Längsprofile



Zusätzlich zu den unterschiedlichen Geometrien wurden die Abflüsse so variiert, dass sich die in der Realität massgebende Bandbreite an Verhältnissen zwischen Fliesstiefe zu Sohlenbreite von ca. 1 bis 0.1 ergeben.

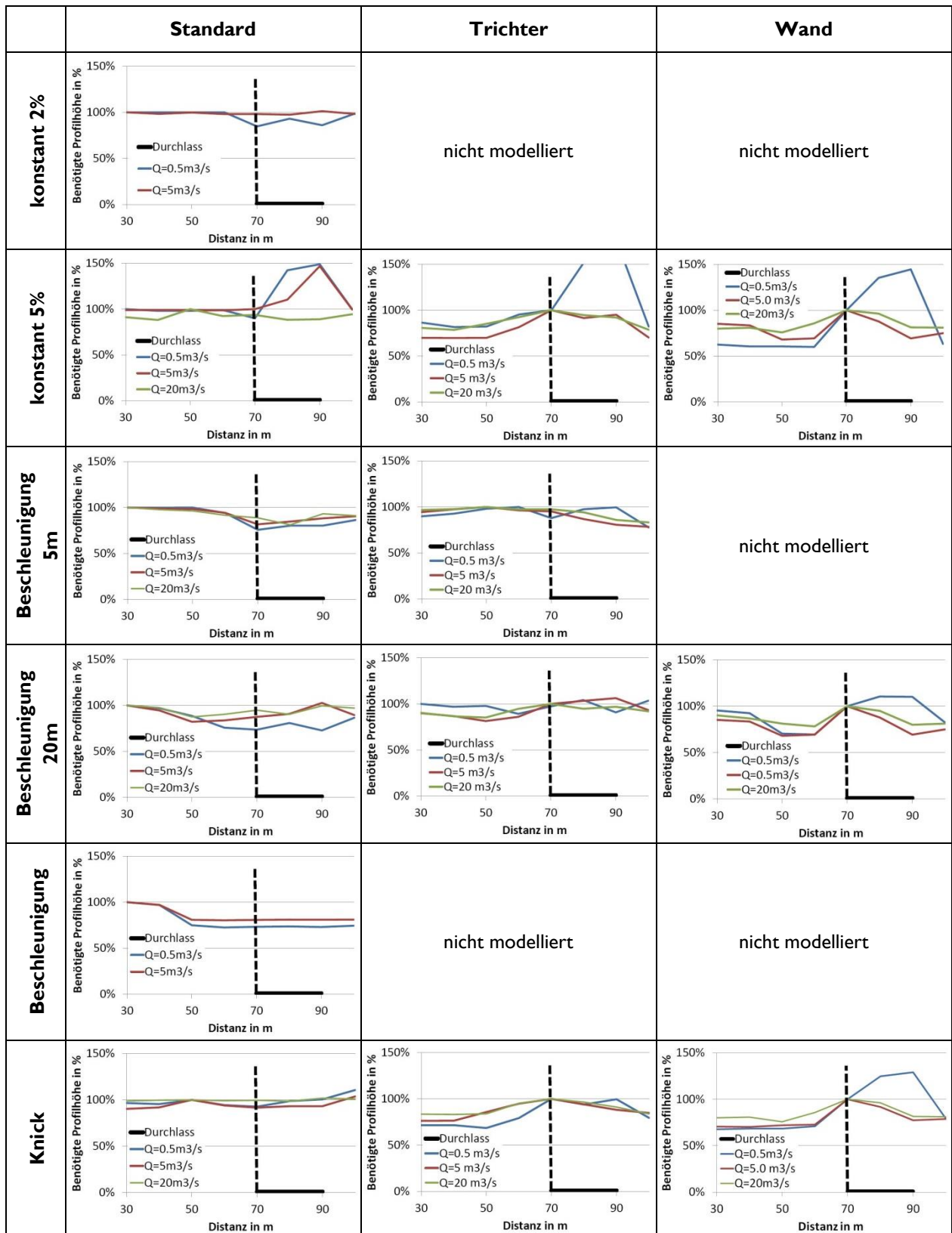
Tabelle I Durchgeführte Modellierungen

Längsprofil	Situation								
	Ohne Einschnürung			Verjüngung trichterförmig			Verjüngung Wand		
	0.5 m ³ /s	5 m ³ /s	20 m ³ /s	0.5 m ³ /s	5 m ³ /s	20 m ³ /s	0.5 m ³ /s	5 m ³ /s	20 m ³ /s
konstant 2%	X	X							
konstant 5%	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beschleunigung 5 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beschleunigung 20 m	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Beschleunigung Knick	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Die nachfolgende Übersicht stellt die wichtigsten Ergebnisse in dimensionsloser Form dar. Gewählt wurde die Fliesstiefe plus die halbe Geschwindigkeitshöhe, welche die obere Begrenzung des benötigten Querschnittes darstellt. Dieser wird bei der Ermittlung der Verklausungskennziffer dem verfügbaren Querschnitt gegenüber gestellt. Damit die im Modell stark unterschiedlichen metrischen Werte die Vergleichbarkeit nicht erschweren, wurden die Ergebnisse in Prozent umgerechnet.

In den Modellierungen konnten Rückwirkungen der Strömungsverhältnisse im „Durchlass“ nicht erfasst werden, da der „Durchlass“ nur durch die Verengung und den erhöhten Stricklerbeiwert (80) abgebildet wird. Das Gerinne weist eine Rauigkeit von 20 auf.

Abbildung 3 Übersicht Modellierungsergebnisse



4 Literatur / Unterlagen

- [1] Kommission Hochwasserschutz (KOHS), 2013: Freibord bei Hochwasserschutzprojekten und Gefahrenbeurteilungen, KOHS-Empfehlung Freibord.

St. Gallen, 28. September 2015

R. Bart

5 Anhang

5.1 Auswertungen Teilgebiete 4 bis 9

Um den Stellenwert verschiedener Parameter zu bestimmen, wurden die Verklausungsszenarien aus den Teilgebieten 4 bis 9 nach verschiedenen Kriterien ausgewertet. In die Auswertung einbezogen wurden nur Brücken und Durchlässe, welche keinen kreisförmigen Durchlass aufweisen, da diese in Modellierungen nur ungenügend eingebaut werden können. Die Abklärungen in den nachfolgenden Fällen erfolgten immer mit Berechnungen nach Strickler.

Die Auswertung erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Gefälle
- Sohlenbreite vor dem Durchlass / der Brücke
- Sohlenbreite des Durchlasses / der Brücke
- Abflusshöhe
- Fließgeschwindigkeit
- Abfluss
- Freibord vorhanden
- Freibord nach KOHS
- Verhältnis benötigter / vorhandener Querschnitt mit zusätzlichen Einschränkungen

In Abbildung 4 bis Abbildung 12 sind jeweils je 1375 Fälle total enthalten.

Abbildung 4 Anzahl Auslösestellen nach Gerinnegefälle

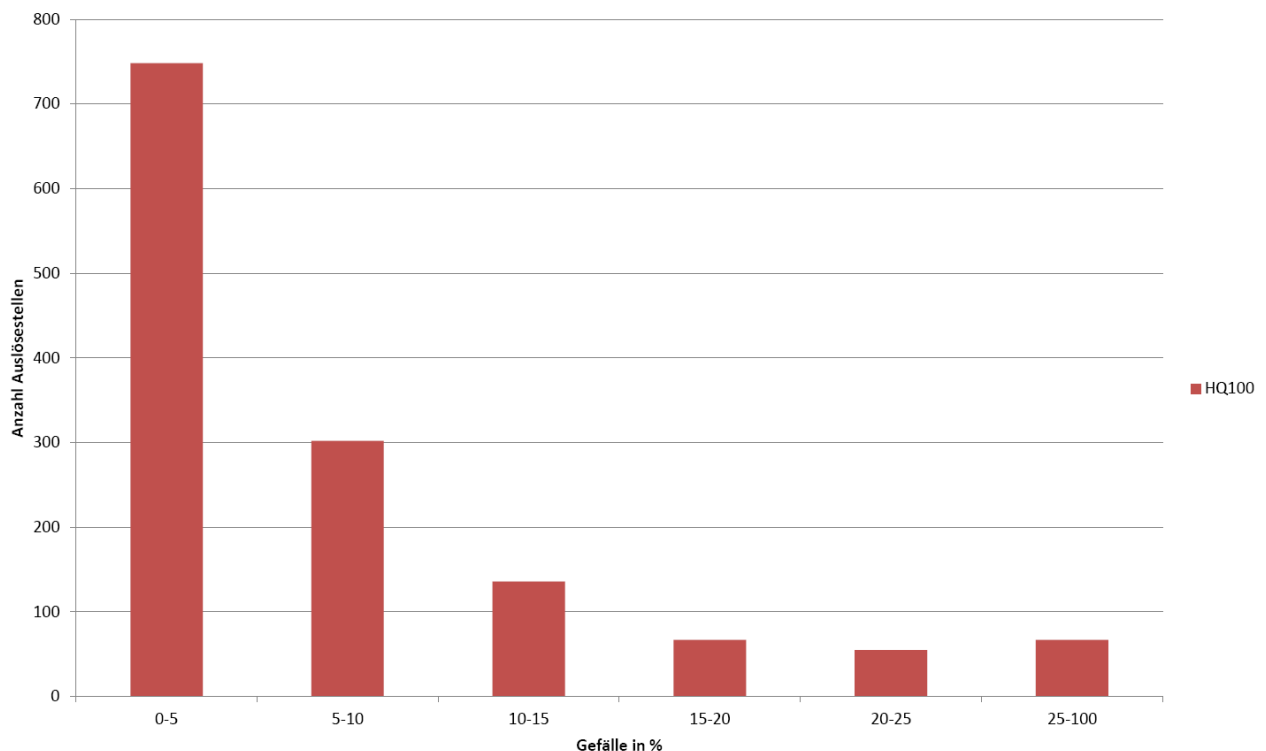


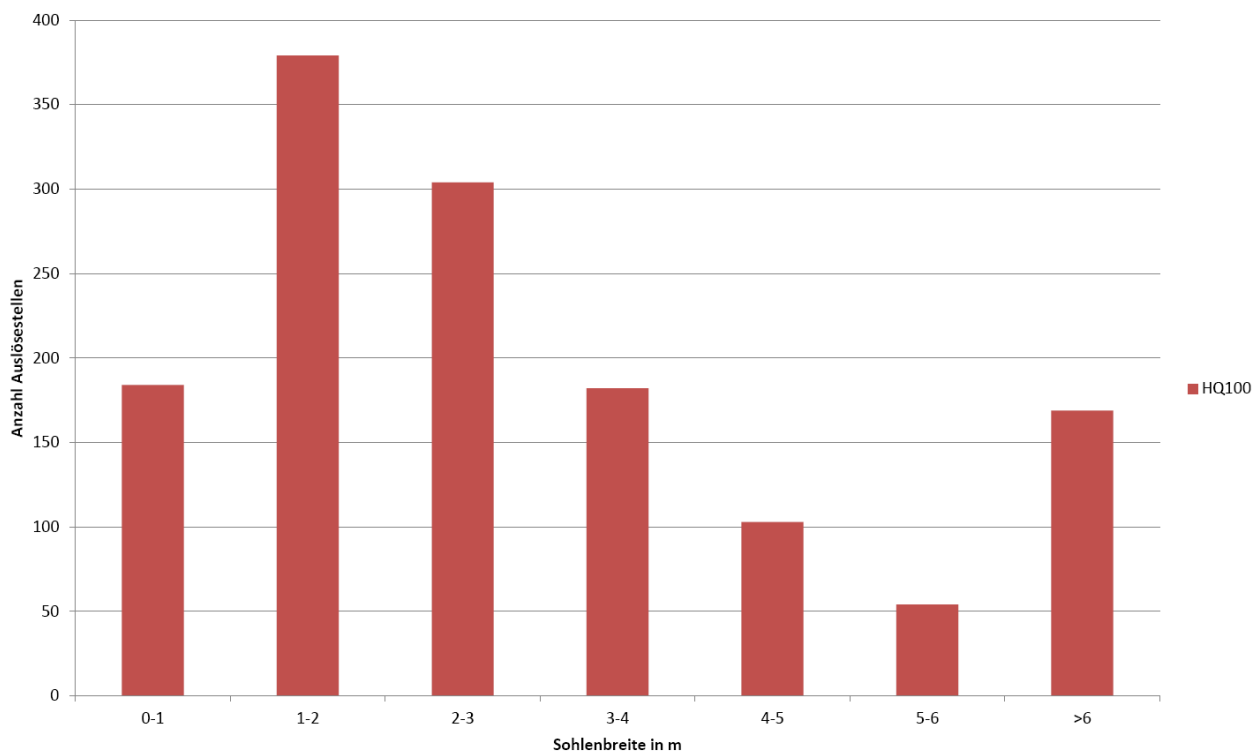
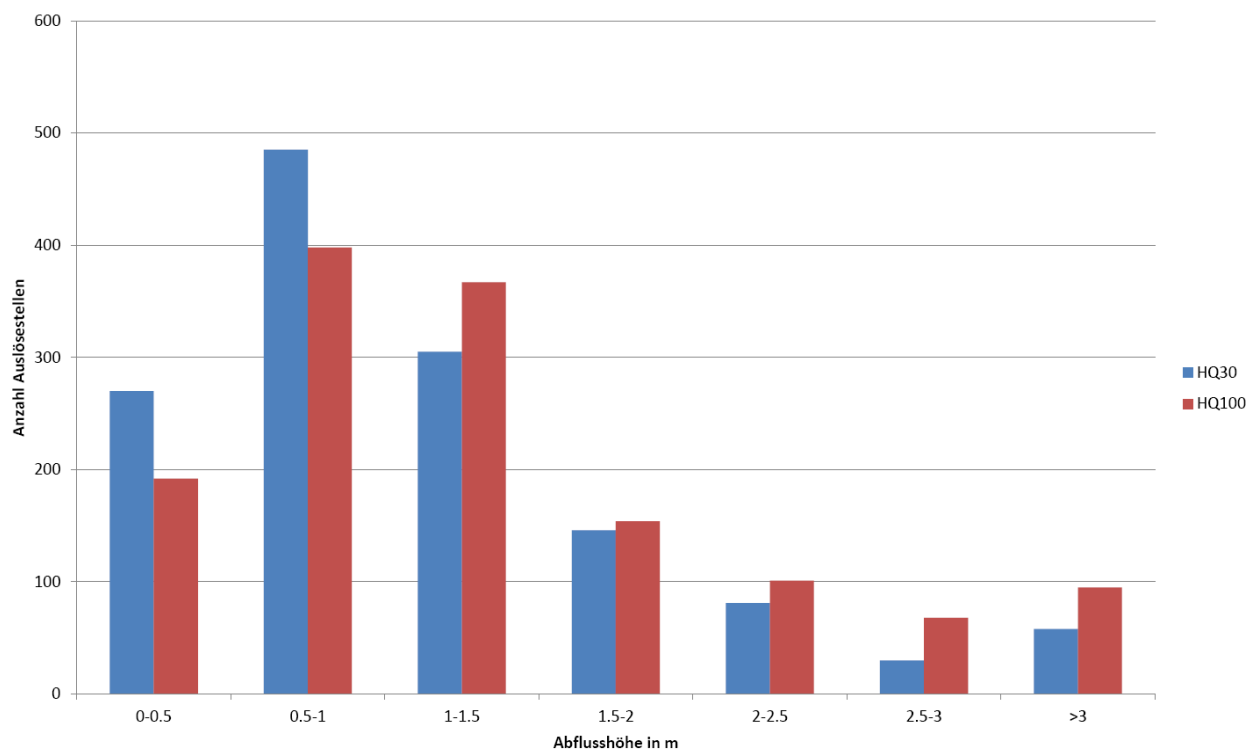
Abbildung 5 Anzahl Auslösestellen nach Sohlenbreite**Abbildung 6** Anzahl Auslösestellen nach Abflusshöhe

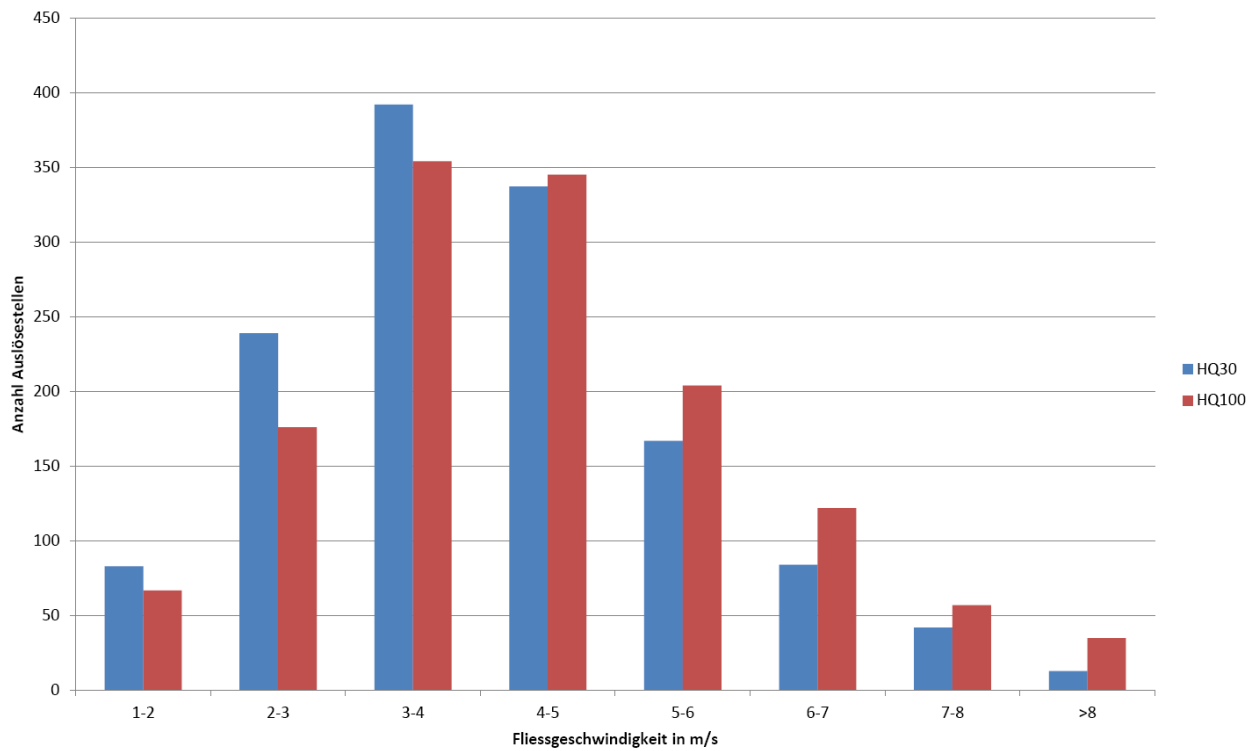
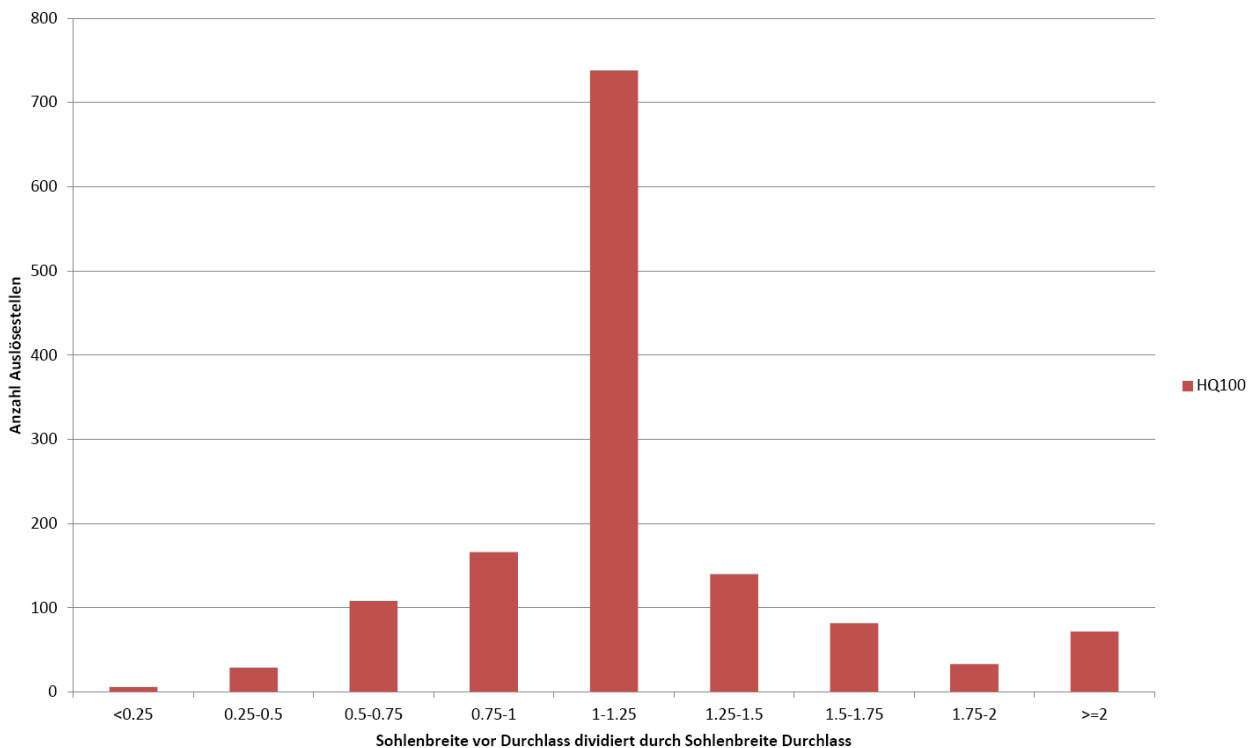
Abbildung 7 Anzahl Auslösestellen nach Fließgeschwindigkeit**Abbildung 8** Verhältnis Sohlenbreite vor Durchlass / Sohlenbreite Durchlass

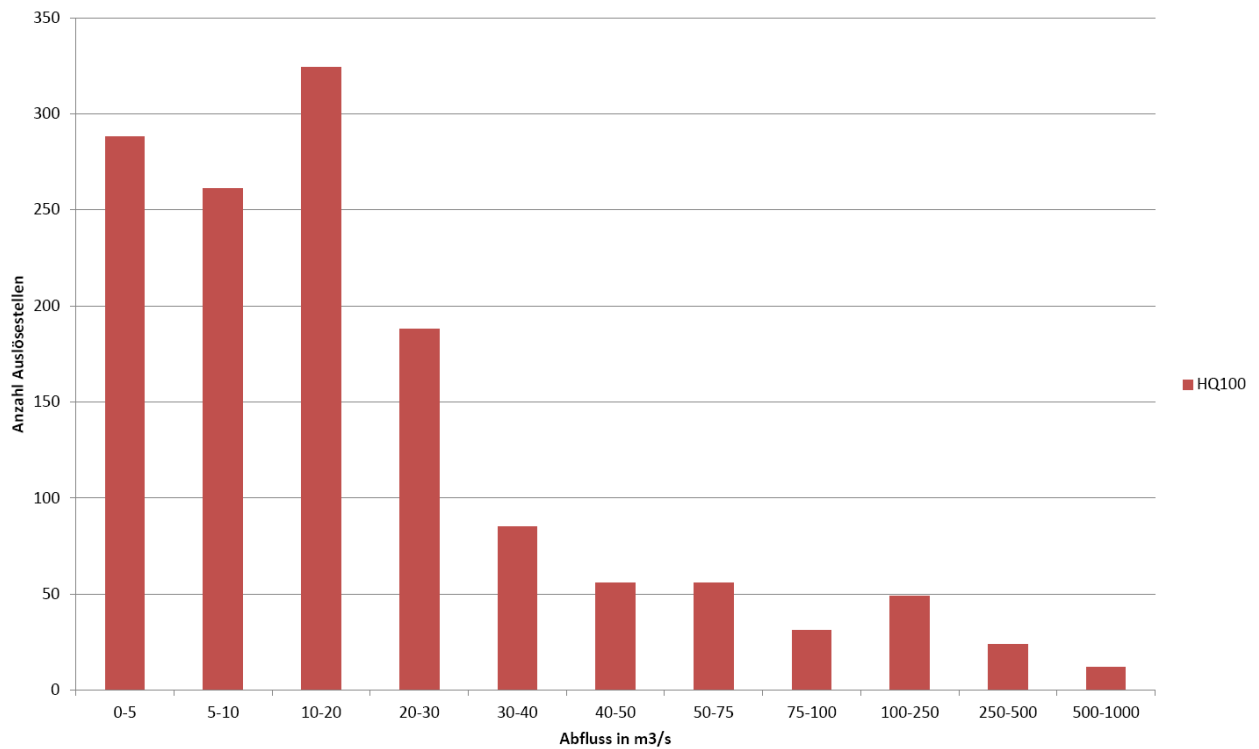
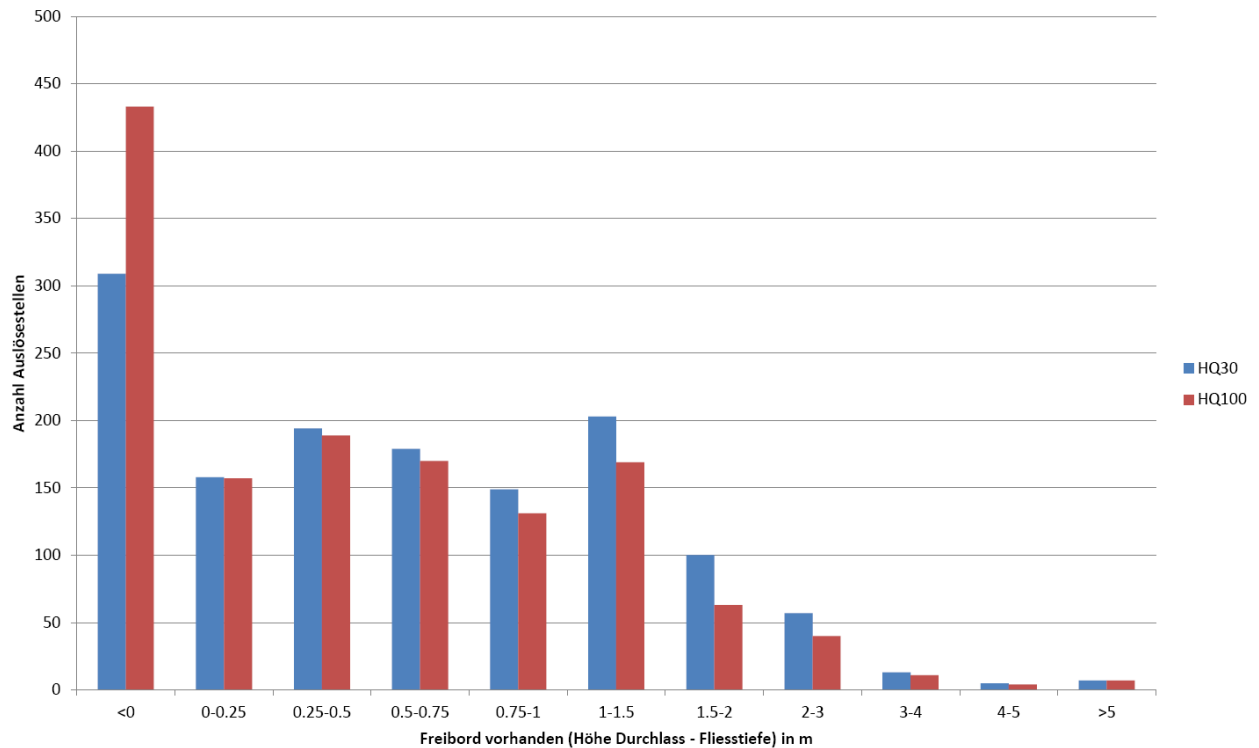
Abbildung 9 Anzahl Auslösestellen nach Abfluss**Abbildung 10** Anzahl Auslösestellen nach vorhandenem Freibord

Abbildung 11 Differenz Freibord vorhanden minus Freibord nach KOHS

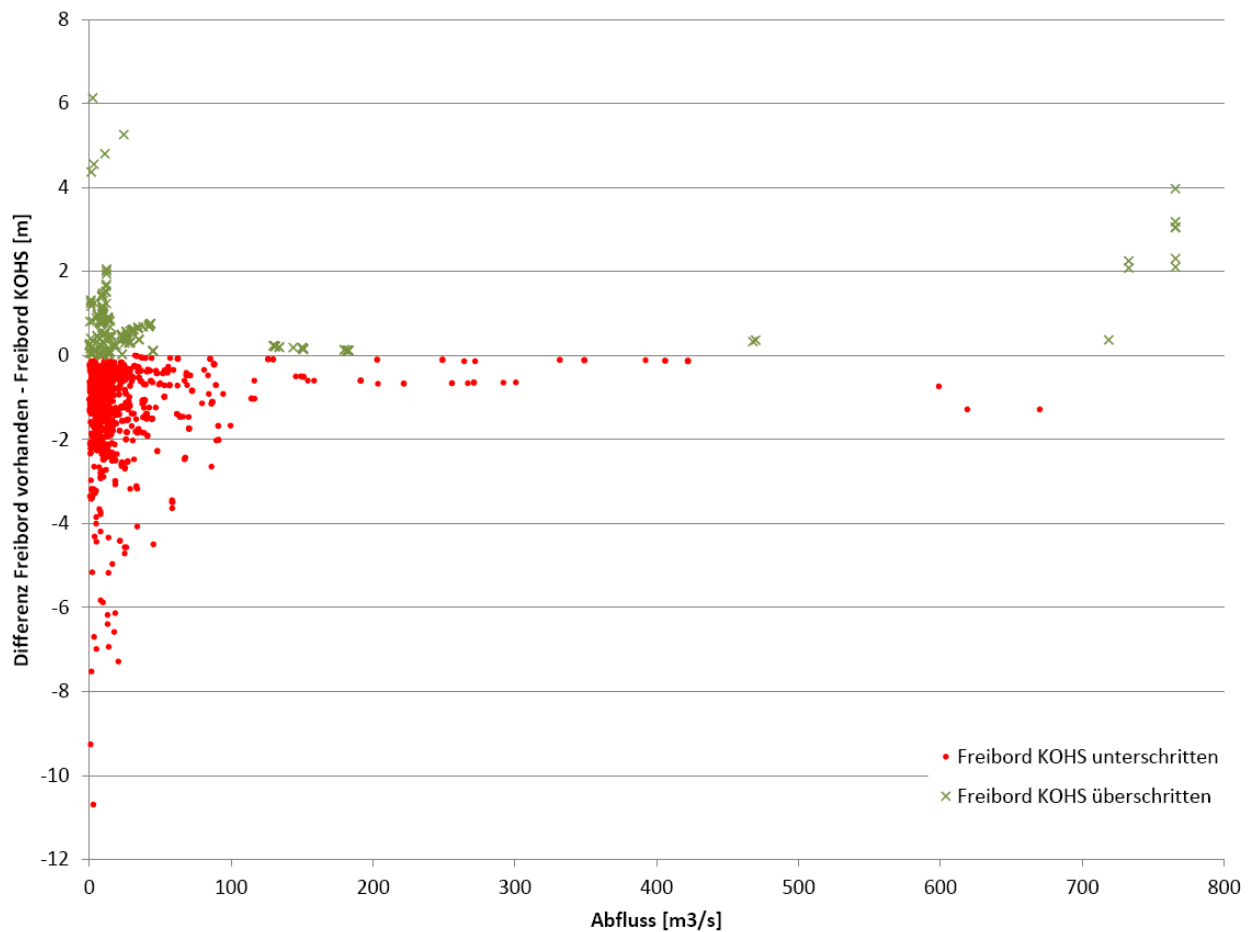
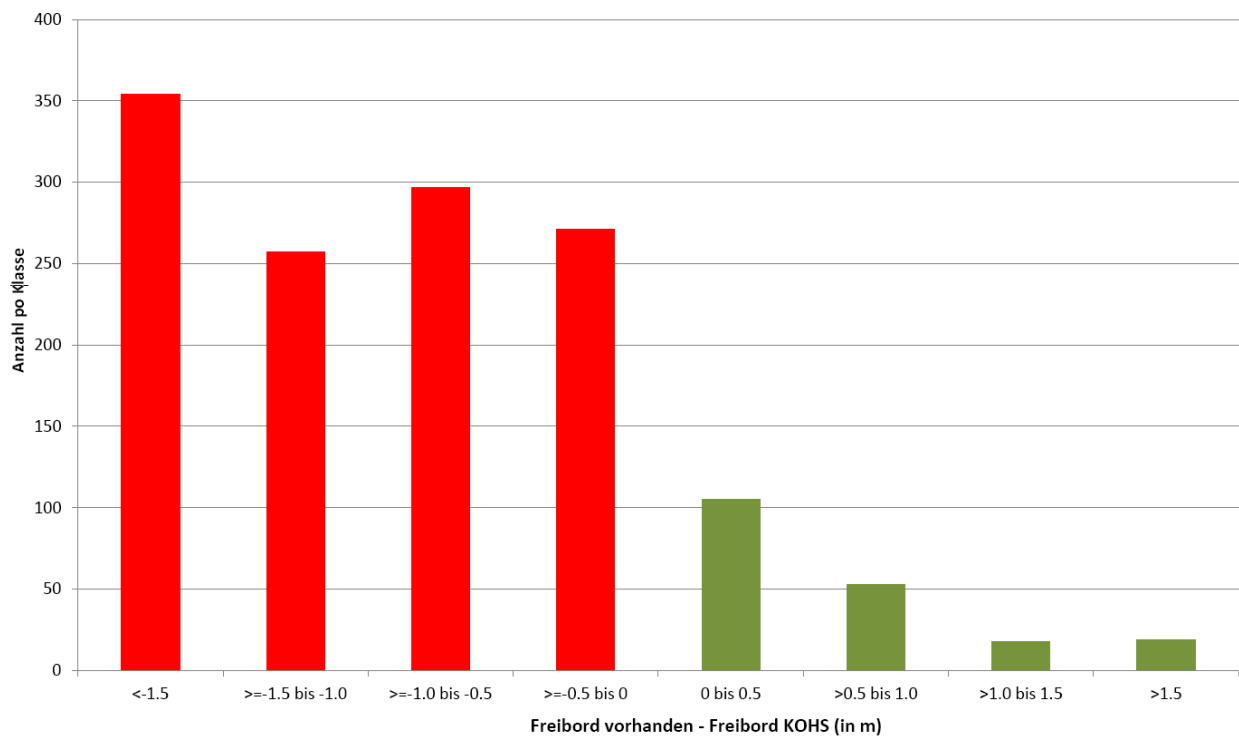


Abbildung 12 Differenz Freibord vorhanden minus Freibord nach KOHS in Klassen



Die KOHS-Empfehlung für die Freibordberechnung definiert 0.3 m als minimales Freibord. Um zu verhindern, dass bei hohen Fließgeschwindigkeiten das erforderliche Freibord sehr gross wird, soll zudem ein maximales Freibord definiert werden. In Gewässern mit fluvialen Geschiebetransport wird eine obere Grenze von maximal 1.5 m vorgeschlagen. In murfähigen Wildbächen könne durchaus ein grösseres, maximales Freibord gefordert werden.

Tabelle 2 Verhältnis verfügbarer Querschnitt / benötigter Querschnitt

	<1	>=1	Total
HQ30	752	622	1374
HQ100	927	447	1374

Tabelle 3 Anzahl Szenarien mit grösserem Querschnitt als benötigt; HQ30

HQ30	V <= 6 m/s	V keine Einschränkung	Total
Q > 5 m ³ /s	449	472	921
Q keine Einschränkung	597	622	1219

Tabelle 4 Anzahl Szenarien mit kleinerem Querschnitt als benötigt; HQ30

HQ30	V <= 6 m/s	V keine Einschränkung	Total
Q > 5 m ³ /s	416	510	926
Q keine Einschränkung	638	752	1390

Tabelle 5 Anzahl Szenarien mit grösserem Querschnitt als benötigt; HQ100

HQ100	V <= 6 m/s	V keine Einschränkung	Total
Q > 5 m ³ /s	327	361	688
Q keine Einschränkung	409	447	856

Tabelle 6 Anzahl Szenarien mit kleinerem Querschnitt als benötigt; HQ100

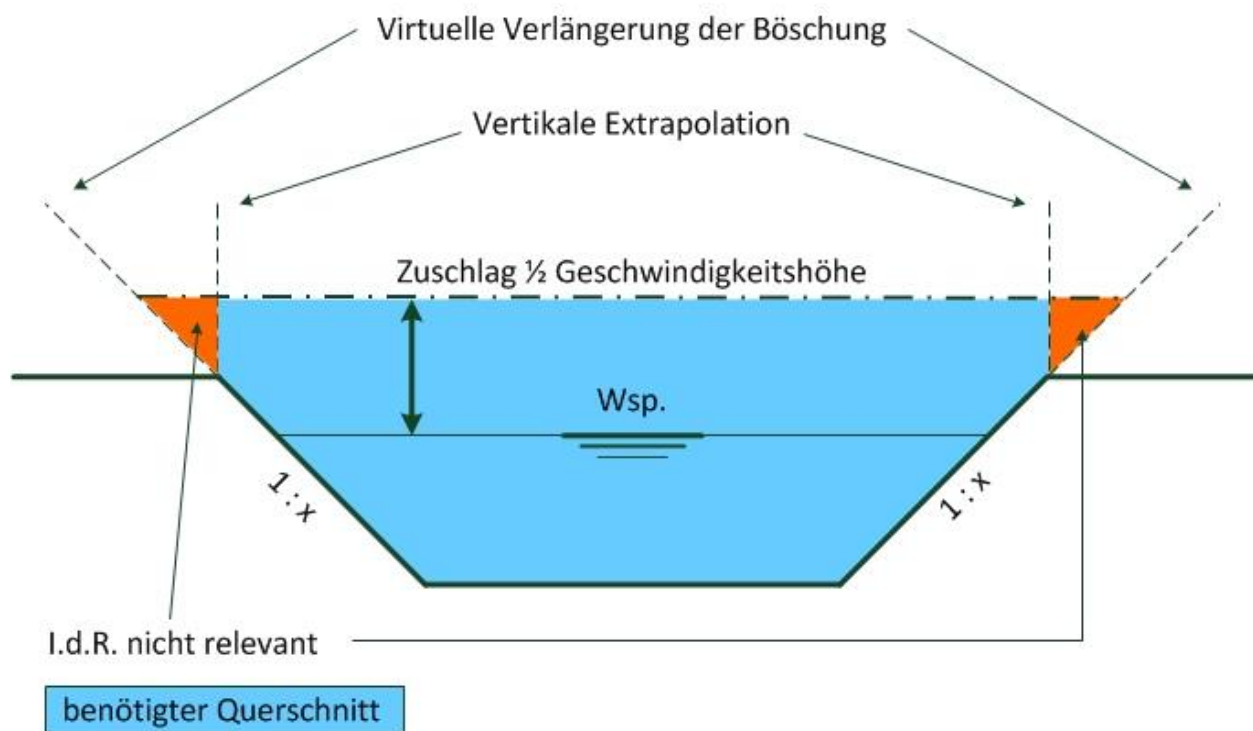
HQ100	V <= 6 m/s	V keine Einschränkung	Total
Q > 5 m ³ /s	564	725	1289
Q keine Einschränkung	751	927	1678

5.2 Ermittlung der benötigten Querschnittsfläche

Die grössten Unsicherheiten mit erheblichem Einfluss auf das Ergebnis liegen beim Gefälle. Es ist sinnvoll, dieses über einen längeren Abschnitt von einigen 10 m zu ermitteln. Bei sehr geringen Gefällen (weit unter 1% und allenfalls zusätzlichen Rückstauwirkungen) ist in wichtigen Fällen eine Modellierung zur direkten Ermittlung der benötigten Querschnittsfläche angezeigt.

Die Abbildung 13 zeigt nachfolgend die Bestimmung der Querschnittsfläche auf, wenn ein Teil davon über der Böschungskante liegt. In der Regel ist es unerheblich, ob die Böschungen virtuell verlängert oder lotrecht in die Höhe extrapoliert wird.

Abbildung 13 Benötigte Querschnittsfläche



St. Gallen, September 2015