

## Beurteilung der Verklausungsgefahr an Brücken oder Durchlässen

Die für eine Bewilligung erforderliche hydraulische Abklärungstiefe an einer Brücke oder einem Durchlass übersteigt jene, welche in Gefahrenabklärungen für die Bildung der Szenarien vorgenommen werden. Insofern ist die nachfolgend skizzierte Methode nicht eine Frage der hydraulischen Abklärungstiefe, sondern eine der Entscheidungsfindung nach klaren und einfachen Kriterien. Selbst mit grosstem Aufwand ist die „wahre“ Verklausungswahrscheinlichkeit nicht zu finden.

Der nachfolgende Ansatz stammt aus der Gefahrenbeurteilung. Dort existieren keine allgemein anerkannten Vorgehensweisen, die Wahrscheinlichkeit von Brückenverklausungen zu beurteilen. In den bisherigen Abklärungen im Kanton St. Gallen wurde mehrheitlich das nachfolgend beschriebene Vorgehen angewandt. Dessen Berücksichtigung gewährt bei der Planung einer Brücke oder eines Durchlasses, dass ein Bauwerk in einer nachfolgenden Gefahrenbeurteilung nicht überraschend ungünstig ausfällt. Das Vorgehen ist jedoch nicht vorgeschrieben.

### **Vorgehen:**

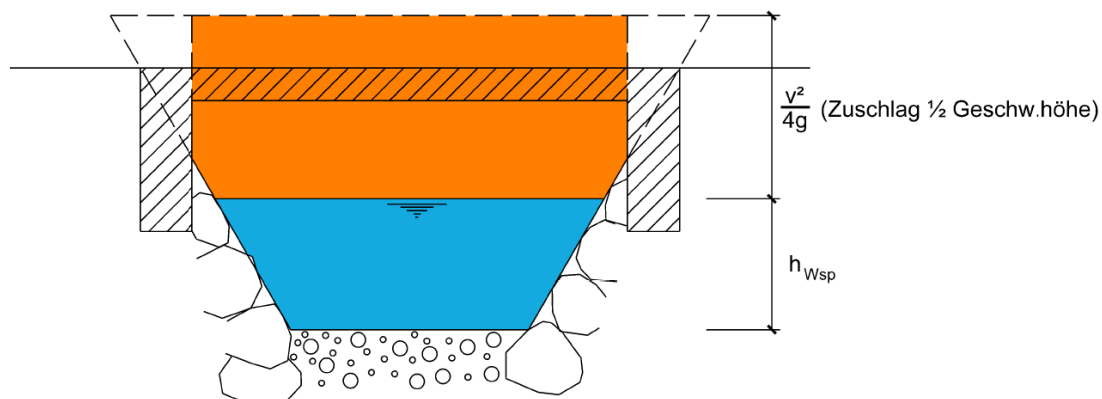
Anhand der messtechnischen Aufnahmen an Brücken und Durchlässen wird der verfügbare Durchflussquerschnitt (lichte Fläche des Einlaufquerschnittes) ermittelt. Mit hydraulischen Berechnungen, in der Regel punktuellen Betrachtungen, werden die Höhe des Wasserspiegels und die halbe Geschwindigkeitshöhe unmittelbar vor dem Hindernis bestimmt. Aufgrund dieser gesamten Höhe (Fliesstiefe + halbe Geschwindigkeitshöhe) und dem vorhandenen Gerinneprofil unmittelbar vor dem Einlauf kann der benötigte Querschnitt bestimmt werden.

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. Bei kurzen Beschleunigungsstrecken wird die Geschwindigkeit vor der Beschleunigungsstrecke ermittelt und unter Verwendung des Querprofils vor der Brücke oder dem Durchlass für die Berechnung des benötigten Querschnittes verwendet.

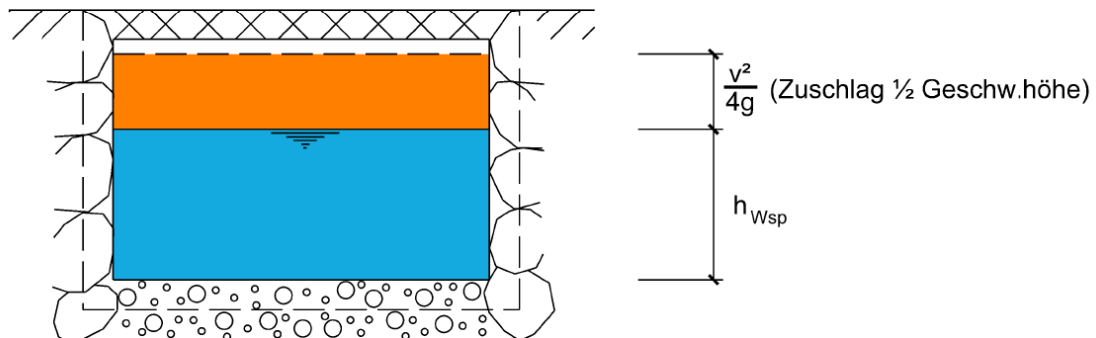
Aus dem Verhältnis der beiden Grössen (verfügbarer und benötigter Querschnitt) wird die Verklausungskennziffer bestimmt, welche zur Einschätzung der Wahrscheinlichkeit verwendet wird, mit welcher eine Brücke oder ein Durchlass verklausen kann.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen schematisch auf, wie die Bestimmung der benötigten Querschnittsfläche für die verschiedenen Typen (Brücke, rechteckiger und runder Durchlass) ermittelt wird.

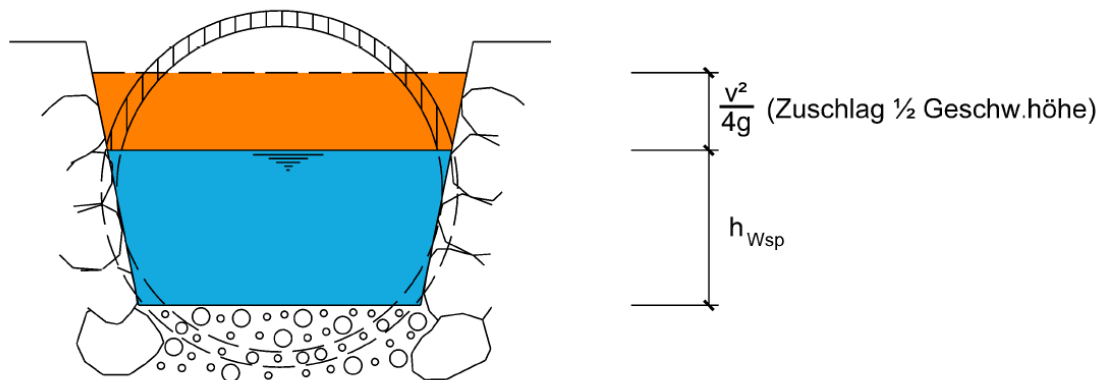
### **Brücke:**



### Rechteckiger Durchlass:



### Kreisförmiger Durchlass:







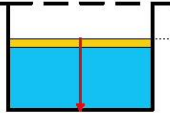
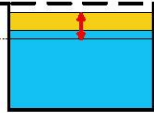


Um eine (Schein-) Genauigkeit zu vermeiden, wird die Verklauungswahrscheinlichkeit in regelmässig abgestufte Klassen eingeteilt. Sinnvollerweise ist zwischen Talflüssen und Seitenzubringern eine Unterscheidung zu machen. Der Regelfall unter den Gewässern im Kanton St.Gallen ist der Typ Seitengewässer. Die zu begründende Ausnahme mit günstiger Beurteilung der Verklauungswahrscheinlichkeit ist das Talgewässer. Diese Wahl ist bei Unklarheiten mit der entsprechenden Fachstelle (Abteilung Gewässer) abzusprechen.

### Seitengewässer:

Gewässer, welche nicht Talgewässer sind.

0-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer > 1.5
25-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer >= 1.1 bis < 1.5
50-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer >= 0.7 bis < 1.1
75-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer < 0.7

### Erläuterungen zu den Verklauungs - Szenarien (Seitengewässer)

Verhältnis verfügbarer Querschnitt / benötigter Querschnitt	> 1.5	>= 1.1 bis > 1.5	>= 0.7 bis > 1.1	< 0.7
Verklauungs- wahrscheinlichkeit	0 %	25 %	50 %	75 %
Symbolfarbe				
benötigter Querschnitt (Fliesstiefe [blau] und halbe Geschwindig- keitshöhe [orange])				




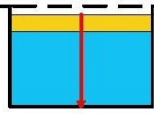
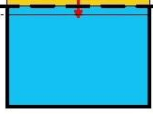
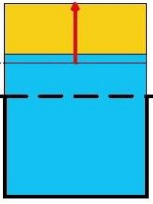
### Talflüsse (-gewässer):

Merkmale: ruhiger Abfluss, gleichmässiges geringes Gefälle, Einzugsgebietsflächen i.d.R. über ca. 20 km<sup>2</sup> und klarer Trennung vom Seitengewässer z.B. durch Sammler, Retention etc.. Es darf flussabwärts kein Gewässerabschnitt mit Eigenschaften eines Seitengewässers mehr vorkommen.

Ausnahme zu den oben genannten Erwägungen bilden die Entwässerungsgräben der Melioration, welche nicht an einem Seitengewässer angeschlossen sind. Eine genauere Beschreibung oder eine explizite Auswahl von Gewässern ist im Detailbericht „Technischer Bericht Verklauungsszenarien vom September 2015“ (Bauen, Raum & Umwelt -> Wasser und Energie AWE -> Naturgefahren -> [Downloads](#)) enthalten.

0-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer > 1.1
25-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer > 0.7 bis <= 1.1
50-%ige Verklauungswahrscheinlichkeit:	Verklauungskennziffer <= 0.7

## Erläuterungen zu den Verklausungs - Szenarien (Talgewässer)

Verhältnis verfügbarer Querschnitt / benötigter Querschnitt	<b>&gt; 1.1</b>	<b>&gt;= 0.7 bis &gt; 1.1</b>	<b>&lt; 0.7</b>
Verklausungs- wahrscheinlichkeit	0 %	25 %	50 %
Symbolfarbe			
benötigter Querschnitt (Fliesstiefe [blau] und halbe Geschwindig- keitshöhe [orange])			

Diese **Haupteinteilungen (Verklausungswahrscheinlichkeiten)** werden ausnahmsweise um max. eine Stufe angepasst und zwar nach folgenden Kriterien:

- **Ungünstige** konstruktive Details, wie ins Profil ragende Widerlager, scharfkantige Teile, Fachwerkkonstruktionen, ungünstige Lage im Gerinneverlauf (z.B. extreme Kurven, Überfälle unmittelbar vor der Brücke und ähnliches); sehr hohe Schwemmholzanteile sind zu erwarten.
- **Sehr günstige** konstruktive Elemente, wie deutliche Ausrundungen, Möglichkeit einer schadlosen Ausbildung eines Abflusses unter Druck, äusserst geringe Wahrscheinlichkeit von Auflandungen und geringe Wahrscheinlichkeit erheblicher Schwemmholzanteile.
- **Rückhalteinrichtungen für Treibgut (Rechen)**  
**Ungünstige Wirkung:** Rechen, welche direkt dem Durchlass aufliegen.  
**Neutrale Wirkung:** Liegt das Rückhaltebauwerk etwas vor dem Einlauf und steht nur ein minimaler Rückhalteraum zur Verfügung, darf keine Veränderung der rechnerischen Verklausungskennziffer erfolgen.  
**Günstige Wirkung:** Der Rückhalteraum ist für das anfallende Treibgut angemessen, es kann schadlos Treibgut auf einem Mehrfachen der Sohlenbreite zurückgehalten werden und der Rechen liegt nicht unmittelbar auf der Einlassöffnung.
- Die Verklausungskennziffer liegt nahe an einer Grenze zu höherer oder geringerer Verklausungswahrscheinlichkeit und ungünstige oder sehr günstige Verhältnisse liegen vor.

Die max. Verklausungswahrscheinlichkeit von 75% darf nie überschritten werden.



### **Verklausungssichere Bauweise:**

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

### **Vorgeschaltete Bauwerke:**

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

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

- Es sind relevante Mengen von Zivilisationsmüll (Abfall, illegale Einbauten etc.) zu erwarten.
- Die Sohle und Böschungen sind unverbaut (und erosionsanfällig) und die Ufer oder die ufernahe Bereiche sind bestockt.
- Das Gewässer liegt im Wald.
- Es mündet ein relevantes Seitengewässer ein.
- Augenfällige Hangprozesse (Sturz, Rutschung) reichen bis ans Ufer oder der Gerinneabschnitt liegt im Einflussbereich von Lawinen.

### **Begrenzung bei hohen Fliessgeschwindigkeiten**

Die KOHS hat Vorschläge zur Bemessung von Freiborden publiziert, inkl. Minima und Maxima. Relevante Widersprüche zwischen der Ermittlung der Verklausungswahrscheinlichkeit und den Anforderungen an das Freibord KOHS sollen vermieden werden.

Die KOHS äussert sich nicht zu einer Versagenswahrscheinlichkeit bei ausreichendem Freibord und quantifiziert die Folgen nicht, falls das Freibord nicht ausreicht. Die Berechnung der Verklausungswahrscheinlichkeit erfolgt daher nach wie vor über das Verhältnis von verfügbarem zu benetztem Querschnitt.

Das minimale Freibord von 0.3m gemäss KOHS wird bei der Bemessung der Verklausungskennziffer 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 Verklausungsszenarien hingegen berücksichtigt werden. Beträgt das Freibord mehr als 1.5m (maximales Freibord gemäss KOHS), so wird die Verklausungswahrscheinlichkeit für den Dimensionierungsfall (z.B. HQ 100) in der Regel auf 0 gesetzt. Dabei sind nachfolgende Bedingungen bei der Bestimmung der Verklausungswahrscheinlichkeiten einzuhalten:

- Besteht ein Auflandungsszenario, so werden der verfügbare und der benetzte Querschnitt oberhalb der erwarteten Auflandungshöhe gleicher Häufigkeit (Jährlichkeit) ermittelt (vgl. dazu Freibord KOHS; Kapitel 3.5, wo die Berücksichtigung der Sohlenveränderung beim Ereignis explizit erwähnt wird). Ist die Eintretenswahrscheinlichkeit der Auflandung kleiner 1, so kann die insgesamt resultierende Verklausungswahrscheinlichkeit gutachterlich um eine Klasse (25%) verringert werden. Die Auflandungshöhe wird jedoch nicht angepasst.
- Mögliche Sohlenabsenkungen während des Ereignisses dürfen für die Berechnung der Verklausungswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt werden.



- Langfristige Sohlenveränderungen (Freibord KOHS; Kapitel 3.5) werden bei der Berechnung der Verklausungswahrscheinlichkeiten nicht berücksichtigt.
- Wäre das gemäss Beurteilung der Verklausungswahrscheinlichkeit notwendige Freibord erheblich grösser als das maximale Freibord nach KOHS, so muss im Einzelfall beurteilt werden, ob die Verklausungswahrscheinlichkeit auch bei einer Reduktion auf das maximale Freibord nach KOHS auf 0 gesetzt werden kann. Insbesondere bei murfähigen oder sehr steilen Wildbachgerinnen ist diese Einzelfallbeurteilung nötig.

### Ausmass der Verklausung

Als Ausmass der Verklausung wird im Regelfall eine Vollverklausung angenommen. Davon kann bei Talflüssen unter gewissen Bedingungen abgewichen werden:

1. Ab einer Sohlenbreite von 10m
2. Bei sehr geringen Fliessgeschwindigkeiten (Froude-Zahl  $< 0.4$  beim HQ 100) und Sohlenbreiten grösser 3 m

Unter diesen Voraussetzungen darf angenommen werden, dass nur ein Teil des verfügbaren Querschnittes (Annahme 50% des Lichtraumprofils) zuschlagen wird. Das genaue Vorgehen (Bedingungen und Umgang bei Modellierungen) ist dem separaten Bericht „Beurteilung und Nachbildung von Teilverklausungen“ vom 14.09.2017 zu entnehmen (Bauen, Raum & Umwelt -> Wasser und Energie AWE -> Naturgefahren -> [Downloads](#)).

Eine mögliche Farbcodierung (Symbolfarbe) der Verklausungsszenarien ist:

Verklausungswahrscheinlichkeiten
0%
25%
50%
75%

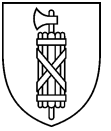
### Erläuterungen zum Ereignisbaum

Bisher ist eine **100-%ige Verklausung nicht verwendet** worden. Sie hätte folgende Nachteile:

- Es wird unmöglich, einen zweiten Fall auch noch zu betrachten, welcher für unterliegende Gebiete der schlimmere sein kann!
- In einem langen Gerinne führt dieser Fall zu extrem unrealistischen Ergebnissen, wenn die Verklausung weit oben liegt.
- Oft halten auch 100-%ige Verklausungen nur über eine gewisse Zeit an (spätes Einsetzen der Verklausung oder Wegreissen des Hindernisses selbst), so dass die 100-%ige Verklausung wirklich ein unrealistischer Fall ist.

Aufgrund der erwähnten Punkte ist **zu beachten**, wie mit Szenarien bei der Modellierung umzugehen ist:

- Es werden immer beide Möglichkeiten modelliert.
- Eine Verklausung setzt mit der Zeit ein und findet nicht bereits zu Beginn des Abflusses statt.
- Die Szenariowahrscheinlichkeit wird mit der Ereigniswahrscheinlichkeit verknüpft: Die Überflutung eines 100-jährlichen Ereignisses als Folge einer Verklausung mit



25-%ger Wahrscheinlichkeit weist in der betroffenen Fläche eine Wahrscheinlichkeit von 1/400 auf. Somit wird dieser Fall in der Intensitätskarte für das EQ abge-  
bildet.

**Gleiches gilt für das HQ 30. Wird dort eine Verklausungswahrscheinlichkeit z.B. von 50% ermittelt, weist die Wahrscheinlichkeit der betroffenen Fläche eine Wahrscheinlichkeit von 1/60 auf und eine Verklausung wird in der Intensitätskarte für das 100-jährlichen Ereignis dargestellt.** Es ist deshalb zwingend erforderlich, dass das HQ 30 auch berechnet bzw. nachgewiesen wird.

Bei Fragen steht Ihnen die Abteilung Wasserbau oder Naturgefahren selbstverständlich zur Verfügung.

St. Gallen, Dezember 2017 (ersetzt alle alten Versionen)