

Definition der Schutzhöhe beim Objektschutz Hochwassergefahren

Regelanwendung

12. September 2013

Auftraggeber

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen VKF
Bundesgasse 20 CH-3001 Bern

vertreten durch:

VKF - Fachkommission Technischer Elementarschutz FTE
Frank Weingardt (Präsident)
Claudio Hauser

Verfasser



Ueli Suter
Dipl. Umwelting. ETH
General - Wille Strasse 201
8706 Meilen
044 793 20 80
info@suterhydro.ch
www.suterhydro.ch

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Datenerhebung	1
3	Bestimmen der Schutzhöhe mit der Matrix-Methode	4
4	Bestimmen der Schutzhöhe mit der nomografischen Methode	6
5	Anhang	9
6	Literaturverzeichnis	18

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Festlegen der Neigung bei langem Hangfuss auf eine Länge von ca. 5-7 m2	
Abbildung 2: Festlegen der Neigung bei kurzem Hangfuss mit reduzierter Höhendifferenz	3
Abbildung 3: Skizze zur Interpretation der drei unterschiedlichen Anströmwinkel	3
Abbildung 4: Nomogramm zum Bestimmen der Fliessgeschwindigkeit	7
Abbildung 5: Diagramm zur Bestimmung der Fliessenergiehöhen	8
Abbildung 6: Bandbreite der Fliessgeschwindigkeiten bei 1 % Gefälle.....	9
Abbildung 7: Bandbreite der Fliessgeschwindigkeiten bei 3 % Gefälle.....	10
Abbildung 8: Bandbreite der Fliessgeschwindigkeiten bei 5 % Gefälle.....	10
Abbildung 9: Bandbreite der Fliessgeschwindigkeiten bei 10 % Gefälle.....	11
Abbildung 10: Bandbreite der Fliessgeschwindigkeiten bei 15 % Gefälle.....	11
Abbildung 11: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 1 %, Aufprallwinkel 90°	12
Abbildung 12: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 3 %, Aufprallwinkel 90°	13
Abbildung 13: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 5 %, Aufprallwinkel 90°	13
Abbildung 14: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 10 %, Aufprallwinkel 90°	14

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Matrix zum Bestimmen der Fliessgeschwindigkeit [m/s] aus Fliesstiefe und Gefälle	5
Tabelle 2: Matrix zum Bestimmen der Fliessenergiehöhe [cm] aus Fliessgeschwindigkeit und Aufprallwinkel	5
Tabelle 3: Hilfstabelle zur Festsetzung des Rauigkeitsbeiwertes	6

1 Einleitung

Die nachfolgende Regelanwendung soll die kantonalen Gebäudeversicherungen bei der Festlegung der Schutzhöhe beim Objektschutz vor Hochwasser unterstützen. Zielvorgabe ist, mit wenigen und einfach zu beschaffenden Eingabedaten eine sinnvoll abgestufte Schutzhöhe für den Objektschutz abzuleiten. Die Bestimmung der Schutzhöhe basiert auf der Summe der Fliesstiefe und der Fließenergiehöhe. „Wichtig zur Bemessung von Objektschutzmassnahmen sind Angaben zur Überschwemmungshöhe, Fließgeschwindigkeit und Mächtigkeit von Feststofferosionen und –ablagerungen“ (GVZ). Diese Daten wurden im Rahmen der Erstellung von Gefahrenkarten direkt oder indirekt erhoben. Diese Daten sind meistens nicht in einer räumlichen Auflösung vorhanden, dass direkt am Einzelobjekt eine Schutzhöhe abgeleitet werden kann. Das hier aufgezeigte Vorgehen erfordert deshalb die Aufnahme zusätzlich örtlicher Parameter.

2 Datenerhebung

Die Schutzhöhe ist hauptsächlich von der Fliesstiefe abhängig. Zusätzlich wird mit einfachen Mitteln die Fließenergiehöhe bestimmt. Viele der zu beurteilenden Fälle betreffen kleine Gerinne mit geringen Fliesstiefen oder zu schützende Objekte, welche sich nicht in unmittelbarer Nähe des Gewässers befinden, sondern im weitläufigeren Überflutungsbereich mit geringen Fliesstiefen. Aus diesem Grund wurde auf die Feststoffverfrachtung nicht detailliert eingegangen, sie wird pauschal in der minimalen Schutzhöhe mit einbezogen. Wo grössere Feststofferosionen und –ablagerungen erwartet werden müssen, wird ein Fachgutachten empfohlen.

Die Fließenergiehöhe ist abhängig von der Fließgeschwindigkeit und dem Aufprallwinkel auf das Objekt. Die hier aufgezeigte Matrix-Methode bestimmt die Fließgeschwindigkeit etwas vereinfacht aus der Fliesstiefe und der Hangneigung. Mit der Nomogramm-Methode können mit dem Zuziehen eines Rauigkeitswertes feiner abgestufte Werte für die Fließgeschwindigkeit hergeleitet werden. Da beide Methoden die Fließgeschwindigkeit unmittelbar am Schutzobjekt herleiten, sollten sie ganzheitlich angewendet werden. Ein Quereinstieg mit Fließgeschwindigkeiten aus anderen Quellen (z.B. aus 2D-Modellierungen) ist somit nicht korrekt und führt zu falschen Fließenergiehöhen und zu falschen Schutzhöhen.

Der vorliegende Ansatz für die Schutzhöhe beruht auf der Gleichung

$$H_{\text{Schutz}} = H_{\text{Fliesstiefe}} + H_{\text{Fließenergie}}$$

Die Schutzhöhe setzt sich also zusammen aus der Fliesstiefe und der Fließenergiehöhe. Diese wird nach der Formel $H_{\text{Fließenergie}} = v^2 \cdot 2g$ berechnet, wobei v die Fließgeschwindigkeit bedeutet. Trifft der Fließstrahl nicht frontal sondern schräg

oder gar parallel auf ein Objekt, wird ein Teil der Energie abgeleitet. Aus diesem Grunde ist die Kenntnis der ungefähren Fließrichtung ein weiterer Eingabeparameter. Nachfolgend werden die benötigten Größen aufgeführt.

Fliesstiefe

Die Fliesstiefe wurde bei der Erstellung der Gefahrenkarten bestimmt, ist aber weder auf dieser noch auf der Intensitätskarte direkt ersichtlich. Einige Kantone verfügen über eine skalierte Fliesstiefenkarte. Die Abstufung ist in der Regel 1 – 25 cm, 26 – 50 cm etc. Falls vorhanden, kann der benötigte Wert aus dieser Karte ausgelesen werden. Das hier vorgestellte Vorgehen erlaubt in der untersten Fliesstiefen-Skala eine weitere Abstufung. Falls die Vermutung besteht, dass die Fliesstiefe deutlich unter 25 cm liegt, sollte der genaue Wert direkt beim beauftragten Ingenieurbüro nachgefragt werden. Der Mindestwert für die Fliesstiefe ist auf 10 cm angesetzt. Die Matrix-Methode zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit ist in drei Fliesstiefenbereiche unterteilt, –10 cm, 11–25 cm, 26–50 cm. Bei Fliesstiefen über 50 cm bewegt man sich in jedem Fall schon im mittleren oder starken Intensitätsbereich. Hier muss der Objektschutz ohnehin mittels Fachgutachten genauer untersucht werden.

Neigung

Die Neigung in Fließrichtung wird vor Ort oder aus dem DTM gemessen. Nur zur Not kann das Gefälle aus einer Karte im Massstab 1 : 25'000 der Landestopografie oder aus dem ÜP 1 : 5'000 gelesen werden. Die Neigung reduziert man auf fünf Größen: 1, 3, 5, 10 und 15 %. Die letzten ca. 5 – 7 m werden zur Bestimmung des Gefälles beigezogen, da die Fließgeschwindigkeit unmittelbar am Objekt von Interesse ist. Um die Fließgeschwindigkeit nicht zu überschätzen, muss in Situationen, wo der Hangfuss recht kurz und die Böschung steil ist, ein reduziertes Gefälle einberechnet werden. Es wird vorgeschlagen, auf die Länge der 5 – 7 m nur etwa die Hälfte der Höhendifferenz zur Berechnung des Gefälles beizuziehen (siehe Abbildung 2).

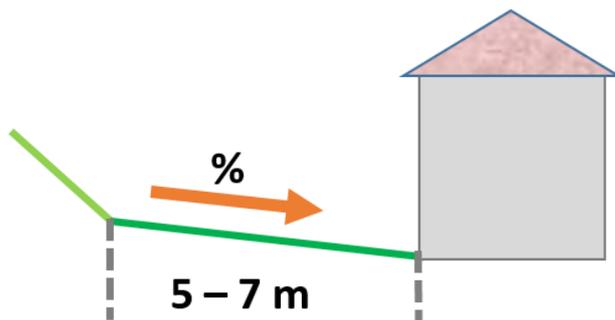


Abbildung 1: Festlegen der Neigung bei langem Hangfuss auf eine Länge von ca. 5-7 m

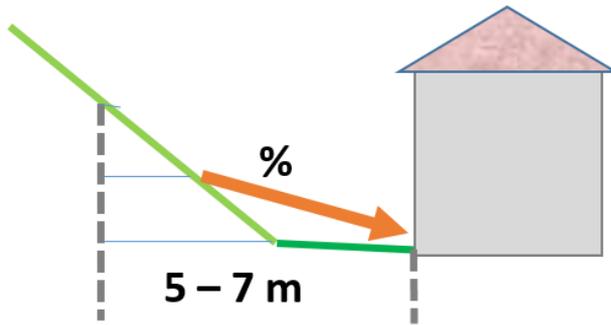


Abbildung 2: Festlegen der Neigung bei kurzem Hangfuss mit reduzierter Höhendifferenz

Anströmwinkel

Je nach Aufprallwinkel auf das Objekt wird ein Teil der Energie abgelenkt. Bei schrägem Aufprall oder gar parallelem Fließen am Objekt fällt die Fließenergiehöhe geringer aus (siehe Abbildung 3). Es werden drei Winkel unterschieden:

Rechtwinklig: 90 Grad, die Energie wirkt frontal auf das Objekt

Schräg: 45 Grad, ein Teil der Energie wird am Objekt abgelenkt.

Parallel: 0 Grad, ein grosser Teil der Energie wird am Objekt vorbei gelenkt

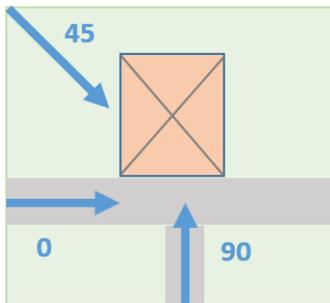


Abbildung 3: Skizze zur Interpretation der drei unterschiedlichen Anströmwinkel

3 Bestimmen der Schutzhöhe mit der Matrix-Methode

Die Fließgeschwindigkeit wurde nach der Fließformel von Manning-Strickler berechnet (Bollrich, 2000), der Fließquerschnitt rechteckig angenommen. Die Abflussbreite ist je einmal mit 3 m und 5 m gerechnet. Der Reibungskoeffizient mit 20, 30 und 40 [m^{1/3}/s] je Rechendurchgang angenommen. Die so durchgeführten Berechnungen ergaben pro Neigungsgrösse (1, 3, 5, 10, 15 %) eine Bandbreite von Fließgeschwindigkeiten. Daraus wurde für die drei Fliesstiefenbereiche (10, 11 – 25, 26 – 50 cm) je ein repräsentativer Wert ausgelesen (Anhang; Abbildung 6 -Abbildung 10). Diese Werte ergeben zusammen die Fliesstiefe – Fließgeschwindigkeit Matrix (siehe Tabelle 1).

Mit diesem Vorgehen wird das etwas schwierige und subjektive Bestimmen der Rauigkeit und der Abflussbreite umgangen. Somit wird die Bestimmung der Schutzhöhe einfach und pragmatisch vorgenommen. Mit der Formel $H_{\text{Fließenergie}} = v^2 \cdot 2g$ wird aus der Fließgeschwindigkeit die Fließenergiehöhe in cm berechnet und wird aus der Matrix in Tabelle 2 abgelesen. Ab einer Fließgeschwindigkeit von 3 m/s sollte die Schutzhöhe durch ein Fachgutachten abgeklärt werden. In der Matrix der Fließgeschwindigkeit sind diese Felder rot markiert. In der Tabelle der Fließenergiehöhen sind die Fließgeschwindigkeiten nur bis maximal 2.5 m/s aufgeführt. Der nächst grössere Wert aus der Matrix beträgt 3.3 m/s und liegt über dem Richtwert von 3 m/s.

Die Schutzhöhe wird schlussendlich durch die Summierung der Fliesstiefe aus der Gefahrenabklärung und der Fließenergiehöhe berechnet. Ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag ist nicht weiter nötig, da je ein Mindestwert bei der Fliesstiefe (min 10 cm) und der Geschwindigkeitshöhe (min 10 cm) einberechnet werden.

$$H_{\text{Schutz}} = H_{\text{Fliesstiefe}} + H_{\text{Fließenergie}}$$

Die Methode soll nur mit der Fliesstiefe als Eingangsgrösse aus der Gefahrenabklärung angewendet werden und die Fließgeschwindigkeit zwingend wie beschrieben aus der Fliesstiefe abgeleitet werden.

Tabelle 1: Matrix zum Bestimmen der Fließgeschwindigkeit [m/s] aus Fliesstiefe und Gefälle

[m/s]	Gefälle				
Fliesstiefe	1%	3%	5%	10%	15%
- 10 cm	0.5	1	1.5	2	2
11 - 25 cm	1	2	2.5	3.3	4
26 - 50 cm	1.5	2.5	3.3	4	5.5

Tabelle 2: Matrix zum Bestimmen der Fließenergiehöhe [cm] aus Fließgeschwindigkeit und Aufprallwinkel

[cm]	Aufprallwinkel		
v [m/s]	90°	45°	0°
0.5	10	10	10
1	10	10	10
1.5	10	10	10
2	20	15	10
2.5	35	25	15

Ablesebeispiel:

Die Gefahrenabklärung gibt beim zu schützenden Objekt eine Fliesstiefe von 25 cm an, das Gefälle wird auf 5 % festgelegt, die Anströmung auf das Objekt wird mit 45° geschätzt.

1. Bestimmen der Fließgeschwindigkeit anhand Tabelle 1:
aus der Spalte 5 % Gefälle und der Zeile Fliesstiefe 11 – 25 cm liest man eine Fließgeschwindigkeit von 2.5 m/s.
2. Bestimmen der Fließenergiehöhe anhand Tabelle 2:
45° für den Aufprallwinkel und 2.5 m/s für die im Schritt 1 bestimmte Geschwindigkeit v [m/s] ergibt eine Höhe von 25 cm.
3. Das Summieren von Fliesstiefe und Fließenergiehöhe ergibt die gesuchte **Schutzhöhe: 25 cm + 25 cm = 50 cm**

4 Bestimmen der Schutzhöhe mit der nomografischen Methode
 In Fällen wo genauere Angaben zur Fliesstiefe vorliegen oder wo die Matrix-Methode unbefriedigende Resultate liefert, kann die Schutzhöhe auch mit Hilfe eines Nomogramms bestimmt werden. Die Handhabung ist im Vergleich zur Matrix etwas schwieriger und es muss zusätzlich ein Rauigkeitsbeiwert $[m^{1/3}/s]$ geschätzt werden. Das ist nicht ganz einfach und kann sich entscheidend auf die Grösse der Fließgeschwindigkeit auswirken. In Tabelle 3 sind einige Rauigkeitsbeiwerte exemplarisch zur Hilfestellung dargestellt. Um das Nomogramm übersichtlich zu halten, wurde nur zwischen 20, 30 und 40 $[m^{1/3}/s]$ unterschieden. Da es sich beim Objektschutz oft um Ausuferungen fernab des Gerinnes handelt, sind die Rauigkeitsbeiwerte bewusst tief gewählt.

Tabelle 3: Hilfstabelle zur Festsetzung des Rauigkeitsbeiwertes

Asphalt, Naturstrasse, Pflästerung	40 $[m^{1/3}/s]$			
Rasen, Bodendecker, Kies	30 $[m^{1/3}/s]$			
Buschwerk, Abtreppungen, Wiesland	20 $[m^{1/3}/s]$			

Das Vorgehen ist wie bei der Matrix-Methode 2-stufig. Erst wird mit Hilfe des Nomogramms die Fließgeschwindigkeit aus der Vorgabe von Fliesstiefe, Gefälle und Rauigkeit bestimmt, dann in einem zweiten Diagramm die Fließenergiehöhe in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit und dem Anströmwinkel abgelesen.

Durch die Summierung der Fliesstiefe aus der Gefahrenabklärung (minimal 10 cm) und der Fließenergiehöhe wird die Schutzhöhe berechnet. Ein zusätzlicher Sicherheitszuschlag ist nicht weiter nötig. Er wird als Mindestwert bei der Fliesstiefe (min 10 cm) und der Geschwindigkeitshöhe (min 10 cm) einberechnet.

$$H_{\text{Schutz}} = H_{\text{Fliesstiefe}} + H_{\text{Fließenergie}}$$

Die Methode soll nur mit der Fliesstiefe als Eingangsgröße aus der Gefahrenabklärung angewendet werden und die Fließgeschwindigkeit zwingend wie beschrieben aus der Fliesstiefe abgeleitet werden.

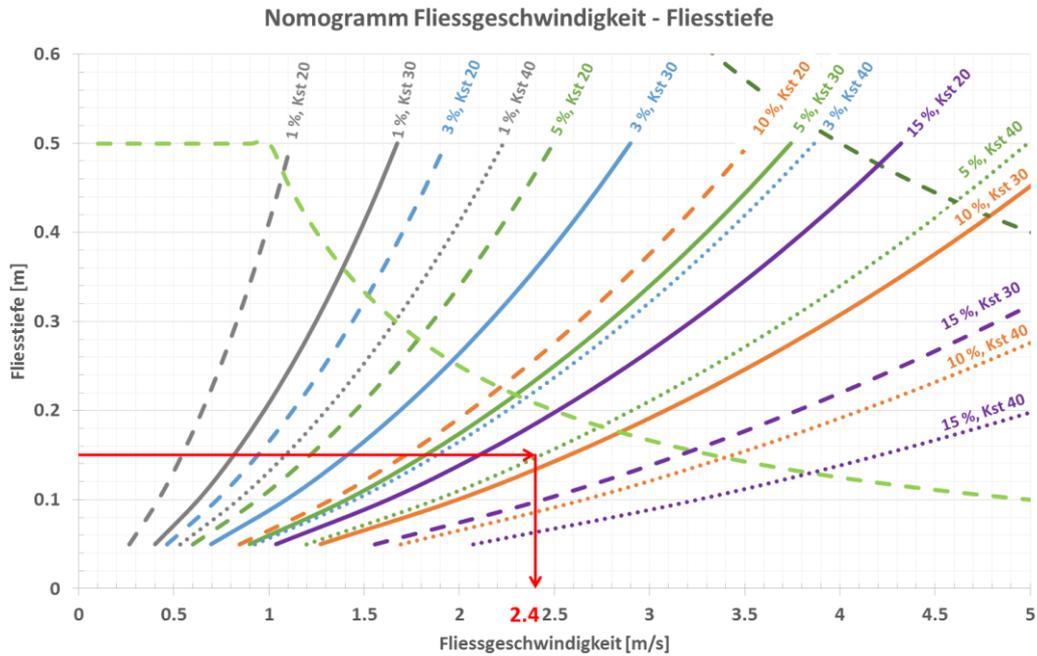


Abbildung 4: Nomogramm zum Bestimmen der Fließgeschwindigkeit

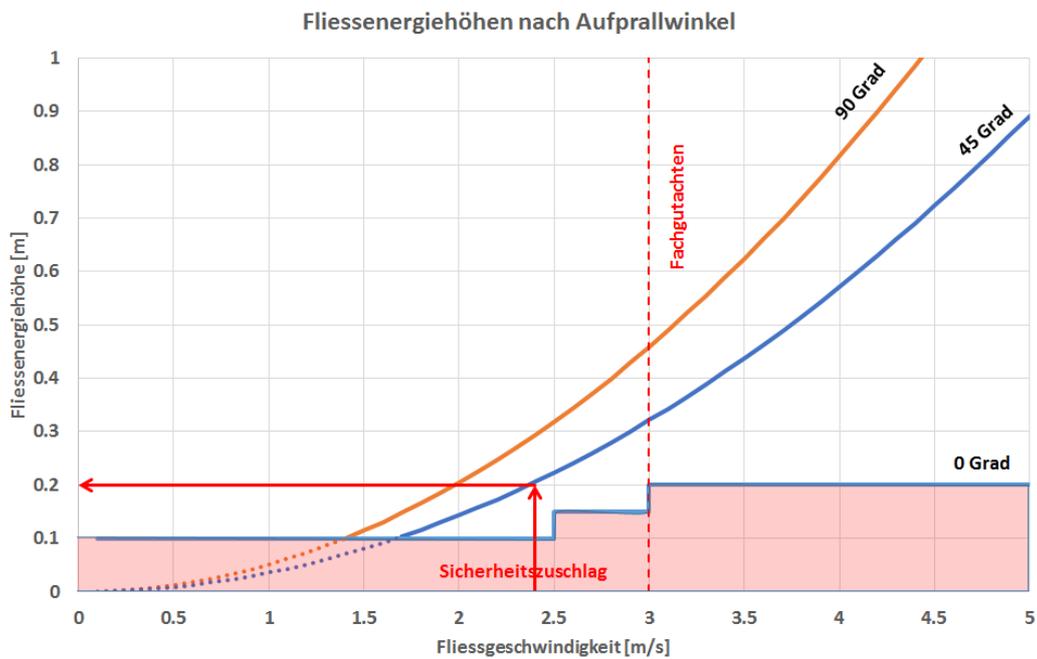


Abbildung 5: Diagramm zur Bestimmung der Fließenergiehöhen

Ablesebeispiel:

Die Gefahrenabklärung ergibt eine Fliesstiefe von 0.15 m, das Gefälle wird auf 5 % festgelegt, der Anströmwinkel auf das Objekt wird mit 45° geschätzt. Das Wasser fließt entlang einer Asphaltstrasse, die Rauigkeit wird mit $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angenommen.

1. Schritt: im Nomogramm auf der Ordinate (y-Achse) bei 0.15 m Waagrecht bis zum Schnittpunkt mit der Kurve 5 %, Kst 40, danach senkrecht nach unten und auf der Abszisse (x-Achse) die Fließgeschwindigkeit 2.4 m/s ablesen (rote Pfeile in Abbildung 4)).
2. Im Diagramm zur Bestimmung der Fließenergiehöhen auf der Abszisse ab der im vorigen Schritt bestimmten Fließgeschwindigkeit von 2.4 m/s senkrecht nach oben bis zum Schnittpunkt mit der 45° Kurve des Aufprallwinkels. Danach waagrecht links auf der Ordinate (y-Achse) den Wert der Fließenergiehöhe von 0.2 m ablesen (Abbildung 5, rote Pfeile).
3. Schritt: Summieren von Fliesstiefe und Fließenergiehöhe ergibt die **Schutzhöhe: $0.15 \text{ m} + 0.2 \text{ m} = 0.35 \text{ m}$**

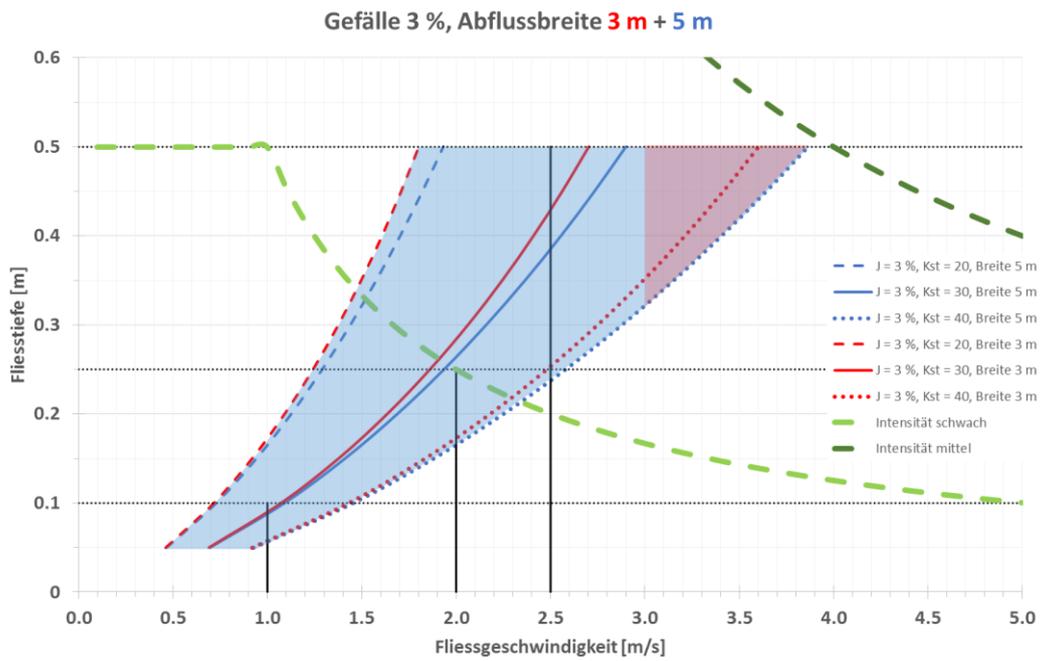


Abbildung 7: Bandbreite der Fließgeschwindigkeiten bei 3 % Gefälle

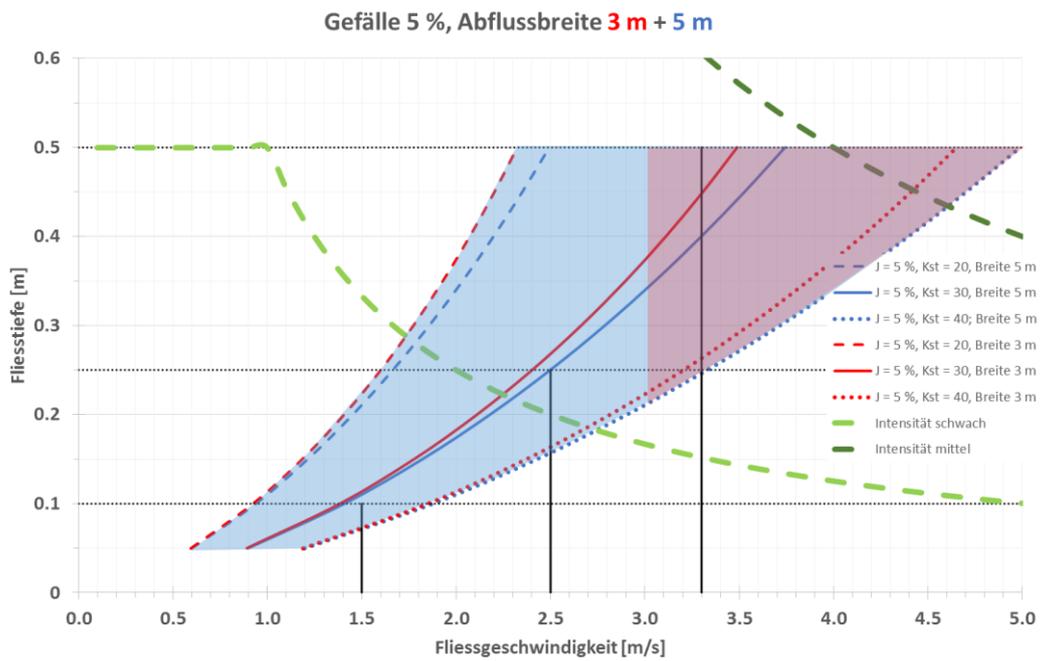


Abbildung 8: Bandbreite der Fließgeschwindigkeiten bei 5 % Gefälle

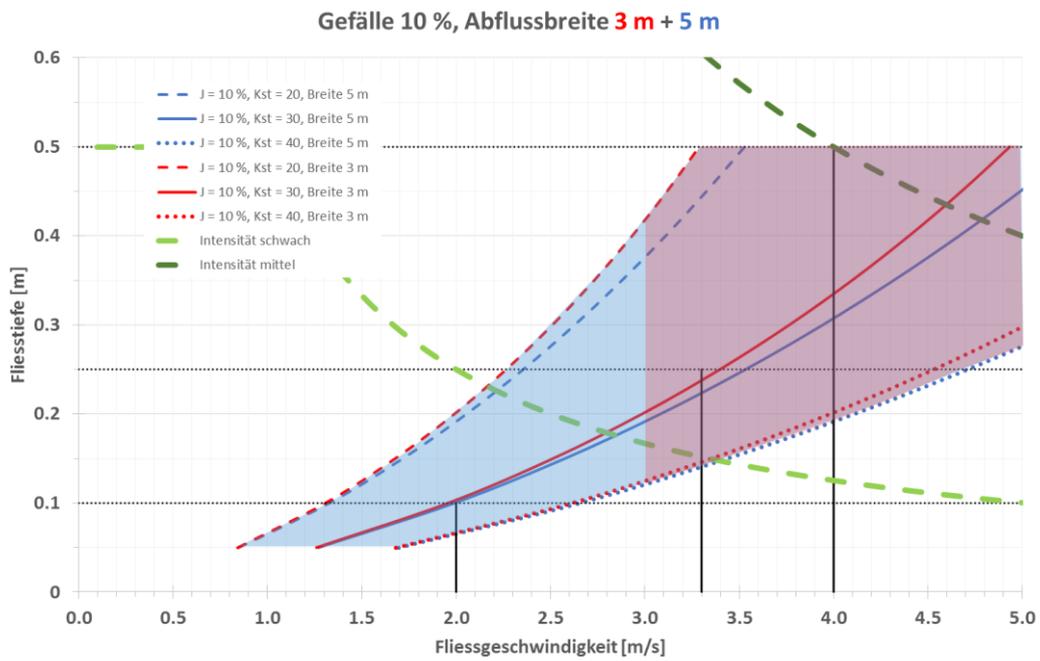


Abbildung 9: Bandbreite der Fließgeschwindigkeiten bei 10 % Gefälle

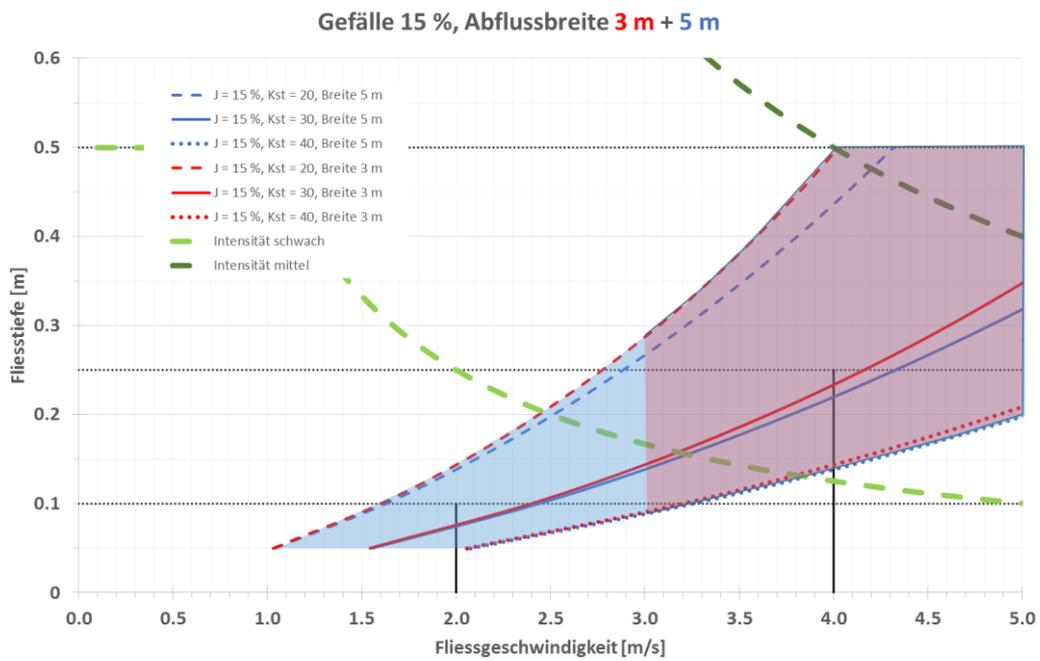


Abbildung 10: Bandbreite der Fließgeschwindigkeiten bei 15 % Gefälle

Vergleicht man die mit Hilfe der Matrix-Methode bestimmten Fließenergiehöhen mit denjenigen aus der nomografischen Methode bei drei unterschiedlich gewählten Rauigkeitsbeiwerten von 20, 30 und 40 $[m^{1/3}/s]$, lässt sich erkennen, dass die relativ statischen Werte für die Fließenergiehöhe bei der Matrix-Methode höher liegen als die Werte mit gewählter Rauigkeit von 20 und 30, jedoch tiefer als die Werte mit Rauigkeit von 40 $[m^{1/3}/s]$. Wie die Matrix zeigt, sollte ab 5 % Gefälle mit Fliesstiefe > 0.25 m oder Gefälle > 10 % und Fliesstiefe > 0.1 m ein Fachgutachten zur Situation am Objekt eingeholt werden. In Abbildung 11 - Abbildung 14 sind die Fließenergiehöhen nach Matrix-Methode sowie nomografischen Methode für einen Aufprallwinkel von 90° dargestellt.

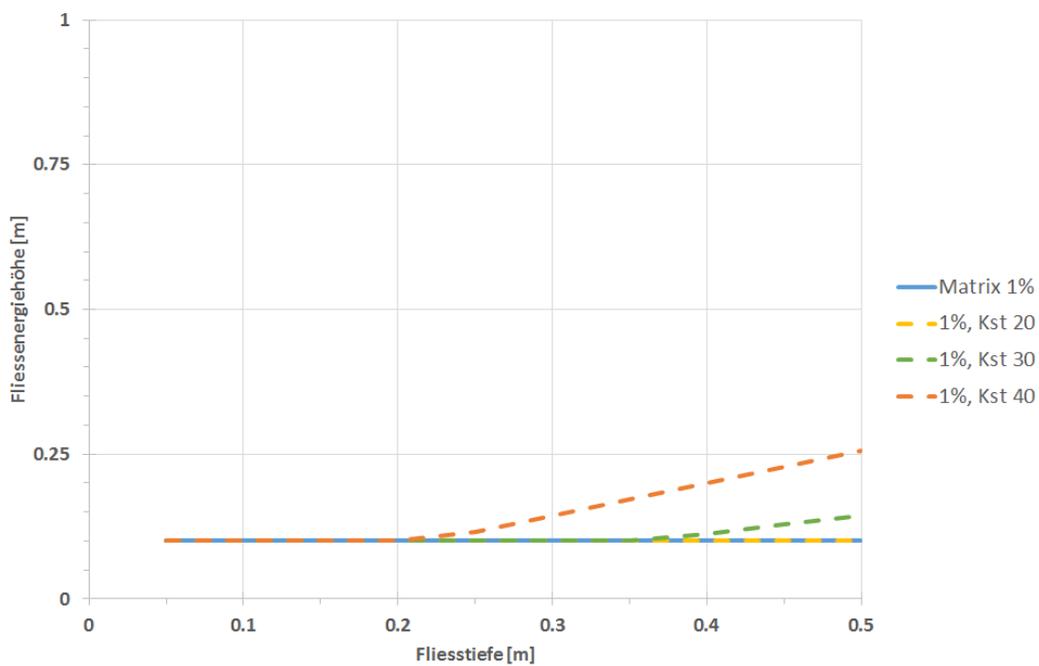


Abbildung 11: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 1 %, Aufprallwinkel 90°

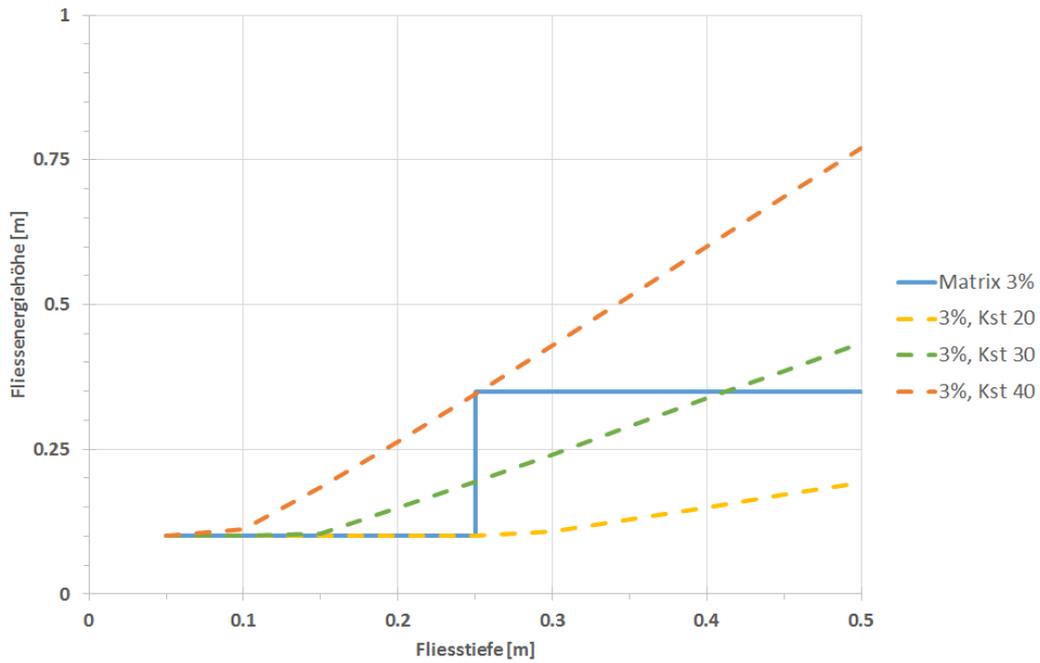


Abbildung 12: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 3 %, Aufprallwinkel 90°

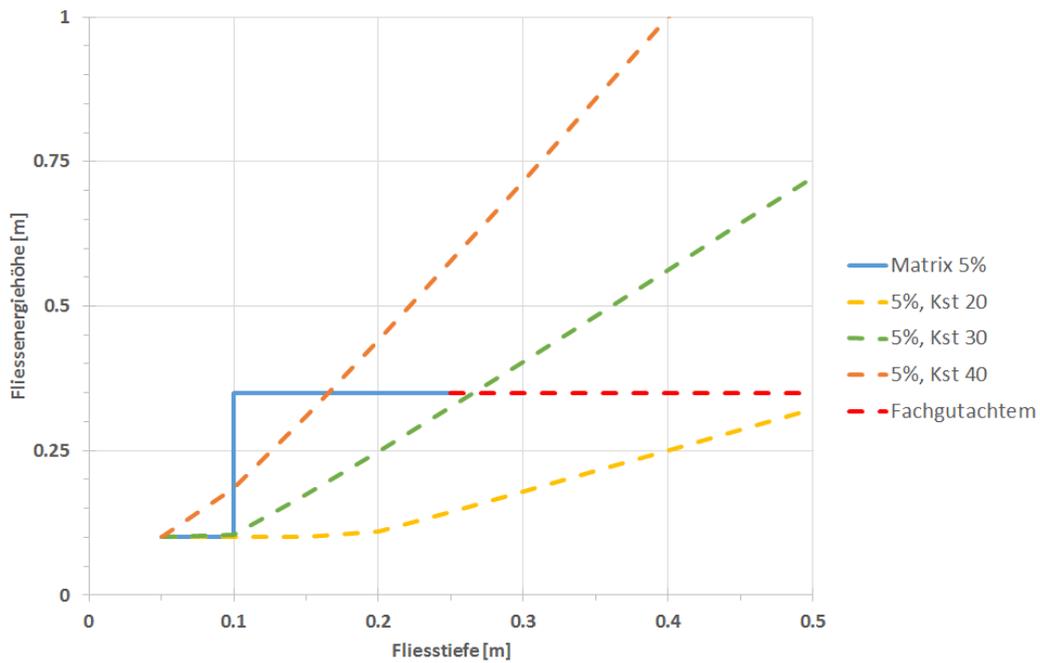


Abbildung 13: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 5 %, Aufprallwinkel 90°

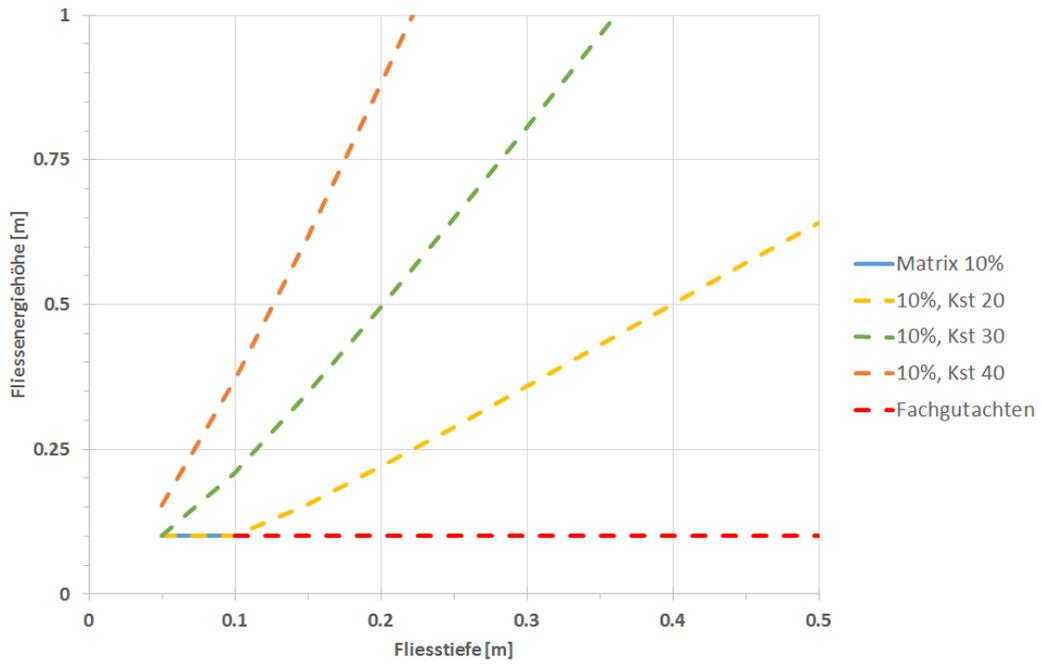
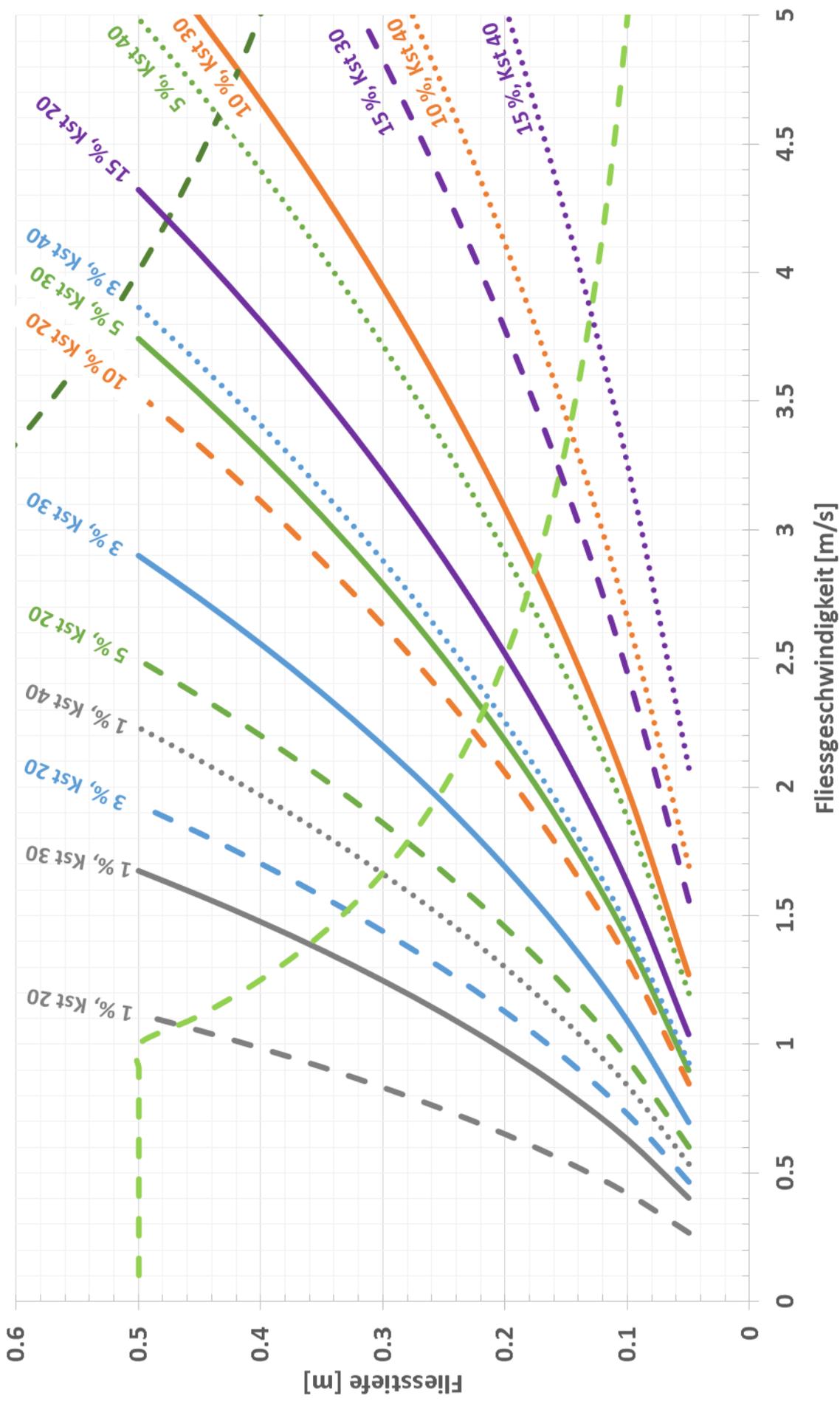
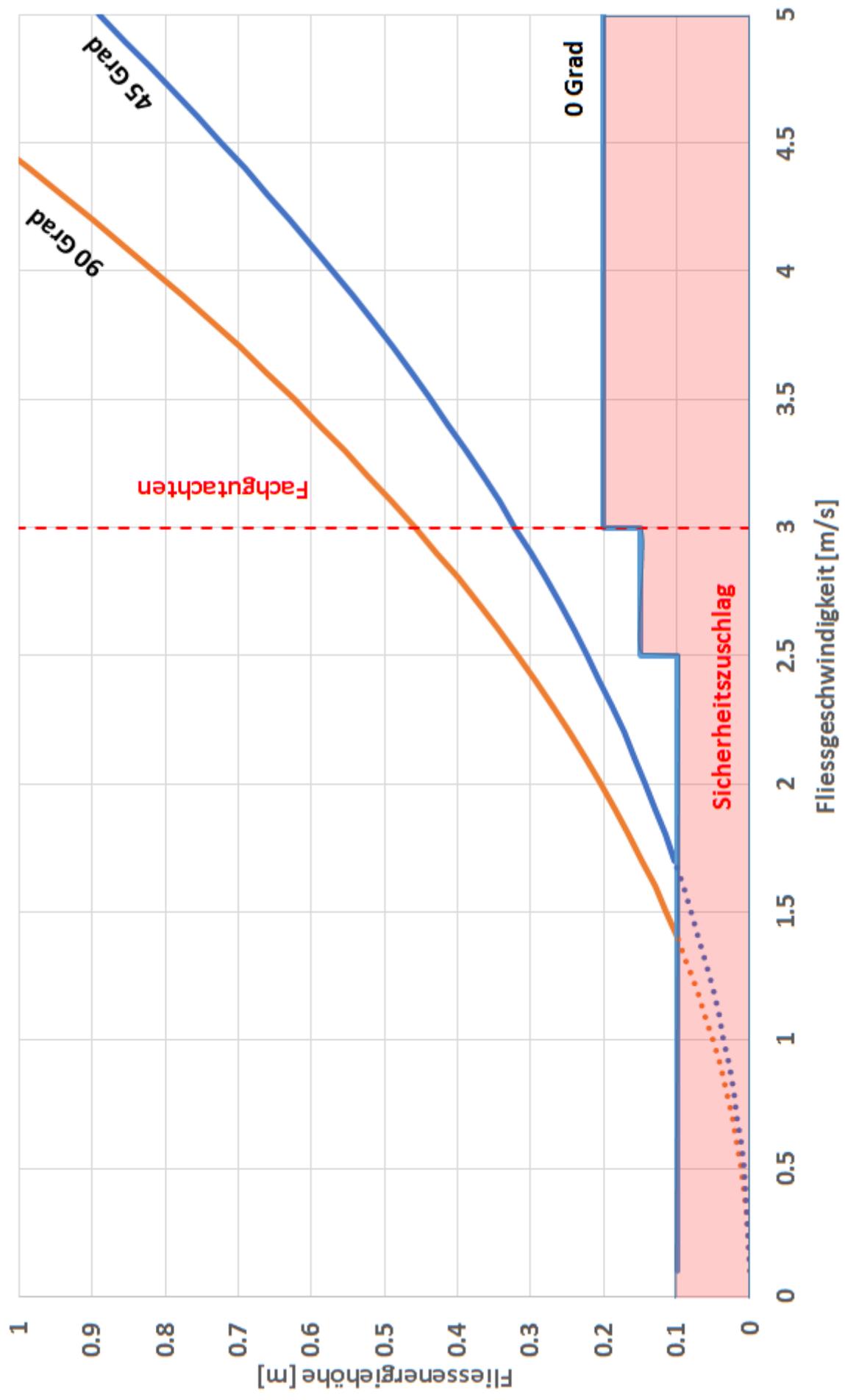


Abbildung 14: Vergleich Nomogramm- und Matrixwerte für Gefälle von 10 %, Aufprallwinkel 90°

Nomogramm Fließgeschwindigkeit - Fliesstiefe



Fliessenergiehöhen nach Aufprallwinkel



Fließgeschwindigkeit [m/s]

[m/s]	Gefälle				
Fliesstiefe	1%	3%	5%	10%	15%
- 10 cm	0.5	1	1.5	2	2
11 - 25 cm	1	2	2.5	3.3	4
26 - 50 cm	1.5	2.5	3.3	4	5.5

Fließenergiehöhe [cm]

[cm]	Aufprallwinkel		
v [m/s]	90°	45°	0°
0.5	10	10	10
1	10	10	10
1.5	10	10	10
2	20	15	10
2.5	35	25	15

6 Literaturverzeichnis

BAFU, B. f. (1997). *Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten*. Bern: EDMZ.

Bollrich, G. (2000). *technische Hydromechanik, Band 1*. Berlin: Huss-Medien GmbH, Berlin.

GVZ. (1999). *Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren*. co Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen.