

Empfehlung zur Anpassung der hydraulischen Ansätze zur Berechnung des Oberflächenabflusses bei Starkregen zur Erstellung von Starkregen-Gefahrenkarten

Beim Oberflächenabfluss bei Starkregen muss zwischen dem klassischen Oberflächenabfluss nach Horton und dem Sättigungsflächenabfluss unterschieden werden. Der Oberflächenabfluss nach Horton entsteht durch einen Infiltrationsüberschuss. Dabei ist die Niederschlagsintensität höher als die Infiltrationskapazität der Böden und das nicht infiltrierte Niederschlagswasser fließt dann in Fallrichtung auf der Hangoberfläche ab. In der Ingenieurhydrologie wird dieser als effektiver Niederschlag bezeichnet.

Der Sättigungsflächenabfluss setzt dann ein, wenn der Boden seine maximale Wassersättigung erreicht hat, d.h. das Porenvolumen vollständig mit Wasser gesättigt ist und Wasser z.B. aus einem vergangenen Ereignis wieder aus dem Boden austritt (Exfiltration) und sich mit dem Niederschlag des aktuellen Ereignisses vermischt. Dieser Anteil wird bei den nachfolgenden Überlegungen nicht betrachtet.

Im Folgenden wird auch nur die Einphasenströmung des effektiven Niederschlags betrachtet, der Bewegungsbeginn und der Transport von Teilen der Bodenmatrix (Erosion) werden nicht analysiert.

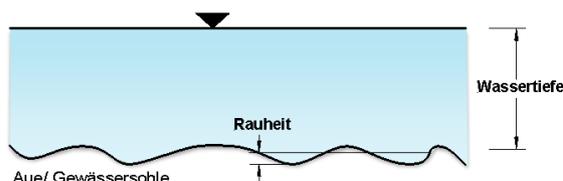
Für die Erstellung von Starkregen-Gefahrenkarten wird durch Anwendung eines hydrodynamisch numerischen Simulationsmodells der instationäre, zweidimensionale (2D) Oberflächenabfluss nach Horton (effektiver Niederschlag) im Einzugsgebiet oder in Teilen des Einzugsgebietes berechnet.

Für die Simulation des Oberflächenabflusses an Steilhängen werden aktuell dieselben Ansätze verwendet wie zur Berechnung des Oberflächenabflusses auf flachen Überflutungsflächen in Gewässern und auf Auen. Die dabei erzielten Ergebnisse schienen so plausibel, sodass die verwendeten Modelle bislang noch nicht hinterfragt wurden. Und das obwohl die geometrischen und hydraulischen Randbedingungen an steilen Hanglagen sich von denen auf flachen Überflutungsflächen stark unterscheiden. Die nachfolgende Tabelle 1 und Abbildung 1 zeigen die unterschiedlichen Ausprägungen von wichtigen hydraulischen und geometrischen Randbedingungen für den steilen Oberflächenabfluss und für die Wasserausbreitung auf den vergleichsweise flachen Gewässerauen.

Tabelle 1: Ausprägung der hydraulischen und geometrischen Randbedingungen im Vergleich Gewässer mit steiler Hanglage

Parameter	Ausprägung	
	Gewässer und Aue	Steile Hanglage
Gefälle	klein wenige ‰ bis 5%	groß 5% bis über 100%
Wassertiefe	groß Dezimeter bis mehrere Meter	klein Dünnfilmabfluss bis Dezimeter
Rauheit	kleiner als Wassertiefe	größer als Wassertiefe

Flusshydraulik: Wassertiefe >> Rauheit



Oberflächenabfluss: Wassertiefe << Rauheit

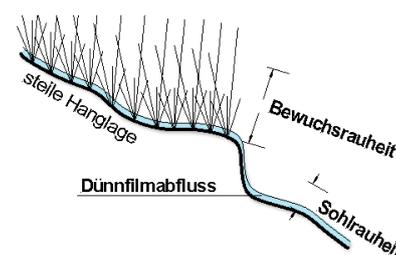


Abbildung 1: Ausprägung der hydraulischen und geometrischen Randbedingungen im Vergleich Gewässer mit steiler Hanglage

Anpassung der Rauheit in den Fließformeln zur Simulation des Oberflächenabflusses bei Starkregen

Die in der Flusshydraulik und in den hydrodynamisch numerischen Simulationsmodellen am häufigsten Fließformel ist die **empirische Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler**:

$$v = k_{ST} \cdot R^{2/3} \cdot I_E^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{U}$$

$$Q = v \cdot A$$

Q	- Abfluss	$[m^3/s]$
v	- mittl. Fließgeschwindigkeit	$[m/s]$
k_{ST}	- Manning-Strickler Beiwert	$m^{1/3}/s$
A	- Abflussquerschnitt	$[m^2]$
U	- benetzte Sohle	$[m]$
R	- hydraulische Radius	$[m]$
I_E	- Energiespiegelliniengefälle	$[-]$

Sowohl die im Rahmen des Forschungsvorhabens KLIMPRAX Starkregen durchgeführte Labormessungen am Wasserbaulaboratorium der Hochschule RheinMain, als auch eine umfangreiche Literaturstudie des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung - Fachbereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik -, sowie ergänzende Labormessungen an der Hochschule für Technik und Wirtschaft, Saarbrücken, haben gezeigt, dass die Rauheitswerte signifikant von der Überflutungstiefe abhängen. Insbesondere bei natürlichen bzw. vegetationsbehafteten Oberflächen sind bei kleinen Überflutungstiefen rauere k_{ST} Beiwerte zu wählen.

Da bei Starkregenüberflutungen flächig geringe Überflutungstiefen auftreten, bedeutet das für die hydrodynamische numerische Modellierung von Starkregengefahrenkarten, dass mit überflutungshöhenabhängigen Rauheitswerten zu rechnen ist, sofern dies in der verwendeten Software berücksichtigt werden kann. In der nachfolgenden Tabelle sind Empfehlungen für die Wahl der Rauheiten für unterschiedliche Landnutzungsarten aufgeführt. Bei der Differenzierung der Rauheitswerte nach Landnutzungsart sollte sich ebenfalls an der Tabelle orientiert werden. Zusätzlich ist es wichtig, dass Straßen, Wege und Plätze oder andere Nutzungen mit entsprechend glatter Oberfläche ohne Vegetation, insbesondere bei entsprechendem Gefälle, gut abgebildet sind.

Bei der Berücksichtigung tiefenabhängiger Rauheitswerte wird in Tabelle 2 folgende Grenzziehung vorgeschlagen:

- Bis zu einer Überflutungstiefe von 2 cm wird der „Dünnfilm“-Wert (siehe nachfolgende Tabelle für k_{St}) als Rauheitswert verwendet.
- Ab 10 cm wird der Rauheitswert aus der Literatur angesetzt.
- Dazwischen wird interpoliert (ggf. auch in Stufen).

Tabelle 2: Empfehlung für Rauheitswerte zur Modellierung von Starkregengefahrenkarten (Stand 03/2020 – zukünftige Änderungen der Empfehlungen möglich)

	Rauheit nach Gauckler-Manning-Strickler $k_{St} [m^{1/3}/s]$	
	Dünnsfilm bis 2 cm	ab 10 cm
Ackerland	8-12	15-30
Ackerland, verschlammmt	10-15	20-35
Gartenland	3-6	5-15
Wald, Gehölz, Laub- und Nadelholz	3-6	5-20
Grünland	5-10	20-35
Rasen	3-8	20-35
Siedlungsfläche	6-15	10-20
Fließgewässer, Stehendes Gewässer *	15-35	
Fließgewässer, verschlammmt *	25-50	
Fließgewässer, stark bewachsen *	5-20	
Wildbach *	10-15	
Gerinne, gemauert, Beton *	50-80	
Landwirtschaftlicher Weg (Kies, Schotter) *	20-40	
Straße, Weg (Asphalt) *	40-60	
Straße, Weg (gepflastert) *	30-50	

* Für diese Nutzungsarten sind keine Dünnsfilmabflüsse anzusetzen.

Die in der Tabelle 2 angegebenen Differenzierung und Empfehlungen zu Rauheitswerten dienen als Orientierung zur Modellierung von Starkregengefahrenkarten. Wenn es im konkreten Bearbeitungsfall sinnvoll erscheint, kann von diesen Empfehlungen auch abgewichen werden.

Für die zur Verwendung der Fließformel nach Darcy Weisbach benötigten äquivalenten Sandrauheiten k_s , können zurzeit keine durch Laborversuche oder aus Literaturquellen belastbaren Werte für den Dünnsfilmabfluss angegeben werden. Das Umrechnen der in der Tabelle 2 angegebenen Rauheit k_{ST} in äquivalente Sandrauheiten k_s ergeben für den Dünnsfilmabfluss keine sinnvollen Ergebnisse. Beim Einsatz dieser Fließformel ist auf den Gültigkeitsbereich des Moody-Diagramms zu achten.