

Qualitätsuntersuchung bei Simulationen von Starkregenereignissen durch Implementierung differenzierter Rauheitsbeiwerte

Stephanie SCHÖDEL, Michaela JUD und Matthäus SCHILCHER

Zusammenfassung

Vorliegende Arbeit befasst sich mit der Qualitätsuntersuchung von Echtzeit-Hochwassersimulationen durch Verfeinerung deren Eingangsparameter. Im Speziellen wird die Oberflächenrauigkeit, der sogenannte Strickler-Beiwert, im Bereich des Flussufers untersucht. Für die Bestätigung dieser Theorie wird eine entsprechende differenziertere Unterteilung in einem realen Testgebiet der Dornbirnerach im Stadtgebiet von Dornbirn vorgenommen. Nach Verfeinerung zeigt die Simulation ein verändertes Ergebnis.

1 Motivation

Hochwasser stellen eine erhebliche Bedrohung für die Bevölkerung dar. Neben gravierenden Sachschäden, bedrohen sie auch Leib und Leben der dort ansässigen Bewohner. Das Erschreckendste jedoch ist, die Zahl der Hochwasser nimmt kontinuierlich zu (UNWETTER-DATENBANK 2011). Aber woher kommt diese Zunahme von Starkregenereignissen und was kann dagegen getan werden? In weiten Teilen lässt sich dies nach SCHWARZ (2007) mit dem fortwährenden Klimawandel und der damit einhergehenden Störung des Regelkreislaufs erklären. Die veränderten wettertechnischen Effekte allein zu bekämpfen um dieser Gefahrenquelle entgegen zu wirken, wäre jedoch nicht ausreichend. Es muss vielmehr eine Möglichkeit gefunden werden den entstehenden Schaden zu begrenzen. Hierfür können sogenannte Simulationsrechnungen in Echtzeit durchgeführt werden, die anzeigen welche Flächen im Fall eines Starkregenereignisses überflutet werden und welche Gebiete deshalb besonders geschützt werden müssen. Je genauer die Parameter hierfür sind, desto genauer fällt die Vorhersage für das betroffene Gebiet aus und das entstehende Schadenspotenzial kann vermindert werden. Ein Qualitäts-Faktor der Simulation ist der Oberflächenrauigkeitswert, der im Rahmen dieser Arbeit in einem definierten Testgebiet untersucht und verfeinert wird.

2 Problemstellung

Messstellen, wie eine am Beginn des Testgebietes in Enz vorhanden ist, wurden vom Vorarlberger Wasserwirtschaftsamt, angebracht, um Wasserstand, Abflusswerte, Lufttemperatur und Niederschlagssummen etc. permanent überprüfen zu können (VORARLBERG 2011). Hochwasser kündigen sich jedoch nicht an, sondern verursachen einen plötzlichen unerwar-

teten Anstieg des Wasserstandes. Die Aufzeichnung kann somit erst im akuten Notfall erfolgen, wenn die Wassermassen bereits nahezu die Stadt Dornbirn erreicht haben. Eine Absicherung gegen Hochwasser oder eine ausreichend frühzeitige Warnmöglichkeit bieten sie somit nicht. Aus diesem Grund wird derzeit an der TU München innerhalb eines Forschungsprojektes versucht eine Echtzeit-Simulation von Starkregenereignissen so genau wie möglich durchzuführen. Dies soll ermöglichen, Hochwasser bereits im Vorhinein exakt berechnen können und damit Präventivmaßnahmen für den Gefahrenfall zu verbessern (JUD, 2011, JUD & SCHILCHER 2012). Um jedoch anhand von Modellen eine exakte Simulation durchführen zu können, müssen alle Eingangsparameter so gut wie möglich bestimmt werden. Einer dieser Parameter ist der Strickler-Beiwert.

3 Lösungskonzept zur Qualitätssteigerung von Hochwassersimulationen

3.1 Begriffsdefinition Strickler-Beiwert

Der Strickler-Beiwert ist eine von Albert Strickler (1887-1963) entwickelte Skala, die die Rauigkeit von Oberflächen klassifiziert. Der als k_{st} abgekürzte Faktor trägt die Einheit [$m^{1/3}/s$] und erstreckt sich in einem Wertebereich von 0 (sehr rau) bis 100 (sehr glatt). Er findet in der sogenannten GSM-Formel (1) (P. Gauckler (1826-1905), A. Strickler und R. Manning (1826-1897)) Anwendung, die wie folgt lautet:

$$v = k_{st} \cdot \sqrt{I_E} \cdot r_{hy}^{2/3} \quad (1)$$

v mittlere Fließgeschwindigkeit (m/s)

k_{st} Strickler-Beiwert ($m^{1/3}/s$)

I_E Energieliniengefälle [(Höhe pro Länge) [m/m]]

r_{hy} hydraulischer Radius (m)

(vgl. LFU-BW 2003)

Theoretisch lässt sich durch Umformung der GSM-Formel der Strickler-Beiwert berechnen. Da Fließgewässer jedoch nicht homogen sind, eindeutige Formen und idealisierte Wasserstände besitzen, wird dies in der Praxis weniger eingesetzt. Vielmehr orientiert man sich an groben Richtwerten und Beispielen von erfolgten Schätzungen. Empfohlen wird hier der Leitfaden der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU-BW 2003).

3.2 Datengrundlagen

Als Datengrundlage zur Verfeinerung des Oberflächenrauheitsbeiwertes in der Nähe des Flussufers und zur Simulationsberechnung dienen die in Tabelle 1 dargestellten Datensätze, welche das Testgebiet überlappen.

Tabelle 1: Datengrundlagen (JUD & SCHILCHER 2012)

Datensatz	Format	Maßstab/Auflösung
Digitales Geländemodell	Raster	1 × 1 m bzw. 0,5 × 0,5 m Lage ±0,1 m Höhe (Herbst 2011)
Einzugsgebiet Dornbirnerach	Vektor	1:1.000
Bodenkundliche Übersichtskartierung	Vektor	1:1.000
Landnutzung	Raster und Vektor	1' × 1m – 1:1.000

3.3 Analyse des Testgebiets

Das Testgebiet liegt im österreichischen Bundesland Vorarlberg am Ortseingang der Stadt Dornbirn und betrifft einen Teil der Dornbirnerach. Um eine feinere Abstimmung der Strickler-Beiwerte zu erreichen, ist eine genauere Betrachtung dieses Gebietes von Nöten. Hierzu wurden Vorort-Aufnahmen der Situation herangezogen (siehe Abb. 1) sowie die unter 3.2 Datengrundlagen aufgeführten Datensätze verwendet

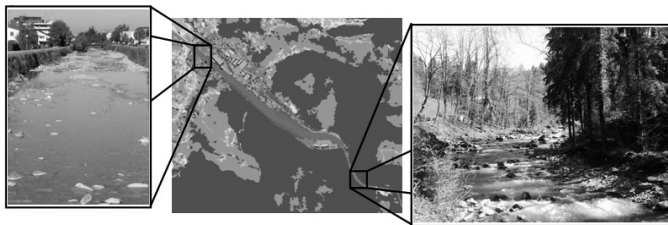


Abb. 1: Zwei beispielhafte Vorortbilder des Flusslaufes (Eigene Darstellung aus: DATENBESTAND VORARLBERG 2011, GOOGLE MAPS 2012)

um auf deren Grundlage das Testgebiet in zwei Bereiche zu unterteilen: Das Gebiet außerhalb der Stadt weist kaum eine Böschung auf, es geht relativ flach vom Flusslauf in die umgebende Waldlandschaft über. Die Flusssohle besteht aus kopfgroßen Gesteinsbrocken. Im Stadtgebiet ist eine deutliche Böschung erkennbar. Sie ist sehr steil und stark verkrautet. Die Steine, welche die Flusssohle bilden, sind eindeutig kleiner und ähneln nahezu Kieselsteinen.

4 Implementierung des Lösungsansatzes zur Qualitätssteigerung und Hochwassersimulation

Aufgrund der Einteilung des Testgebiets in verschiedene Abschnitte (siehe 3.3 Analyse des Testgebiets) und deren beschriebenen verschiedenen Begebenheiten konnte der anfängliche Strickler-Beiwert von $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den gesamten Flusslauf differenziert werden (vgl. Tabelle 2). Dies erfolgte unter Zuhilfenahme realer Naturbeispiele bzw. Tabellen diverser Literaturquellen nach LFU-BW (2003), PASCHE (2006), JIRKA (2010), SCHNEIDER (1998). Anschaulich lassen sich die neu gefundenen Strickler-Beiwerte (Tabelle 2) wie folgt erklären: Die stark verkrautete Böschung, sowie die aus großen Steinen bestehende Flusssohle

außerhalb der Stadt, werden mehr Wasser zurückhalten. Sie bilden eine rauere Oberfläche und erhalten damit auch einen niedrigeren Strickler-Beiwert. Anders ist dies bei der Sohlenfläche im Stadtgebiet, der feinere Kies hält weniger Wasser zurück, vielmehr werden bei starkem Abfluss kleinere Kiesel mit dem Wasserstrom mitgerissen.

Tabelle 2: Gesamte Strickler-Beiwert-Einteilung des Testgebiets – verfeinerte Unterteilung

k_{st}	Beschreibung	Anmerkung	Quelle
80	Gebäudeflächen	Beton/ Mauerwerk	EISENHAUER (2007)
75	Straßenflächen	Asphalt	EISENHAUER (2007)
80	Sonstige künstliche Flächen	kein Wert	DATENBESTAND VORARLBERG (2011)
12	Grün- und Ackerflächen	Grünland/ Acker,Gärten	PASCHE (2006)
15	Waldflächen	Gehölz	PASCHE (2006)
25	Wassersohle_aussen	Sohlenfläche Gebiet außerhalb	LFU-BW (2003), PASCHE (2006), JIRKA (2010), SCHNEIDER (1998)
38	Wassersohle_Stadt	Sohlenfläche im Stadtgebiet	LFU-BW (2003), PASCHE (2006), JIRKA (2010), SCHNEIDER (1998)
18	Böschung	Böschung im Stadtgebiet	LFU-BW (2003), PASCHE (2006), JIRKA (2010), SCHNEIDER (1998)

Die neu ermittelten Strickler-Beiwerte müssen anschließend in das bestehende Forschungsprojekt der TU München (siehe 2Problemstellung) implementiert werden. Dabei wird am Bearbeitungspunkt des Preprocessing mit ArcGIS 10 der Firma ESRI (Geoinformationssystem) – Schritt 2 im Kopplungskonzept zur Simulation von Echtzeit-Starkregenereignissen (Abb. 2) – angesetzt. Im Anschluss kann eine Simulation mittels OpenFOAM (Simulationssoftware für Hydromechanik) erfolgen (JUD 2011).

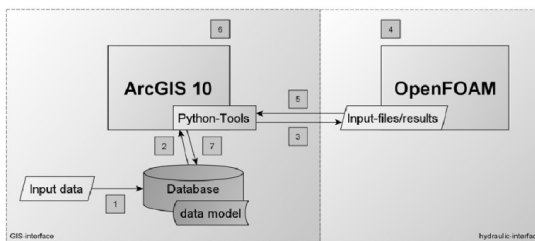


Abb. 2: Kopplungskonzept GIS und Hydrauliksoftware (JUD & SCHILCHER 2012)

Die Datengrundlage „Einzugsgebiet Dornbirnerach“ stellt sich als eine Dreiecksvermaschung (TIN) dar in deren Attributtabelle die neuen Strickler-Beiwerte eingefügt werden können, bevor die Simulation mit der OpenFOAM Workstation erfolgt. Ein im ersten Schritt berechnetes Neigungsbild dient dazu die Dreiecke der sehr steilen Böschung zu se-

parieren. Umgewandelt in ein Multipoint-Feature durch die Conversiontools von ArcMap, lassen sich die Gebiete (siehe 3.3 Analyse des Testgebiets) manuell unterteilen. Werden anschließend die Punkte entsprechend ihrer Steigung (Grid_Code > 20 %) extrahiert, erhält man die Böschungspunkte. Der beschriebene Workflow ist unter Abbildung 3 dargestellt. Eine manuelle Nachbearbeitung von groben Fehlern kann u. U. erforderlich sein.

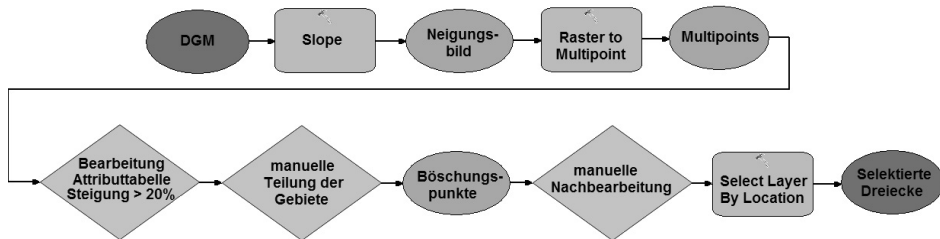


Abb. 3: Workflow zur Extraktion der Böschung und Selektion der entsprechenden Dreiecksflächen (Eigene Darstellung, zu Teilen mit ArcGIS ModellBuilder)

Durch Entfernen der Böschungspunkte und entsprechende Nachbearbeitung kann auf ähnliche Weise die Flusssohle in einem neuen Punktefeature extrahiert werden. Mit diesen Punkten, können die überlappenden Dreiecke selektiert und diesen im Anschluss über die Bearbeitung der Attributtabelle neue Strickler-Beiwerte hinzugefügt werden. Der Wert des Flusses außerhalb der Stadt wurde einheitlich geändert.

Zur Beurteilung, ob eine Veränderung durch die neu eingeteilten Oberflächenrauigkeitswerte vorliegt, wurde eine Simulation eines realen Starkregenereignisses der Dornbirnerach im August 2010 mit unveränderten und verfeinerten Strickler-Beiwerten gerechnet.

5 Ergebnis und Ausblick

Eine Veränderung des Wasserstandes nach der Simulation ist an beispielhaft gewählten Punkten im Testgebiet ersichtlich. Dieses vorläufige Ergebnis muss nun genauer verifiziert werden. Es ist dabei zu beurteilen, ob der Unterschied ausschließlich am veränderten Strickler-Beiwert liegt, oder ob andere Einflussparameter zur veränderten Abflusskurve in den ausgewählten Punkten geführt haben könnten. Dies konnte zum Zeitpunkt des Einreichtermins für das Paper noch nicht geklärt werden. Ein genaueres Ergebnis wird bis zum Vortrag im Juli 2012 in Salzburg vorliegen und vorgestellt werden.

Es deutet sich jedoch an, dass eine differenzierte Einteilung des Oberflächenrauigkeitswerts einen Einfluss auf die Qualität der Simulationsergebnisse hat. Der Parameter des Strickler-Beiwertes stellt im gesamten Simulationsprozess zwar nur eine kleine Stellschraube dar, schafft man es jedoch all diese kleineren Parameter so erheblich zu verbessern, kann dies in Summe die Qualität von Hochwassersimulationen bedeutend verbessern.

Danksagung

Ein besonderer Dank geht an das Vorarlberger Wasserwirtschaftsamt und das Vorarlberger Landesvermessungsamt für die Bereitstellung der Basis- und Fachdaten. Ebenso herzlich bedanken möchten wir uns bei dem Ingenieurbüro „Kreuzinger&Manhart Turbulenz GmbH“ für die Simulationen in OpenFOAM.

Literatur

- DATENBESTAND VORARLBERG (2011), Datengrundlagen des Wasserwirtschaftsamtes und des Vorarlberger Vermessungsamtes.
- EISENHAUER, N. (2007), Hochschule Karlsruhe, Virtuelles Wasserbau-Labor ViWaLa (Hydromechanik, Gerinneströmung, Rauheitsbeiwert nach Strickler). http://www.ab.hs-karlsruhe.de/VAW/01_wissen/01_2_hydromechanik/01_2_stroemung_b/file.2007-10-04.8353121257 (23.01.2012).
- GOOGLE MAPS (2012), Satellitenbilder, Karten und Google StreetView. <http://maps.google.de/>, (23.01.2012).
- JIRKA, G. H. (2010), Universität Karlsruhe, Einführung in die Hydromechanik, Kapitel 10: Gerinneströmung. <http://hydro.ifh.uni-karlsruhe.de/download/Kap10ps.pdf> (07.01.2012).
- JUD, M., SCHILCHER, M. (2012), GIS-gestützte Simulation von Hochwasser bei Starkregen im alpinen Bereich: Technische Universität München, FG Geoinformationswesen.
- JUD, M., SCHWERTFIRM, F., SCHÄFFLER, U., RAPP, C., BIERHANCE, D., ERTAC, O. & SCHILCHER, M. (2011), Kopplung von GIS und Hydraulik am Beispiel der Dornbirnerach. In STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.) Angewandte Geoinformatik 2011, Tagungsband AGIT 2011, Salzburg.
- LFU-BW (2003), Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Bearbeitung: Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14421/hydraulik_teil_3.pdf?command=downloadContent&filename=hydraulik_teil_3.pdf
- PASCHE, E., KRÄSSIG, S., LIPPERT, K., NASERMOADDELI, H., PLÖGER, W. & RATH, S. (2006), TU Harburg, Wasserbaukolloquium 2006: Strömungssimulation im Wasserbau, Dresdner wasserbauliche Mitteilungen Heft 32: Wie viel Physik braucht die Strömungsberechnung in der Ingenieurpraxis? http://www.tu-harburg.de/t3resources/wb/Publikationen/MA-Veroeffentlichungen/nasermoaddelli/paper_Dresdner06.pdf (07.01.2012).
- SCHNEIDER (1998), Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen (13. Auflage), Düsseldorf.
- UNWETTERDATENBANK (2012), Unwetterdatenbank.de – Die Datenbank für Unwetter in Deutschland, Privates Projekt. <http://www.unwetterdatenbank.de/unwetterartliste.php?art=Starkregen> (03.01.2012).
- VORARLBERG (2011), Wasserwirtschaft, Wasserkreislauf – Hydrographie. http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/wasser_energie/wasser/wasserwirtschaft/weitereinformationen/wasserkreislauf-hydrograp/onlinedaten_niederschlag.htm (22.12.2011).
- SCHWARZ, R., HARMELING S. & BALS C. (2007), Germanwatch, Auswirkungen des Klimawandels auf Deutschland. <http://germanwatch.org/klima/klideu07.pdf> (13.04.2012).