

2d-hydraulische Modellierung von Hangwassereinzugsgebieten im stadtnahen Bereich

Valentin Gamerith, Bernhard Sackl und Thomas Scaria

Hydroconsult GmbH, St. Veiter Straße 11a, A-8045 Graz, Österreich

Kurzfassung: Neben den Gefährdungen durch Überflutungen aus den Fließgewässern ist in den vergangenen Jahren auch eine Häufung von Überflutungsereignissen in Hanglagen infolge (lokaler) Starkregen feststellbar. Der vorliegende Beitrag zeigt anhand zweier konkreter Fallbeispiele die 2d-hydraulische Modellierung von Hangeinzugsgebieten basierend auf einem 3d-Geländemodell mit vorgeschaltetem Niederschlags-Abfluss-Modul zur detaillierten Modellierung von Hangwasserabflüssen. Durch die plakative Darstellung der Ergebnisse wurde ein für die Stakeholder verständliches Bild und damit eine solide Diskussionsgrundlage hinsichtlich potentieller Gefährdungsszenarien, maßgeblicher Retentionsflächen sowie einer einzugsgebietsweiten Maßnahmenplanung geschaffen. Im Vergleich zur GIS/CAD-basierten Auswertung von Fließpfaden werden die Wassertiefe und der Abfluss realitätsnah abgebildet, was teilweise zu maßgeblich geänderten Fließwegen führen kann. Zusätzlich zeigt sich, dass das aktivierbare Volumen im Gelände einen maßgeblichen Einfluss auf die Abflusswelle haben kann. Als Herausforderung ist die hohe Abhängigkeit von Fließzeit und Wellenform von den gewählten Strickler-Beiwerten zu nennen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, eine Kalibrierung anhand belastbarer Messdaten wäre unbedingt anzustreben.

Keywords: Hangwasser, 2d-Hydraulik, N2D

1 Einleitung

Überflutungsereignisse infolge Starkregen verursachen im urbanen aber auch im zunehmend dicht besiedelten stadtnahen und ländlichen Raum häufig große Schäden. Neben den Gefährdungen durch Überflutungen aus den Fließgewässern ist in den vergangenen Jahren auch eine Häu-

fung von Überflutungsereignissen abseits von Gewässern infolge (lokal) Starkregen feststellbar (Schmidt, 2011). Zunehmende Verbauung und die damit verbundene Flächenversiegelung kombiniert mit der Reduktion natürlicher Retentionsflächen und oftmals unzureichend ausgelegten Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung führen zu ernsthaften Gefährdungen der Unterlieger, insbesondere in Hangfuß- und Hanglagen.

Im städtischen Raum wird die Gefährdung durch diese pluvialen Überflutungen schon seit mehreren Jahren thematisiert und auch zunehmend simulationstechnisch abgebildet (Price und Vojinovic (2011) geben einen umfassenden Überblick der Methoden). Gerade in stadtnahen Gebieten mit hohem Siedlungsdruck sowie in kleineren, ländlich geprägten Orten mit oftmals gering leistungsfähigen Entwässerungssystemen herrscht allerdings teilweise akuter Handlungsbedarf.

Der vorliegende Beitrag zeigt anhand zweier konkreter Fallbeispiele die 2d-hydraulische Modellierung von Hangeinzugsgebieten basierend auf einem 3d-Geländemodell mit vorgeschaltetem Niederschlags-Abfluss-Modul zur detaillierten Modellierung von Hangwasserabflüssen. Die Ergebnisse bieten eine Basis zur Darstellung von potentiellen Gefährdungsszenarien, zur Bestimmung maßgeblicher Retentionsflächen sowie einer einzugsgebietsweiten Maßnahmenplanung zur Regenwasserbewirtschaftung.

2 Methodik

In diesem Kapitel wird zuerst die Netzerstellung (3d-Geländemodell als Grundlage für die 2d-hydraulische Simulation) beschrieben. Das verwendete Niederschlags-Abflussmodell Waspi-N2D und das 2d-hydraulische Modell Hydro_As-2d werden anschließend vorgestellt. Abschließend werden die zwei untersuchten Fallbeispiele beschrieben.

2.1 Geländemodell, Netzerstellung, Parameter

Basis für das 3d-Berechnungsnetz bilden Airborne Laserscan Daten des Landes Steiermark im 1-Meter Raster. Für die Netzerstellung werden an klar definierten Geländekanten (z. B. Straßen) Bruchkanten definiert, die Modellierung erfolgt unter Berücksichtigung dieser Bruchkanten halbautomatisch über das Programm Laser-As (Hydrotec).

Bestehende Objekte werden auf Basis der digitalen Katastermappe (DKM) sowie Luftbildern als undurchströmbar in das Modell eingebaut. Damit stellen sie in der Berechnung Abflusshindernisse dar, eventuell auftretende Rückstaueffekte durch die Bebauung können damit abgebildet werden.

Wo bekannt, werden Durchlässe und Kleinstrukturen wie z. B. Mauern, welche im Laserscan nur unzureichend abgebildet werden können manuell in die Modelle eingebaut.

Auf Grundlage der Landnutzung und von Orthofotos wird jedem Netzelement eine Material-ID mit einem definierten Strickler-Beiwert zugewiesen.

Die Festlegung eines Strickler-Beiwertes für die einzelnen Elemente ist insofern herausfordernd, da der Strickler-Beiwert mit der Wassertiefe variiert. Bei sehr niedrigen Wassertiefen von wenigen Zentimetern, wie sie zu Beginn des Abflussgeschehens bzw. in weiten Bereichen über die gesamte Dauer des Niederschlagsereignisses auftreten, ist von einer deutlich höheren Rauheit auszugehen. So werden in der Literatur z. B. für Wiesen- und Waldflächen bei Abflusstiefen von wenigen Zentimetern Strickler-Werte zwischen 2 und 6 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ angegeben (USDA, 1986). Sobald sich der Abfluss konzentriert in Rinnen oder Runsen einstellt, sinkt die Rauheit, bei höheren Wassertiefen nähern sich die Beiwerte den in der Hochwasserabflussberechnung von Gewässern angesetzten Rauheiten an.

2.2 Abflussbildung – Waspi-N2D

Dem hydraulischen Modell wurde ein Niederschlags-Abfluss-Modul (Waspi-N2D, Sackl (2016)) vorgeschaltet. Die Abflussbildung basiert dabei auf dem SCS-CN-Wert Verfahren (US-SCS, 1972) das sich für die Simulation von Einzelereignissen als robustes Modell erwiesen hat.

Die Festlegung der CN-Werte kann für jede im Netzmodell definierte Material-ID erfolgen, der CN-Wert kann aufgrund der tatsächlichen, aus dem 3d-Geländemodell ermittelten Steigung korrigiert werden.

Als Niederschläge können österreichische ÖKOSTRA-Daten, deutsche KOSTRA-Daten oder auch Zeitreihendaten importiert werden. Für die ÖKOSTRA und KOSTRA-Daten können Blockregen- oder eine mitten-

bzw. endbetonte Niederschlagsverteilung laut DVWK gewählt werden. In Abbildung 1 ist die Benutzeroberfläche von Waspi-N2D beispielhaft dargestellt.

Auf Basis der Netzgeometrie und der definierten Materialklassen erfolgt eine Klassifizierung der CN-Werte für alle Modellknoten und eine Festlegung der Eingangsniederschläge für das Hydro-As-Modell. Insgesamt werden 20 Zeitreihen (Intensitätsganglinien) für die Zugabe in den Knoten erstellt, die Umrechnung in den tatsächlichen Abfluss erfolgt in Hydro_As-2d auf Basis der Fläche der den Knoten umgebenden Netzelemente.

Neben der Möglichkeit der Definition und Übergabe der Modellparameter sowie der Zeitreihen in das Hydro_As-2d Modell können "on the fly" bzw. auch nach Abschluss der 2d-hydraulischen Berechnung die Ganglinien an definierten Querschnitten grafisch ausgegeben werden.

The screenshot shows the 'N2D - Beta' software interface. On the left, there are input fields for file paths and a list of soil groups (GRUPPE A, B, C, D) with their descriptions. Below this is a 'Precipitation' section with options for 'use ehvd data' or 'use time series', and fields for 'N-ID', 'duration t', and 'return period years'. There are also checkboxes for 'CN correction for slope of elements' and 'delete all existing inflows/ns in 2dm'. At the bottom, there are buttons for 'execute and save', 'Show Q-Curve', 'Help', and 'Exit'.

On the right, there is a table with the following columns: Mat-ID, ks, CN-2, sm-class, imp. area, and N-ID. The table contains 26 rows of data, representing different material classes and their properties.

Mat-ID	ks	CN-2	sm-class	imp. area	N-ID
1	1	10.00	84.00	2	0.00
2	2	8.00	73.00	2	0.00
3	4	12.00	81.00	2	0.00
4	6	1.00	98.00	2	0.00
5	5	40.00	90.00	2	0.00
6	3	20.00	71.00	2	0.15
7	8	25.00	98.00	2	0.00
8	7	15.00	60.00	2	0.00
9	0	0.00		2	0.00
10	0	0.00		2	0.00
11	0	0.00		2	0.00
12	0	0.00		2	0.00
13	0	0.00		2	0.00
14	0	0.00		2	0.00
15	0	0.00		2	0.00
16	0	0.00		2	0.00
17	0	0.00		2	0.00
18	0	0.00		2	0.00
19	0	0.00		2	0.00
20	0	0.00		2	0.00
21	0	0.00		2	0.00
22	0	0.00		2	0.00
23	0	0.00		2	0.00
24	0	0.00		2	0.00
25	0	0.00		2	0.00
26	0	0.00		2	0.00

Abbildung 1: Oberfläche Waspi-N2D zur Zuweisung der CN-Werte und Niederschläge

2.3 2d-hydraulische Modellierung

Für die 2d-hydraulische Modellierung wurde das in Österreich und Deutschland für die Fließgewässermodellierung weit verbreitete Modell Hydro-As_2d in der Version 4.1 (Nujic, 2015) verwendet, bei welchem in der aktuellen Version auch Niederschläge in jedem Netzknoten zugegeben werden können.

Das Berechnungsmodell löst die 2d-tiefengemittelte Strömungsgleichungen (Flachwassergleichungen) mit der räumlichen Diskretisierung nach der Finite-Volumen-Methode, und der Zeitdiskretisierung nach dem Runge-Kutta-Verfahren zweiter Ordnung (explizit). Die Berechnung des Reibungsgefälles erfolgt nach Darcy-Weisbach, die Bestimmung des Widerstandsbeiwerts nach Manning Strickler.

Für die Berechnung spezieller Bauwerke wie z. B. Wehre und Durchlässe kommen in der Regel 1d-Elemente zwischen zwei Netzknoten mit empirischen Formeln (z. B. nach Poleni) zur Anwendung.

Eine detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Methoden und Gleichungen kann dem Handbuch (Nujic, 2015) entnommen werden.

Das Pre- und Post Processing (Netzbearbeitung und Ergebnisdarstellung) erfolgte mit der Software SMS 12 (Aquaveo, 2016)

2.4 Fallbeispiele

Für den vorliegenden Beitrag wurden zwei Fallbeispiele untersucht, die im Folgenden näher beschreiben werden.

In beiden Fällen wurden als Niederschlag e-Hyd Starkregendaten der nächstgelegenen Gitterpunkte verwendet und jeweils mehrere 100-jährliche Ereignisse mit unterschiedlichen Dauerstufen simuliert. Dadurch kann der maßgebliche Abfluss für unterschiedliche Querschnitte bzw. Stützstellen im hydraulischen Modell ermittelt werden.

2.4.1 Fallbeispiel A: ländliches Hangwassereinzugsgebiet

Im untersuchten ländlich geprägten Fallbeispiel A wurde ein Einzugsgebiet modelliert, in dem durch die Neuerschließung eines Siedlungsgebiets die Gefahr bestand, dass sich die schon derzeit angespannte Abflusssituation (Wasser nahe an Objekten, regelmäßige Überflutung landwirtschaftlicher Flächen, Ausspülungen bei Gerinnen und

Gewässern) verschlechtert. Das Einzugsgebiet weist eine Fläche von rund 35 ha auf, die Entwässerung erfolgt derzeit über Straßengräben bzw. Verrohrungen und in weiterer Folge über zwei Vorfluter im Talraum. Eine gesonderte Regenwasserkanalisation ist nicht vorhanden, eine Versickerung von Wässern ist aufgrund der Bodenverhältnisse nicht möglich.

Die Zuweisung der Rauheiten und der CN-Werte erfolgte aus Literatur- und Erfahrungswerten, Abfluss- bzw. Niederschlagsmessungen sind im Einzugsgebiet nicht vorhanden.

2.4.2 Fallbeispiel B: Urban geprägtes Hangwassereinzugsgebiet

Bei dem zweiten untersuchten Fallbeispiel B handelt es sich um ein etwas größeres Einzugsgebiet (ca. 3.16 km²) im Grazer Stadtbereich, das im Unterlauf eine deutlich urbanere Struktur aufweist. Im Oberlauf dieses Einzugsgebietes ist zur Reduktion der Hochwassergefährdung ein Rückhaltebecken geplant. Im Einzugsgebiet befinden sich mehrere kleinere Seitenzubringer sowie einige Teiche.

Für den Vorfluter des Einzugsgebiets lagen ein bestehendes 2d-hydraulisches Modell des Talraumes sowie die entsprechenden Ausweisungen der Überflutungsflächen und Wassertiefen bei HQ₃₀ und HQ₁₀₀ vor, ein Niederschlags-Abfluss Modell (HEC 1) war ebenfalls verfügbar.

Zur Abbildung des gesamten Einzugsgebietes im 2d-hydraulischen Modell wurde das bestehende Abflussmodell des Talraumes um die Hangbereiche erweitert. Dabei wurde den Elementen der Hangbereiche neue Material-IDs zugewiesen und das bestehende Modell im Talraum unverändert übernommen.

Die Zuweisung der Rauheiten und in weiterer Folge der CN-Werte erfolgte auf Basis der Landnutzung. Wie im Kapitel Ergebnisse diskutiert, wurden die Strickler-Beiwerte für die Hangbereiche auf Basis der Ergebnisse der ersten Berechnungen deutlich reduziert.

2.5 Kalibrierung/ Plausibilisierung

In den beiden untersuchten Gebieten liegen keine Messdaten für eine Kalibrierung vor. Vor allem für den flächig auftretenden Hangwasserabfluss ist daher eine Plausibilisierung mit Beobachtungen vor Ort (Anwohner, Behörden etc.) unbedingt notwendig.

Für das Fallbeispiel B wurde eine Kalibrierung an den Spitzenabflusswerten für HQ_{100} durchgeführt. Ein Vergleich der Modellergebnisse erfolgte mit den Ergebnissen des vorliegenden Niederschlag-Abfluss Modells.

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Simulation für die beiden Fallbeispiele dargestellt.

3.1 Ergebnisse Fallbeispiel A

Die Ergebnisse für Fallbeispiel A zeigten, dass sich die Abflüsse in der Simulation analog zu den Beobachtungen der Anwohner vor Ort einstellen.

Mit dem Modell konnte in Folge eine Identifikation von Problemstellen durchgeführt und Aussagen über die Wirksamkeit von unterschiedlichen Maßnahmen und Strategien zur Verminderung von Überflutungsereignissen getroffen werden.

Teilweise zeigte sich, dass maßgebliche Fließwege durch zukünftiges Bauland verlaufen, wodurch zum einen entsprechende Maßnahmen zum Eigenschutz erforderlich werden, aber auch eine eventuelle Änderung der Abflusswege für Neben- bzw. Unterlieger Probleme bzw. deutliche Verschlechterungen ergeben können.

Als großer Vorteil der 2d-hydraulischen Berechnung gegenüber z. B. GIS-basierten Ausweisungen auf Basis von Tiefenlinien zeigte sich, dass durch die Berechnung der tatsächlichen Wassertiefen zum Teil maßgebliche Übertritte in andere Tiefenlinien stattfinden, welche mit anderen Methoden nicht als dementsprechend gefährdet dargestellt werden (können). Dies trifft z. B. bei kleinen, nicht in Tieflagen verlaufenden Gerinnen (Straßengräben) auf, die bereits bei geringen Abflüssen hydraulisch überlastet sind und deren Ausuferungen vom Gerinne getrennte Abflusswege bilden.

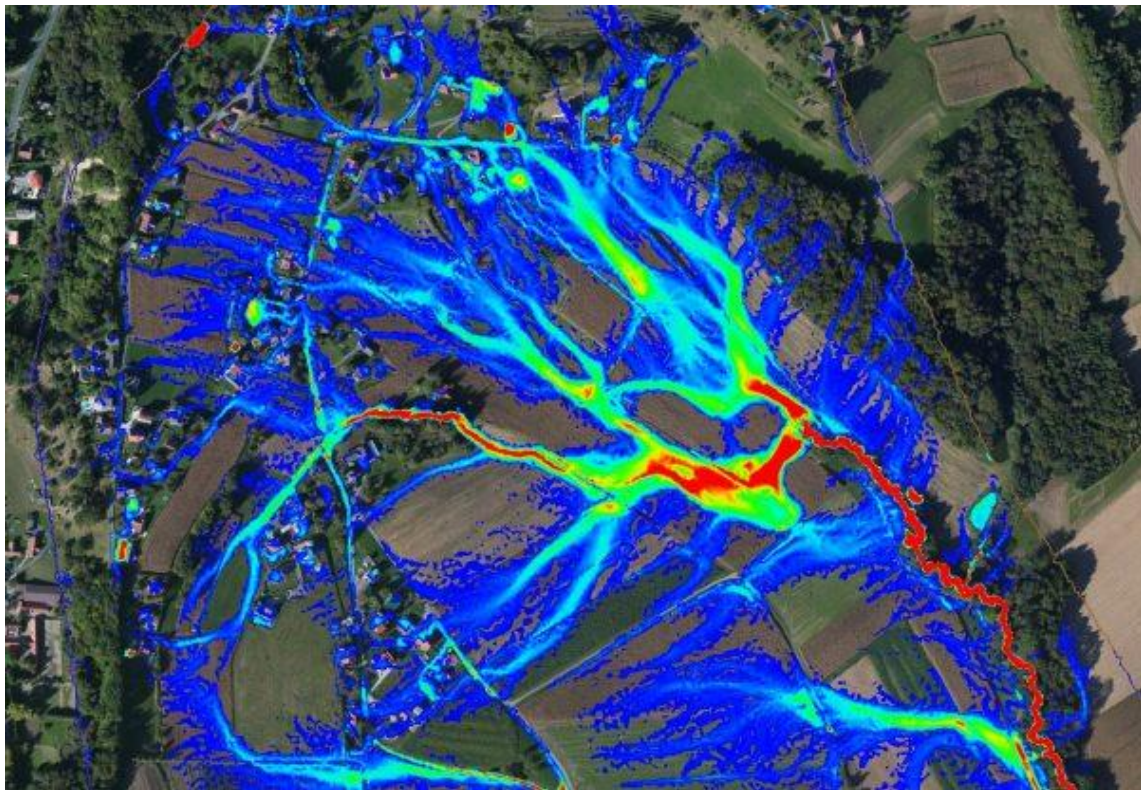


Abbildung 2: Ergebnisse der 2d-hydraulischen Simulation / N2D für Fallbeispiel A (Wassertiefen von blau nach rot)

3.2 Ergebnisse Fallbeispiel B

Für das Fallbeispiel B wurde eine Kalibrierung des Modells auf die Spitzenabflusswerte bei HQ_{100} am Einzugsgebietsauslauf durchgeführt. Dabei zeigte sich wie bereits eingangs beschrieben, dass die Rauheiten im Hangbereich deutlich rauer angesetzt werden müssen als im Bereich des Flussschlauchs. Eine gute Übereinstimmung im Spitzenabfluss konnte mit einer Halbierung der im Talraum angesetzten Strickler-Beiwerte erreicht werden. Das Einzugsgebiet mit den berechneten Wassertiefen für einen ausgewählten Zeitschritt ist in Abbildung 3 dargestellt.

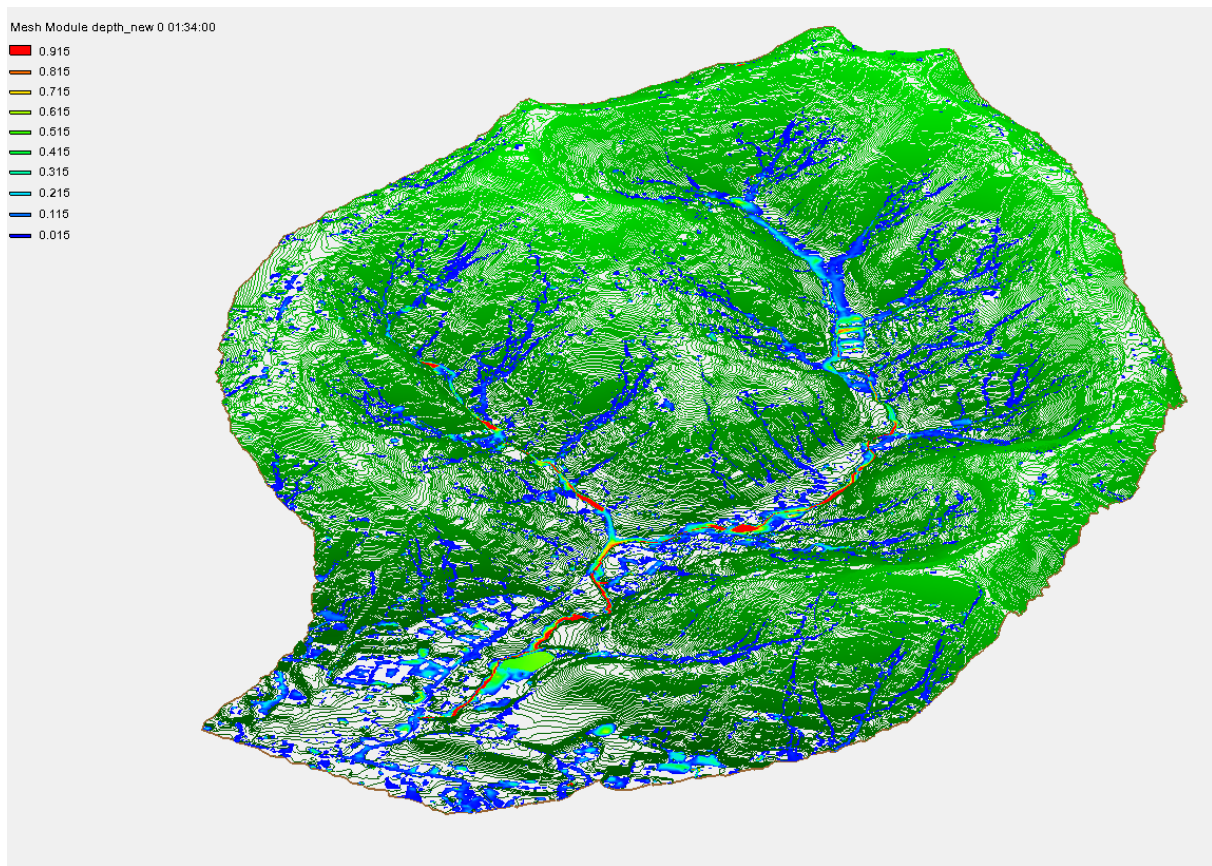


Abbildung 3: Ergebnisse der 2d-hydraulischen Simulation für Fallbeispiel B (Wassertiefen von blau nach rot)

Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus dem vorliegenden NA-Modell im Oberlauf (geplanter Standort Rückhaltebecken) und im Unterlauf ist in Abbildung 4 dargestellt. Daraus zeigt sich, dass sich im Unterlauf erwartungsgemäß für das maßgebliche Ereignis eine gute Übereinstimmung in der Abflussspitze von ca. $16 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt, das Volumen der Welle aber deutlich kleiner ist als aus der Berechnung im Niederschlags-Abfluss Modell. Auch ist ersichtlich, dass für die Berechnungen im 2d-hydraulischen Modell noch kein Ansatz für den Basisabfluss berücksichtigt wurde.

Eine Auswertung des vorhandenen Volumens im Modell nach Ablauf des Regenereignisses und der Welle im Vorfluter zeigt, dass ein erhebliches Volumen von mehreren tausend Kubikmetern in den natürlich vorhandenen Retentionsräumen zurückbleibt.

Für die berechnete Welle im Oberlauf ergibt sich aus der N2D / 2d-hydraulischen Berechnung eine deutlich höhere Abflussspitze das Volu-

men ist annähernd gleich groß. Die höhere Spitze ist im Vergleich mit empirischen Formeln (z. B. nach Wundt) aber grundsätzlich plausibel.

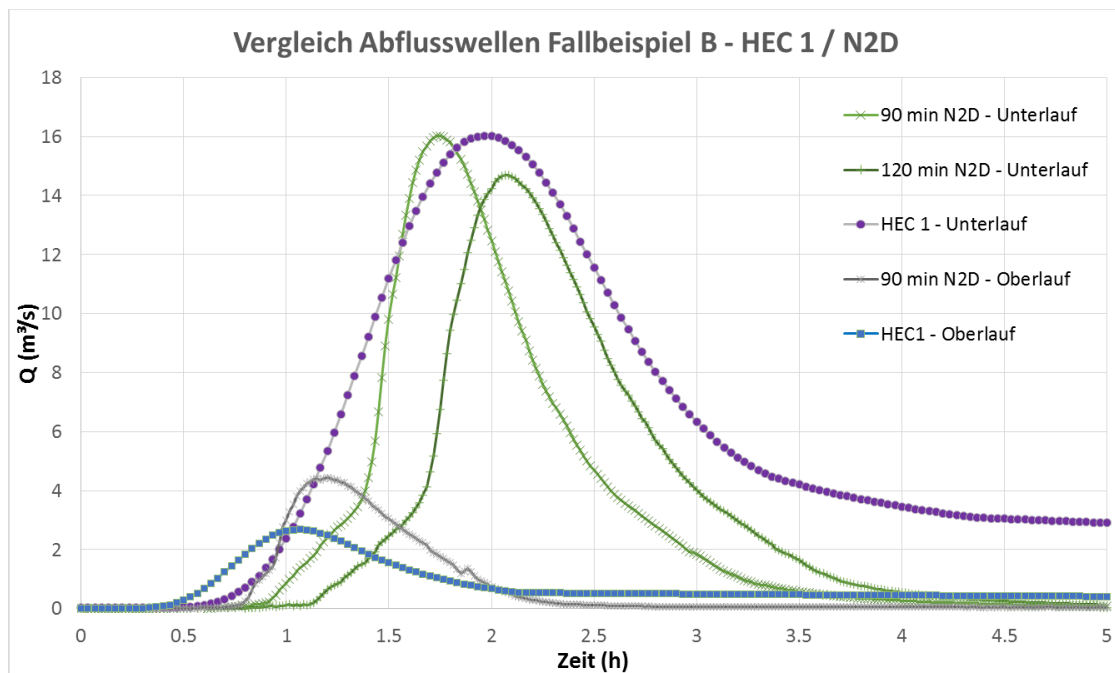


Abbildung 4: Vergleich Abflusswellen 2d-hydraulische Simulation /N2d und HEC 1 (NA-Modell) für Fallbeispiel B

Für das im Oberlauf geplante Rückhaltebecken konnte auf Basis der 2d-Berechnung gezeigt werden, dass die Wässer eines Teileinzugsgebiets, welches im Becken miterfasst werden sollte, auf Grund einer bestehenden Straße erst unterhalb des geplanten Beckens in den Vorfluter gelangen und somit zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden, um die Wässer in das Becken zu bringen.

4 Zusammenfassung

In den beiden dargestellten Fallbeispielen zeigte sich, dass durch die plakative Darstellung der Ergebnisse (z. B. auch über Videos des Abflussgeschehens) ein für die Stakeholder verständliches Bild und damit eine solide Diskussionsgrundlage geschaffen wurde. Allgemein zeigte sich, dass Berechnungen zur Erstanalyse auch für größere Einzugsgebiete ohne großen Aufwand möglich sind. Ein Vorteil des zugrundeliegenden Modells ist, dass eine beliebige Netzgeometrie möglich ist und zusätzlich Zuflüsse von außen (z. B. in Bächen und Gerinnen) berücksichtigt werden können. Auch die Abbildung von Kleinstrukturen (Stra-

ßengräben, Durchlässe, Mauern etc.) ist möglich. Im Vergleich zur GIS/CAD-basierten Auswertung von Fließpfaden werden die Wassertiefe und der Abfluss realitätsnah abgebildet, was teilweise zu maßgeblich geänderten Fließwegen führen kann. Zusätzlich zeigt sich, dass das aktivierbare Volumen im Gelände einen maßgeblichen Einfluss auf die Abflussschwelle haben kann.

Derzeit in Entwicklung befinden sich noch Ansätze um den Basisabfluss auch im 2d-hydraulischen Modell abbilden zu können sowie die Möglichkeit der Berücksichtigung nicht durchströmbarer Objekte in der Abflussbildung.

Als Herausforderung ist die hohe Abhängigkeit von Fließzeit und Wellenform von den gewählten Strickler-Beiwerten zu nennen. Rauheiten aus der Flusshydraulik sind für Bereiche mit geringen Abflusstiefen deutlich zu glatt. Zusätzlich besteht eine Korrelation zwischen Rauheit und CN Wert in Hinblick auf die Wellenform (Scheitel und Volumen). Da in Hanggeinzugsgebieten in der Regel keine Beobachtungsdaten zur Kalibrierung vorhanden sind, müssen die Wellen bestmöglich plausibilisiert werden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, eine Kalibrierung anhand belastbarer Messdaten wäre unbedingt anzustreben.

Auch eine Einzugsgebietsweite Darstellung der Ergebnisse stellt eine Herausforderung dar, da für unterschiedliche Querschnitte unterschiedliche Ereignisse maßgeblich werden.

5 Literatur

- Aquaveo (2016) SMS 12.1 User Manual. Aquaveo, LLC, Utah, USA
- Nujic M. (2015) Benutzerhandbuch Hydro_AS-2d, Hydrotech Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen.
- Price R.K. und Vojinovic Z. (2011) Urban Hydroinformatics - Data, Models and Decision Support for integrated Urban Water Management, IWA Publishen, London.
- Sackl B.J. (2016) WASPI-Hec2 Version 4.0 - Hilfe, Hydroconsult GmbH, Graz, Austria.
- Schmitt T.G. (2011) Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen - Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz? Korrespondenz Abwasser (58), 0140 - 0149.

USDA (1986) Technical Release 55, Urban Hydrology for Small Watersheds.
United States Department of Agriculture, Washington, USA

US-SCS (1972) SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. Soil
Conservation Service, S.C.S. (ed), Washington, USA.

Korrespondenz an:

DI Dr. Valentin Gamerith
St. Veiter Straße 11 a
Tel.: +43 316 69 47 77 19
Fax: +43 316 69 47 77 5
Email: gamerith@hydroconsult.net