

Berechnungsansatz zur Ermittlung der Überschwemmungsgebiete mit ganzheitlicher Betrachtung der Hochwassergefahrenquellen

M. Schindler, Ch. Fuchs, N. Kirsch und H. Øverland

Zusammenfassung

Zweidimensionale, hydraulische Modelle in Verbindung mit N-A-Modellen haben sich im letzten Jahrzehnt deutschlandweit als wirksames Instrument zur Ermittlung von Überschwemmungsgebieten entlang von Gewässern etabliert. Das Augenmerk liegt dabei auf die Gefährdung durch Ausuferungen aus den Vorflutern. Die Quellen der Hochwassergefährdung sind jedoch vielseitig, so dass in bestimmten Fällen die alleinige Betrachtung der Hochwassersituation im Vorfluter nicht ausreichend ist.

Im Rahmen eines Fallbeispiels in der norwegischen Gemeinde Hå, wo im August 2014 bedingt durch Starkniederschläge erhebliche Schäden aufgetreten sind, wurde ein ganzheitlicher Berechnungsansatz entwickelt, der neben den Ausuferungen der Vorfluter auch die Hochwassergefährdung durch wild abfließendes Wasser und Kanalüberstau berücksichtigt.

Die Überschwemmungsgebiete durch Hochwasserführung in den Gewässern werden mit gängigen Ansätzen unter Verwendung eines Niederschlags-Abfluss-Modells (N-A-Modell) in Verbindung mit einem zweidimensionalen hydraulischen Modell bestimmt.

In den ortsnahen Hangflächen wird die Hochwassergefährdung durch wild abfließendes Wasser bestimmt. Die Abflussbildung und der Abflusstransport in diesen Bereichen werden rechnerisch mit dem zweidimensionalen Modell unter Verwendung eines flächenhaften Niederschlagsansatzes erfasst. Die hierbei stattfindenden räumlich differenzierten Fließprozesse werden über eine iterative Berechnung mit unterschiedlichen Rauheitsansätzen abgebildet.

Die Gefährdung im Ortsinneren ist insbesondere von den Abflussprozessen im Kanalnetz und auf der Oberfläche sowie von der Wechselwirkung beider Bereiche geprägt. Die Stadthydrologie und -hydraulik wird mit einem hydrotechnischen Kanalnetzmodell erfasst. Die Interaktion der beteiligten Systeme im urbanen Bereich wird mit einer iterativen Berechnung zwischen dem Kanalnetz- und dem Oberflächenmodell beschrieben.

Neben dem rechnerischen Aspekt stellt die ganzheitliche Betrachtung der Hochwassergefährdung hohe Anforderungen an die Auswertung und Darstellung der erzielten Ergebnisse. Die Überschwemmungsgebiete werden mit geeigneten GIS-Methoden gewonnen.

Die vorgeschlagene Methodik bietet eine umfassende Analyse der potentiellen Hochwassergefährdungen und liefert die Basis für eine zielgerichtete Maßnahmenplanung.

1 Einleitung

Die Verwendung von Oberflächen- und Kanalnetzmodellen in der Wasserwirtschaft ist weit verbreitet. In den letzten Jahren wurden erheblichen Anstrengungen unternommen, um die hochwassergefährdeten Gebiete zu lokalisieren und darauf aufbauend einen wirksamen Hoch-

wasserschutz zu entwickeln. Oberflächen- und Kanalnetzmodelle spielen in diesem Prozess eine wichtige Rolle.

Speziell die flussnahen Siedlungsbereiche sind vom Hochwasser besonders gefährdet. Hier sind nicht nur die größten Schäden an Gebäuden und Infrastruktur zu erwarten. Es ist auch die größte Gefährdung vom Leben und Gesundheit zu befürchten. Der Schutz dieser Bereiche gegen Hochwasser war daher in den letzten Jahren prioritär.

Die Hochwasserproblematik vieler Städte und Gemeinden beschränkt sich allerdings nicht auf die o.g. Gebiete. Mit zunehmender Umsetzung des Hochwasserschutzes rückt allmählich die Gefahr durch wild abfließendes Wasser stärker in den Fokus der Untersuchungen. Hinzu kommen Probleme durch nicht ausreichend leistungsfähige Entwässerungssysteme im urbanen Bereich.

Im Zuge eines umfassenden Hochwasserschutzes ist die Entwicklung eines ganzheitlichen Rechenansatzes sinnvoll, mit dem folgende Ursachen einer Hochwassergefährdung berücksichtigt werden: Ausuferungen der Vorfluter, wild abfließendes Wasser und Kanalüberstau. Diese Betrachtungen liefern eine solide Grundlage für sämtliche Untersuchungen und Betrachtungen, die im Rahmen einer weiterführenden Maßnahmenplanung durchgeführt werden (Kosten-Nutzen-Analyse, Festlegung von Art und Umfang von Maßnahmen etc.).

Im Rahmen des hier beschriebenen Fallbeispiels wurde eine Untersuchungsmethodik entwickelt, um ein ganzheitliches Bild der Hochwassersituation in den untersuchten Bereichen zu erhalten.

2 Untersuchungsgebiet und bestehende Verhältnisse

Die Kommune Hå liegt im Südwesten von Norwegen etwa 40 km südlich von Stavanger in der Provinz Rogaland. Die vorliegende Untersuchung umfasste die Ortschaften Vigrestad, Varhaug, Nærbø und Brusand. Eine Übersicht über die geographische Lage des Untersuchungsgebiets kann der Abb. 1 entnommen werden.

Die betrachteten Ortschaften verfügen über ein Netz von Gewässern, mit denen das Wasser aus den umliegenden Einzugsgebieten abgeleitet wird. Im Rahmen der Besiedlung wurden die Vorfluter bereichsweise verrohrt. Die untersuchten Städte zeigen auch ausgeprägte Hanglagen, die teils über Entwässerungsgräben, teils direkt über die Oberfläche entwässert werden und an die Regenwasserkanalisation über entsprechende Einlaufbauwerke angeschlossen sind.

Nach Starkniederschlägen im August 2014 wurden weite Bereiche der o.g. Ortschaften überflutet. Die Gefährdung erfolgte sowohl durch Ausuferungen aus den Gewässern als auch durch wild abfließendes Wasser.



Abb. 1 Geografische Lage des Untersuchungsgebiets (Kartenquelle: www.norgeskart.no)



Abb. 2 Vigrestad Bereich Rundvegen. Situation vor (rechts oben), während (links) und nach (rechts unten) dem Hochwasser vom August 2014 (Fotos: Eirik Sør-Reime und eigene Aufnahme)

3 Methodik

Um die Überschwemmungsgebiete aus den vorgenannten Gefahrenquellen zu ermitteln, wurden die Flächen des jeweilig untersuchten Einzugsgebiets unter Berücksichtigung des Entwässerungsverhaltens in folgende Klassen (Typen) unterteilt:

- Typ 1 - Teilgebiete mit ausgeprägtem Vorfluter: die Entwässerung dieser Bereiche erfolgt konzentriert über ein Gewässer, das die Abflüsse aus dem Gebiet sammelt und transportiert. Die Hochwassergefährdung aus diesen Flächen entsteht durch Ausuferungen aus den Gewässern.
- Typ 2 - Hanggebiete: hierbei handelt es sich um Hangflächen ohne markante Tiefpunkte (Vorfluter) oder mit einem kleinräumig strukturierten Gelände. Das Wasser fließt hier dem Geländegefälle folgend breitflächig ab (wild abfließendes Wasser).
- Typ 3 - Stadtgebiete: in den Stadtgebieten wird ein relevanter Teil des gefallen Niederschlags über die Kanalisation abgeleitet. In diesen Bereichen ist das Abflussverhalten der Kanalisation maßgebend.

Da der Abfluss aus den Flächen des Typs 1 die Vorfluter punktuell belastet, werden die Bemessungsabflüsse in diesem Fall unter Verwendung eines N-A-Modells ermittelt. Die dabei gewonnenen Abflussganglinien dienen als Eingabe für die Berechnungen mit dem Oberflächengewässermodell.

Die Entstehung vom wild abfließenden Wasser in den Flächen des Typs 2 ist ein flächenhafter Prozess. Ferner ist die Abflusskonzentration in den Hanggebieten oft von den kleinräumigen Geländebeziehungen geprägt. Der Ansatz eines punktuellen Zuflusses wie bei den Flächen des Typs 1 wäre ungenügend. Diese Abflussanteile werden deshalb mit dem Oberflächenmodell durch die Definition einer flächenhaften Niederschlagsbelastung ermittelt. Modelltechnisch erfolgt die Implementierung des flächenhaften Niederschlags knotenweise über einen Quellterm. Davor wird der Effektivniederschlag aus dem Bemessungsniederschlag unter Verwendung des Abflussbeiwertverfahrens ermittelt. Auf dieser Weise wird der Einfluss der Infiltration und der Evapotranspiration vereinfacht rechnerisch erfasst. Neben der räumlichen wird bei den Berechnungen eine zeitliche Verteilung des Niederschlags berücksichtigt. Zu diesem Zweck werden zeitlich aufeinander folgende Berechnungsläufe mit unterschiedlichen Berechnungsansätzen durchgeführt.

Der Reibungswiderstand des Wassers hängt u. A. von der Wassertiefe ab. Beim Ansatz eines flächenhaften Niederschlags werden Fließwege mit sehr geringen Wassertiefen von der Berechnung erfasst. In diesen Bereichen, in denen das Wasser als dünner Film abläuft, sind hohe Fließwiderstände zu erwarten. Zudem muss über den Ansatz des Fließwiderstands auch die Abflussverzögerung des Abflussanteils in den oberen Bodenschichten (Interflow) modelliert werden. Um den Einfluss der Fließtiefe auf den Fließwiderstand zu quantifizieren, wurde eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt, bei der die Abflusskonzentration in den Hanggebieten unter Verwendung verschiedener Rauheitsansätze ermittelt wurde. Als Ergebnis der Sensitivitätsuntersuchung wurde ein wassertiefenabhängiger Rauheitsansatz festgelegt. Dafür wurden sowohl die unterschiedlichen Rauheitsansätze untereinander als auch mit den Ergebnissen aus dem N-A-Modell verglichen (vgl. Kap. 4).

Zwischen den ober- (Vorfluter und Geländeoberfläche) und den unterirdischen Transportwegen des Wassers (Kanalisation) kann es in erster Linie an folgenden Stellen zu einer Interaktion kommen:

- Einläufe der Kanalisation: Im Bereich von Einläufen kann Oberflächenwasser in die Kanalisation gelangen und zu einer zusätzlichen Belastung der Haltungen führen.
- Ausläufe der Kanalisation: Teile der Regenwasserkanalisation werden in die Vorfluter eingeleitet. Durch eine konzentrierte Abgabe von Regenwasser können die Abflussverhältnisse in den Vorflutern relevant beeinflusst werden. Umgekehrt können auch die Wasserstände an den Vorflutern bestimmend für die Abflussverhältnisse in der Kanalisation sein (z.B. durch Rückstaueffekte).
- Schächte der Kanalisation: Bei Starkniederschlägen kann es zu einer Überlastung von Teilbereichen der Kanalisation kommen. In diesem Fall kann das Wasser aus den Schächten austreten und zu Überflutungsschäden führen. Eine Rückführung von Oberflächenwasser in den Kanal ist bei abklingendem Wasserspiegel in der Haltung ebenso möglich.

Um die oben aufgelistete Wechselwirkung modelltechnisch zu erfassen, wird das Oberflächenmodell mit dem Kanalnetzmodell durch eine iterative Berechnung gekoppelt. Die Kanalnetzberechnungen liefern hierbei die Abschlagsmengen in die Vorfluter und die Überstauganglinien aus der Kanalisation. Das hydraulische Verhalten des Kanalnetzes und dessen Leistungsfähigkeit an den Gewässereinläufen bestimmen das Abflussaufnahmevermögen des Kanalnetzes und werden im Zuge der Modellkopplung durch Wasserstands-Abflussbeziehungen beschrieben. Aus den Berechnungen mit dem Oberflächenmodell resultieren die Wasserstände an den Ausläufen der Regenwasserkanalisation sowie die Zuflüsse ins Kanalnetz. Die Berechnungen mit dem Oberflächen- und dem Kanalnetzmodell werden abwechselnd durchgeführt, bis keine relevanten Änderungen der Modellrandbedingungen an den Modellschnittstellen (siehe oben) festgestellt werden.

Nach Abschluss der iterativen Berechnungen sind die Überstauganglinien an den Schächten der Kanalisation bekannt. Diese werden in einem letzten Schritt in das hydraulische Modell implementiert. Die anschließende Wasserspiegellagenberechnung liefert die Überschwemmungsgebiete durch Überstau aus der Kanalisation.

4 Ergebnisse

Wie im Kap. 3 erläutert, wurde im Rahmen des vorgestellten Projekts eine Sensitivitätsuntersuchung durchgeführt, um die Wirkung eines wassertiefenabhängigen Rauheitsansatzes zu quantifizieren. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden beispielhaft für ein Hanggebiet östlich der Ortschaft Nærbø (vgl. Abb. 3) mit einer Gebietsfläche von ca. 1 km² illustriert.

Die Berechnungen wurden mit unterschiedlichen Rauheitsansätzen durchgeführt. Ausgangspunkt der Sensitivitätsuntersuchung sind die Ergebnisse eines Rechenlaufs mit üblichen Rauheitsbeiwerten sowie die Ergebnisse aus der Berechnung mit dem N-A-Modell.

Die durchgeführte Parametervariation umfasst sowohl die Anpassung der Rauheitsbeiwerte sämtlicher Materialien als auch die Festlegung eines gesonderten Rauheitsansatzes für die Modellbereiche, die mit sehr geringen Wassertiefen benetzt werden. Die bei den durchge-

fürten Rechenläufen definierten Rauheiten sind in der Tab. 1 aufgelistet. Die Abb. 4 zeigt die ermittelten Abflussganglinien am Auslauf des vorgenannten Hanggebietes.

Das Material „Wasserfilm“, das für die Berechnungsläufe 4 bis 10 gemäß Tab. 1 definiert wird, umfasst die Flächen im Modell, die mit Wassertiefen < 3 cm vernässt werden. Diese Bereiche werden anhand einer vorgeschalteten Berechnung ermittelt und mit Hilfe von GIS-Analyse herausgefiltert.

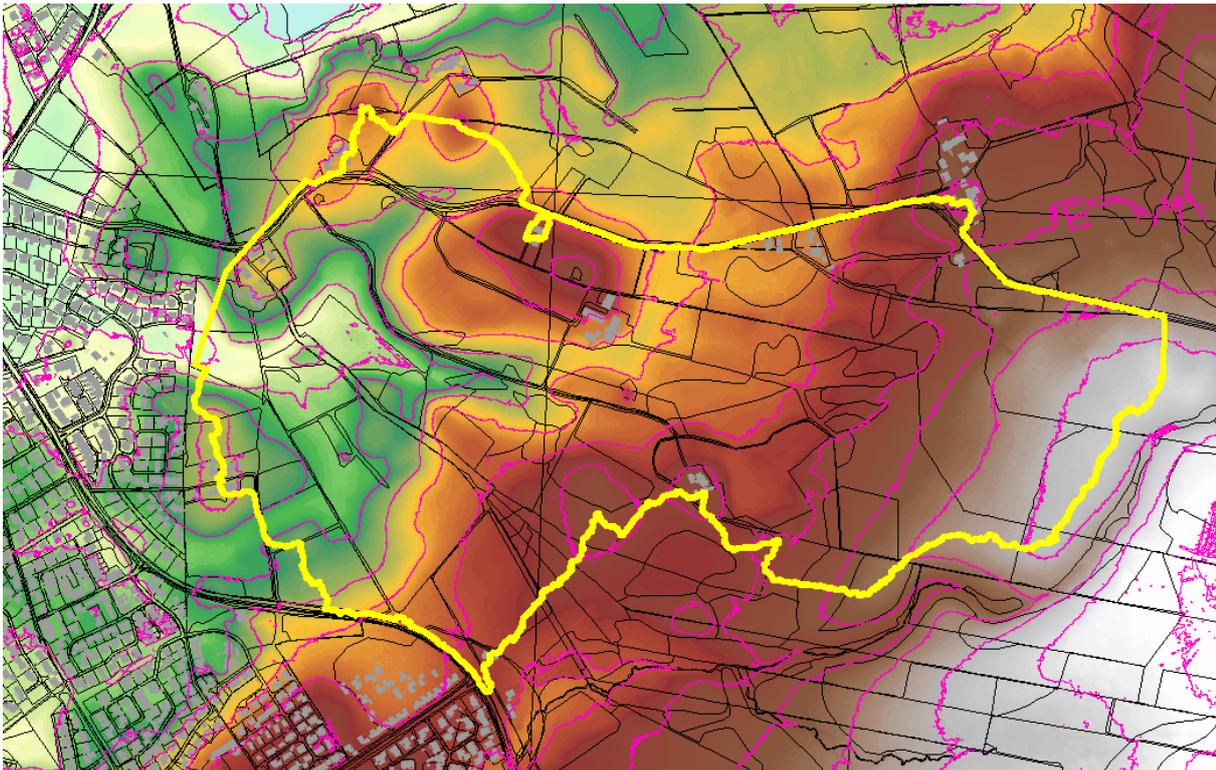


Abb. 3 Hanggebiet östlich von Nærbø, Darstellung der Gebietsgrenzen, Höhenmodell und Isolinien (Abstand 5 m)

Damit die Abflussbelastung im Bereich der berechneten Flächen rechnerisch vollständig erfasst wird, muss der Niederschlag, der im Bereich von Gebäuden anfällt, bei den Modellberechnungen berücksichtigt werden. Gebäude werden modeltechnisch in den gängigen Berechnungsansätzen als nicht durchströmte Flächen implementiert. Dieser Ansatz würde in den Hanggebieten zu einer Unterschätzung der Abflussbelastung führen. Die Gebäude werden in den berechneten Gebieten mit einem stark verringerten Rauheitsbeiwert von $0,1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ belegt. Auf dieser Weise kann die Niederschlagsbelastung berücksichtigt werden. Gleichzeitig ist eine Durchströmung der Gebäude aufgrund des hohen Fließwiderstandes kaum gegeben.

Die Abb. 4 zeigt, dass der größte Abflussscheitel mit dem üblichen Rauheitsansatz ermittelt wird. Die Abflussprozesse werden bei diesem Ansatz gegenüber der Berechnung mit dem N-A-Modell deutlich beschleunigt. Dies führt zu relevanten Unterschieden sowohl in der Form der Hochwasserwelle als auch im ermittelten Abflussscheitel.

Eine pauschale Reduktion der Rauheitsbeiwerte (vgl. Rechenläufe 2 und 3) führt zu einer Verlangsamung der Welle und einer Verringerung des Abflussscheitels. Der beschleunigte Charakter der Hochwasserwelle bleibt jedoch erhalten.

Der Vergleich der Berechnungsläufe 2 und 4 verdeutlicht, dass eine Verlangsamung des Abflusses im Einzugsgebiet erst durch die Definition eines gesonderten Rauheitsansatzes für die „Flachwasserbereiche“ erreicht werden kann. Bereits geringfügige Veränderungen des Rauheitsbeiwerts für die Flachwasserbereiche bewirken relevante Änderungen in Form und Scheitel der Ganglinie (vgl. z.B. Rechenläufe 6 und 9).

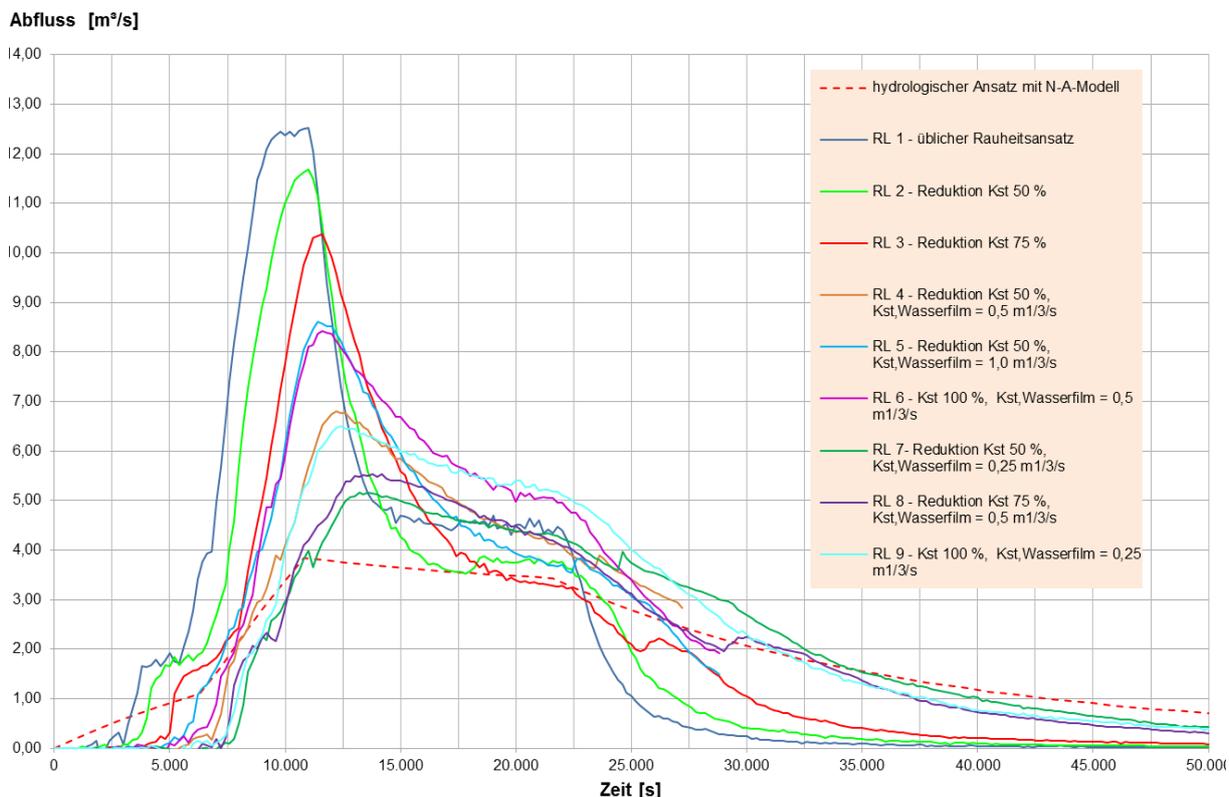


Abb. 4 Berechnete Abflussganglinien am unterstromigen Rand für ein Hanggebiet östlich von Nærbø für unterschiedliche Rauheitsansätze

Tab. 1 Untersuchte Rauheitsansätze

Material	Rauheitsbeiwert k_{st} [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$] beim Rechenlauf (RL)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bahnlinie	40	20	10	20	20	40	20	10	40
Böschung	20	10	5	10	10	20	10	5	20
Straßen	40	20	10	20	20	40	20	10	40
Vorland	20	10	5	10	10	20	10	5	20
Wasserfilm	-	-	-	0,50	1,00	0,50	0,25	0,50	0,25

Unter Berücksichtigung der Gebietseigenschaften und der bestehenden Verhältnisse wurde der Rauheitsbeiwert für die Flachwasserbereiche im konkreten Fall auf $0,25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gesetzt. Die restlichen Rauheitsansätze wurden nicht reduziert. Die mit diesem Ansatz erhaltenen

Ergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung bei der Plausibilisierung der Überschwemmungsgebiete für das Hochwasserereignis im August 2014.

Die erzielten Ergebnisse liefern flächenhafte und detaillierte Informationen hinsichtlich der Abflussverhältnisse und des Gefährdungspotentials im Untersuchungsgebiet. Die Abb. 5 zeigt beispielhaft linksseitig die Überschwemmungsgebiete am Rundvegen in Vigrestad (vgl. auch Abb. 2) und die Fließwege des Hangwassers im vorgenannten Hanggebiet östlich von Nærbø (rechts).

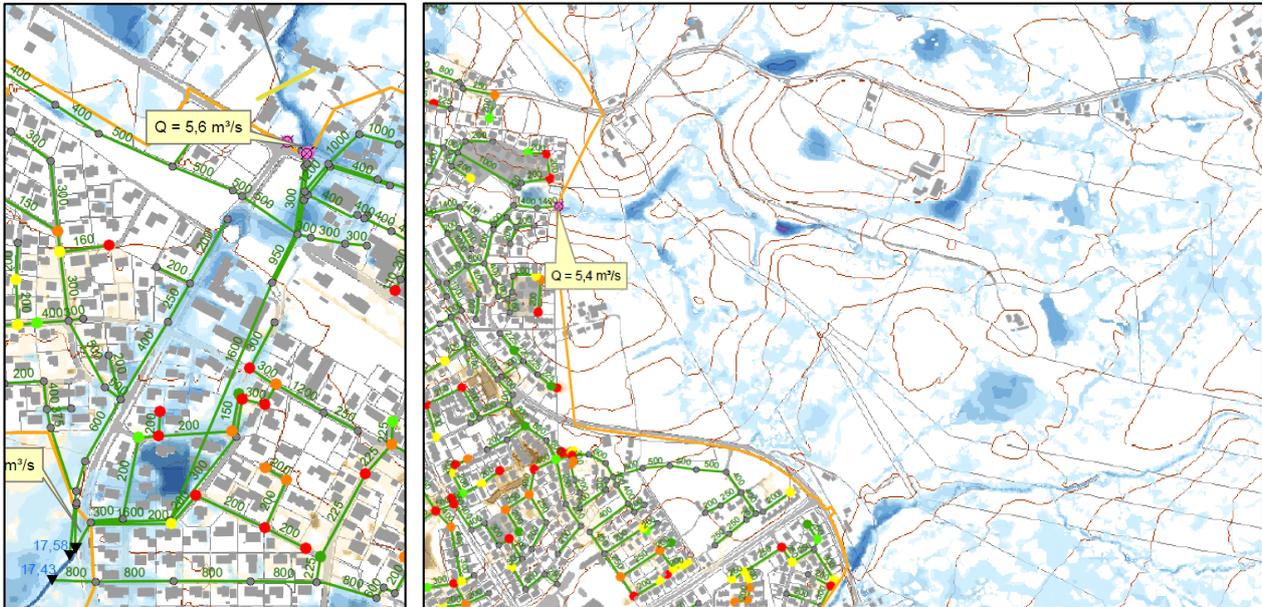


Abb. 5 Rechnerisch ermittelte Überschwemmungsgebiete am Rundvegen in Vigrestad (links) und im Hanggebiet östlich von Nærbø (rechts)

5 GIS-Einsatz

Die Ergebnisse der 2d-hydraulischen Wasserspiegellagenberechnungen werden im Rahmen des Post-Processings Qualitätsprüfungen und umfangreichen Datenaufbereitungen unterzogen. Diese Prozesse werden mittels GIS-Software und dafür firmenintern entwickelten, objektorientierten Methoden durchgeführt.

Mit dem ganzheitlichen Berechnungsansatz kommt der Aufbereitung der Wassertiefen für die Darstellung der Überschwemmungsgebiete gleichzeitig eine besondere Bedeutung zu.

Für eine aussagekräftige und kartografisch korrekte Darstellung des Überschwemmungsgebietes werden zunächst die Flachwasserbereiche räumlich identifiziert. Dabei werden in vorliegend beschriebener Untersuchung Wassertiefen bis 3 cm als Grenzwassertiefe herangezogen. In Plandarstellungen wird der „Flachwasserbereich“ nicht als Teil des Überschwemmungsgebietes dargestellt, sondern aus der ursprünglichen Modellausgabe entfernt. Über die Wahl der Grenzwassertiefe kann die flächendifferenzierte Darstellung der Wassertiefen gesteuert werden. Von einer flächendeckenden Ausdehnung des Überschwemmungsgebietes (mit sehr geringen Wassertiefen) bis hin zu einer starken räumlichen Konzentration auf die wesentlichen Fließwege kann das räumliche Muster des Überschwemmungsgebietes variiert werden.

Gebäudebereiche können je nach den kartografischen Anforderungen im Projekt (großmaßstäbige Darstellung in urbanen Bereichen gegenüber kleinmaßstäbiger Darstellung in weiten Vorlandbereichen) in Überschwemmungsplänen als überströmt oder nicht überströmt dargestellt werden.

6 Ausblick

Wie aus den Erläuterungen ersichtlich wird, ist die angewandte Methodik mit einem relevanten Aufwand verbunden (Iterationsberechnungen, Überlagerung von Ergebnissen etc.). Durch neue Entwicklungen bei den verwendeten Modellen sowie durch die Entwicklung von GIS-Werkzeugen zur Automatisierung von Modellierungsprozessen ist künftig mit einer deutlichen Vereinfachung der vorgestellten Methodik zu rechnen. In diesem Zusammenhang können folgende Beispiele aufgeführt werden:

- Berücksichtigung eines wassertiefenabhängigen Rauheitsbeiwertes in der aktuellen Version des hydraulischen Berechnungsprogramms Hydro_AS-2D,
- Entwicklung einer Benutzerschnittstelle zur Definition und Eingabe des Flächenniederschlags im Oberflächenmodell,
- Entwicklung von Hilfswerkzeugen zur Definition von Überstauganglinien im Oberflächenmodell,
- Entwicklung einer direkten Kopplung der 2d-hydraulischen Berechnung mit Hydro_AS-2D mit einem Kanalnetzmodell.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Rauheitsbeiwert für die „Flachwasserbereiche“ einen sehr sensitiven Parameter in Modellierungsprozess darstellt. In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, künftig durch entsprechend gut dokumentierte kleine Einzugsgebiete (Feldversuche) Erfahrungswerte für diesen Parameter im Speziellen und die vorgeschlagene Vorgehensweise im Allgemeinen zu sammeln.

Anschrift der Verfasser

Dr.-Ing. Manfred Schindler
Dipl.-Ing. Christian Fuchs
Dipl.-Ing. (FH) Nicola Kirsch
Dr.-Ing. Halvor Øverland

Dr. Blasy - Dr. Øverland Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG
Moosstraße 3, D-82279 Eching am Ammersee
manfred.schindler@blasy-overland.de
christian.fuchs@blasy-overland.de
nicola.kirsch@blasy-overland.de
halvor.overland@blasy-overland.de
www.blasy-overland.de