

Erweiterte Ermittlung von Überschwemmungsflächen in urbanen Mischgebieten

R. Engels^{1,*}

¹DHI-WASY GmbH, Weinsbergstr. 190, D-50825 Köln

*Email des korrespondierenden Autors: rae@dhi-wasy.de

Kurzfassung Die aktuellen Hochwasserfragestellungen im urbanen Raum sowie die mittlerweile fünfzehn Jahre Erfahrung mit der gekoppelten Modellierung von Kanalnetz, Oberflächenwasser und Fließgewässern zeigen immer offensichtlicher auf, dass von der Risikoanalyse städtischer Überschwemmungen bis hin zur Maßnahmenplanung zur Optimierung des Abflusstransportes nur eine ganzheitliche Betrachtung des Wasserhaushaltes eine zukunftsichere Infrastrukturplanung ermöglicht. Die Erkenntnisse aus verschiedenen Projekten für den Objektschutz von Gebäuden bei Starkregen im hoch urbanisierten Raum sowie zu den Wechselwirkungen zwischen Grundwasser, Oberflächenwasser und Kanalnetzen werden in dem Beitrag behandelt. Die aus Skandinavien stammenden Beispiele sollen darstellen, welche Möglichkeiten eine ganzheitliche hydrodynamische Wasserhaushaltsbetrachtung insbesondere in urbanen Mischgebieten aufweist und wie alle dort auftretenden Herausforderungen in einem Gesamtkonzept im Sinne der Optimierung und der Nachhaltigkeit der notwendigen Infrastrukturinvestitionen gemeistert werden können.

Schlagwörter: Überschwemmung, Wasserhaushalt, Fremdwasser, ganzheitliche Infrastrukturplanung

1 EINLEITUNG

Die Ermittlung von Überstau- und Überflutungsflächen unter Einsatz von hydrodynamisch gekoppelten Kanalnetz- und Oberflächenwassermodellen (in 1D oder in 2D) sind seit mittlerweile fünfzehn Jahren ein Standardwerkzeug in der Stadtentwässerung. Ebenso sind die daraus resultierende Risikoanalyse und die Maßnahmenplanung auf der Geländeoberfläche mit der Planung im Kanalnetz gleichgestellt. Es gibt mittlerweile eine Reihe von Maßnahmen, deren Wirkung im Hinblick auf ein Starkregenereignis nach deren Umsetzung anhand eines tatsächlichen Ereignisses verifiziert werden konnten.

In der Abflussbildung wird bei diesen Ansätzen derzeit noch ein vereinfachter hydrologischer Ansatz verwendet (z.B. Kinematische Wellenmodelle oder Speicherkaskadenmodelle). Der Abflusstransport auf der Oberfläche und im Kanalnetz wird anschließend durch gekoppelte hydraulische Berechnungsansätze abgebildet, wobei die unterschiedlichen Berechnungsmodelle dynamisch gekoppelt werden und so in jedem Berechnungszeitschritt die relevanten hydraulischen Parameter übergeben werden können.

Allen Ansätzen ist gemein, dass sie die übrigen Kompartimente des (städtischen) Wasserhaushaltes vereinfacht abbilden oder vernachlässigen. Damit sind sowohl die Verdunstung, die Infiltration und Versickerung als auch die Berücksichtigung von Mulden und Fließhindernissen sowie sonstigen Strukturen (z.B. Kellern) gemeint. Je komplexer die Zusammenhänge und je relevanter die einzelnen Komponenten für die Berechnungen sind, desto wichtiger sind die adäquate Berücksichtigung sowie die Wechselwirkungen untereinander.

Insbesondere in urbanen Mischgebieten mit einer zunehmenden Bedeutung von nicht-versiegelten Flächen treten die Wechselwirkungen der einzelnen Kompartimente in den Vordergrund und beeinflussen die Abflussbildung auf der Oberfläche und damit auch im Kanal maßgeblich. Insbesondere die Abflussbildung auf der Oberfläche und die damit verbundene Füllung von Senken, die Betrachtung von Oberflächenwasser, das den Kanal gar nicht erreicht und die Kapazität des Grundwasserleiters und der damit verbundene Fremdwasseranfall lassen sich dann mit einfachen hydrologischen Ansätzen nicht mehr adäquat abbilden.

In diesem Beitrag werden die Erfahrungen aus kombinierten hydrologisch-hydraulischen Modellen für die Ermittlung von Fremdwasser im Kanalnetz (z.B. Ahlman et al., 2010, Gustafsson et al., 2000) kombiniert mit den Erfahrungen aus dem Bereich der Überflutungsanalyse und dem Objektschutz. Die

Erkenntnisse aus diesen Projekten tragen maßgeblich dazu bei, eine andere Sicht auf die hydraulische Planungskultur zu gewinnen und sollen dazu anregen, alternative Maßnahmenkonzepte bei der Infrastrukturplanung in Betracht zu ziehen.

2 NIEDERSCHLAGSABHÄNGIGER ABFLUSS UND INFILTRATION

Das Einzugsgebiet in Huddinge, einem südlichen Stadtteil von Stockholm in Schweden, ist in der Vergangenheit regelmäßig von Überschwemmungen nach Regenereignissen heimgesucht worden. Insbesondere waren Häuser mit Kellern von diesem Phänomen betroffen. Eine erste Analyse der Situation vor Ort mit Hilfe von Abflussmessungen im Trennsystem zeigt einen sehr hohen Anteil an niederschlagsabhängigem Abfluss (Drainagen, Schachtdeckelzuflüsse etc.) und Infiltration (Leckagen etc.). In den Jahren 2008 und 2009 wurden daraufhin die Abflussmessungen auf fünf automatische Messstationen und eine Pumpstation erweitert und über einen langen Zeitraum (September 2008 bis Juni 2009) durchgeführt, unterstützt von Basisabflussmessungen bei Nacht. Diese Daten dienten als Basis für ein hydrogeologisches Modell des Untersuchungsgebietes. Dieses Modell wurde dynamisch mit dem Kanalnetzmodell gekoppelt und anhand der Niederschlags- und Abflussmessungen kalibriert und validiert.

Das Ziel der Untersuchung war

- die exakte Beschreibung der geohydrologischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet und der Kapazität des Schmutzwasserkanals
- die Ermittlung der Quellen des niederschlagsabhängigen Abflusses und der Infiltration
- eine zielgerichtete Maßnahmenplanung vor dem Hintergrund der Minimierung des Überflutungsrisikos

2.1 Untersuchungsgebiet und Modellaufbau

Das Untersuchungsgebiet (Abbildung 1) liegt etwa 10km südwestlich von Stockholm. Es umfasst etwa 650 ha Fläche und enthält 63 km Hauptabwasserkanal mit Durchmessern von 100mm bis 800mm. Das Einzugsgebiet ist im Nordosten und im Süden von Seen umschlossen. Die Hauptabflussrichtung führt von Nordwest nach Südost.

Die geologischen Bedingungen unterscheiden sich zwischen dem Nordwesten und Süden, wo Geschiebemergel und flache Felsformationen vorherrschen und dem mittleren, großen Teil des Einzugsgebietes, in dem neben Geschiebemergel vor allem Tonböden vorherrschen. Das Einzugsgebiet wird nur von sehr wenigen, hydraulisch unbedeutenden oberirdischen Gewässern entwässert, so dass ein bedeutender Teil der Entwässerung über die Kanalisation stattfindet.

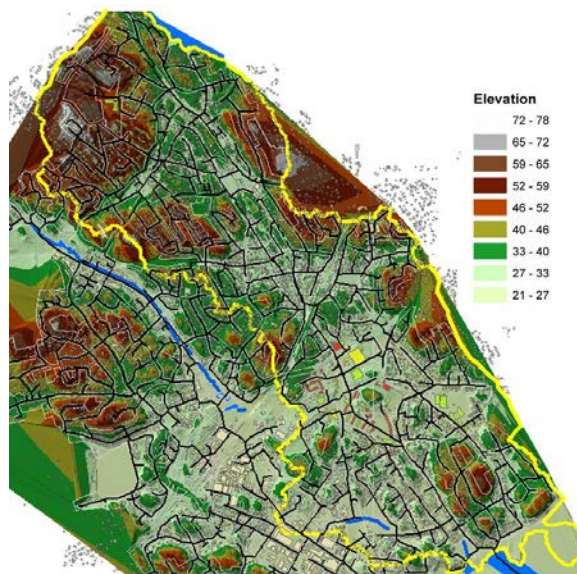


Abbildung 1: Digitales Geländemodell des Untersuchungsgebietes

Auf der Basis der durchgeführten Messungen und unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse wurden insbesondere der nördliche und der südliche Teil des Untersuchungsgebietes als kritische Bereiche ausgemacht. In der Summe wurden dabei 50 l/s als niederschlagsabhängiger Abfluss und Infiltration gemessen, wovon 30 l/s aus dem südlichen Teil und 15 l/s aus dem nördlichen Teil stammen. In diesen Teilgebieten wurden manuelle Messungen durchgeführt, um die Lokalisierung der Quellen so weit wie möglich eingrenzen zu können. Dabei stellte sich für das nördliche Gebiet ein 4 km langer Abschnitt als maßgebliche Quelle heraus und für das südliche Gebiet ein 3,7 km langer Abschnitt. Zusätzlich zu den Abflussmessungen wurden die Grundwasserstände an verschiedenen Stellen im Untersuchungsgebiet gemessen.

Auf der Basis dieser Untersuchung wurden ein Grundwassermodell und ein Kanalnetzmodell aufgebaut und hydrodynamisch miteinander gekoppelt. Die Kopplung definiert den Wasseraustausch zwischen beiden Modellen in Abhängigkeit von einem Leckagekoeffizienten für jede Haltung sowie dem Druckgradienten zwischen dem Grundwasserstand und dem Wasserstand in der Haltung. Diese Leckagekoeffizienten konnten anhand der vorhandenen Messdaten gut kalibriert werden.

Das Grundwassermodell als hydrogeologisches Modell diene dabei sowohl der Ermittlung der Abflussbildung im Kanalnetz als auch der Ermittlung der Grundwasserstände durch Berücksichtigung von Verdunstung, Grundwasserneubildung und Grundwasserfluss.

2.2 Modellergebnisse

Die Modellkalibrierung fand im Wesentlichen im Grundwassermodell statt und beinhaltete die folgenden Parameter:

- den Leckagekoeffizienten für die Haltungen in den verschiedenen Teilgebieten
- die hydraulische Leitfähigkeit der unterschiedlichen Bodentypen
- die Retentionskurven und die effektive Porosität für die ungesättigte Zone

In dem Kalibrierungsprozess wurden bereits wertvolle Informationen im Hinblick auf die möglichen Wasserquellen gewonnen. Während in einigen Bereichen die Kalibrierung gut gelang, waren in anderen Bereichen die Zuflüsse zum Kanal so groß, dass diese nicht aus dem Grundwasser alleine stammen können. Diese Zuflüsse summieren sich z.B. im Dezember 2008 auf 16 l/s bei einem Gesamt-Basisabfluss von 62 l/s.

Die Kalibrierung der Grundwasserstände am 15. Dezember 2008 zeigt deutlich, dass der Grundwasserspiegel in wesentlichen Teilen des Untersuchungsgebietes weniger als 0,5m unter der Geländeoberkante liegt und damit direkt im Einflussbereich des Kanalnetzes und der Keller. Der unmittelbare Einfluss des Grundwassers auf Drainagen und Kanäle ist damit im gesamten Untersuchungsgebiet gegeben.

Für die Maßnahmenplanung wurden die priorisierten Untersuchungsgebiete im Norden und Süden des Einzugsgebietes in drei Untergebiete aufgeteilt. Für diese Gebiete wurden die Abflussverhältnisse in Regenwasser, Drainagewasser, Leckagewasser und Schmutzwasser eingeteilt.

Das Ergebnis der Analyse ist exemplarisch für den Zeitraum vom 3. bis 25. August 2008 in Abbildung 2 dargestellt.

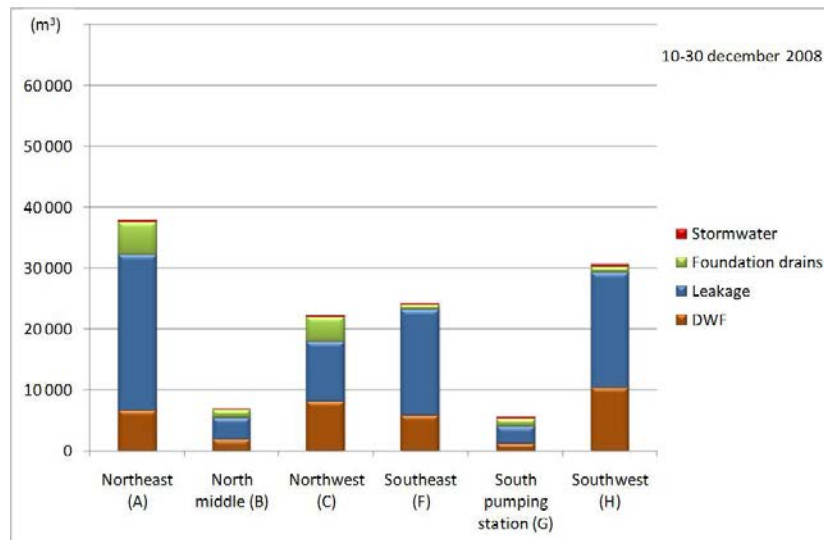


Abbildung 2: Berechnete, verifizierte Grundwasserstände am 15. Dezember 2008

2.3 Maßnahmenplanung

Auf der Basis dieser Ergebnisse und mit Unterstützung der Ergebnisse der TV Befahrung der Kanäle wurden drei Maßnahmenpakete geplant und umgesetzt:

1. Abdichtung von undichten Schächten und Haltungen in Arealen mit mehr als 200 Litern pro Meter und Tag Zufluss (Insgesamt 7,2 km).
2. Abdichtung von undichten Schächten und Haltungen in Arealen mit weniger als 200 Litern pro Meter und Tag Zufluss, jedoch trotzdem in relevanter Größenordnung.
3. Optimierung des Oberflächenabflusses in das vorhandene Regenwassernetz. Dazu werden Straßeneinläufe und Geländegefälle auf einer Länge von 3,7 km ertüchtigt, so dass der Anteil der Infiltration in den Boden minimiert wird.

Die berechneten Effekte der vorgeschlagenen Maßnahmen reduzieren den Anfall von niederschlagsabhängigem Abfluss und Infiltration bereits im ersten Schritt um 40%.

Die Reduktion im zweiten Schritt fällt mit maximal 5% im nordöstlichen Teil dagegen eher gering aus. Die Begründung dafür liegt in den hohen Grundwasserständen im nordöstlichen Gebiet. Diese führen dazu, dass ein Großteil des Wassers nicht über Infiltration, sondern vielmehr über die Drainagen in den Kanal gelangt. Eine Abdichtung der Kanäle hat also keinen nennenswerten Effekt.

Im dritten Schritt wird durch die Oberflächenabflussoptimierung nochmals eine Verbesserung in der Größenordnung 5-10% der Abflussmenge erreicht. Diese Maßnahme erreicht die genannte Reduktion im gesamten Untersuchungsgebiet ebenso wie in den betrachteten Teilgebieten und ist damit wenig sensitiv gegenüber den übrigen Einflüssen und immer gleich wirksam.

Insbesondere der dritte Schritt kann durch eine detaillierte Bewertung der oberirdischen Fließwege des Wassers sowie durch die Berücksichtigung von Fließ- und Standgewässern weiter optimiert werden. Ebenso kann auch im Trennsystem eine Ausweitung der Analyse auf den Abflusstransport bei Starkregen durchgeführt werden. Die dazu durchgeführte gekoppelte Modellierung von Kanalnetzmodell und Oberflächenwassermodell ist ein Standardwerkzeug und liefert in Kombination mit der oben beschriebenen Methode weiteres Optimierungspotenzial bis hin zu einem lokalen Objektschutz. Die folgende Abbildung 3 zeigt die Analyse einer solchen Berechnung (linkes Bild) und das Ergebnis der oberflächlichen Fließwegoptimierung sowie der Nutzung zusätzlichen Retentionsraumes (rechtes Bild) für die Stadt Greve in Dänemark. Hier wurde der Objektschutz der betroffenen Gebäude in den Vordergrund gestellt und es konnten effektiv Flächen ermittelt werden, die sich für eine Retention und gut eignen und keine anderweitigen, negativen Effekte auf andere Kompartimente des Wasserhaushaltes aufweisen.



Abbildung 3: Beispiel: Analyse und Maßnahmenplanung von Starkregeneignissen mit gekoppelter Modellierung

3 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Modellansätze für eine ganzheitliche und gekoppelte Wasserhaushaltsbetrachtung geben dem Planer städtischer Wasserinfrastruktur wertvolle Werkzeuge an die Hand, um eine zukunftssichere Planung unter Einbeziehung aller Kompartimente des Wasserhaushaltes durchzuführen. Die Aussagekraft der Modelle ist wesentlich abhängig von den richtigen Messdaten und von der Analyse der für die Planung relevanten Kompartimente. Der Zusatzaufwand durch eine komplexere Planung in Verbindung mit Messungen ist gerechtfertigt, da die Maßnahmenplanung sehr viel gezielter auf die Problemstellen fokussieren und damit viel Geld sparen kann. Die zusätzlichen Optionen für die Maßnahmenplanung, die sich aus dem detaillierten Ansatz ergeben, haben in vielen Fällen auf mehrere oder alle Kompartimente direkte Auswirkungen und damit einen höheren Wirkungsgrad als isoliert betrachtete Maßnahmen. Weiterhin können die Modelle für die notwendigen Sensitivitätsanalysen der einzelnen Modellteile dienen und damit auch wertvolle Hilfe bei der Analyse zusätzlicher Fragestellungen hinsichtlich sich ändernder Randbedingungen (Stichworte: Klimawandel, demografischer Wandel) liefern.

Darüber hinaus hat die Erfahrung gezeigt, dass komplexe Systeme wie die oben beschriebenen mit der Zeit zu einem sehr wichtigen Werkzeug zusammenwachsen können. Die Integration von Fließgewässermodellen, ökologischen Modellen oder Stofftransportmodellen in ein solches System ist möglich und erlaubt eine Analyse weiterer Fragestellungen.

4 REFERENZEN

- Ahlmann, S., Gustafsson, A.M., Gustafsson, L.G., von Scherling, M., Wilmin, E., Kjellson, L. (2010): "Modelling Rainfall Dependent Infiltration and Inflow (RDII) in a separate sewer system in Huddinge, Stockholm", International MIKE by DHI Conference, Kopenhagen, Denmark
- Gustafsson, L.G. (2010): "Groundwater affecting Sewer Networks, or vice versa – Predictions through integrated Sewer/Auifer modeling", Novatech 2007, 6th international conference on sustainable techniques and strategies in urban water management, Lyon, France
- Mårtensson, E., Gustafsson, L.G., Werner, K. (2010): "Hydrological and Hydrogeological effects of a deep-rock repository for spent nuclear fuel in Sweden: Application of a new coupling routine between MIKE SHE and MOUSE", International MIKE by DHI Conference, Kopenhagen, Denmark
- Climate Change impact on flooding in Greve, Denmark (2008)
- Urban Flood Analysis with respect to urban water cycle (including groundwater) for the cities of Stockholm, Göteborg, Ystad, Kristianstad (2005 – 2011)
- Johan, G., Pohl, C. (2010): "Hochwassergefahren durch Flusshochwasser und Sturzflut im urbanen Raum – eine integrale Betrachtung", KW 10/2010
- Vergleich der Berechnungsansätze MIKE FLOOD (Gewässer 1D und Oberflächenwasser 2D) und MIKE URBAN FLOOD (Gewässer 1D, Oberflächenwasser 2D, Kanalnetz 1D) für die Hochwassergefahrenermittlung, Lippeverband, 2011