

Abschätzung des Wassereintritts in Gebäude infolge starkniederschlags- bedingter Überflutungsereignisse

Torsten Heyer
Reinhard Schinke
Hellen Hammoudi

Auf Grundlage analytischer Betrachtungen und numerischer Abflusssimulationen wird der starkniederschlagsbedingte Wassereintritt über oberflächennahe Öffnungen an Gebäuden untersucht. Im Ergebnis werden Vorschläge für realitätsnähere Zufluss- bzw. Gefährdungsprognosen auf Basis von zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Simulationen unterbreitet. Die Methodik wurde am Beispiel einer Starkregensimulation für einen Bereich des Stadtteils Dresden-Johannstadt getestet.

Stichworte: Hochwasser, Starkniederschlag, HN-Simulationen

1 Einleitung

Im Rahmen des deutsch-tschechischen Forschungsprojekts „Sächsisch-Tschechisches Hochwasserrisikomanagement II - STRIMA II“, das auf die Verbesserung der Schadensvorsorge als Mittel zur Risikoprävention für hochwasser- und starkniederschlagsinduzierte Überflutungsereignisse abzielt, wurden durch das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden (IWD) in Kooperation mit dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden (IÖR) Untersuchungen bezüglich starkniederschlagsbedingter Überflutungsereignisse in urbanen Räumen durchgeführt. Die Analysen fokussierten insbesondere auf den Zutritt von stauendem Oberflächenwasser über Öffnungen der Gebäudeaußenhülle.

Während bei Prognosen zu hochwasserinduzierten Gebäudeschäden in der Regel von einem ausgespiegelten Wasserstand innerhalb und außerhalb der Gebäudehülle ausgegangen wird, ist diese Annahme bei starknieder-

schlagsbedingten Überflutungen nicht zutreffend und deutlich zu konservativ. Da es sich um kurzzeitige und örtlich begrenzte hydrologische Ereignisse handelt, sind die Wasservolumina, die in Gebäude eindringen können, deutlich geringer, wodurch auch zu erwartende direkte Schäden am und im Gebäude niedriger sind.

Vor diesem Hintergrund war es Ziel des Projekts, typische Situationen und Randbedingungen für niederschlagsbedingte Überflutungsszenarien von Gebäuden zu definieren und zu analysieren. Methodisch war dieses Vorhaben auf Grundlage analytischer Betrachtungen sowie zwei- und dreidimensionaler hydrodynamisch-numerischer Simulationen (2D- bzw. 3D-HN-Simulationen) umzusetzen. Die Untersuchungsergebnisse sollen zu einer verbesserten synthetischen, räumlich hochauflösenden Modellierung von direkten Gebäudeschäden infolge von Starkniederschlägen beitragen.

2 Methodik

2.1 Systembeschreibung

Ein Wasserzutritt in Gebäude infolge von Starkniederschlag ist gemäß Abbildung 1 grundsätzlich möglich über:

- Öffnungen (Fenster, Türen und Tore),
- undichte Dachflächen,
- Entsorgungsleitungen (Rückstau Kanalisation),
- Undichtigkeiten im Entwässerungssystem und an Leitungsdurchführungen sowie
- Durchfeuchtung, Durchnässung erdberührter Bauteile und Außenwände.

In den Untersuchungen wurde sich ausschließlich auf den niederschlagsverursachten Wassereintritt über die beweglichen Teile der Außenhülle, speziell Kellerfenster und Außentüren, infolge eines statischen Überstaus (ohne Anströmung) durch Oberflächenwasser konzentriert. Dabei kann ein Wassereintritt versehentlich (nicht geschlossene Fenster und Türen) oder auch konstruktionsbedingt (Fugen- und Spaltmaße, siehe z. B. DIN 18055 oder DIN EN 14351-1) auftreten. Mit Blick auf real auftretende Stauhöhen können diese Zuströmprozesse für das Erd- und das Kellergeschoss von Gebäuden relevant werden.

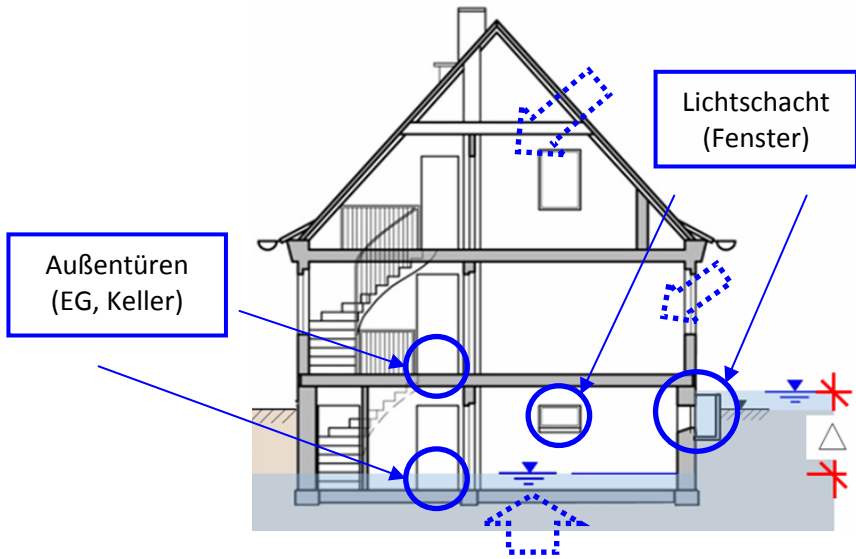


Abbildung 1: Systemskizze (Zeichnung: IÖR, modifiziert)

2.2 Analytische Betrachtungen

Eine eindimensionale, analytische Betrachtung hydraulischer Charakteristiken erfolgte für die Szenarien „Wassereintritt über Außentüren“ und „Wassereintritt über Kellerfenster mit Lichtschacht“.

Wassereintritt über Außentüren

Mit Bezug auf die Darstellungen in Abbildung 2 lässt sich der Wassereintritt über Außentüren durch die Prozesse

- Überfallabfluss (Fall 1; $a' < h_0 < (a'+a)$),
- seitlicher Abfluss (Fall 2; $(a'+a) \leq h_0$)

unterscheiden. Eine Vernachlässigung von Rückstauwirkungen ist in beiden Fällen gerechtfertigt, da diese unter realen Bedingungen selten auftreten und in analytischen Berechnungen auf konservative Ergebnisse führen.

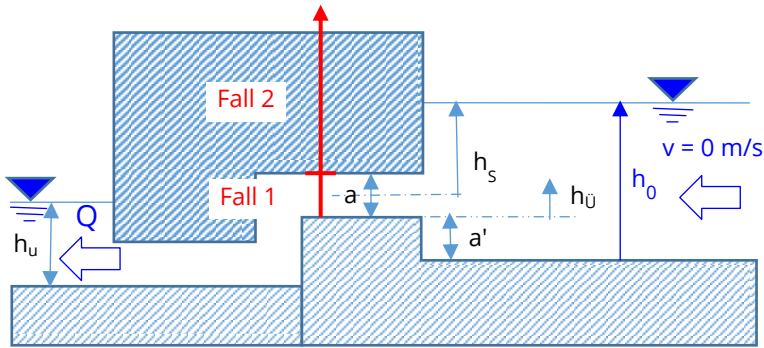


Abbildung 2: Hydraulisches System – Wassereintritt über Außentür

Für den eindimensionalen Strömungsprozess, in dem auch der Wasserzutritt über Vertikalfugen vernachlässigt wird, lässt sich der Wasserzufluss überschlägig wie folgt ermitteln:

Fall 1 (Poleni-Formel):
$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_0 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_0 - a')^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Fall 2 (Torricelli-Formel):
$$Q = \mu_s \cdot (b \cdot a) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_0 - a' - \frac{1}{2} a)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

worin

- b Breite der Türschwelle [m]
- a' Schwellenhöhe [m]
- a Fugenhöhe [m]
- μ_0, μ_s relevante Abflussbeiwerte [-]
- h_0 Überstauhöhe [m]
- $h_{\bar{u}}, h_s$ bezogene Überstauhöhen [m]

Für praktische Anwendungen kann von der Fallunterscheidung abgesehen werden, so dass vereinfacht die Formel (2) für alle Überstauszenarien verwendet werden kann. Der Zufluss über die Türschwelle ließe sich dann in Abhängigkeit von der Überstauhöhe h_0 bei Kenntnis der Schwellenhöhe a' , der Fugenhöhe a sowie der Annahme eines Abflussbeiwerts μ_s ermitteln.

Wassereintritt über Kellerfenster mit Lichtschacht

Mit Bezug auf die Darstellungen in Abbildung 3 lässt sich der Wassereintritt über Kellerfenster mit Lichtschacht durch die Prozesse

- Überfallabfluss, seitlich (Fall 1; $a' < h_0 < (a' + a_{KF})$),
- seitlicher Abfluss (Fall 2; $(a' + a_{KF}) \leq h_0$)

differenzieren. In beiden Fällen sind keine Rückstauwirkungen zu berücksichtigen.

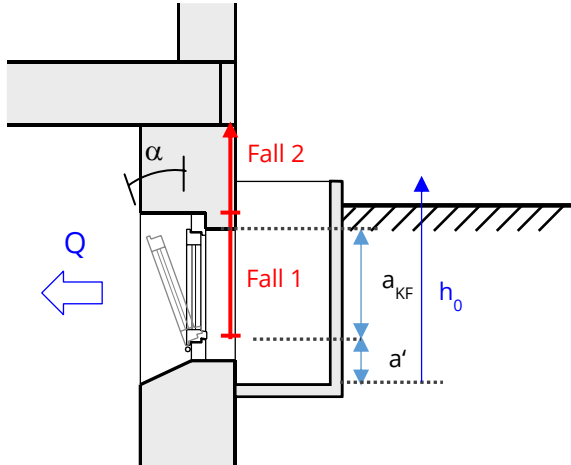


Abbildung 3: Hydraulisches System – Wassereintritt über Kellerfenster mit Lichtschacht (Zeichnung: IÖR, modifiziert)

Der Wasserzufluss über das im Winkel α angekippte Kellerfenster lässt sich für diese Fälle wie folgt überschlägig ermitteln:

Fall 1 (Dreiecks-Überfall):
$$Q = \frac{8}{15} \mu_D \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \tan(\alpha) \cdot (h_0 - a')^{3/2} \quad (3)$$

Fall 2 (Torricelli-Formel):
$$Q = \mu_{KF} \cdot (b_{KF} \cdot a_{KF}) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_0 - a' - \frac{1}{2} a_{KF})} \quad (4)$$

worin

- a_{KF} Höhe des Kellerfensters [m]
- b_{KF} Breite des Kellerfensters [m]
- a' Schwellenhöhe [m]
- α Kippwinkel des Kellerfensters [°]
- μ_D, μ_{KF} relevante Abflussbeiwerte [-]
- h_0 Überstauhöhe [m]

Da die Einströmung im Fall des teil- bzw. vollingestauten Kellerfensters in Realität stark zwei- bzw. dreidimensional geprägt ist, ist davon auszugehen, dass die realen Zuflüsse mit den Formeln (3) und (4) nicht hinreichend genau ermittelt werden können bzw. die Zuflussbeiwerte komplexe Abhängigkeiten aufweisen.

2.3 3D-HN-Simulationen

Da durch die analytischen Ansätze die realen Zuflüsse nur überschlägig ermittelt werden können, wurde die Einströmung über Außentüren und über gekippte Kellerfenster mit Lichtschacht mittels dreidimensionaler, hydrodynamisch-numerischer (3D-HN) Modelle (Software ANSYS-CFX) simuliert (Abbildung 4). Dabei wurden sowohl Geometrien als auch Einstauhöhen variiert, so dass unterschiedliche Fälle abgebildet und analysiert werden konnten. Dabei zeigte sich, dass die numerisch ermittelten Zuflüsse tendenziell über den analytisch ermittelten Beträgen lagen, wobei die Abweichungen mit steigender Einstauhöhe zunahmten. Somit ist festzustellen, dass eine Verwendung klassischer eindimensionaler, analytischer Ansätze zu einem Unterschätzen des Wassereintritts in Gebäude infolge von Starkniederschlag führen kann. Daraus schlussfolgernd wird empfohlen, relevante Einströmszenarien in physikalischen und numerischen Modellversuchen detaillierter zu analysieren.

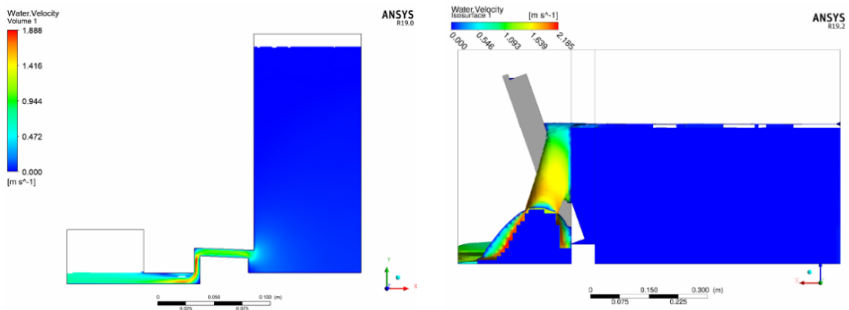


Abbildung 4: Beispieldarstellungen der 3D-HN-Simulationen für den Wassereintritt über eine Außentür (links) und über ein gekipptes Kellerfenster (rechts)

2.4 2D-HN-Simulationen

Weiteres Ziel der Untersuchungen war es, die gewonnenen Erkenntnisse in Starkniederschlagssimulationen in urbanen Regionen einfließen zu lassen,

in deren Ergebnis eine detailliertere Gefährdungsanalyse für Bauwerke möglich wird. Derartige Simulationen erfolgen nach heutigem Stand der Technik mittels zweidimensionaler, hydronumerischer Modelle (2D-HN-Modelle) häufig derart, dass Gebäude in den Berechnungsnetzen als Lücken mit Grundrissform abgebildet werden. Dies hat zur Folge, dass ein Einströmen in die Gebäude nicht simuliert werden kann. Das Monitoring des eingeströmten Wasservolumens, was für die Prognose direkter baulicher Schäden erforderlich ist, wird dadurch ebenfalls nicht möglich. Ausgehend von einer Recherche zu Modellierungsansätzen für eine verbesserte Implementierung von Gebäuden in 2D-HN-Modellen (siehe z. B. Shen, Tan & Zhang, 2018) und mit dem Ziel, bereits bestehende Modelle unkompliziert weiterentwickeln zu können, wurden zwei Möglichkeiten identifiziert und untersucht. Diese wurden projektintern als

- „Ausflussmethode“ und
- „Inselmethode“

bezeichnet. In beiden Fällen werden in den Bereichen, in denen sich an Gebäuden Öffnungen auf einstaubarem Höhenniveau befinden, hydraulische Randbedingungen definiert. Im Gegensatz zur Auslaufmethode sind bei der Inselmethode innerhalb des Gebäudegrundrisses zusätzliche Elemente („Inseln“) angekoppelt, wodurch ein aufnehmbares Volumen begrenzt werden kann und eine Richtungsumkehr der Strömung möglich ist. Bei beiden Methoden ist die Definition verschiedener Randbedingungsarten möglich. Die vorgeschlagenen Verfahren wurden anhand einer Beispielanwendung getestet.

3 Beispielanwendung

Ausgangspunkt für die Beispielanwendung war ein 2D-HN-Modell zur Simulation von niederschlagsinduzierten Oberflächenabflüssen, das für einen Bereich des Stadtteils Dresden-Johannstadt am IWD erstellt wurde (Winker, 2016). Das generierte Hydro_AS-2D-Modell weist einen sehr hohen Diskretisierungsgrad auf, so dass z. B. Gehweg- bzw. Bordsteinkanten explizit modelliert worden sind und somit den Oberflächenabflussprozess beeinflussen. Ausgehend von einer Niederschlag-Abfluss-Simulation (Dauer 2h, max. Niederschlagsintensität: 50,4 mm/h) ohne Gebäudeeinströmung wurden vier Areale identifiziert, in denen größere Einstauhöhen an Gebäuden bzw. bodennahen Öffnungen auftraten. In Abstimmung mit dem IÖR wurden

detaillierte Einströmsimulationen letztlich für zwei Gebäude mit identischem Grundriss durchgeführt. Die Gebäude weisen jeweils zwei bodennahe Außentüren („T“) und drei Kellerfenster („F“) auf (Abbildung 5).

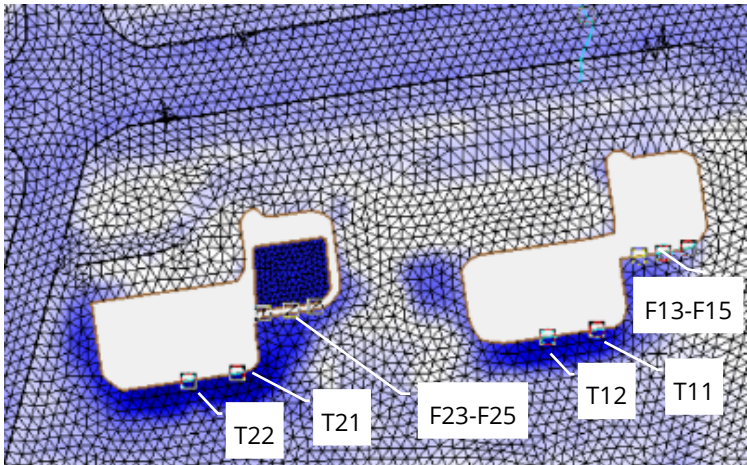


Abbildung 5: Berechnungsnetz und Randbedingungsdefinitionen zur Einströmungssimulation an ausgewählten Gebäuden

Die Inselmethode wurde am Beispiel des westlichen Gebäudes im Bereich der Randbedingungen „F23-F25“ getestet. Die Gesamtfläche und Bathymetrie der Inselemente soll dabei Lage und Volumen des Speicherelements „Gebäude“ abbilden und ist daher von den diesbezüglichen Gebäudecharakteristiken abhängig. Der hydraulische Anschluss erfolgte durch Definition von Rechteckdurchlässen mit identischen Parametern (u. a. $b = 1 \text{ m}$, $h = 0,2 \text{ m}$, $\mu = 0,5$) an den Nodestrings „F23-F25“. An allen weiteren Einlauföffnungen wurden explizite Wasserstand-Abfluss-Beziehungen vorgegeben, die sich auf die vorherigen Analysen stützen. Die Wirkungen unterschiedlicher hydraulischer Auslaufrandbedingungen sind exemplarisch in Abbildung 6 illustriert. Daraus geht hervor, dass der Gebäudezufluss bei der Inselmethode in Abhängigkeit der Wasserspiegeldifferenz an der Außenhülle erfolgt. Eine Strömungsumkehr ist ebenfalls möglich. Der Zufluss bei der Ausflussmethode ist demgegenüber ausschließlich von der Überstauhöhe an der Außenhülle abhängig und richtungskonstant. In beiden Fällen entspricht das eingeströmte Wasservolumen dem Integral der Ganglinien über den Ereigniszeitraum. Bei gleichzeitiger Kenntnis der gebäudeinternen überflutbaren Fläche lässt sich somit die Überflutungstiefe im Ge-

bäude ableiten, welche als Eingangsparameter für direkte Schäden innerhalb des Gebäudes dienen kann.

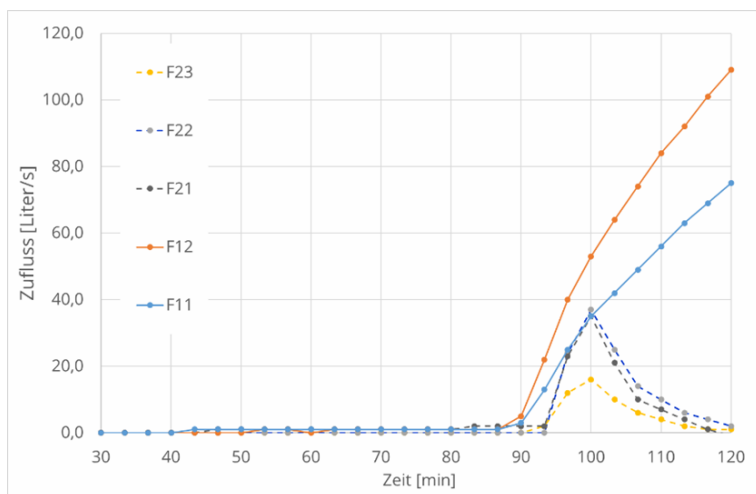


Abbildung 6: Zuflussganglinien ausgewählter Nodestrings mit Inselmethode und Durchlässen (F21-F22) bzw. mit Auslaufmethode und W-Q-Beziehung (F12, F11)

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen wurden starkniederschlagsinduzierte Einströmcharakteristiken an oberflächennahen Gebäudeöffnungen durch analytische und numerische Betrachtungen analysiert. Dabei wurde gezeigt, dass einfache analytische Berechnungen die bestehenden Gefährdungen unterschätzen können. Darüber hinaus wurden Potenziale aufgezeigt, wie auf Basis von 2D-HN-Simulationen eine detailliertere und realitätsnähere Gefährdungsprognose bzw. eine daraus abgeleitete Schadensabschätzung in urbanen Räumen erfolgen kann. Ausblickend wird empfohlen, weiterführende Analysen zur starkniederschlagsinduzierten Gebäudeeinströmung mittels 3D-HN-Simulationen und/oder physikalischer Modellversuche durchzuführen, um die Ergebnisse zu systematisieren und vereinfachte Ansätze für die Ingenieurpraxis abzuleiten.

5 Danksagung

Die Ergebnisse dieser Studie entstanden im Rahmen des Projektes STRIMA II – Sächsisch Tschechisches Hochwasserrisikomanagement. Die Europäische Union finanzierte das Projekt über den Europäischen Fond für regionale Entwicklung (ERDF) auf Basis des Kooperationsprogramms „Ahoj sousede. Hallo Nachbar.“. Für die finanzielle Unterstützung des Projektes sei an dieser Stelle gedankt.

6 Literatur

- Shen, Tan & Zhang (2018). Shen, J.; Tan, F.; Zhang, Y.: Improved Building Treatment Approach for Urban Inundation Modeling: A Case Study in Wuhan, China. In: Water 10 (12), S. 1760. 2018. doi: 10.3390/w10121760.
- Winker, D. (2016): Hydronumerische Analyse urbaner Sturzfluten im Stadtgebiet Dresdens auf Basis gekoppelter 3D-Stadt- und 2D-HN-Modelle. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden. Dresden 2016

Autoren:

Dr.-Ing. Torsten Heyer
Dipl.-Ing. Hellen Hammoudi
Institut für Wasserbau und Technische
Hydromechanik (IWD)
Technische Universität Dresden
August-Bebel-Bebel-Straße 30
01062 Dresden

Dr.-Ing. Reinhard Schinke
Leibniz-Institut für ökologische
Raumentwicklung e. V., Dresden
(IÖR)
Weberplatz 1
01217 Dresden

Tel.: +49 (0)351 463 34397
Fax: +49 (0)351 463 37120
E-Mail: wasserbau@tu-dresden.de

Tel.: +49-(0)351-4679-297
Fax: +49-(0)351-4679-212
E-Mail: r.schinke@ioer.de