

schadenanteil bei beiden Szenarien primär die Gebäude inkl. Mobiliar (v.a. Gewerbe, Wohnhäuser und öffentliche Gebäude), wobei 5% der Objekte für rund 50% des zu erwartenden Schadenausmasses verantwortlich sind.

Beim HQ₃₀₀ ist mit Sachschäden von bis zu 1.6 Mrd. CHF und beim EHQ mit über 5 Mrd. CHF zu rechnen. Der durchschnittliche jährliche Schadenerwartungswert beträgt rund 17 Mio. CHF pro Jahr.

Dies sind allerdings Minimalwerte, weil Personenschäden, Strassenverkehr, Wasser-, Telefon- und Kabelnetzleitungen sowie indirekte Schäden (Betriebsunterbrüche, Umweltverschmutzung usw.) nicht berücksichtigt wurden.

8. Schlussfolgerungen

Erstmals wurden die zu erwartenden Risiken eines Sihl-Hochwassers in der Stadt Zürich nachvollziehbar aufgezeigt. Infolge der gewählten Methodik, d.h. einerseits der Schätzung von real zu erwartenden Sachschäden pro Szenario vor Ort im Gelände durch Experten und andererseits durch die Risikoberechnung mittels «EconoMe 2.1», sind die Resultate aus Sicht der Autoren belastbar. Sie bilden die Situation in der Grossstadt Zürich im Fall einer Überflutung mit seltener bis sehr seltener Wiederkehrperiode gut ab. Die Resultate zeigen, dass im gesamten Untersuchungsperimeter eine aussergewöhnlich hohe Wertedichte besteht. Bei einem extremen Sihl-Hochwasser (500-jährliches Ereignis) ist mit einem Schadenausmass von über fünf Milliarden Schweizer Franken zu rechnen.

Anschrift der Verfasser

Fabian Dolf, Projektleiter Naturgefahrenanalysen und Risikomanagement, Geotest AG
fabian.dolf@geotest.ch

Dr. Bernhard Krummenacher, Filialleiter Geotest AG, Davos

bernhard.krummenacher@geotest.ch

André Gauderon, Projektleiter Naturgefahrenanalysen und Risikomanagement, Geotest AG
andre.gauderon@geotest.ch

Severin Schwab, Fachteilbereichsleiter Wasser Geotest AG, severin.schwab@geotest.ch

Dörte Aller, Bereichsleiterin Naturgefahren, GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich
doerte.aller@gvz.ch

Bernhard Kuhn, Leiter Koordinationsstelle Naturgefahren, Tiefbauamt der Stadt Zürich
bernhard.kuhn@zuerich.ch

Daten absoluter Wasserspiegellagen der Gefahrenkarte Stadt Zürich

Martin Detert, Markus Schatzmann

Zusammenfassung

Bei der Nutzung der Daten aus Hochwasser-Gefahrenkarten treten bei der Planung von Gebäudeschutzmassnahmen häufig Schwierigkeiten auf, wenn aus den Angaben der Fliesstiefenkarten Hochwasserschutzkoten definiert werden müssen. Die Anfragen bezüglich der zu erwartenden absoluten Wasserspiegellagen in m ü. M. nehmen zu, da diese anhand der auf Stufen von 0.25 m klassierten Fliesstiefenkarten in Verbindung mit einem Terrainmodell für den Planer nicht immer befriedigend eingeschätzt werden können. Daher erarbeitete die Basler & Hofmann AG im Auftrag des Tiefbauamtes der Stadt Zürich eine digitale Darstellung der Wasserspiegellagen und kinetischen Energiehöhen auf einem Raster von 3 x 3 m² basierend auf den Daten der Hochwasser-Gefahrenkarte der Stadt Zürich. Die verwendete Methodik kombiniert Daten aus hydronumerischen Berechnungen, Ergebnisse aus Fliesswegbestimmungen im Feld und ingenieurtechnischen Abschätzungen. Damit liegt nun direkt ein Planungsinstrument vor mit einer mittleren Genauigkeit von -0.1 m bis +0.3 m für eine Vordimensionierung von Hochwasserschutzkoten in der Stadt Zürich. Im Zweifelsfalle, insbesondere bei baulichen Massnahmen, die zu Änderungen der Fliessewege führen, sollte jedoch immer ein Hydraulikspezialist zu Rate gezogen werden.

zu erwartenden Wasserstände wurden in Meter über Geländeoberkante angegeben, klassiert auf spezifische Abstufungen (Bild 1). Diese Darstellung folgte dem bei der Erstellung von Gefahrenkarten üblichen und laut Pflichtenheft geforderten Vorgehen. Gegenüber der Darstellung der Wassertiefen in m ü. M. ermöglicht diese klassifizierte, relative Darstellung einen effizienteren Work-Flow bei der Erstellung der eigentlichen Gefahrenkarten mit den Abstufungen «erhebliche», «mittlere» und «geringe» Gefährdung sowie der «Restgefährdung».

Bei der Nutzung der Informationen, aus der Gefahrenkarte, treten aufgrund von Bauprojekten nun jedoch vermehrt Anfragen bezüglich der zu erwartenden absoluten Wassertiefen in m ü. M. auf. Diese können anhand der bestehenden Wassertiefenkarte, insbesondere im Gelände mit wechselnden Gradienten, nicht immer in einer für den Planer befriedigenden Art und Weise eingeschätzt werden. Im Auftrag des Tiefbauamtes der Stadt Zürich wurde daher eine Übertragung der Fliesstiefenkarten HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ in absolute Wasserspiegellagen durchgeführt,

1. Ausgangslage

Im Rahmen der Gefahrenkarte Stadt Zürich [01] wurden u. a. kumulierte Fliesstiefenkarten für Hochwasserereignisse HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀ erstellt. Die Ermittlung der Fliesstiefen erfolgte für die grösseren Gewässer (Sihl, Limmat) mit aufwendigen, gekoppelten 1D-2D hydronume-

rischen Simulationen. Für die kleineren Gewässer bzw. Bäche wurden 2D-Berechnungen durchgeführt und mit ingenieurtechnischen Abschätzungen, ergänzt. Schliesslich wurden die Wassertiefen bei Feldbegehungen verifiziert und von Hand adaptiert. Die Darstellung der Wassertiefen erfolgte anschliessend relativ, d.h. die

ergänzt durch eine Darstellung der zugehörigen kinetischen Energiehöhen.

2. Fliesstiefenkarten der Gefahrenkarte Stadt Zürich, Stand 2008

Bild 1 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt der Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ gemäss der Gefahrenkarte Stadt Zürich im Bereich des Hornbaches. Die Fliesstiefenkarten wurden generiert aus (1) den maximalen Wassertiefen aus hydronumerischen Berechnungen – hier für den in Bild 1 gezeigten Ausschnitt als Summe von drei möglichen Ausbruchstellen am Hornbach ausserhalb des Kartenausschnittes – und (2) ergänzt durch ingenieurtechnische Erkenntnisse nach Feldbegehungen.

Hydronumerische Berechnungen zu den Fliesstiefenkarten für HQ₁₀₀ bzw. HQ₃₀₀ in der Stadt Zürich wurden auf insgesamt 13 sich teilweise überlappenden Gewässergebieten durchgeführt. Für jedes Teilgebiet wurden im Mittel rund sechs Schwachstellen untersucht. Die Berechnungen wurden je nach erforderlichem Detaillierungsgrad auf Rasterweiten von 2 × 2 m², 4 × 4 m² und 6 × 6 m² durchgeführt, jedoch mit unterschiedlicher Rasterbasis der Rechengebiete, d.h. die Rasterlinien unterschiedlicher Teilgebiete wurden nicht deckungsgleich gewählt. Im Anschluss wurden die Berechnungsergebnisse im Feld überprüft. Unrealistische Flächen wurden korrigiert bzw. verworfen, wie z.B. aufgrund von bestehenden Mauern, die im Raster nicht berücksichtigt werden konnten. Die Fliesstiefen übriger Gewässer bzw. Gebiete mit Oberflächenabfluss oder Vernässung wurden ingenieurtechnisch mit der Fließwegmethode bestimmt.

3. Methodik zur Ermittlung absoluter Wasserspiegel

Zur Ermittlung der absoluten Wasserspiegellagen sowie der zugehörigen kinetischen Energiehöhen aus den Rohdaten der Gefahrenkarte Stadt Zürich wurde folgendes Vorgehen angewandt:

- Umwandlung des bei der Erstellung der Gefahrenkarte verwendeten digitalen Geländemodells der amtlichen Vermessung (DTM-AV) und der hydronumerisch berechneten Daten zu Wassertiefe, Wasserspiegellage und Fließgeschwindigkeit auf ein einheitliches Basisraster 3 × 3 m² mit jeweils total 4193 × 4337 Zellen für das gesamte Stadtgebiet
- Matrizenüberlagerung sämtlicher 2D-hydronumerisch bestimmter Daten

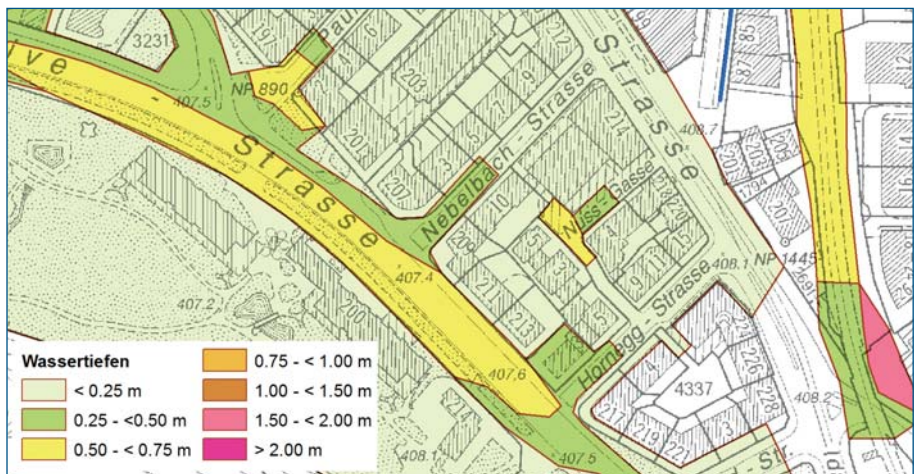


Bild 1. Ausschnitt Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ der Gefahrenkarte, Bereich Hornbach. Der Ausschnitt entspricht (350 × 175) m².

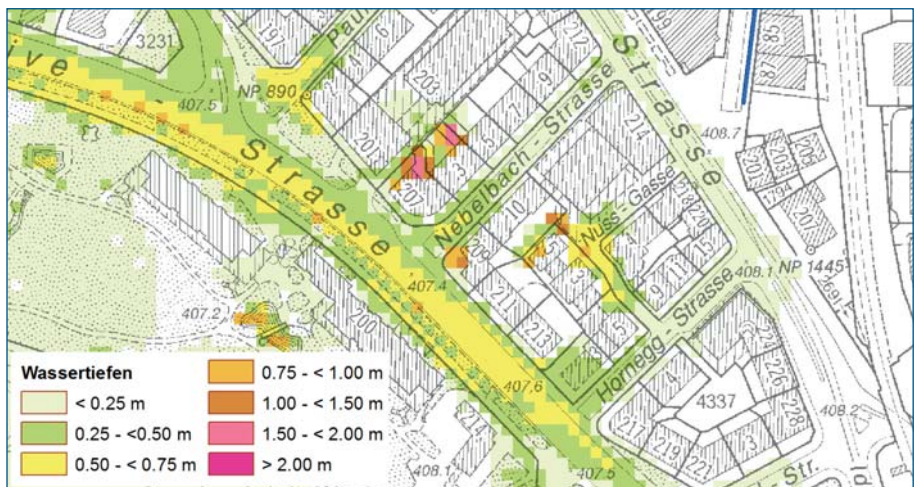


Bild 2. Überlagerte Maximalwerte der Wassertiefen aus 2D-hydronumerischen Modellierungsergebnissen des Hornbaches bei HQ₁₀₀.

zur Ermittlung der Maxima pro Rasterzelle (Bild 2)

- Abgleich und Ergänzung mit den Angaben zu Fliesstiefen der Gefahrenkarte Stadt Zürich (Stand 2008), d.h.: (1) Erweiterung (Dilatation) der hydronumerisch modellierten Flächen um jeweils eine Nachbarzelle unter Zuweisung des maximalen Nachbarzellenwertes, (2) Löschen von hydronumerisch modellierten bzw. durch Dilatation erweiterten, jedoch im Rahmen der Gefahrenkarte nach Feldbegehung verworfenen Flächen, (3) Ergänzung der ingenieurtechnisch nach Methode der Fließwege ergänzten Flächen der Gefahrenkartierung mit folgendem Mittelungsansatz: Stufe Wassertiefe 0 – < 0.25 m = 0.13 m, Stufe Wassertiefe 0.25 – < 0.5 m = 0.38 m, usw.; sowie für die kinetische Energiehöhe *kinE* mit der an [04] angelehnten Schätzformel
$$kinE = 1/10 I_{100} [m], \quad (1)$$
 wobei I_{100} = Gefälle des Geländes

[–], geglättet mit gleitendem Mittel von 100 × 100 m². Die finale Bestimmung der Wasserspiegellagen und absoluten Energiehöhen für die Zellen im Bereich der ingenieurtechnisch nach Methode der Fließwege bestimmten Flächen, erfolgt dann im Anschluss über Matrizenaddition der maximalen relativen Fliesstiefen und kinetischen Energiehöhen mit den Terrainhöhen des DTM auf Basis-Raster 3 × 3 m².

- Glättung der absoluten kinetischen Energiehöhen mit 9 × 9 m² Gauss-Filter
- Ergänzung/Überarbeitung des Datensatzes infolge der baulichen Änderungen im Bereich SihCity [02].

Die Berechnungen zur Matrizenüberlagerung wurden mit dem Programm MATLAB (Mathworks) durchgeführt. Für das Geoprocessing wurde das Programmpaket ArcGIS (ESRI) verwendet. Die ermittelten Ergebnisse werden exemplarisch für die relativen Fliesstiefenkarten HQ₁₀₀ (Bild 3) und für die Karte der absoluten Wasserspiegellagen HQ₁₀₀ (Bild 4) für einen Ausschnitt im Flutungsgebiet des Hornbaches dargestellt.

4. Statistik Überflutungsflächen

Tabelle 1 gibt eine Statistik zu den so ermittelten Überflutungsflächen des HQ₁₀₀ und HQ₃₀₀. Insgesamt sind mit den verschiedenen HQ₁₀₀-Szenarien rund 5% der Fläche und mit den verschiedenen HQ₃₀₀-Szenarien rund 8% der Fläche der Stadt Zürich betroffen. Die Ergebnisdateien wurden in einer ESRI-Geodatabase zusammengefasst bzw. können in einer Excel-Tabelle eingesehen werden.

5. Vergleich Digitales Terrainmodell – Schachtdeckelkoten

Für eine detaillierte Einordnung der Genauigkeit der Höhenangaben wurde ein Vergleich des verwendeten Digitalen Terrainmodells (DTM, Basisraster 3×3 m²) mit den Schachtdeckelkoten der Stadtentwässerung [03] erstellt. Dazu wurden die Höhen der Rasterpunkte unter Berücksichtigung des lokalen Gefälles auf die Koordinaten der jeweiligen Schachtdeckelaufnahmen der ERZ projiziert und anschliessend die vertikale Höhendifferenz gebildet.

Zur Veranschaulichung der nachstehend beschriebenen Fehlerbetrachtung enthält Bild 5 die Terraihöhen der Rastermittelpunkte des DTM sowie die Höhenlagen der in diesem Bereich liegenden Schachtdeckelkoten. Die Vergleichsanalyse zeigt, dass das DTM im Bereich der Stadt Zürich eine hohe Genauigkeit für ein städtisches Laserscanning aufweist. Bild 6 stellt die Ergebnisse der ermittelten Abweichungen $\Delta(\text{DTM} - \text{Schachtdeckel ERZ})$ im Wahrscheinlichkeitsdiagramm dar. So beträgt beispielsweise die Abweichung des auf 3×3 m² rastergemittelten DTM von lokalen Schachtdeckelkoten in $\geq 80\%$ der Fälle zwischen -0.10 m und +0.30 m. Das DTM eignet sich somit grundsätzlich für das beschriebene Vorgehen.

6. Diskussion zur Genauigkeit von Wasserspiegellagen und Energiehöhen

Für die ermittelten absoluten Wasserspiegel- und Energiehöhenlagen, im Vergleich zu den szenariogleichen, realen, Eintrenshöhen kann mindestens von einer Genauigkeit in vergleichbarer Grössenordnung ausgegangen werden, wie für die Abweichung $\Delta(\text{DTM} - \text{Schachtdeckel ERZ})$. Bei Flutungsflächen aufgrund von Einstauwirkungen, z.B. oberhalb von Verklausungen oder Einengungen, darf sogar von einer höheren Genauigkeit ausgegangen werden, da lokale Ungenauigkeiten des DTM mit der Ausmittlung durch

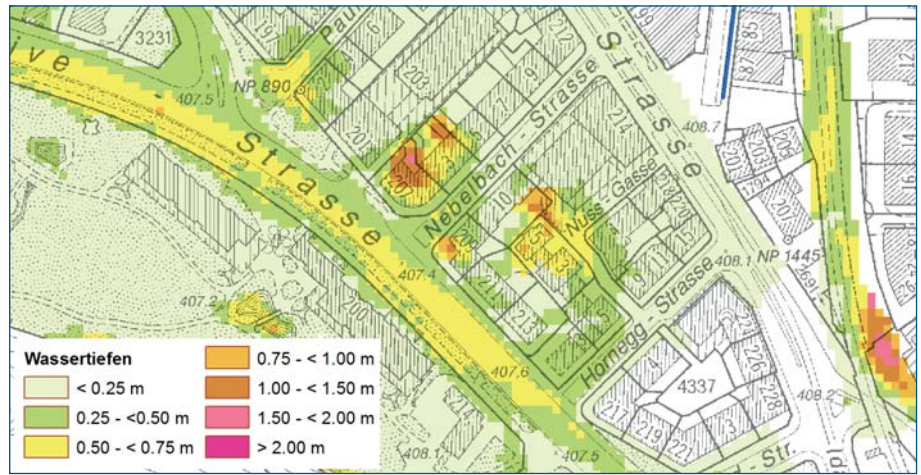


Bild 3. Abgeglichen und ergänzte Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀.

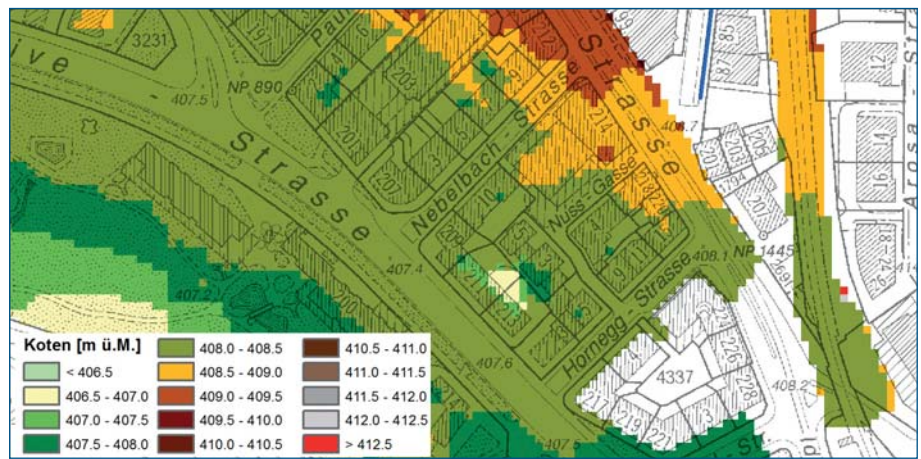


Bild 4. Abgeglichen und ergänzte Wasserspiegellagenkarte HQ₁₀₀.



Bild 5. Ausschnitt des auf 3×3 m² gerasterten DTM (schwarz, •) und Schachtdeckelkoten (grün, X). Bereich Einmündung Dufourstr./ Bellerivestr. (vgl. Bilder 1–4). Der Ausschnitt entspricht (70×35) m².

einen quasi ruhenden Wasserspiegel ausgeglichen werden. Damit gilt: In über 80% der Fälle beträgt die Unsicherheit der hier aus den Rohdaten zur Gefahrenkartierung der Stadt Zürich abgeleiteten absoluten Wasserspiegel- und Energiehöhenlagen ebenfalls zwischen -0.10 m und +0.30 m in Relation zum erwarteten Zustand bei Eintreten des Hochwasserfalles. Der mittlere Fehler liegt im Bereich von weniger als +0.10 m. Dabei bedeutet dieser positive

Wert, dass die ermittelte Höhe tendenziell oberhalb einer extrapolierten Schachtdeckelhöhe liegt – dies aufgrund der systematischen Höhenunterschiede der tendenziell in lokalen Senken liegenden Schachtdeckelkoten zu den gemittelten Rasterkoten eines digitalen Terrainmodells. Zur Einschätzung der Genauigkeit je nach Örtlichkeit können die Schachtdeckelkoten aus der ESRI-Geodatabase des Ergebnisdatensatzes vergleichend zu den

	Flächen HQ100		Flächen HQ300	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
Fläche der Stadt Zürich	91.87	100.0	91.87	100.0
.J. Summe Überflutungsflächen	4.33	4.8	7.15	7.8
.J. 2D Hydronumerik (Mike21)	3.01	3.3	4.87	5.3
.J. Randzellenerweiterung	0.33	0.4	0.51	0.6
.J. Erweiterung Feldbegehung	0.99	1.1	1.77	1.9

Tabelle 1. Statistik der Überflutungsflächen und Ermittlung aus Gesamtbetrachtung für sämtliche Szenarien HQ₁₀₀ bzw. sämtliche Szenarien HQ₃₀₀.

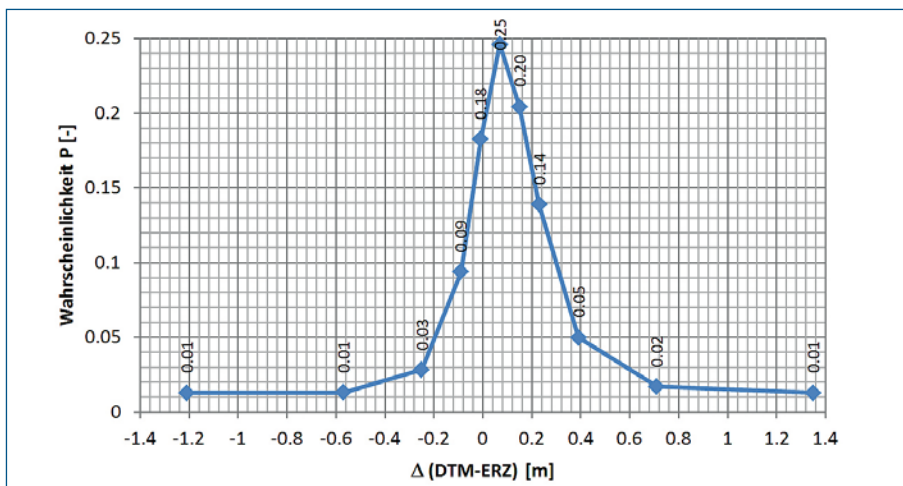


Bild 6. Wahrscheinlichkeitsdiagramm zur Abweichung des auf 3 x 3 m² gerasterten DTM zu Angaben von Schachtdeckelkoten der ERZ [03]. Mit der Wahrscheinlichkeit P = 80% liegt die Abweichung zwischen -0.10 m und +0.30 m, mit einem Häufigkeitsschwerpunkt (Modalwert) bei +0.07 m mit P = 25%.

absoluten Wasserspiegellagen hinzugezogen werden.

7. Fazit

Mit dem Datensatz der abgeleiteten Wasserspiegellagen liegt nunmehr erstmals

ein direktes Planungsinstrument zur Vor-dimensionierung von Hochwasserschutzkoten im Stadtgebiet Zürich vor, das von den Behörden für die Beratungen von Bauprojekten genutzt werden kann. Statt bei jedem Bauprojekt eine einzelne Abschät-

zung durchführen zu müssen, stehen jetzt mit einer einheitlichen Systematik berechnete Karten zur Verfügung, die zudem noch die Energielinie ausweisen. Diese werden gestützt mit weiteren Informationen aus Schachtdeckelhöhen. Im Zweifelsfalle sollte bei einer Planungsabschätzung jedoch immer ein Hydraulikspezialist zu Rate gezogen werden, insbesondere bei baulichen Massnahmen, die zu Änderung der Fließwege führen.

Literatur

- [01] Gefahrenkarte Hochwasser der Stadt Zürich. B&H AG, i. A.: Amt für Abfall, Wasser, Energie & Luft (AWEL). 11/2008.
- [02] Hochwasserschutz SihlCity, Bereich Giesshübelstrasse. B&H AG, i. A.: Bauherrenvertretung Miteigentümergeinschaft SihlCity. 08/2009.
- [03] Georeferenzierte Vermessungsdaten zu Schachtdeckelkoten. Energie und Recycling Zürich ERZ. 20/10/2011.
- [04] Arbeitshilfen für Umsetzung Gefahrenkarte Hochwasser bei Neu- und Umbauten. Amt für Abfall, Wasser, Energie & Luft (AWEL) und Gebäudeversicherung Kanton Zürich (GVZ). 08/2011.

Anschrift der Verfasser:

Martin Detert, Basler & Hofmann AG
 martin.detert@baslerhofmann.ch

Markus Schatzmann, Basler & Hofmann AG
 markus.schatzmann@baslerhofmann.ch