

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Kleinn, Jan; Aller, Dörte; Zappa, Massimiliano; Andres, Norina; Bresch, David; Heidemann, Mirco; Marti, Christian; Oplatka, Matthias**

## **Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat Risikobasierte Entscheidungsfindung**

VAW Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108426>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kleinn, Jan; Aller, Dörte; Zappa, Massimiliano; Andres, Norina; Bresch, David; Heidemann, Mirco; Marti, Christian; Oplatka, Matthias (2021): Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat Risikobasierte Entscheidungsfindung. In: Boes, Robert (Hg.): Wasserbau-Symposium 2021. Wasserbau in Zeiten von Energiewende, Gewässerschutz und Klimawandel. Band 2. VAW Mitteilungen 263. Zürich: ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. S. 371-378.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: CC BY 4.0



# Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat

## Risikobasierte Entscheidungsfindung

*Risk based decision-making for flood protection in the Sihl river,  
the lake of Zurich and the Limmat*

**Jan Kleinn, Dörte Aller, Massimiliano Zappa, Norina Andres, David  
Bresch, Mirco Heidemann, Christian Marti, Matthias Oplatka**

### **Kurzfassung**

Zürich, das Wirtschaftszentrum der Schweiz, ist einem erheblichen Hochwasserrisiko durch die Sihl ausgesetzt. Um dieses Risiko zu mindern, wurden mehrere Varianten des Hochwasserschutzes entwickelt. Für den Vergleich der verschiedenen Massnahmen-Varianten wurde deren Wirkung kontinuierlich über das gesamte Abfluss-Spektrum bestimmt. Dafür wurden jeweils Spitzenabflüsse hydrologischer Simulationen „mit Massnahmen“ jenen „ohne Massnahmen“ gegenübergestellt. Mit einfachen statistischen Verfahren liessen sich aus diesen Ergebnissen die Wirkung der Massnahmen auf die gesamte Abfluss-Statistik berechnen. Zudem wurde der Funktionsgrad der verschiedenen Massnahmen in die Berechnung der Wirkung einbezogen. Für die weiteren Schritte der Risikoanalyse wurde die Hochwasser-Statistik mit und ohne Massnahmen mit Schadensätzungen kombiniert, um Schadenkurven mit und ohne Massnahmen zu berechnen. Daraus konnte der Nutzen der Massnahmen-Varianten für die Nutzen-Kosten-Analyse aufgezeigt werden.

### **Abstract**

Zurich, the economic center of Switzerland, is exposed to a significant flood risk by the river Sihl. Several flood mitigation measures were investigated to reduce this risk. For the comparison of the different flood mitigation measures we determined their impact continuously across the entire range of discharge values. We directly compared the peak discharges of numerous hydrologic simulations with and without flood mitigation measures to derive their impact. Simple statistical methods allowed to determine the impact of the flood mitigation measures. Furthermore, we took the degree of functionality into account in determining the impact of the different measures. For the consequent risk analysis, we combined the discharge statistics with and without measures with damage data to provide damage curves with and without measures. We used these damage curves to derive the benefit of the measures for cost-benefit-analyses.

## 1 Einleitung

Zürich ist einem erheblichen Hochwasserrisiko durch die Sihl ausgesetzt. Der potentielle Schaden in Zürich wird bei einem Hochwasser, wie es alle paar Hundert Jahre vorkommt, auf mindestens 6.7 Mrd. CHF geschätzt (Oplatka *et al.*, 2017). Zur Reduktion des Risikos wurden verschiedene Varianten an Hochwasserschutz-Massnahmen entwickelt.

Es wurden hydrologische Simulationen der Varianten für betriebliche und bauliche Hochwasserschutzmassnahmen durchgeführt (Kienzler *et al.*, 2015; Zappa *et al.*, 2015). Die Ergebnisse dieser hydrologischen Simulationen konnten dazu verwendet werden, die Wirkung der Hochwasserschutzmassnahmen über das gesamte Abfluss-Spektrum und deren Einfluss auf die Abfluss-Statistik abzuschätzen (Kleinn *et al.*, 2019).

## 2 Bisherige Abfluss-Statistik der Sihl

Zur Abschätzung der bisherigen Abfluss-Statistik der Sihl in Zürich wird eine Zeitreihe von jährlichen Abflussmaxima (seit der Inbetriebnahme des Sihlsees 1937 bis 2011) verwendet. Eine generalisierte Extremwert-Verteilung (GEV) wird an die Zeitreihe der Jahresmaxima angepasst. Der Ist-Zustand der Abfluss-Statistik wird mit der oberen Grenze des 60% Konfidenz-Intervalls der GEV definiert. Dieser Ist-Zustand deckt auch seltene Ereignisse mit hohen Wiederkehrperioden ab.

Hochwasser ab etwa 300 m<sup>3</sup>/s führen in der Stadt Zürich zu Schäden. Die Abschätzungen der GEV ergeben für Hochwasserspitzen von 300 m<sup>3</sup>/s eine Wiederkehrperiode von etwa 20 bis 50 Jahren.

## 3 Varianten des Hochwasserschutzes

Es wurden verschiedene (kombinierbare) Varianten des Hochwasserschutzes verglichen. In den Simulationen wird der 2017 in Betrieb genommene Schwemmholzrechen berücksichtigt (Hochstrasser *et al.*, 2018).

### 3.1 Wehr- und Sicherheitsreglement (WR) und „Aktive Steuerung“ des Sihlsees

Eine Anpassung des Wehr- und Sicherheitsreglements (WR) sieht vor, den Sihlsee als Rückhalt zu nutzen und bei drohendem Hochwasser höher aufzustauen. Eine Entlastung zur Sicherheit des Staudammes mit für Zürich kritischen Entlastungsmengen ist erst ab einem höheren Wasserstand vorgesehen als bisher.

Zusätzlich soll durch eine «aktive Steuerung» des Sihlsees eine Überlagerung der Hochwasserspitzen aus dem Sihlsee und den weiteren Zuflüssen verhindert werden.

Das neue Wehr- und Sicherheitsreglement mit der «aktiven Steuerung» wurde im Juni 2018 in Betrieb genommen.

### **3.2 Optimierung Rückhalt Sihlsee**

Zusätzlich zum Wehr- und Sicherheitsreglement liegt es nahe, den Sihlsee abzusenken und das zusätzlich verfügbare Volumen zur Retention zu nutzen. Eine Optimierung des Rückhalts kann entweder durch eine frühzeitige kontrollierte Entlastung im Fall ungünstiger Niederschlagsvorhersagen oder durch permanentes Tiefhalten des Sees im Sommer erfolgen.

Um schneller und auch während eines Niederschlagsereignisses Wasser ablassen zu können, wurde ein Ausbau des Pumpspeicherkraftwerkes mit erhöhter Kapazität der Druckleitung zwischen dem Sihlsee und dem oberen Zürichsee untersucht (Zappa *et al.*, 2015). Dies würde eine Doppelnutzung von Energiegewinnung und Hochwasserschutz erlauben. Die aktuelle Situation des europäischen Strommarktes spricht jedoch gegen die nötigen Investitionen durch den Kraftwerksbetreiber. Die Variante „Ausbau des Kraftwerkes“ wurde daher verworfen.

### **3.3 Entlastungsstollen**

Eine weitere Variante ist ein Entlastungsstollen, der Hochwasserspitzen der Sihl ab einem Abfluss von etwa 250 m<sup>3</sup>/s von Langnau am Albis nach Thalwil in den unteren Zürichsee umleitet. Der Stollen soll genügend Wasser ableiten, dass Hochwasserspitzen bis etwa 600 m<sup>3</sup>/s in der Stadt Zürich noch keine Schäden verursachen. Noch grössere Abflussspitzen sollen deutlich reduziert werden.

### **3.4 Umsetzung der Varianten**

Die Änderung des Wehrreglements konnte als erste Massnahme rasch umgesetzt werden. Die Varianten Optimierung Rückhalt im Sihlsee oder Entlastungsstollen wirken somit auf das vom angepassten Wehrreglement und der aktiven Steuerung veränderte Abflussverhalten der Sihl. Das Zusammenspiel der verschiedenen Varianten ist im Flussdiagramm in Abbildung 1 dargestellt.

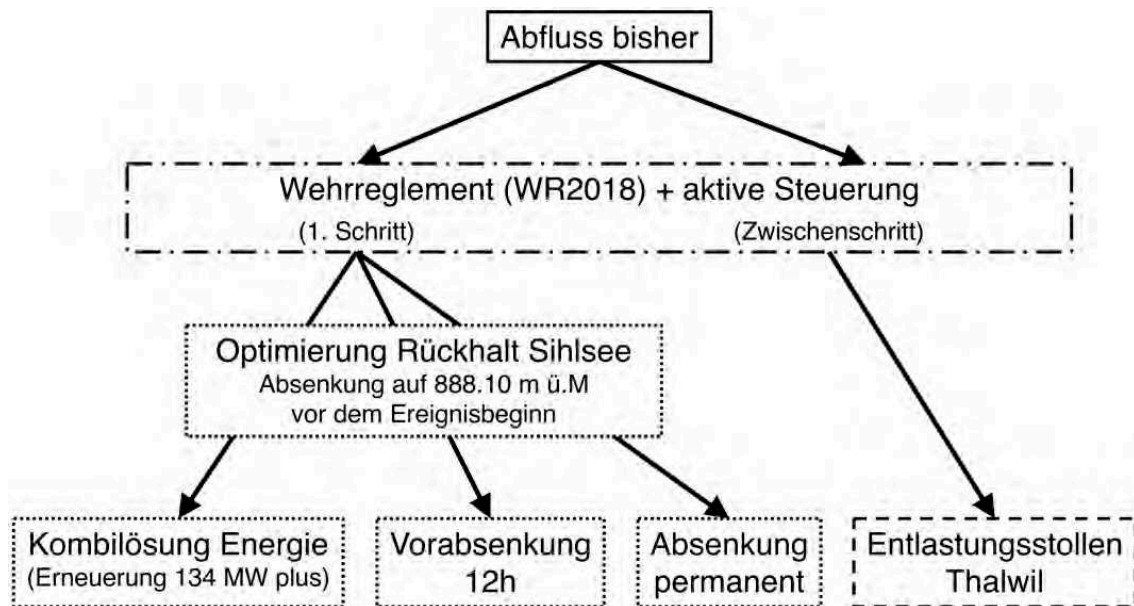


Abb. 1: Flussdiagramm zur Illustration, wie die verschiedenen Varianten des Hochwasserschutzes auf den Abfluss der Sihl in Zürich wirken.

#### 4 Wirkung der Massnahmen

Es standen eine Vielzahl hydrologischer Simulationen zur Verfügung, die auf unterschiedlichen Niederschlagsszenarien, Anfangsseepegeln und Vorfeuchtebedingungen basieren und jeweils mit und ohne Massnahme gerechnet wurden. Es lassen sich für jedes Paar an Simulationen die Abflussspitzen mit und ohne Massnahme auftragen und somit die Wirkung der Massnahme sowie ein Unsicherheitsbereich definieren.

Wird die Wirkung der Massnahmen samt Unsicherheitsbereich mit der bisherigen Abfluss-Statistik kombiniert, kann die Abfluss-Statistik mit Massnahmen inklusive Unsicherheitsbereich abgeschätzt werden.

Die Details zu den Massnahmen-Varianten und deren Wirkung sind in Kleinn *et al.* (2019) beschrieben.

#### 5 Funktionsgrad der Massnahmen

Jede noch so gut geplante und umgesetzte Massnahme kann versagen, sei es aufgrund von technischem oder menschlichem Versagen oder aufgrund falscher Vorhersagen. In einer Expertengruppe wurden mögliche Szenarien des Versagens gesammelt und daraus Funktionsgrade für die Massnahmenvarianten abgeschätzt und in 10%-Schritten definiert (Tab. 1 und Oplatka *et al.*, 2017). Diese Funktionsgrade wurden auf die Wirkung der Massnahmen angewandt und somit in die Abschätzung der Abfluss-Statistik mit Massnahmen integriert. Einerseits

gibt diese Betrachtung ein realistischeres Bild der zukünftigen Gefährdung. Andererseits erlaubt der Einbezug des Funktionsgrades, die Massnahmen zu verbessern und zu identifizieren, welche Erhöhung des Funktionsgrades am meisten zusätzliche Wirkung ergibt.

Tab. 1: Definition der Funktionsgrade für die Massnahmenvarianten basierend auf Experten-Einschätzungen

<b>Massnahme</b>	<b>Funktionsgrad</b>
Wehrreglement 2018 mit aktiver Sihlseeesteuerung	90%
Vorabsenkung 12h	50%
Kombilösung Energie	70%
Absenkung permanent	80%
Entlastungsstollen	90%

## 6 Schadenkurven

Eine Kombination der Abfluss-Statistik mit der Schadeninformation erlaubt die Erstellung von Schaden-Frequenz-Kurven zur Charakterisierung des Risikos (Abb. 2). Daraus lassen sich wichtige Risiko-Charakteristiken wie Wahrscheinlichkeit des Schadenanfangs oder den zu erwartenden Jahresschaden ableiten. Dazu steht Information über mögliche Schäden in der Stadt Zürich bei unterschiedlichen Wasserständen zur Verfügung (Dolf *et al.*, 2014).

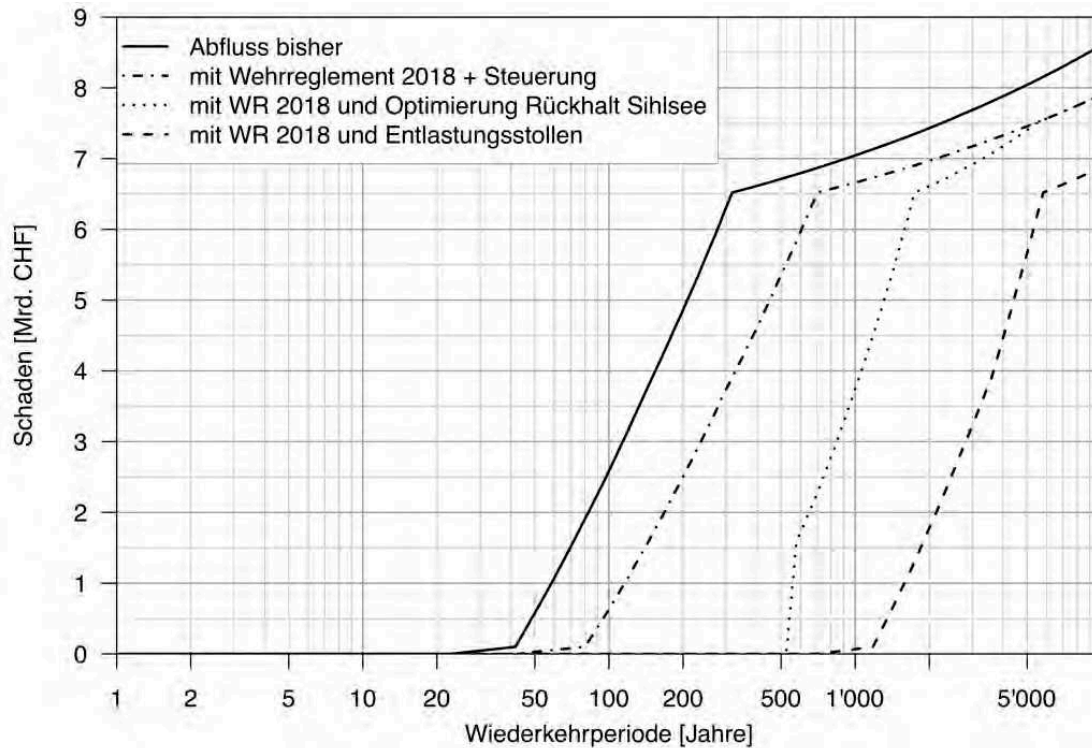


Abb. 2: Schaden-Frequenz-Kurven ohne und mit Hochwasserschutz-Massnahmen.

## 7 Resultat

Die hier vorgestellte Arbeit ist Teil einer umfassenden Risikoanalyse zu den Hochwasserschutzmassnahmen an der Sihl (Aller & Kleinn, 2017), die dem Regierungsrat des Kantons Zürich für die Entscheidungsfindung zur Verfügung stand. Der Regierungsrat des Kantons Zürich hat sich im Oktober 2017 für die weitere Planung des Entlastungsstollens entschieden. Neben der Wirkung war ein weiteres Kriterium für den Entlastungsstollen seine Unabhängigkeit von Vorhersagen und Abflussvolumen und somit sein hoher Funktionsgrad. Der Stollen soll bis zum Jahr 2025 in Betrieb genommen werden. Dank des Entlastungsstollens werden grosse Hochwasserspitzen in der Stadt Zürich nur noch sehr selten vorkommen. Ein bisher 30-jährlicher Abfluss in Zürich wird nach dem Bau des Stollens etwa einem 200-jährlichen Abfluss entsprechen. Dieser Wert berücksichtigt den Funktionsgrad des Stollens. Die Bandbreite der Wiederkehrperiode des Schadenanfangs in Zürich wird mit 40 bis 1'000 Jahren geschätzt und berücksichtigt die Modellunsicherheit bei der Bestimmung der Massnahmen-Wirkung von Wehrreglement und Entlastungsstollen.

## 8 Zusammenfassung

Die Wirkung von Hochwasserschutzmassnahmen kann mit Hilfe von einer Vielzahl an hydrologischen Simulationen bestimmt werden. Zusammen mit Abschätzungen über den Funktionsgrad der Massnahmen und über die Schäden bei verschiedenen Wasserständen konnten Schaden-Frequenz-Kurven für den bisherigen Zustand sowie für den Zustand nach Umsetzung der Massnahmen abgeschätzt werden.

## Danksagung

Die Autoren danken dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich für die finanzielle Unterstützung der Studie. Weiterführende Informationen und ein Video stehen auf folgender Web-Adresse zur Verfügung: <http://www.hochwasserschutz-zuerich.zh.ch>

## Referenzen

- Aller, D. & Kleinn, J. (2017). Technischer Bericht „Risiko der Langfristkonzepte beim Hochwasserschutz Sihl, Zürichsee, Limmat“. Schlussbericht zur Studie im Auftrag des Amtes für Abfall, Wasser, Energie, Luft (AWEL) des Kantons Zürich.
- Dolf, F., Krummenacher, B., Aller, D., Kuhn, B., Gauderon, A., Schwab, S. (2014). Risikoanalyse für ein Sihl-Hochwasser in der Stadt Zürich. *Wasser Energie Luft*, 106(1), 23-27.
- Hochstrasser, H., Schmocker, L., Bösch, M., Oplatka M. (2018). Schwemmholzrechen für den Hochwasserschutz im unteren Sihltal. *Wasser Energie Luft*, 110(1), 25-32.
- Kienzler, P., Andres, N., Näf-Huber, D., Zappa, M. (2015): Herleitung extremer Niederschläge und Hochwasser im Einzugsgebiet des Sihlsees für einen verbesserten Hochwasserschutz der Stadt Zürich. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 59(2), S. 48-58.
- Kleinn, J., Aller, D., Zappa, M., Andres, N., Bresch, D.N., Marti, C., Oplatka, M. (2019). Kontinuierliche Wirkungsabschätzung von verschiedenen Hochwasserschutzmassnahmen über das gesamte Abfluss-Spektrum am Beispiel der Sihl. *Hydrologie & Wasserbewirtschaftung*, 63, (3), 158-167. DOI: 10.5675/HyWa\_2019.3\_3
- Oplatka, M., Marti, C., Wicki, S., Hofer, M., Aller, D., Kleinn, J., Elber, F. (2017). Hochwasserschutz an Sihl, Zürichsee und Limmat. Synthesebericht zum Konzeptentscheid «Entlastungsstollen Thalwil». Amt Abfall, Wasser, Energie, Luft (AWEL) des Kantons Zürich
- Zappa, M., Andres, N., Kienzler, P., Naef-Huber, D., Marti, C., Oplatka, M. (2015): Crash tests for forward-looking flood control in the city of Zürich (Switzerland). *Proceedings of the international association of hydrological sciences (IAHS)*. Vol. 370, 235-242.



## **Adressen der AutorInnen**

Dr. Jan Kleinn (korrespondierender Autor)

Kleinn Risk Management GmbH

CH-8052 Zürich, Ausserdorfstrasse 16

[kleinn@kleinn-risk.ch](mailto:kleinn@kleinn-risk.ch)

Dörte Aller

Aller Risk Management GmbH

CH-8052 Zürich, Ausserdorfstrasse 16

Dr. Massimiliano Zappa, Norina Andres

Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

CH-8903 Zürich, Zürcherstrasse 111

Prof. Dr. David Bresch

ETH Zürich, Institut für Umweltentscheidungen

CH-8092 Zürich, Universitätstrasse 16

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz,

CH-8058 Zürich-Flughafen, Operation Center 1

Mirco Heidemann

GVZ Gebäudeversicherung Kanton Zürich

CH-8050 Zürich, Thurgauerstrasse 56

Dr. Christian Marti, Dr. Matthias Oplatka

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

CH-8090 Zürich, Walcheplatz 2