

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kasper, Julia

Entscheidungsunterstützung bei Starkregen für die Abfluss- und Stauregelung am Neckar

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106419>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kasper, Julia (2019): Entscheidungsunterstützung bei Starkregen für die Abfluss- und Stauregelung am Neckar. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Hydraulik der Wasserbauwerke – Neues aus Praxis und Forschung. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 85-90.

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.



Entscheidungsunterstützung bei Starkregen für die Abfluss- und Stauregelung am Neckar

Julia Kasper M. Sc., Bundesanstalt für Wasserbau

Einleitung

Die Bundeswasserstraße Neckar ist von Plochingen bis kurz vor der Mündung in den Rhein über eine Strecke von etwa 200 km stauregelt. Mit Hilfe von 27 Staustufen, die in der Regel aus Schleuse, Wehr und Wasserkraftwerk bestehen, soll ganzjährig eine ausreichende Fahrwassertiefe für die Schifffahrt gewährleistet und die Wasserkraft genutzt werden. Starkregenereignisse im urbanen Einzugsgebiet der Stadt Stuttgart können große Abfluss- und Wasserstandsschwankungen in der Neckarstauhaltung Hofen verursachen. Mit Hilfe von hochaufgelösten Niederschlagsvorhersagen sollen Entscheidungen im manuellen und automatisierten Betrieb von Staustufen unterstützt werden.

Im vorliegenden Beitrag werden zunächst die Abfluss- und Stauregelung (ASR) am Neckar und die Auswirkungen von Starkregen näher erläutert. Der darauffolgende Abschnitt erläutert das Verfahren, mit dem aus Niederschlagsvorhersagen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Vorhersagen für die Starkregenentlastung aus dem Hauptsammler Nesenbach in den Neckar berechnet werden. Anschließend wird die Visualisierung der Ergebnisse vorgestellt, die als Entscheidungsunterstützung für die ASR dienen soll. Der Beitrag schließt mit einem Fazit und einem Ausblick ab.

Die Abfluss- und Stauregelung am Neckar

Durch die Änderung des Abflusses über Wehr und Kraftwerk wird der gewünschte Wasserstand oberhalb der Staustufe, das sogenannte Stauziel, eingestellt. Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung der ASR am Abschnitt einer Binnenwasserstraße.

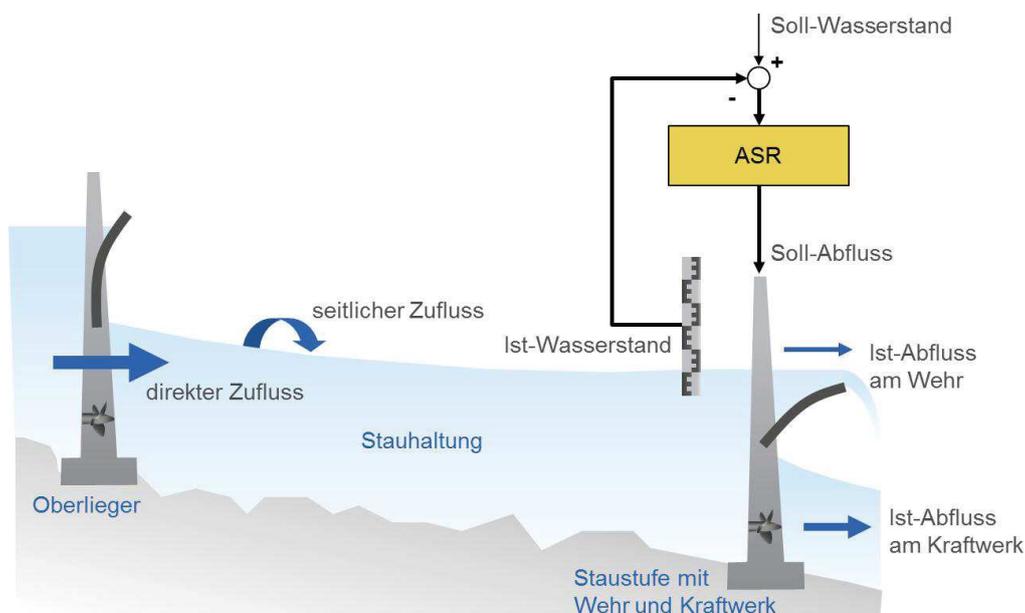


Bild 1: Abfluss- und Stauregelung (ASR) an Binnenwasserstraßen.

Der Wasserstand soll die Toleranzgrenzen um das Stauziel möglichst nicht überschreiten, um eine Gefährdung der Schifffahrt zu vermeiden.

Neben der Einhaltung des Stauziels und der Verringerung von Wasserstandsschwankungen ist die Verringerung von Abflussschwankungen eine weitere Anforderung an die ASR. Die Wehre an der Bundeswasserstraße Neckar werden von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und die Wasserkraftwerke von der Neckar AG betrieben. Zuständig für die Abfluss- und Stauregelung ist bis zur Auslastung der Kraftwerksturbinen und der Feinregelungsorgane des Wehrs die Neckar AG, bei höheren Abflüssen die WSV. Beide betreiben seit 2002 eine gemeinsame Fernsteuerzentrale in Rockenau, von wo Kraftwerksturbinen und Feinregelungsorgane ferngesteuert werden (Krajewski, 2007). Zur Fernsteuerung der Wehre, die derzeit jeweils lokal bedient werden, erfolgt sukzessive die Umrüstung von Antrieben und Leittechnik.

Auswirkungen von Starkregen auf die Neckarstauhaltung Hofen

Viele Neckarstauhaltungen sind sehr kurz und haben ein kleines Stauvolumen. Daher ist die Abfluss- und Stauregelung anfällig für Störungen wie Entnahmen und Einleitungen. Ein Beispiel dafür sind Mischwassereinleitungen, die nach Starkregenereignissen in urbanen Einzugsgebieten auftreten und messtechnisch nicht erfasst werden. Bei einem Starkregenereignis im Stadtgebiet von Stuttgart können kurzfristig bis zu $130 \text{ m}^3/\text{s}$ aus dem Hauptsammler Nesenbach über ein Einleitungsbauwerk in die Neckarstauhaltung Hofen entlastet werden. Bild 2 verdeutlicht die Ausmaße des Einleitungsbauwerks, das sich am oberen Ende der Stauhaltung Hofen direkt unterhalb des Oberliegigers Cannstatt befindet.



Bild 2: Einleitungsbauwerk des Hauptsammlers Nesenbach in Stuttgart am Neckar zur Mischwasserentlastung bei Starkregen (Belzner, BAW).

Da der Neckar an dieser Stelle bei Niedrigwasser etwa $12 \text{ m}^3/\text{s}$ führt und selbst der mittlere Abfluss nur knapp $50 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt, kann bei Starkregen ein Vielfaches des natürlichen Abflusses eingeleitet werden. Bleibt ein solches Ereignis von der Zentrale in Rockenau unbemerkt, können unter solchen Bedingungen große, unvorhergesehene Wasserstands- und Abflussschwankungen auftreten. Ziel ist es, die durch Regen- oder Mischwasserentlastungen verursachten Überschreitungen der Stauzieltoleranz zu vermeiden sowie Wasserstands- und Abflussschwankungen zu verringern. Die grundlegende Idee ist dabei, frühzeitig über eine bevorstehende Entlastung informiert zu werden und angemessen reagieren zu können. Belzner und Schmitt-Heiderich (2012) haben den Einfluss von Starkregen auf die ASR bereits untersucht und eine speziell auf die Stauhaltung Hofen angepasste Lösung erarbeitet.

Ein neues, vorausschauendes Regelungskonzept für die automatisierte ASR (Amann et al., 2016) sowie die Kooperation mit dem DWD im BMVI-Expertennetzwerk (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2016) ermöglichen heute die Entwicklung einer allgemeingültigeren Lösungsstrategie.

Vorhersage der Mischwasserentlastungen aus dem Hauptsammler Nesenbach

Im Rahmen des FuE-Projekts „Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen“ werden hochaufgelöste Niederschlagsprognosen genutzt, um die Mischwasserentlastungen aus dem Hauptsammler Nesenbach in die Stauhaltung Hofen möglichst gut vorherzusagen. Dazu werden im ersten Schritt extrapolierte Radarniederschlagsdaten des DWD, das sogenannte Nowcasting, verwendet. Diese Vorhersagen für die kommenden zwei Stunden liegen in einer räumlichen Auflösung von 1 km sowie einer zeitlichen Auflösung von 5 min vor und werden alle 5 min aktualisiert. Die Nowcasting-Daten werden im Einzugsgebiet des Hauptsammlers Nesenbach aggregiert und die Prognose der Niederschlagssumme dient als Eingangsgröße für ein vereinfachtes Niederschlags-Abfluss-Modell, welches die Abflusskonzentration, die Abflusstransformation in der Kanalisation und die wichtigsten Regenrückhalte- und Regenüberlaufbecken abbildet. Die Ausgangsgröße des Modells ist eine Prognose der Mischwasserentlastung in den Neckar für die kommenden zwei Stunden. Anhand von Radarniederschlagsdaten und Messwerten des Tiefbauamts der Stadt Stuttgart wurde das Modell validiert und zeigt unter Berücksichtigung der starken Vereinfachung zufriedenstellende Ergebnisse (Kasper et al., 2018).

Visualisierung der Prognosen zur Entscheidungsunterstützung

Amann et al. (2016) haben eine modellprädiktive Vorsteuerung entwickelt und dazu die Linearisierung der vorhandenen Stauhaltungsmodelle sowie einen Optimierungsalgorithmus implementiert. Auf Basis dieses Konzepts soll eine minütlich aktualisierte Entscheidungsunterstützung in Form von optimierten Wasserstands- und Abflussverläufen zur Verfügung gestellt werden. Diese kann für die automatisierte und, in Form einer Visualisierung wie in Bild 3, auch für die manuelle ASR verwendet werden.

Beim Pilotprojekt für die Stauhaltung Hofen werden dazu neben der oben beschriebenen Vorhersage der Mischwasserentlastung auch Vorhersagen des direkten Zuflusses aus der Stauhaltung Cannstatt benötigt. Die zusätzlichen Informationen wie Niederschlags-, Einleitungs- und Zuflussprognosen sowie optimierter zukünftiger Wasserstands- und Abflussverlauf sollen das Personal bei der Einhaltung der Ziele der ASR unterstützen. Darüber hinaus werden vorhandene Messwerte der vergangenen Stunde aufgetragen. Da bei der Optimierung die aktuellen Werte für Oberwasserstand und Abfluss der Staufstufe Hofen nicht einbezogen werden, sondern ausschließlich die Vorhersagen (Amann et al., 2016), lässt sich aus der Differenz zwischen Istwert und optimiertem Wert für den aktuellen Zeitpunkt 0 (s. Bild 3) die Qualität der Einleitungs- und Zuflussprognose abschätzen.

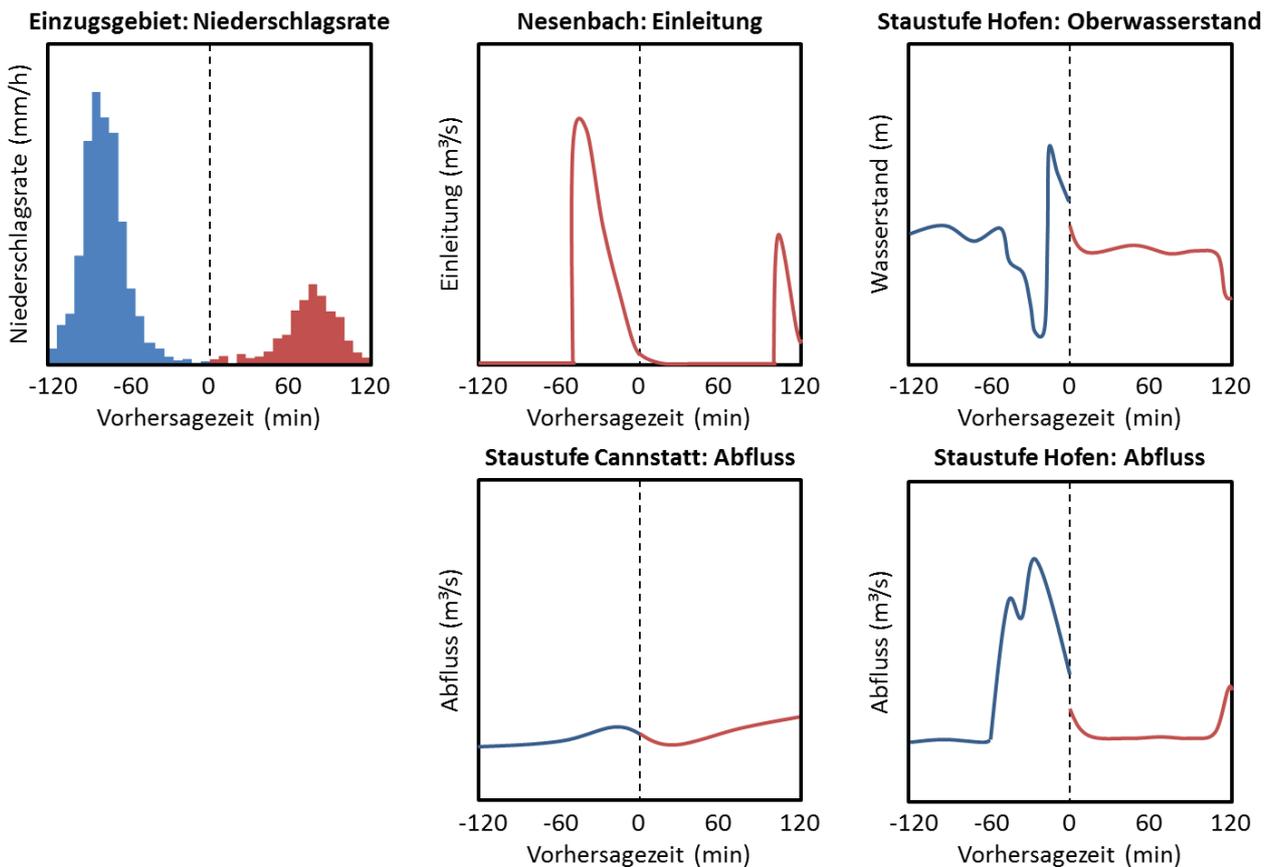


Bild 3: Beispielfhafte Visualisierung der Niederschlags-, Einleitungs- und Zuflussprognosen sowie des optimierten zukünftigen Wasserstands- und Abflussverlaufs (rot) und der jeweiligen Mess- bzw. Istwerte (blau) für ein fiktives Starkregenszenario.

Fazit und Ausblick

Das Pilotprojekt zur Vorhersage der Mischwasserentlastung aus dem Hauptsammler Nesenbach der Stadt Stuttgart in die Stauhaltung Hofen liefert bisher vielversprechende Ergebnisse. Anhand von Simulationen einer automatisierten ASR mit modellprädiktiver Vorsteuerung an der Staustufe Hofen wurde bereits gezeigt, dass durch die Nutzung von Einleitungsprognosen sowohl Überschreitungen der Stauzieltoleranz als auch eine Verstärkung von Abflussschwankungen vermieden werden können (Pranner, 2018; Kasper et al., 2018). Durch die in diesem Beitrag vorgestellte Visualisierung können die Vorteile der Kombination von Einleitungsprognosen mit einer modellprädiktiven Vorsteuerung auch für die manuelle Regelung genutzt werden.

Neben den Nowcasting-Prognosen des DWD sollen im nächsten Schritt probabilistische Ensemble-Prognosen für die Vorhersage von Mischwasserentlastungen aus dem Nesenbach getestet werden. Diese basieren auf Simulationen und erlauben eine Prognose über maximal 27 Stunden, wobei die Unsicherheiten der Vorhersage berücksichtigt werden (Kasper et al., 2018). Darüber hinaus ist es von Interesse, weitere Stauhaltungen an den Bundeswasserstraßen zu identifizieren, die ebenfalls von Regelungsproblemen durch Misch- oder Regenwasserentlastungen nach Starkregenereignissen betroffen sind.

Literatur

- Amann, K.-U., Arnold, E., Sawodny, O. (2016): Online real-time scheduled model predictive feedforward control for impounded river reaches applied to the Moselle river. In: 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), S. 1276-1281.
- Belzner, F., Schmitt-Heiderich, P. (2012): Einfluss urbaner Einzugsgebiete auf die Abfluss- und Stauzielregelung. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Ed.): Innovation mit Tradition: Hydraulischer Entwurf und Betrieb von Wasserbauwerken, S. 93-98.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2016): Das BMVI-Expertenetzwerk – Wissen – Können – Handeln, Berlin.
- Kasper, J., Pranner, G., Simons, F., Denhard, M., Thorenz, C. (2018): Enhancing automated water level control at navigable waterways by high-resolution weather predictions. In: La Loggia, G., Freni, G., Puleo, V., De Marchis, M. (Ed.): HIC 2018. EPiC Series in Engineering Vol 3, EasyChair, S. 1022-1029.
- Krajewski, C. (2007): Bundeswasserstraße Neckar – Auszug aus dem Kompendium der WSD Südwest vom Juni 2007. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Mainz.
- Pranner, G. (2018): Anwendung einer modellprädiktiven Vorsteuerung für die Abfluss- und Stauregelung von Wasserstraßen am Beispiel der Neckarstauhaltung Hofen, Bachelorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung.

