

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Book Part, Published Version

**Kasper, Julia**

## **Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen (Kap. 4.3.2)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107600>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kasper, Julia (2020): Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen (Kap. 4.3.2). In: Verlässlichkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöhen - Ergebnisbericht des Themenfeldes 3 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019 Berlin: BMVI. S. 58-60.

### **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.

rung werden geeignete Maßnahmen für eine möglichst effiziente Erhöhung der Systemresilienz identifiziert und priorisiert. Der verwendete pragmatische Ansatz zur Abschätzung des Einflusses einer Maßnahme zur Erhöhung der Resilienz wird für den Anwender nachvollziehbar auf Objektebene durchgeführt und anschließend für Aussagen der Maßnahmenwirkung auf die Resilienz des Gesamtsystems aggregiert. Unter Berücksichtigung der jährlichen Maßnahmenkosten liefert die entwickelte Methodik für den Entscheidungsträger letztendlich pro Maßnahme vier verschiedene Kennwerte: die Resilienzwirkung, das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis, den potenziellen Umsetzungszeitraum und die Umsetzungswahrscheinlichkeit (Machbarkeit).

Zur Förderung der praxisingerechten Anwendung der Methodik durch die Straßenbauverwaltungen wurden zusätzlich Handlungshilfen in Form eines Handbuchs und eines anwenderfreundlichen softwarebasierten Tools entwickelt.

#### 4.3.1.4 Nutzen

Die Ergebnisse des Projektes sind relevant für das BMVI, die am BMVI-Expertenetzwerk beteiligten Behörden und die Nutzer (z. B. Straßenbauverwaltungen der Länder), insbesondere für die Entscheider mit strategischer und konzeptioneller Managementfunktion. Die Vereinfachungen der verwendeten Modelle sollen es den Infrastrukturbetreibern mithilfe des entwickelten GIS-basierten Software-Prototyps ermöglichen, die große Anzahl an Elementen im Bundesfernstraßennetz zeiteffizient hinsichtlich der Verfügbarkeit und Sicherheit sowohl auf Netz- als auch auf Objektebene bewerten zu können. Durch die Anwendung des Resilienzmanagementkonzeptes erfolgt die Optimierung des Reaktions- und Wiederherstellungsprozesses für die Straßeninfrastruktur nach disruptiven Ereignissen. Der zeitliche und finanzielle Aufwand infolge des Ausfalls und Wiederherstellung der Straßeninfrastruktur lässt sich dadurch auf ein Minimum reduzieren. Des Weiteren, wird es durch die Anwendung der Methodik des Resilienzmanagements den Anwendern im Rahmen der Gewährleistung der Zukunftsfähigkeit der Verkehrsinfrastrukturen erstmals ermöglicht, unterschiedliche Arten von Maßnahmen miteinander zu vergleichen und ihre Wirkungen und Kosten hinsichtlich Resilienz gegenüberzustellen. Auf dieser Grundlage obliegt es dem Entscheidungsträger, eine Rang-

liste der umzusetzenden Maßnahmen zu erstellen, die je nach strategischen oder politischen Zielvorgaben für seine Situation und sein System am geeignetsten sind.

Die gewonnenen Erkenntnisse und Methoden sind auf die anderen Verkehrsträger übertragbar und steuern somit auf das übergeordnete Ziel des BMVI-Expertenetzwerks "Das Verkehrssystem resilient und umweltgerecht gestalten" zu. Die Beteiligung der anderen Behörden fand im Rahmen der Betreuung der externen Projekte und des fachlichen Austauschs (Arbeitstreffen, Workshops, Netzwerktreffen) innerhalb des Schwerpunktthemas statt.

### 4.3.2 Strategien zur Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen bei extremen Wetterereignissen

#### 4.3.2.1 Aufgabenstellung und Ziel

Etwa 3.000 km der Bundeswasserstraßen sind mit Stautufen ausgebaut, die im Allgemeinen aus beweglichem Wehr, Schleuse und Laufwasserkraftwerk bestehen. Durch Ändern des Abflusses über Kraftwerk und Wehr hält ein lokaler Regler den gewünschten Wasserstand oberstrom der jeweiligen Staustufe möglichst konstant. Die Abfluss- und Stauregelung soll mehrere, mitunter gegensätzliche Ziele erfüllen: Einhaltung des Stauziels innerhalb der festgelegten Toleranz, Verminderung von Abflussschwankungen, optimale Nutzung der Wasserkraft und Reduzierung des Verschleißes der Wehrverschlüsse.

Im Zuge des Klimawandels ist mit einer Zunahme extremer Wetterereignisse zu rechnen. Insbesondere während Niedrigwasserperioden sind Starkregenereignisse in urbanen Einzugsgebieten problematisch für die Abfluss- und Stauregelung. Infolge einer Überlastung der städtischen Kanalisation bringen Regen- oder Mischwassereinleitungen für wenige Stunden ein Vielfaches des jeweils aktuellen Abflusses in die Wasserstraße ein. Dies kann zu großen Überschreitungen der Stautoleranz sowie zu verstärkten Schwankungen des Abflusses über Kraftwerk und Wehr führen, was eine Gefahr für die Schifffahrt darstellt (Belzner und Schmitt-Heiderich 2012). Ziel dieses Vorhabens war es, das bestehende Regelungskonzept robuster gegenüber Starkregenereignissen zu machen.

### 4.3.2.2 Untersuchungsmethoden

Um Informationen über bevorstehende Starkregenereignisse in die Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen einzubinden, müssen verschiedene Komponenten aufeinander abgestimmt werden: Niederschlagsprognosen, Niederschlags-Abfluss-Modell und Regelungssystem. Dazu wurden hoch-aufgelöste Vorhersagen durch den DWD aufbereitet. Die Wirkungsweise des neuen Konzepts wurde anhand von Simulationen am Beispiel der Neckarstauhaltung Hofen untersucht. Direkt unterhalb der Staustufe Cannstatt, die das obere Ende der Stauhaltung Hofen bildet, entlastet ein Teil der Stuttgarter Kanalisation in den Neckar. Das Tiefbauamt der Stadt Stuttgart hat Messdaten zu diesen Mischwassereinleitungen aus dem Hauptsammler Nesenbach zur Verfügung gestellt.

### 4.3.2.3 Ergebnisse

Aus extrapolierten Radarniederschlagsdaten des DWD, dem sogenannten Nowcasting, wurden mithilfe eines ver-

einfachten Niederschlag-Abfluss-Modells der Stuttgarter Kanalisation Prognosen für Mischwasserentlastungen aus dem Hauptsammler Nesenbach in die Neckarstauhaltung Hofen berechnet. Anhand historischer Ereignisse wurde gezeigt, dass die Einleitungsprognosen eine ausreichende Genauigkeit aufweisen (Kasper et al. 2018).

Die bestehende Reglerstruktur wurde um eine modellprädiktive Vorsteuerung vom Institut für Systemdynamik der Universität Stuttgart (Amann et al. 2016) ergänzt. Dabei bestimmt ein Optimierungsalgorithmus anhand eines linearisierten Stauhaltungsmodells aus gegebenen Zuflussprognosen einen idealen zeitlichen Verlauf von Wasserstand und Abfluss. Im automatisierten Betrieb wird der Wert des Wasserstands für den nächsten Zeitschritt als Soll-Wasserstand an den Regler ausgegeben. Im manuellen Betrieb kann der optimierte Wasserstands- und Abflussverlauf zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden. Abbildung 29 veranschaulicht, wie die modellprädiktive Vorsteuerung den Soll-Wasserstand aufgrund der vorhergesagten Einleitung im Rahmen der erlaubten Toleranz absenkt. Der

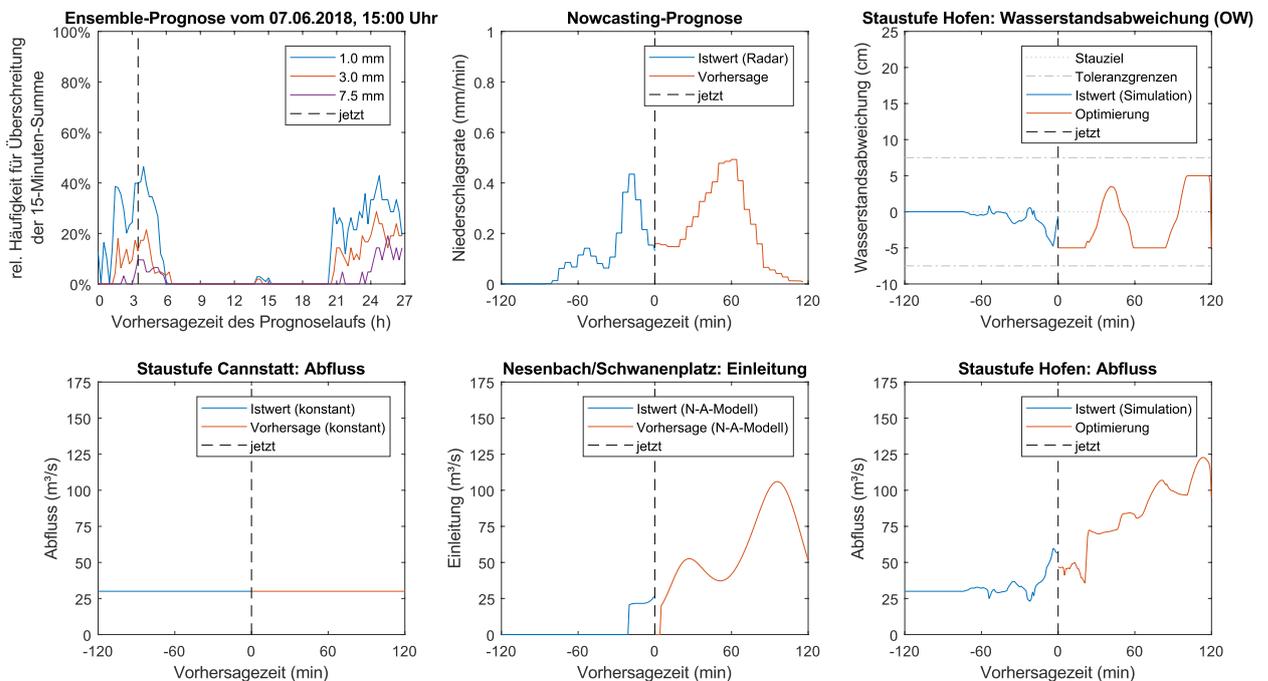


Abbildung 29: Simulation eines Echtzeit-Prognosesystems für die Abfluss- und Stauregelung an der Neckarstauhaltung Hofen am Beispiel eines Starkregenereignisses am 7. Juni 2018 um 18:31 Uhr (UTC) bei konstantem direktem Zufluss über die Staustufe Cannstatt.

lokale Regler gleicht die Ungenauigkeit der Vorhersage und den dadurch ansteigenden Wasserstand durch eine Abflusserhöhung aus. Mithilfe der Darstellung von verbesserten Ensemble-Prognosen aus dem Projekt "Ensemble-Prognosen extremer Wetterereignisse" (siehe Unterkapitel 4.3.3) des DWD kann sich das Personal frühzeitig auf ein bevorstehendes Starkregenerereignis einstellen.

Simulationen haben gezeigt, dass Verletzungen der Stautoleranz infolge von seitlichen Einleitungen durch die Berücksichtigung von Niederschlagsprognosen verhindert werden können. Während die bisherige Regelung große Abflussschwankungen verstärkt, können diese durch die modellprädiktive Vorsteuerung deutlich gedämpft werden (Kasper et al. 2018).

#### 4.3.2.4 Nutzen

Durch die Anwendung moderner Regelungsmethoden und die Einbindung von kurzfristigen Niederschlags- und Abflussvorhersagen steht der WSV ein zukunftsfähiges Regelungssystem zur Verfügung, das auch bei zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels eine robuste Abfluss- und Stauregelung sicherstellt. Die neue Regelungsstrategie kompensiert die Wirkung stoßartiger Belastungen in Stauhaltungen, indem sie vorausschauend reagiert, die Gefährdung durch starke Wasserstands- und Abflussschwankungen minimiert und eine schnelle "Erholung" des Systems ermöglicht. Auf diese Weise wird die Resilienz der Wasserstraßen erhöht und die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt gewährleistet.

Die Idee, Niederschlagsprognosen in die Abfluss- und Stauregelung der Wasserstraßen einzubinden, ist durch die enge Zusammenarbeit mit dem DWD im BMVI-Expertennetzwerk entstanden. Die weiteren beteiligten Institutionen können bei der Entwicklung von Resilienzmaßnahmen gegenüber extremen Wetterereignissen durch die Erfahrung mit Prognosesystemen für kleine Einzugsgebiete profitieren.

Darüber hinaus wurde die Methode der Vulnerabilitätsanalyse, die im Projekt "Quantifizierung und Prognose der Verfügbarkeit und Sicherheit von Straßeninfrastruktur bei außergewöhnlichen Ereignissen" der BASt verwendet wird, zur Identifizierung weiterer Staustufen genutzt, die von den

Auswirkungen durch Starkregen in urbanen Einzugsgebieten betroffen sein könnten (Kasper und Simons 2019).

### 4.3.3 Ensembleprognosen extremer Wetterereignisse

#### 4.3.3.1 Aufgabenstellung und Ziel

Vorhersagen des Wetters sind unsicher und insbesondere bei extremen Ereignissen gelingt deren Lokalisierung in Raum und Zeit in vielen Fällen nur ungenau. Dabei hängt die Unsicherheit einer Vorhersage stark von der Art des betrachteten Ereignisses ab. Zur Bestimmung der Vorhersageunsicherheit erstellt der DWD täglich Ensembleprognosen<sup>1</sup> (von der globalen Skala bis zu 2 km horizontaler Auflösung über Deutschland), die nicht nur verschiedene mögliche Szenarien des Wettergeschehens beschreiben, sondern auch die Abschätzung von Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten extremer Ereignisse ermöglicht. Ziele im Projekt waren die Verbesserung der Ensemblesysteme des DWD und eine Optimierung von Wahrscheinlichkeitsprognosen für verkehrs- und bautechnisch relevante Wetterereignisse.

#### 4.3.3.2 Untersuchungsmethoden

Durch die Einführung des globalen Ensembleprognosesystems ICON-EPS (engl. *ICOsahedral Non-hydrostatic global circulation model* - Ensemblevorhersagesystem) (Reinert et al. 2019) wurde eine Verbesserung der Anfangs- und Randbedingungen für das Lokalmodeensemble COSMO-D2-EPS (COSMO-Modell (Consortium for Small-Scale Modelling) (Baldauf et al. 2018) des DWD für Ausschnitt Deutschland) erreicht, sodass insgesamt eine Verbesserung

---

<sup>1</sup> Definition Ensembleprognosen: Eine Wettervorhersage umfasst heute i.d.R. ein ganzes "Ensemble" von einzelnen numerischen Vorhersagen. Das Ensemble besteht aus verschiedenen Vorhersageszenarien, den "Ensemble Mitgliedern". Jedes Mitglied basiert auf einer etwas anderen, aber jeweils realistischen Konfiguration des Anfangszustands und des Vorhersagesystems. Abhängig von der aktuellen Wettersituation wirken sich diese Unterschiede auf das Vorhersageresultat aus. [https://www.dwd.de/DE/forschung/wettervorhersage/num\\_modellierung/04\\_ensemble\\_methoden/ensemble\\_vorhersage/ensemble\\_vorhersagen.html](https://www.dwd.de/DE/forschung/wettervorhersage/num_modellierung/04_ensemble_methoden/ensemble_vorhersage/ensemble_vorhersagen.html)