

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Demny, Gerd; Lohr, Hubert

Hochwassermerkmalsimulation zur Quantifizierung des Klimawandels

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

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

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103472>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Demny, Gerd; Lohr, Hubert (2014): Hochwassermerkmalsimulation zur Quantifizierung des Klimawandels. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Simulationsverfahren und Modelle für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 50. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 519-528.

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.



Hochwassermerkmalsimulation zur Quantifizierung des Klimawandels

Gerd Demny
Hubert Lohr

Bei größeren Flusseinzugsgebieten, die durch Talsperren geregelt werden, lassen sich belastbare Aussagen über das Hochwassergeschehen nur über eine gemeinsame Betrachtung von Einzugsgebiet und Talsperrensteuerung gewinnen. Für die Talsperrenbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Eifel-Rur setzt der Wasserverband Eifel Rur (WVER) seit längerem das Talsperrenbewirtschaftungsmodell Tal-simNG ein. Für die Berechnung von Hochwasserwellen an den Talsperren wird die Hochwassermerkmalsimulation angewendet, die auf langjährigen Messreihen basiert. Um entlang der Rur die Gefahrenpotentiale durch veränderte Hochwasserabflüsse aufgrund des Klimawandels einschätzen zu können, wird die Talsperrensimulation mit NA-Modellberechnungen (NASIM) ergänzt. Dabei ist das Zusammenspiel der Talsperrenabgabe mit den unregulierten Zuflüssen am Unterlauf der Rur ein wichtiger Aspekt. Daher wird erstmalig das Werkzeug der Hochwassermerkmalsimulation nicht nur für die Speicherberechnung allein, sondern für den Gesamtlauf der Rur incl. aller unregulierten Zuflüsse angewendet. Die Hochwassermerkmalsimulation wird dabei zusätzlich nicht nur auf Messdaten, sondern auch auf mit NA-Modellen generierten Abflusszeitreihen aufgesetzt und das Anwendungsfeld dieser Technik erheblich verbreitert.

Stichworte: Talsperrenbewirtschaftung, Klimawandel, Hochwassermerkmalsimulation

1 Anlass

Die Eifel-Rur entspringt in Belgien im Hochmoorgebiet des Hohen Venn. In ihrem Verlauf durchströmt sie die Eifel, fließt durch Düren, um auf relativ direktem Weg Richtung Norden bei Roermond auf niederländischem Gebiet in die Maas zu münden. Das Einzugsgebiet umfasst mehr als 2.600 km². Der Abfluss der Rur wird durch die Talsperren des Wasserverbandes Eifel-Rur (WVER) geregelt, die ein Einzugsgebiet von 660 km² kontrollieren, wobei insbesondere die volumenmäßig zweitgrößte Talsperre Deutschlands den Hauptbeitrag leistet.

Für die Talsperren gibt es einen sehr komplexen Wasserwirtschaftsplan, um den umfangreichen Bedürfnissen zum Hochwasserschutz, zur Niedrigwasseraufhöhung und zur Trinkwassergewinnung gerecht zu werden. Auch die intensive und

mit sehr hoher Bedeutung belegte Freizeitnutzung sowie die Wasserkraft spielen eine wichtige Rolle. Der Einfluss der Talsperren reicht bis weit in den Unterlauf und wird erst durch die von Westen einmündende Inde etwas zurückgedrängt.

Aussagen über Hochwasser bestimmter Eintrittswahrscheinlichkeiten lassen sich nur über die gemeinsame Betrachtung von Einzugsgebiet und Talsperrensteuerung gewinnen. Um entlang der Rur den Ist-Zustand sowie die Gefahrenpotentiale durch veränderte Zuflussbedingungen im Hoch- und Niedrigwasser aufgrund von Klimawandel (EPAMA, 2009) einschätzen zu können, wird das beim WVER bereits im Einsatz befindliche Flussgebietsmodell TalsimNG für die Simulation von generierten Hochwasserwellen erweitert. Im Zusammenspiel mit einem flächendeckenden Niederschlags-Abfluss Modell (NASIM) wird untersucht, in welchem Ausmaß sich der hydrologische Längsschnitt gegenüber dem heutigen Referenzzustand ändert und wie die Wirkung bei gleichbleibender Talsperrensteuerung auf den Inhalt der Talsperren ausfällt. Die Verbindung der verschiedenen Modelltechniken wird über die Hochwassermerkmalsimulation erreicht, die erstmalig auf der Basis von NA-Modellierungen und für ein gesamtes Flusseinzugsgebiet angewendet wird.

Das Projekt wurde vom europäischen Programm INTERREG IVB North-West Europe (NWE) und dem Land NRW finanziell unterstützt.

2 Hochwassermerkmalsimulation für das Flusseinzugsgebiet

Die Hochwassermerkmalssimulation ist ein Werkzeug, mit dem die Reaktion eines Flussgebietes auf unterschiedliche Hochwassersituationen untersucht werden kann. Sie basiert auf der Möglichkeit, den Verlauf von Hochwasserwellen anhand mathematischer Funktionen mit nur wenigen Parametern, den Merkmalen der HW-Welle, zu beschreiben.

Mittels dieser Funktionen kann eine große Anzahl an künstlichen HW-Wellen generiert werden, die in den statistischen Eigenschaften ihrer Merkmale historischen HW-Wellen entsprechen. Diese künstlichen HW-Wellen werden wiederum als Zufluss zu einem Flussgebietsmodell angesetzt und damit simuliert.

Die prinzipielle Vorgehensweise bei nur einem zu generierenden Zufluss ist in verschiedenen Quellen dokumentiert (Lohr, *et.al.*,2004; Lohr, 2003). Die Besonderheit hier war jedoch, dass an vielen Knotenpunkten eines gesamten Flussgebietsmodells zueinander stimmige und korrespondierende Hochwasserwellen zu erzeugen waren.

Das Flussgebiet der Rur war im Modell in 86 Teileinzugsgebiete unterteilt und für jedes dieser Teileinzugsgebiete mussten die Hochwasserwellen zueinander stimmig erzeugt werden. Dazu wurde ein mehrstufiges Verfahren angewandt, welches die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zuflüssen berücksichtigt.

Die Rur war für alle Zuflüsse der Master, d.h. für die Rur wurden die HW-Merkmale unabhängig generiert und aus diesen alle weiteren Zuflüsse abgeleitet. Die HW-Merkmale von Inde, Olef, Urft, Wurm und Merzbach wurden ebenfalls generiert, allerdings wurden die Parameter Scheitelabfluss und Anlaufzeit in Abhängigkeit der entsprechenden Parameter der Rur, bzw. im Falle des Merzbachs in Abhängigkeit der Inde, gezogen. Ein zusätzlicher Parameter, der für Inde, Olef, Urft, Wurm und Merzbach generiert wurde, war der Scheitelversatz in Bezug auf den Rur-Scheitel. Wie die anderen Merkmale, wurde auch der Scheitelversatz aus den historischen Ereignissen ermittelt und mit einer Verteilungsfunktion beschrieben. Ellebach, Malefinkbach, Kall und Wehebach waren abhängige Gebiete (sogenannte Slaves) mit fixer Bindung, d.h. sie wurden nicht generiert, sondern ihnen wurde dieselbe HW-Welle zugeordnet wie ihrem Master, nur dass eine Skalierung über die Einzugsgebietsgröße und das Scheitelverhältnis stattfand. Aus den HW-Wellen an diesen zehn Zuflusspunkten leiteten sich dann die Abflüsse aus jedem der 85 Teileinzugsgebiete über ihre Einzugsgebietsgröße ab (Abbildung 3).

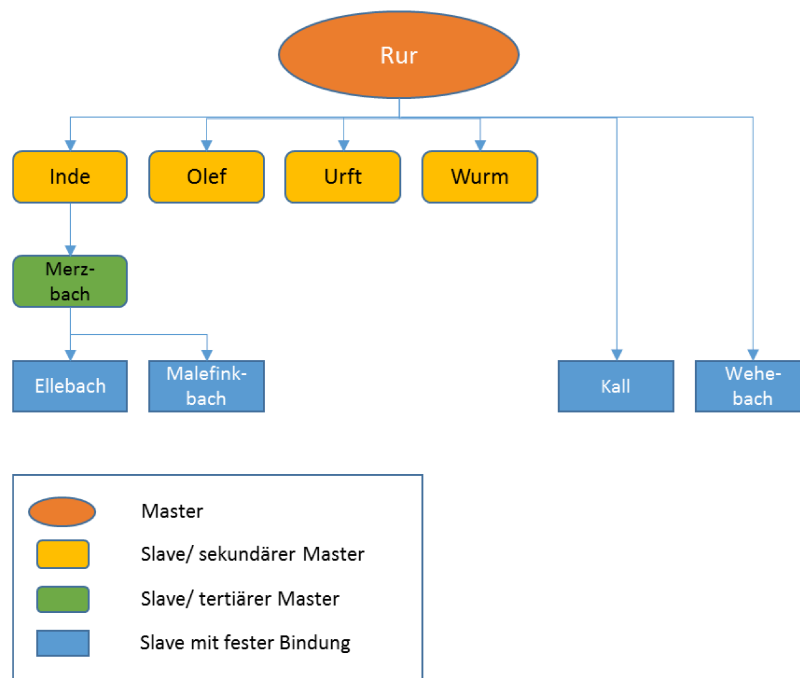


Abbildung 1: Verschachtelte Abhängigkeiten der Merkmalsparameter

Diese Art der rekursiven Generierung erlaubt quasi beliebig komplexe Strukturen, muss allerdings kalibriert werden. Der Aufwand der Kalibrierung steigt mit

jeder weiteren Verschachtelung deutlich an. Die Kalibrierung erfolgt über die Anpassung der funktionalen Beziehungen zwischen den maßgebenden Parametern. Am Beispiel des Scheitelabfluss der Urft zum Master Scheitelabfluss Rur ist eine funktionale Beziehung dargestellt. Die Generierung innerhalb des Korridors ist variabel, d.h. kann über eine Verteilungsfunktion beeinflusst werden.

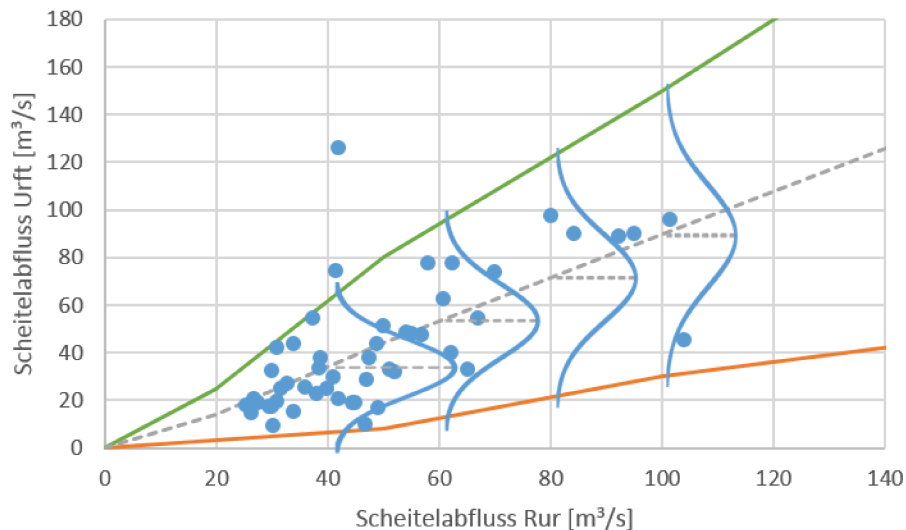


Abbildung 2: Beispiel einer funktionalen Beziehung zwischen Master und Slave Parameter

Außer den Hochwasserwellen sind die Anfangs- und Randbedingungen festzulegen, die in der Form der Anfangsinhalte der Talsperren sowie im Startdatum eines Ereignisses bestehen. Dabei spielt beim Generierungsprozess die Verteilung der realen Hochwasserereignisse im innerjährlichen Verlauf eine Rolle, so dass diese zu ermitteln ist. Erfolgt keine Ermittlung der innerjährlichen Verteilung, wird das Ergebnis auf der sicheren Seite liegen. Unter Berücksichtigung dieser Verteilung erhält man im Zusammenspiel mit einem variablen Anfangsinhalt eine probabilistische Betrachtung des Gesamt ereignisses aus Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Speicherfüllung bei Beginn eines Hochwasserereignisses und der Wahrscheinlichkeit des Hochwassers selbst.

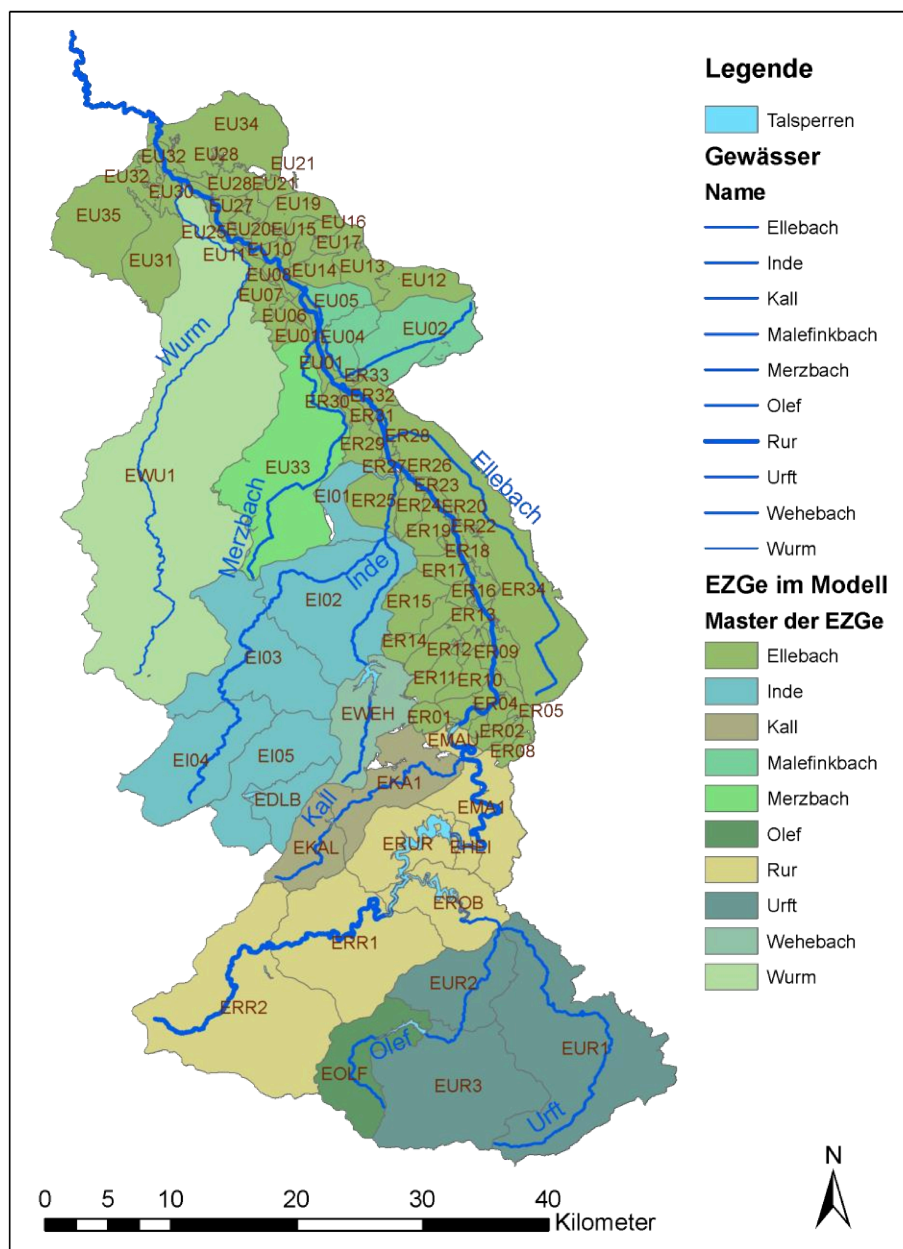


Abbildung 3: Teileinzugsgebiete und ihre Abhängigkeiten für die Wellengenerierung

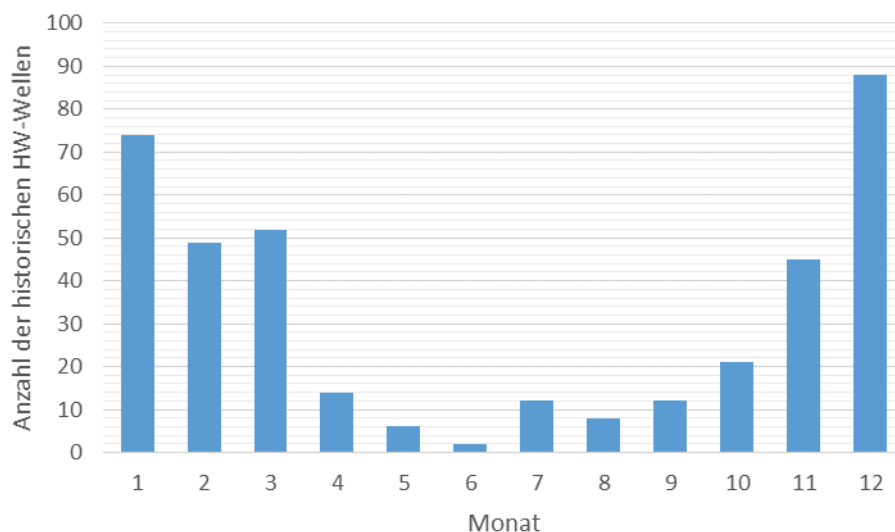


Abbildung 4: Innerjährliche Verteilung von Hochwasserereignissen am Zufluss zur Rur

3 Anpassung an Klimaszenarien und Ergebnisse

3.1 Anpassung der Merkmale an veränderte Zuflussbedingungen

Insgesamt wurden 10 verschiedene Klimaszenarien betrachtet. Für jedes Klimaszenario wurden mit Hilfe eines N-A Modells die Abflüsse berechnet und wiederum als Quelle für die Hochwassermerkmalsimulation angesetzt. Die Klimaszenarien lenkten das bestehende Abflussregime unterschiedlich aus, weshalb eine Anpassung der Merkmalsparameter erforderlich war. Im Wesentlichen veränderten sich die Scheitelwerte der Hochwasserereignisse und weniger die Merkmale Anlaufzeit und Wellenform. Aus diesem Grund erfolgte die Anpassung der generierten Wellenscheitel durch Übertragung der Hochwasserstatistik des Ist-Zustandes auf die Hochwasserstatistik der Szenarien. Die an die generierten Scheitel angepasste Gumbel-Verteilung diente als Referenz, ausgehend derer die Scheitelwerte gemäß ihrer Jährlichkeit übertragen wurden (Abbildung 5).

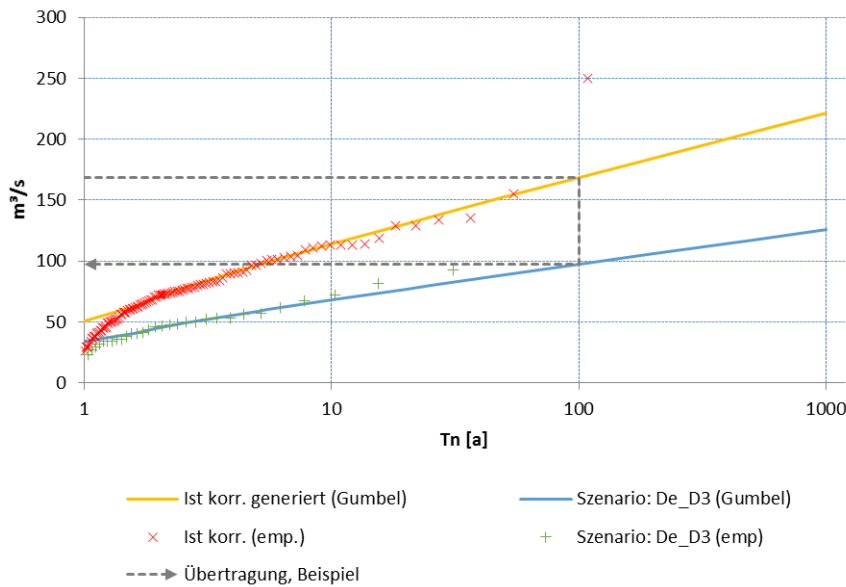


Abbildung 5: Übertragung des Abflussscheitels der Rur auf ein Szenario (Beispiel)

Mittels dieser Vorgehensweise wurden für alle Szenarien neue Wellen erzeugt.

Auch die Talsperreninhalte mussten angepasst werden, da sich auch diese durch die Szenarien veränderten. Dies geschah über eine Langzeitsimulation über jedes Szenario und ebenfalls mittels Übertragung der Inhalte aus dem Ist-Zustand in einen Szenarien-Zustand.

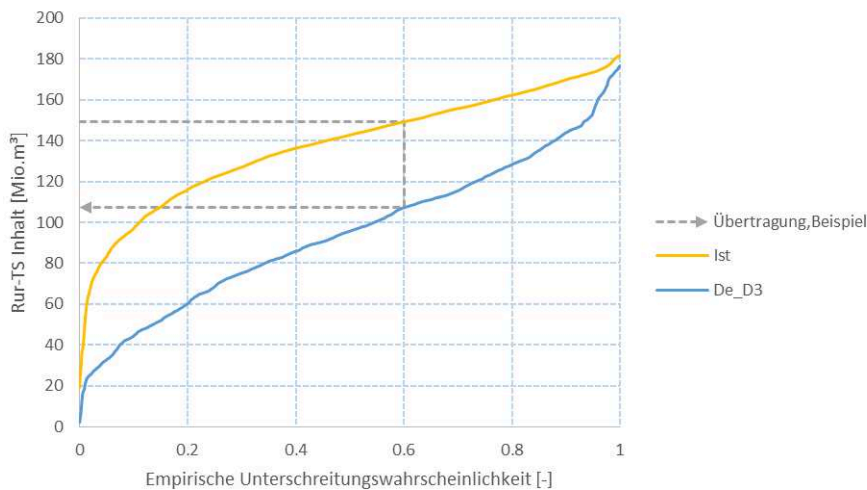


Abbildung 6: Übertragung des Anfangsinhaltes der Rur-TS über die Dauerlinien aus der Langzeitsimulation auf ein Szenario (Beispiel)

3.2 Ergebnisse

Eine Zielstellung war die Auswertung des hydrologischen Längsschnittes entlang der Rur für den Ist-Zustand und für alle Szenarien. Nachfolgend sind drei miteinander vergleichbare Zustände dargestellt. Die Abbildung 7: zeigt den

Hochwasserabfluss der Rur im Referenz-Zustand (1971 bis 2000), der sich bei Anwendung des N-A Modells auf Basis der aktuellen hydrologischen Bedingungen ergibt.

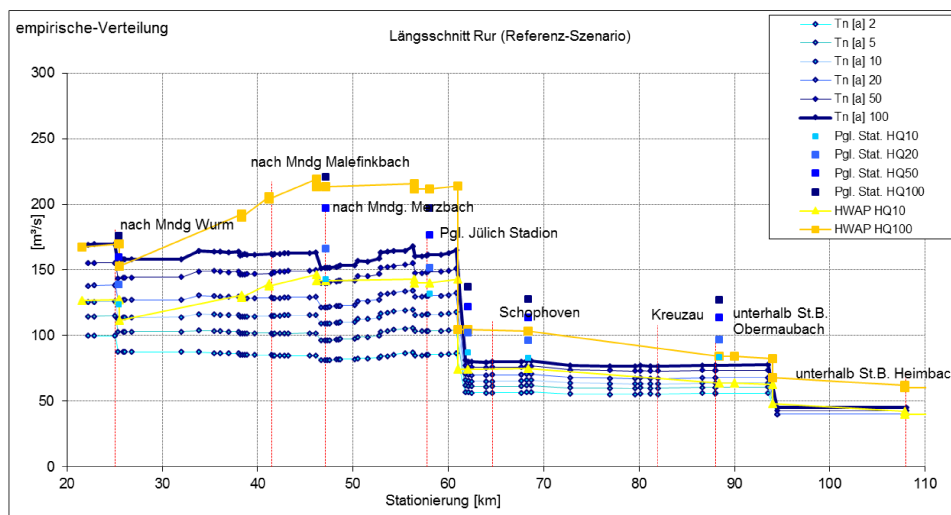


Abbildung 7: Hydrologischer Längsschnitt original Betriebsregeln; Referenz

Unter Zugrundelegung des Klimaszenarios, das für den Zeitraum 2071 bis 2100 die trockensten Verhältnisse im Rureinzugsgebiet prognostiziert, ergibt sich aus der Hochwassermerkmalsimulation der in Abbildung 7: dargestellte Abflusslängsschnitt. Gegenüber dem Referenzzustand ergeben sich teilweise erheblich geringere Hochwasserabflüsse, die Spielraum für eine optimierte Bewirtschaftung der Talsperren im Hinblick auf die Niedrigwasseraufhöhung eröffnen.

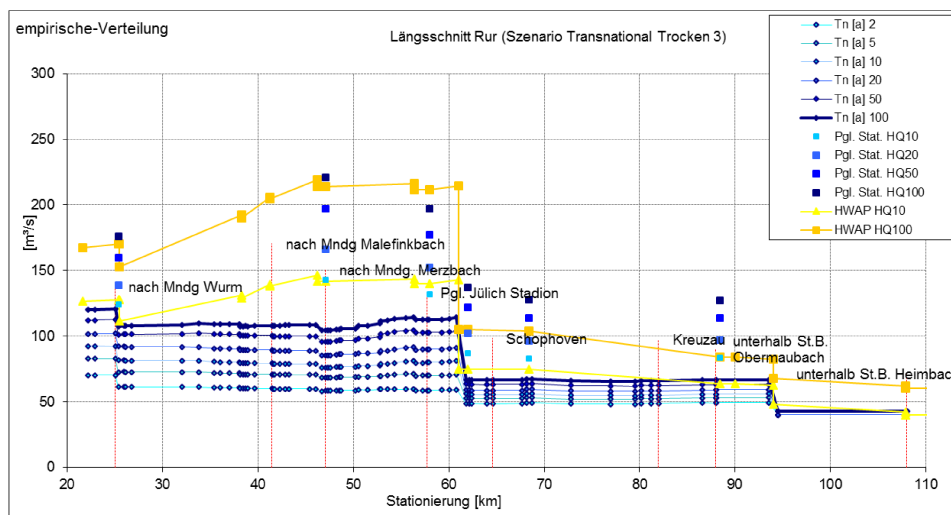


Abbildung 8: Hydrologischer Längsschnitt original Betriebsregeln; Szenario Tn_D3

Eine auf den Niedrigwasserfall abgestimmte Bewirtschaftung kann nun Einfluss auf das Hochwassergeschehen haben. Daher ist die Hochwassermerkmalsimulation zur Überprüfung dieser optimierten Bewirtschaftungsvariante angewendet

worden. Abbildung 8: zeigt den sich ergebenden Hochwasserabflusslängsschnitt bei optimierten Betriebsregeln unter den Verhältnissen des trockensten Klimaszenarios. Es wird deutlich, dass der Hochwasserabfluss zwar gegenüber der Berechnung mit heutigen Betriebsregeln und trockenstem Klimaszenario (Abbildung 7:) leicht erhöht wird, aber noch weit unter dem Hochwasserabfluss unter heutigen Bedingungen (Referenzzustand, Abbildung 7) liegt.

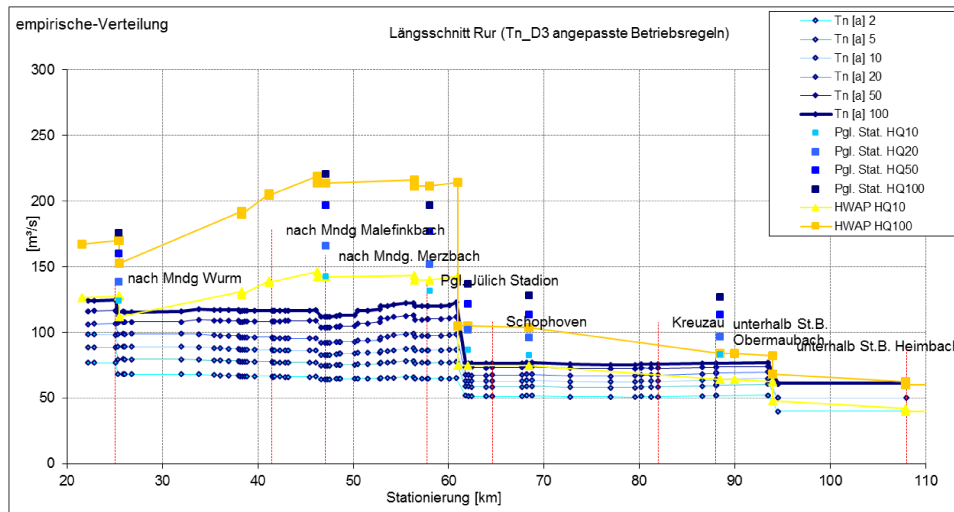


Abbildung 9: Hydrologischer Längsschnitt veränderte Betriebsregeln; Szenario Tn_D3

4 Schlussfolgerung

Mit der Erweiterung der Hochwassermerkmalsimulation auf ein gesamtes Flusseinzugsgebiet und durch die Kopplung mit NA-Modellierungen ist es möglich geworden, die Auswirkungen von Klimawandelszenarien auf die Hochwasserabflüsse in komplexen, talsperrenbeeinflussten Flusseinzugsgebieten zu ermitteln. Damit gelingt es, Anpassungen der Betriebsregeln der Talsperren auf den Klimawandel auch für den Hochwasserfall verlässlich nachzuweisen.

5 Literatur

- EPAMA (2009): Adaptation of the Meuse to the Impacts of Climate Evolutions Meuse Maas (AMICE), Frankreich, (<http://www.amice-project.eu/de/index.php>, letzter Abruf 28.01.2014)
- Lohr, H. (2003): Generierung extremer Abflüsse für die Stauanlagenbemessung. Wasser und Abfall, Heft 7-8, 2003
- Lohr, H. et.al. (2004): Ermittlung von Bemessungsabflüssen nach DIN 19700 in NRW, Merkblätter Band 46, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2004.

Autoren:

Dr. Hubert Lohr

SYDRO Consult GmbH
Mathildenplatz 8
64283 Darmstadt

Tel.: +49 6151 367 367
Fax: +49 6151 367 348
E-Mail: h.lohr@sydro.de

Dr. Gerd Demny

Wasserverband Eifel-Rur
Eisenbahnstraße 5
52353 Düren

Tel.: +49 2421 494-1141
Fax: +49 2421 494-991141
E-Mail: gerd.demny@wver.de