

# Hydraulische Studie zur Abfluss- und Strukturverbesserung am Rhein in NRW

Hermjan Barneveld, Bernd Mehlig

## Zusammenfassung

Das Projekt „Hydraulische Studie zur Abfluss- und Strukturverbesserung am Niederrhein“ (HyStAT) ist ein Beispiel, die Ziele der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) und der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) ganzheitlich zu betrachten. Ziel des Vorhabens ist die hydraulisch sinnvolle Vorabstimmung von Maßnahmenkombinationen zur Beseitigung von Engpässen und Integration von WRRL-Maßnahmen („Projektmaßnahmen“) unter Beachtung der Ziele des Hochwasserschutzes; hierzu sind instationäre, zweidimensionale hydraulische Strömungsberechnungen durchgeführt worden.

Der gewählte 2D-Modelldatensatz (WAQUA) beinhaltet die bisher geplanten Retentions- und Deichrückverlegungsmaßnahmen (bis 2020) zur Senkung der Hochwasserscheitel am Niederrhein im Abschnitt zwischen Andernach und Lobith. Basierend auf der „Erarbeitung der Maßnahmenplanung für die Bundeswasserstraßen in NRW“ erfolgte zunächst die Auswahl abflussrelevanter und ökologisch sinnvoller Maßnahmen, die anschließend in den Modelldatensatz implementiert worden sind. Die durchgeführten 2D-Simulationen erlauben die Darstellung und Analyse der Wirkung der Projektmaßnahmen auf Hochwasserabflüsse und –wasserstände, ggf. ihrer Wechselwirkungen sowie eine Definition von Optimierungskriterien. Die Ergebnisse der Kombination der Anforderungen aus Hochwasserschutz, WRRL und Schifffahrt zeigen das Potential zur Reduzierung der Hochwasserstände im Rhein und Verbesserung der Gewässerstruktur, ohne die Bemessungsabflüsse in Deutschland und den Niederlanden wesentlich zu beeinflussen.

Das Projekt wird von einer interdisziplinären, grenzüberschreitenden Arbeitsgruppe unter Beteiligung der niederländischen Akteure begleitet.

## 1 Einleitung

Die europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) und die Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) sind wesentliche Stützen einer integrierten Gewässerbewirtschaftung. Ihre aufeinander abgestimmte Umsetzung bedeutet eine große Chance für die Verbesserung der hydraulischen und ökologischen Verhältnisse an Gewässern. Trotz der teilweise unterschiedlichen Zielsetzungen der beiden Richtlinien gibt es auch Synergien. Die Herausforderung besteht darin, die

einzelnen Ziele der unterschiedlichen Akteure zu definieren, dabei aber das Ganze im Blick zu behalten und die Arbeiten daran auszurichten.

In Nordrhein-Westfalen ist das Projekt „Hydraulische Studie zur Abfluss- und Strukturverbesserung am Niederrhein“ (HyStAT) ein Beispiel, die beiden europäischen Richtlinien ganzheitlich zu betrachten. Ziel des Vorhabens ist die hydraulisch sinnvolle Vorabstimmung von Maßnahmenkombinationen zur Beseitigung hydraulischer Engpässe für die Schifffahrt und Hochwasserengpässe sowie WRRL-Maßnahmen. Die Vermeidung von Beeinträchtigungen der jeweiligen Verantwortungsbereiche gilt als Rahmenbedingung, so dass die Grundlage für eine gewinnbringende Planung geschaffen wird, in der die Belange des Hochwasserschutzes mit den Anliegen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und der Schifffahrt gleichermaßen Berücksichtigung finden („Win-Win-Win-Situation“).

## **2 Kriterien bei der Auswahl der Projektmaßnahmen**

Um die Ziele der Studie zu erreichen sind im ersten Schritt die Maßnahmen zur Beseitigung hydraulischer Engpässe aus der Sicht des Hochwasserschutzes und der Schifffahrt sowie der WRRL-Maßnahmen in einem Maßnahmenpaket zusammengefasst worden. Zunächst stand die hydraulische Betrachtung hinsichtlich der Aussagen zu Auswirkungen und Wechselwirkungen von Projektmaßnahmen (Flutrinnen und Vorlandabträgen) und Gehölzstrukturen sowie die Evaluierung der Abbildung des hydraulischen Systems im numerischen Modell im Vordergrund, weitere relevante Interessen (z.B. Vogelschutzgebiete, Landwirtschaft, Natur, Schifffahrt, Kosten) sind daher zunächst nicht mit eingeflossen. Danach wurden die sich durch das Gesamtmaßnahmenpaket ergebenden Veränderungen bestimmt, um die großräumigen Auswirkungen für Hochwasserschutz (Wasserstandsreduzierungen entlang des gesamten Niederrheins), Ökologie (durch zusammenhängende Maßnahmen) und Schifffahrt (v.a. Fließgeschwindigkeiten) zu analysieren.

Die detaillierte Betrachtung von Einzelmaßnahmen und die Integration der Belange aller beteiligten Akteure sollen in den weiteren Prozessen Berücksichtigung finden. Im Rahmen der regelmäßig stattfindenden Gespräche der interdisziplinären grenzüberschreitenden Arbeitsgruppe sind auch ergänzende Aspekte wie Naturschutz, landwirtschaftliche Belange, ökonomische Restriktionen, integrale Schadenspotenzialanalyse, Schifffahrt, Gewässerunterhaltung, Umgang mit verunreinigtem Boden, aber auch die Auswirkungen für den Unterlieger, die Niederlande, angesprochen worden.

Darüber hinaus sind hinsichtlich der WRRL-Maßnahmen weiterhin folgende Aspekte berücksichtigt worden:

- Flutrinnen müssen den geforderten Mindestabstand zum Deich einhalten, für die Berechnung wurde daher ein Abstand von 50 m zu Grunde gelegt.

- Die Bergsenkungsgebiete am Niederrhein stellen eine besondere Problematik dar, die berücksichtigt werden muss. In diesem Vorhaben wurden daher im Bereich zwischen Emschermündung und Rheinberg keine Projektmaßnahmen verortet.

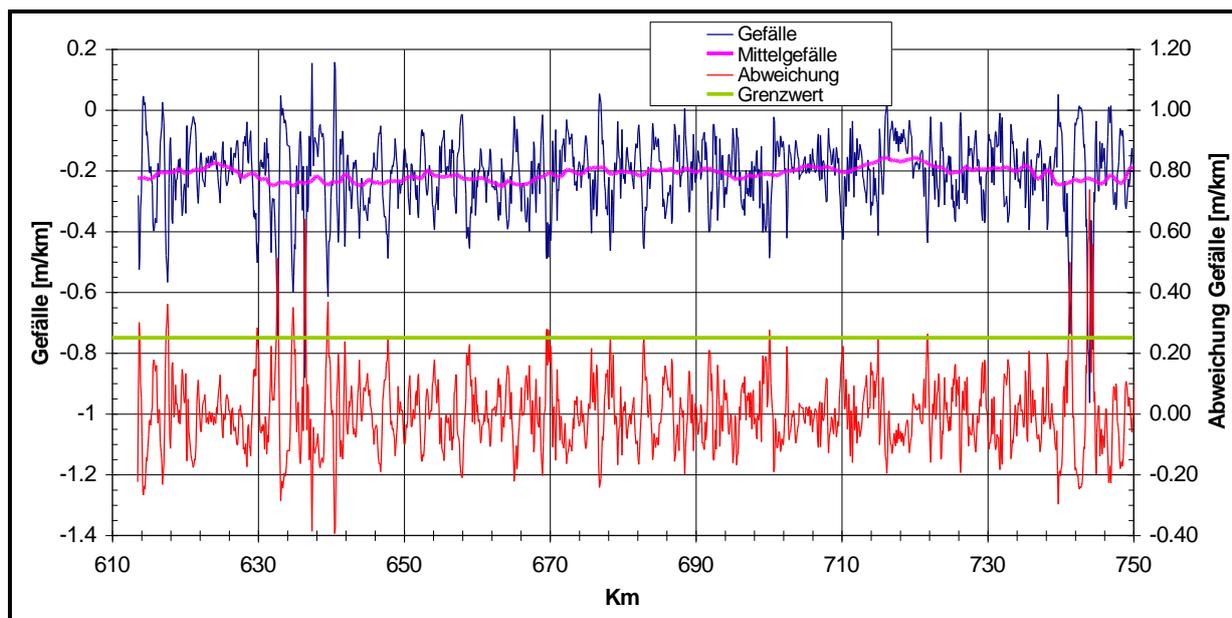
### **3 Projektmaßnahmen**

#### **3.1 Hochwasserschutz / Engpassanalyse**

Örtlichkeiten im Fluss, an welchen im Hochwasserfall die Abflusskapazität lokal beschränkt ist, werden als Hochwasserengpässe bezeichnet. Durch die einschnürende Wirkung dieser „Flaschenhälse“ wird ein Aufstau nach oberhalb verursacht. Mit dem 2D-Modell WAQUA wurde zur Identifikation dieser Engpässe eine Flaschenhalsanalyse für zwei Abflusszustände (HQ5 und HQ200) durchgeführt, welche frühere Ergebnisse des Waterdienst, Rijkswaterstaat (RIZA 2003) einbezog. Ergänzend wurden die im Rahmen der Projektbegleitung seitens der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung aufgezeigten hydraulischen Engpässe der Schifffahrt integriert.

Die Engpässe sind auf Basis des Unterschieds zwischen dem lokalen und durchschnittlichen Wasserspiegelgefälle (über 10 km) definiert worden. Der Grenzwert des Gefälleunterschiedes ist dabei auf Grund einer Sensitivitätsanalyse und der früheren Flaschenhalsanalysen auf 0,25 m/km gelegt worden.

In der Engpassanalyse wurden 30-35 Engpässe identifiziert, welche durch Maßnahmen beseitigt werden sollen. Ein Ausschnitt (Rhein-km 610 - 750) der Ergebnisse ist in Abbildung 1 dargestellt. Viele der identifizierten Engpässe werden durch die im Folgenden angesprochenen WRRL-Maßnahmen bereits entschärft, zur Entlastung der übrigen Engpässe sind einige WRRL-Maßnahmen verlängert oder neue Maßnahmen hinzugefügt worden.



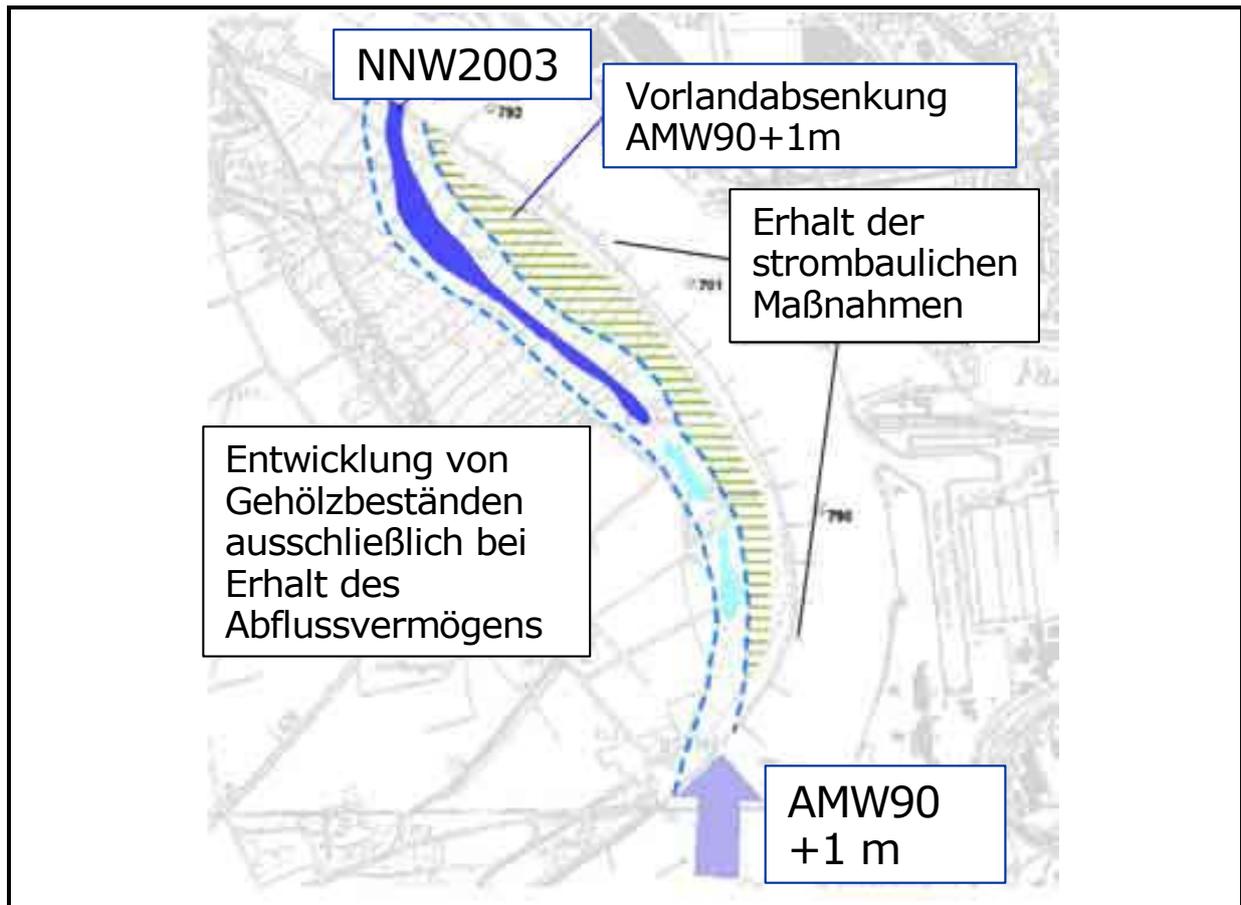
**Abb. 1: Gefälleanalyse des Wasserspiegels [m/km] für das Abflussszenario HQ200 im Längsprofil (Ausschnitt Rhein-km 610 - 750)**

### 3.2 WRRL-Maßnahmen

Im Rahmen der „Erarbeitung der Maßnahmenplanung für die Bundeswasserstraßen in NRW“ (LANUV 2009) sind zur Erreichung der Umweltziele der EG-WRRL Entwürfe zu Maßnahmenprogrammen erstellt worden, um die im Rahmen des Monitorings bzw. bei der Bestandsaufnahme identifizierten Defizite zu beheben. Maßnahmentypen sind Flutrinnen, Vorlandabsenkungen und Gehölzstrukturen.

Bei den Bundeswasserstraßen kommt der Aufrechterhaltung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs eine zentrale Bedeutung zu.

Auf Grund dieser Maßnahmenplanung ist für HyStAT ein Paket von WRRL-Maßnahmen in zwei Arbeitsschritten entworfen worden. Zunächst sind aneinander angrenzende und überlappende Maßnahmen selektiert worden, um einen ökologischen Zusammenhang und eine hydraulische Wirksamkeit zu erzielen. In einem zweiten Schritt sind die Höhen der Maßnahmen anhand des niedrigsten Niedrigwassers 2003 (NNW2003) und einem Ausbaumittelwasserstand +1 m (AMW90+1 m), der 1990 festgelegt wurde, definiert worden (Abbildung 2). Die Flutrinnen werden bei geringeren Abflussverhältnissen vom Unterwasser her eingestaut (Sohlhöhe auf NNW2003). Oberwasserseitig ist eine feste Schwelle auf Höhe des AMW90 +1 m vorgesehen, um zu häufiges Mitströmen der Flutrinne und eine Beeinflussung der Schifffahrt zu vermeiden. Die Sohle des Vorlandabtrags liegt ebenfalls auf AMW90 +1 m und verläuft in Querrichtung zur Gewässerachse horizontal. Durch die gewählten Höhen der Flutrinnen und Vorlandabträge sollen diese mindestens 60-80 Tage im Jahr mitströmen.



**Abb. 2: Schematische Darstellung einer Maßnahme mit Flutrinne und Vorlandabtrag**

### **3.3 Gesamtmaßnahmenpaket**

Aus der Gesamtanalyse der Maßnahmen aus dem Bereich des Hochwasserschutzes, der WRRL-Maßnahmen und der Engpässe aus Sicht der Schifffahrt ergibt sich insgesamt ein Paket bestehend aus 40 Maßnahmen. Diese würden in Summe zu einer erheblich Veränderung der Nutzung zwischen den Deichen führen, sie umfassen etwa 3000 Hektar, wobei die Gesamtfläche aller Rinnen etwa 1000 Hektar beträgt, während die Vorlandabträge ca. 2000 Hektar einnehmen.

In einem zweiten Schritt ist zur Optimierung des Maßnahmenpakets eine Analyse durchgeführt worden, an welchen Stellen Gehölzstrukturen sinnvoll (ökologisch) und möglich (kleine Fließgeschwindigkeiten) erscheinen. Zur Auswahl standen Baumreihen entlang der Rinnenstrukturen (einseitig und beidseitig) sowie Gehölzstrukturen in Vorlandflächen mit geringen Fließgeschwindigkeiten. Berechnet wurde die „Maximalvariante“ mit beidseitigen Gehölzstreifen von 15 m Breite entlang der Flutrinnen sowie einer größtmöglichen Anzahl von zusammenhängenden Bewuchsflächen größer 1 ha. Zielsetzung ist die Abschätzung eines maximalen Aufstaueffektes.

## **4 Modellaufbau**

### **4.1 Software und Ausgangsdatensatz für das hydraulische Modell**

Zur Durchführung der Simulationen wurden für die Ausgangssituation und die Projektmaßnahmenzustände WAQUA-Modelle aufgebaut. In (HKV 2008) sind die Erstellung der geplanten Retentions- und Deichrückverlegungsmaßnahmen in NRW und den Niederlanden in der GIS-Datenbank BASELINE und die Berechnung der Auswirkungen dieser Maßnahmen beschrieben.

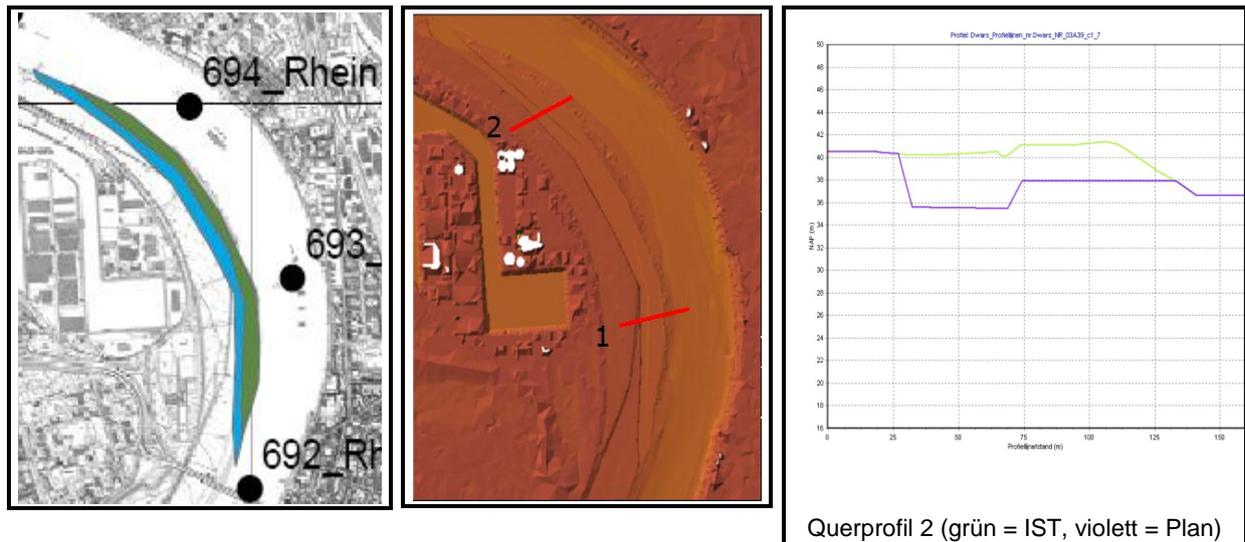
Als Basis wurde das Innen-Modell, welches die Situation zwischen den Banndeichen und bis zu 5 km dahinter darstellt, verwendet. Falls die Wasserstände infolge höherer Abflüsse die Höhe der Banndeiche überschreiten, kann somit der hydraulische Effekt auf den Flussschlauch abgebildet werden.

### **4.2 Referenzzustand**

Als Ausgangssituation für HyStAT wird der Zustand im Jahr 2020 (nachfolgend Referenzzustand 2020 genannt), nach Deichsanierung und Implementierung schon geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen, wie Deichrückverlegungen, gesteuerte und ungesteuerte Retentionsmaßnahmen und der Flutmulde Rees herangezogen. Detaillierte Beschreibungen der berücksichtigten Maßnahmen sind in (HKV 2011) und (HKV 2008) nachzulesen.

### **4.3 Implementierung in BASELINE**

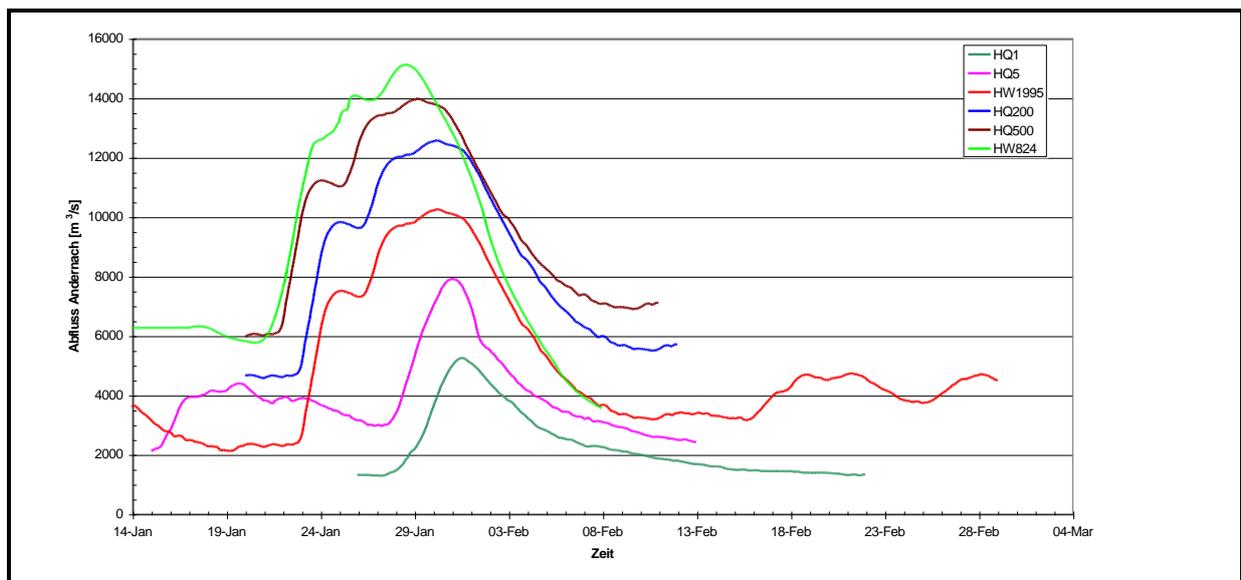
Die in Abschnitt 3 identifizierten Projektmaßnahmen wurden individuell in BASELINE implementiert und anschließend in das WAQUA-Modell integriert (Abbildung 3). Dadurch werden die Entwürfe reproduzierbar festgelegt und eine Kombination mit anderen Maßnahmen ist problemlos durchführbar (Mix-Maßnahme in BASELINE).



**Abb. 3: Beispiel der Geometrieanpassung und Geometriekontrolle (Querprofile) für eine mögliche Projektmaßnahme**

#### 4.4 Hydraulische Randbedingungen und Rauheitsansätze

Die Berechnungen sind mit sechs verschiedenen Hochwasserwellen (HQ1, HQ5, HW1995, HQ200, HQ500 und HW824) mit Scheitelabflüssen am Pegel Andernach zwischen 5.260 und 15.120 m<sup>3</sup>/s durchgeführt worden (obere Randbedingung, siehe Abbildung 4). Das HW824 entspricht im grenznahen Bereich etwa dem HQ1250, welches als Bemessungsabfluss in den Niederlanden herangezogen wird. Für Nebengewässer, Zwischeneinzugsgebiete und Grundwasseraustausch sind laterale Zuflüsse zugefügt worden.



**Abb. 4: Abflussganglinien am Pegel Andernach für die sechs berechneten Hochwasserereignisse**

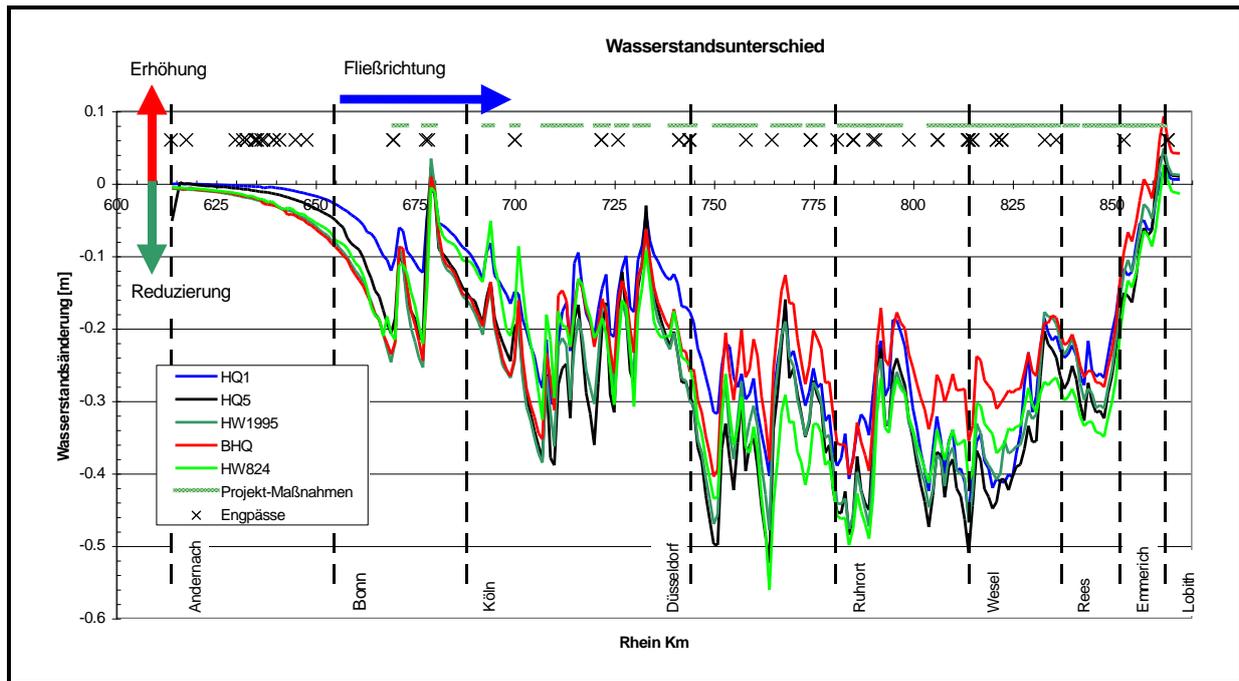
Die untere Randbedingung des Basis WAQUA-Modells liegt am Pannerdensche Kop in den Niederlanden bei Kilometer 876.2. Die in den Niederlanden durchgeführten Maßnahmen (Raum für den Fluss) sind durch entsprechende WQ-Beziehungen berücksichtigt worden.

Die Rauheitsansätze sind im Wesentlichen aus dem bestehenden WAQUA-Modell übernommen worden. Für die neu implementierten Projektmaßnahmen wurde zur Gewährleistung der Abflussfähigkeit des Vorlandabtrages eine kurze Vegetation (Grünland mit einem Nikuradse k-Wert von 0,25 m) angenommen. In potenziellen Bereichen mit Gehölzstrukturen wurden als Bewuchs Weichholzsträucher mit einer maximalen Rauheit (k-Nikuradse-Wert von 10 m, bei 2 m Einstautiefe) zugrundegelegt (VELZEN VAN, E.H. et al. 2003).

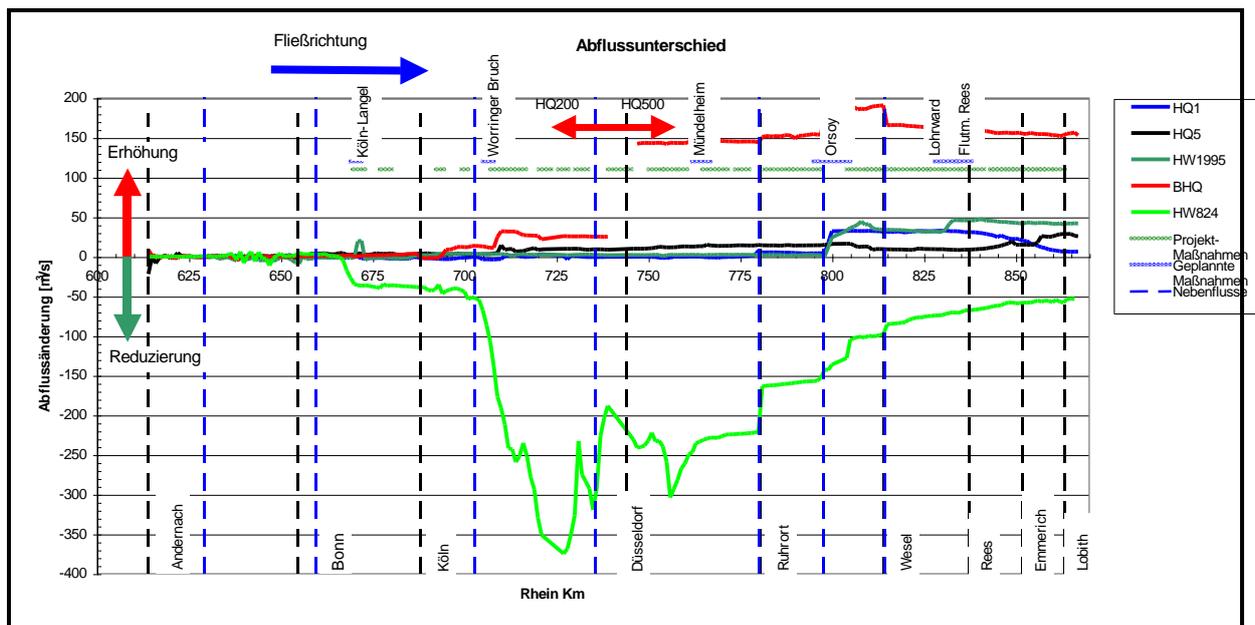
## **5 Ergebnisse**

Für das Maßnahmenpaket sind mit dem WAQUA-Modell für verschiedene Hochwasserereignisse (HQ1, HQ5, HW1995, BHQ und eine Extremabflusswelle) die hydraulischen Auswirkungen (Wasserstände, Abflussverhältnisse und Fließgeschwindigkeiten) für den Referenzzustand und den Zustand mit dem Maßnahmenpaket bestimmt worden. Die Analyse der Gesamtwirkung zeigt, wie sich Maßnahmen entlang der Niederrheinstrecke auswirken bzw. gegenseitig beeinflussen. Abbildung 5 zeigt, wie sich das Paket von 40 Maßnahmen absenkend auf die Hochwasserstände auswirkt. In Abbildung 6 sind die zugehörigen Änderungen der Scheitelabflüsse dargestellt. Die Abbildungen zeigen, dass die maximale Wasserstandsreduzierung ca. 55 cm beträgt. Die Bandbreite der Wasserstandssenkung für verschiedene HQ's liegt bei ca 10 cm. Im Niedrigwasserbereich werden die Wasserstände durch die Maßnahmen nicht beeinflusst.

In Bezug auf die Abflussscheitelwerte ist das Bild weniger konsistent. Für die Hochwasserereignisse HQ1-HQ200 werden die Banndeiche nicht überströmt und daher sind die Auswirkungen auf die Scheitelabflüsse gering. Für höhere Hochwasser (> HQ200) werden die Banndeiche insbesondere zwischen Köln und Düsseldorf (Überschreitung des Bemessungshochwassers) überströmt. Die Scheitelabflüsse stromabwärts können dadurch höher, aber auch niedriger ausfallen. Für eine Abflusswelle größer als BHQ ergibt sich aber, dass sich nach Unterstrom in den angrenzenden Niederlanden (Pegel Lobith) der dortige Bemessungsabfluss nicht erhöht.



**Abb. 5: Auswirkung des Maßnahmenpakets auf die maximalen Wasserstände für alle HQs im Längsprofil ( $\Delta w$  [m] Maßnahmenzustand zur Referenz)**



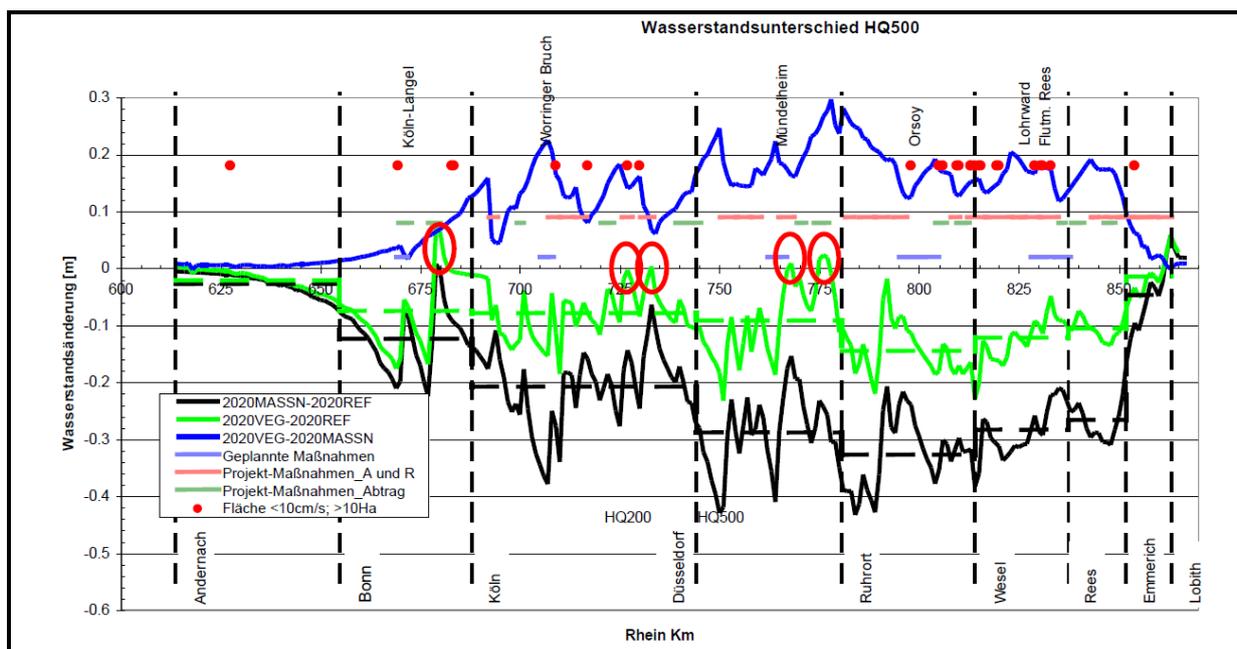
**Abb. 6: Auswirkung des Maßnahmenpakets auf die Scheitelabflüsse für alle HQ's im Längsprofil ( $\Delta Q$  [m³/s] Maßnahmenzustand zur Referenz)**

Während sich die Flutrinnen und Vorlandabträge grundsätzlich wasserstandsmindernd auswirken, entsteht durch Gehölzstrukturen eine rückstauende Wirkung. Eine hydraulisch sinnvolle Kombination erlaubt summarisch eine Reduzierung der Scheitelwasserstände. Insbesondere die Beseitigung der Hochwasserengpässe, sei es als Einzelmaßnahme oder im Zuge einer WRRL-

Maßnahme, wirkt sich wasserstandsmindernd aus. In einem ersten Schritt sind dem Maßnahmenpaket folgende Gehölzstrukturen hinzugefügt worden:

- Baumreihe (jeweils 15 m Breite) beidseitig entlang der Rinnenstruktur, und
- zusammenhängende Vegetation > 1 ha in Vorlandflächen mit geringen Fließgeschwindigkeiten, aber nicht in bebauten Gebieten, bewaldeten Gebieten, Wasserflächen, neuen Rinnen und abgetragenen Vorländern. Das Geschwindigkeitskriterium ist eine Maximalgeschwindigkeit von  $\leq 10$  cm/s.

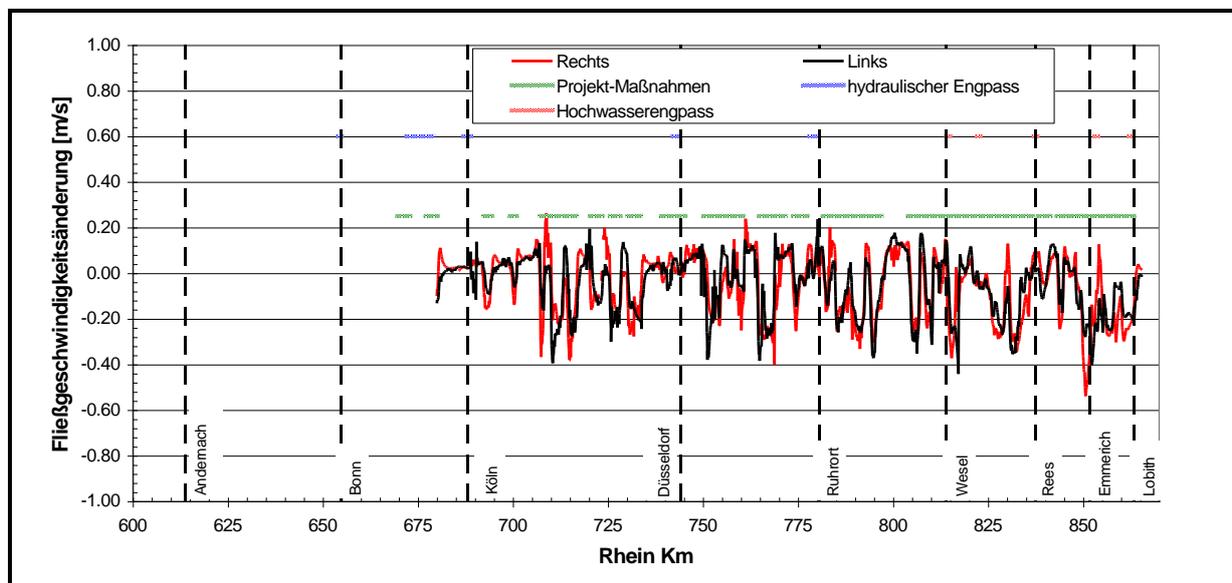
Die Berechnungen mit Maßnahmen und Gehölzstrukturen wurden für die BHQs in beiden Regierungsbezirken (HQ200 und HQ500) durchgeführt und ergaben wegen der aufstauenden Wirkung eine geringere Wasserstandssenkung im Vergleich zum Zustand mit den Projektmaßnahmen um durchschnittlich 10 bzw. 20 cm (HQ200 und HQ500). Abbildung 7 zeigt die Minderung der Wasserstandssenkung für HQ500. Lokal treten sogar Wasserstandserhöhungen im Vergleich zum Referenzzustand 2020 auf (rote Ovale). Eine weitere Optimierung ist daher erforderlich. Dabei kommen u.a. weitere räumliche Differenzierungen oder die Reduktion von Gehölzstrukturen in Frage. Auch die Wahl lediglich einseitiger Baumreihen oder der lokale Verzicht auf Baumreihen, die hydraulisch ungünstiger sind als Flächen mit langsamer Fließgeschwindigkeit, sind zu untersuchen.



**Abb. 7: Auswirkung der Gehölzstrukturen auf die Wasserstandsänderung für das HQ500 im Längsprofil ( $\Delta w$  [m] Maßnahmenzustand zur Referenz für: a.) Summe der Maßnahmen (grün), b.) nur Abträge und Rinnen (Schwarz) und c.) nur zusätzl. Vegetation (Blau))**

Die Maßnahmen beeinflussen auch die Verteilung des Abflusses auf Hauptfluss und Vorland, wodurch auch die Schifffahrtbedingungen beeinflusst werden können. Um mögliche Folgen für die Schifffahrt abschätzen zu können, sind die Fließgeschwindigkeiten am Fahrrinnenrand analysiert worden.

Abbildung 8 zeigt die Fließgeschwindigkeitsunterschiede zwischen dem Zustand mit Projektmaßnahmen und dem Referenzzustand 2020. Die ersten Analysen zeigen, dass die Änderungen wahrscheinlich akzeptabel sind, obwohl einige Bereiche weiter optimiert werden sollen und pro Engstelle noch ergänzende Analysen (weitere Abflüsse) durchgeführt werden müssen.



**Abb. 8: Auswirkung der Projektmaßnahmen auf die Fließgeschwindigkeiten am Fahrrinnenrand ( $\Delta v$  [m/s] Links und Rechts) für HQ1**

Da sich durch die Projektmaßnahmen auch eine unmittelbare Auswirkung auf lokale Wasserstands-Abfluss-Beziehungen ergeben kann, ist in Einzelfällen zu prüfen, ob abflussabhängige Bauwerke oder Steuerungen betroffen sein können. Somit sind auch Wechselwirkungen zwischen den geplanten Retentionsmaßnahmen und den Projektmaßnahmen gegeben.

Grundsätzlich wurden die Auswirkungen auf Scheitelabflüsse (Hochwasserschutz Unterlieger) und Fließgeschwindigkeiten (Schifffahrt) für alle Ereignisse ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass geeignete Maßnahmenkombinationen Potenzial für „Win-Win-Win-Situationen“ haben.

## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die hydraulische Modellierung ergab, dass mit dem Gesamtmaßnahmenpaket die Wasserstände über die gesamte betrachtete Strecke des Niederrheins reduziert werden könnten. Eine Optimierung hinsichtlich der Verortung und des Umfangs der Gebiete mit Gehölzstrukturen (z.B. räumlich differenzieren und lokal reduzieren) erlaubt weitere scheinvermindernde Wirkung.

Es ist unwahrscheinlich, dass alle Projektmaßnahmen in einem Zuge und in kurzer Zeit zur Umsetzung gelangen. Da im Rahmen dieses Projektes jedoch nicht von vorneherein zu viele Maßnahmen wegen unterschiedlicher Interessen verworfen werden sollten und sich aneinandergrenzende einzelne Maßnahmen beeinflussen können, ist hier mit dem Gesamtmaßnahmenpaket gerechnet worden.

Die Ergebnisse des HyStAT-Projekts hat die Bezirksregierung Düsseldorf bei der Erstellung des Umsetzungsfahrplans (UFP) Rheinhauptlauf verwendet, wobei die spezifischen Nutzungsrestriktionen (z.B. Schifffahrt, geschlossene Siedlungsflächen, Verkehrswege) sowie die konkurrierenden Zielvorgaben z.B. des Arten- und Biotopschutzes einbezogen wurden (siehe KOENZEN, 2012).

Die Maßnahmenumsetzung am Rhein soll im weiteren Verlauf im Rahmen von Pilotvorhaben erprobt und optimiert werden. Dabei sind am Rhein in besonderem Maße die Synergien von Hochwasserschutz und WRRL für die Art und Umsetzung der Maßnahmen von Bedeutung. Aktuell werden die Maßnahmen für fünf Pilotprojekte detailliert ausgearbeitet. Für eine hydraulische Betrachtung hinsichtlich der jeweiligen Hochwasserauswirkungen bietet das vorhandene Instrumentarium ausreichende und verfügbare Grundlagen.

## Literatur

- HKV (2008): Grenzüberschreitende Abstimmung wasserstandssenkender Maßnahmen 2-D-Berechnungen mit WAQUA. HKV-Bericht PR1350 (im Auftrag der Rijkswaterstaat, Waterdienst) (unveröffentlicht).
- HKV Hydrokontor (2011): Hydraulische Studie zur Abfluss- und Strukturverbesserung am Niederrhein – HyStAT; Abschlussbericht (im Auftrag des LANUV NRW) (unveröffentlicht).
- LANUV (2009): Erarbeitung der Maßnahmenplanung für die Bundeswasserstraßen in NRW - Erarbeitung der Maßnahmenplanung für die Bundeswasserstraße Rhein in NRW
- RIZA (2003): Studie afvoercapaciteit Niederrhein, Verkennende berekeningen met het BOS Inrichting Rivieren. RIZA - werkdocument 2003.027X, (Studie zur Abflussfähigkeit des Niederrheins, erste Berechnungen mit dem BOS (DSS) Einrichtung Flüsse. Rijkswaterstaat RIZA, Dokument 2003.027X).
- VELZEN VAN, E.H. et al. (2003): Stromingsweerstand vegetatie in uiterwaarden. Deel I Handboek versie 1-2003 (Strömungswiderstand Vegetation in Vorländern, Teil I Handbuch Version 1-2003)
- WSA Duisburg-Rhein. (2003): Engpassanalyse aus hydraulischer und morphologischer Sicht, Präsentation Workshop Grenzüberschreitende Auswirkungen extremer Hochwasser am Niederrhein am 30.6.-1.7.2003 in Arnheim.
- KOENZEN (2012): Erstellung eines Umsetzungsfahrplans zur Herleitung hydromorphologischer Maßnahmen für die Planungseinheit PE\_RHE\_1500 (Rheinhauptlauf) im Teileinzugsgebiet Rhein/Rheingraben Nord

**Dipl.-Ing Hermjan Barneveld**  
**HKV Hydrokontor GmbH**  
**Kurbrunnenstr. 24**  
**52066 Aachen**  
**barneveld@hkv-hydrokontor.de**

**Dipl.-Ing. Bauassessor Bernd Mehlig**  
**Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW,**  
**Leibnizstraße 10,**  
**45659 Recklinghausen,**  
**bernd.mehlig@lanuv.nrw.de**