Auftraggeber: Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser

Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein

Teilbericht **Wirkung der wasserstand-vermindernden Maßnahmen**

Dezember 2004

Impressum

Der vorliegende Bericht wurde vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA) im Auftrag der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgruppe Hochwasser erstellt und vom Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des landes Nordrhein-Westfalen, vom Ministerie van Verkeer en Waterstaat in den Niederlanden, von der Provincie Gelderland in den Niederlanden und der Europäischen Union (Interreg IIIB NWE) finanziell unterstützt.

Herausgeber:

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

Provincie Gelderland
Postbus 9090
6800 GX Arnhem

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Rijkswaterstaat Directie Oost-Nederland
Postbus 9070
6800 ED Arnhem

Autoren:

Dipl.-Ing. Bauassessor B. Mehlig (LUA)
Dipl.-Ing. M. Brinkmann (LUA)

Mitglieder der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgruppe Hochwasser:

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Ministerium für Verkehr, Energie und Landesplanung Nordrhein-Westfalen
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Bezirksregierung Düsseldorf
Staatliche Umweltämter Köln und Krefeld
Arbeitskreis der Deichpflichtigen im Regierungsbezirk Düsseldorf
Kreis Kleve (auch für den Kreis Wesel)
Provincie Gelderland
Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Waterschap Rivierenland
Vereniging Nederlandse Riviergemeenten

ISBN:

903695665

Informationsdienste:

http://www.munlv.nrw.de
http://www.gelderland.nl
http://www.minvenw.nl

Druck:

MacDonald|SSN, Nijmegen

Distribution:

Exemplare sind erhältlich von den oben genannten Herausgebern.
Von diesem Bericht gibt es auch eine Niederländische Ausgabe mit dem Titel: Grensoverschrijdende effecten van extreem hoogwater op de Niederrhein, deelrapport Wirkung der wasserstandvermindernden Maßnahmen (ISBN 9036956706)

Inhaltsverzeichnis

0 Einführung 5

1 Berechnungsgrundlagen und -szenarien 7

1.1 Berechnungsgrundlagen 7
1.2 Berechnungsszenarien 8
1.3 Berücksichtigte Maßnahmen 10

2 Qualitative Beschreibung der Ergebnisse 13

2.1 Auswirkungen des Deichüberströmens am Niederrhein 13
2.2 Wirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen 14
2.3 Zusammenwirken von Deichüberströmens und Wasserrückhalt am Beispiel des Rückhalteraums Worringer Bruch 15

3 Numerische Darstellung (Abflussscheitel) 17

3.1 Auswirkungen des Deichüberströmens 17
3.2 Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf den Scheitelabfluss 20
3.2.1 Hochwasser vom Januar 1995 (MET95) 21
3.2.2 Hochwasser etwa im Bereich von HQ100 (HW457) 22
3.2.3 Hochwasser etwa im Bereich von HQ200 (HW846) 23
3.2.4 Hochwasser etwa im Bereich von HQ500 (HW036) 24
3.2.5 Hochwasser mit dem höchsten Abfluss der betrachteten Szenarien (HW824) 25

4 Numerische Darstellung (Wasserstand) 27

4.1 Szenario 2020_NRW_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume) 28
4.2 Szenario 2020_NRW_NL_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume UND NL-Raum für den Fluss) 29
4.3 Szenario 2020_NRWMAX_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung) 30
4.4 Szenario 2020_NRWMAX_NL_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung UND NL-Raum für den Fluss) 31

5 Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die Ganglinienform 33

6 Bereich mit der größten wasserstandsreduzierenden Wirkung 35

7 Bezug zum IKSR-Aktionsplan Hochwasser 37

7.1 Auswirkung der Deichertüchtigung 37
7.2 Überlagerung der Auswirkungen des Deichüberströmens und der Maßnahmen 37

8 Zusammenfassung 39

9 Literaturverzeichnis 41

9.1 Berichte innerhalb des Projektes “Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremen Hochwasser am Niederrhein“ 41
9.2 Sonstige Literatur 42

Anlage A: Kurzbeschreibung der Maßnahmen und deren Umsetzung im Modell A1

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Genutzte Abflussganglinien (Pegel Andernach) für die hydraulischen Berechnungen zur Beschreibung der Wirkung der wasserstandsvermindernden Maßnahmen 7
Abbildung 1-2: Lage der vorgesehenen wasserstandsvermindernden Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen 10
Abbildung 3-1: Auswirken des Deichüberströmens bei der hydraulischen Berechnung 17
Abbildung 3-2: Vergleich der Abflussscheitelwerte für HW824 ohne Maßnahmen für die Sichtjahre 1995 und 2020, differenziert nach Q-Gesamt (Qg) und Q-Flussschlauch (Qf) 19
Abbildung 3-3: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie MET_1995 für 5 Szenarien 21
Abbildung 3-4: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW457 (im Bereich von HQ_{100}) für 5 Szenarien 22
Abbildung 3-5: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW846 (im Bereich von HQ_{200}) für 5 Szenarien 23
Abbildung 3-6: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW036 (im Bereich von HQ_{500}) für 5 Szenarien 24
Abbildung 3-7: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW824 (im Bereich größer HQ_{500}) für 5 Szenarien 25
Abbildung 4-1: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRW_M zu 2020_M 28
Abbildung 4-2: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRW_NL_M zu 2020_M 29
Abbildung 4-3: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRWMAX_M zu 2020_M 30
Abbildung 4-4: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRWMAX_NL_M zu 2020_M 31
Abbildung 5-1: Vergleich von drei Ganglinien für drei Szenarien bei km 817 33
Abbildung 5-2: Vergleich von drei Ganglinien für drei Szenarien bei km 860 34
Abbildung 6-1: Detailbetrachtung der absoluten Wasserstände und der Differenzen für km 800-865 35
Abbildung 6-2: Vergleich der Abfluss-Ganglinien von 3 Hochwassern bei km 828 35
Abbildung 7-1: Vergleich: Situation „2020-ohne Maßnahmen“ (2020_M) zu „1995 ohne Maßnahmen“ (1995_M) 38
Abbildung 7-2: Vergleich: Situation „2020-NRWMAX_NL_M“ zu „1995_ M“ 38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Übersicht über die gerechneten Szenarien und die jeweils berücksichtigen Maßnahmen....9
Tabelle 1-2: Gerechnete Varianten der wasserstandsvermindernden Maßnahmen in NRW....11
Tabelle 3-1: genutzte Szenarien-Ganglinienkombinationen zur Darstellung der geplanten Maßnahmen auf den Scheitelabfluss entlang des Niederrheins 20
Tabelle 4-1: Szenarien zur Beschreibung Auswirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen 27
Tabelle 5-1: Genutzte Szenarien Kombinationen für die Analyse der Auswirkungen auf die Ganglinienform 33

Vorbemerkung

Alle Ergebnisse dieser Studie gelten nur für die Situationen am Niederrhein und den Rheinzweigen, wie sie in den Modellen berücksichtigt wurden. Dies gilt im Besonderen für Aussagen zur Wirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen. Die Parameter der Maßnahmen sind gemäß dem Kenntnisstand bzw. Planungszustand des Jahres 2002 berücksichtigt worden. Bis zur Realisierung der noch in der Planung oder Planfeststellung befindlichen Maßnahmen können sich Veränderungen in Details ergeben, die Einfluss auf die Wirkung dieser Maßnahmen haben werden. Hierzu sind gesonderte Modellbetrachtungen erforderlich. Diese werden im Rahmen von Planungen bzw. Genehmigugnsverfahren gesondert erstellt und sind unabhängig von den hier dargestellten Ergebnissen.

0 Einführung

Nach den großen Hochwasserereignissen der Jahre 1993 und 1995 haben die Provinz Gelderland, Rijkswaterstaat und das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen im November 1997 eine *Gemeinsame Erklärung für die Zusammenarbeit im nachhaltigen Hochwasserschutz* unterzeichnet. Zur Abstimmung von Untersuchungen und Entwicklungen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes ist eine Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe „Hochwasserschutz“ eingerichtet worden, die auch diese Studie durchgeführt hat.

In beiden Ländern werden Maßnahmen getroffen bzw. bereits umgesetzt, um die Abflüsse des Rheins nicht größer bzw. die Wasserstände nicht höher werden zu lassen. Was im Einzelnen geschieht, wenn der Abfluss des Rheins die Bemessungsabflüsse dennoch überschreitet, ist jedoch nicht bekannt.
Wesentliche Ziele der hier skizzierten Studie sind die Beantwortung der nachfolgenden Fragen. Hierbei soll nicht nur die heutige Situation sondern vorausschauend auch künftige Entwicklungen wie die erwarteten Klimaänderungen und die geplanten Retentionsmaßnahmen berücksichtigt werden.

- Wieviel Wasser kann unter extremen Umständen aus dem Stromgebiet des Rheins erwartet werden?
- Wieviel Wasser kann zwischen den Deichen über den Niederrhein und die holländischen Rheinzweige abtransportiert werden?
- Wo finden die Deichüberschwemmungen statt und was sind die Auswirkungen auf die Hochwasserwellen? Was geschieht wenn das Wasser nicht zwischen den Deichen abtransportiert werden kann? Welche hinter dem Deich gelegenen Gebiete werden überschwemmt? Sind grenzüberschreitende Überschwemmungen möglich?
- Was sind die Auswirkungen von Maßnahmen die das Hochwasser erniedrigen sollen?

Das eigentliche Studiengebiet umfasst den Rhein in Nordrhein-Westfalen und in der Provinz Gelderland mit Sommer- und Winterbett sowie die Gebiete, die bei einem Deichbruch in NRW und im deutsch-niederländischen Grenzbereich überschwemmt werden.

Zunächstwurde berechnet, welche extremen Abflüsse im Rheingebiet entstehen können. In einem zweiten Schritt wurden die Auswirkungen dieser Abflüsse am Niederrhein ermittelt. Dabei wurde auch untersucht, welchen Einfluss hochwasserreduzierende Maßnahmen auf den Abfluss im Rhein haben können. Hierzu zählen sowohl die im Rahmen des Aktionsplan Hochwasser bereits geplanten oder verwirklichten Rückhalteräume, aber auch ergänzende Maßnahmen.

Für die Projektkomponenten „Entwicklungszustand des Deichsystems“, „Hochwasserreduzierende Maßnahmen oberhalb von Andernach“ und „Hochwasserreduzierende Maßnahmen im Untersuchungsgebiet“ sind die Szenarien für die Jahre 2002 und 2020 betrachtet worden. Für mögliche Folgen einer Klimaveränderung wurde eine Abschätzung für 2050 durchgeführt. Wegen der wichtigen Einflüsse auf die Abflussmenge im Hauptstrom sind auch Varianten mit und ohne Deichüberströmen sowohl am Oberrhein als am Niederrhein berechnet worden.

Die nachfolgend genannten Punkte stellen die Hauptbearbeitungsschritte des Projektes dar:
- Bestimmung von extremen Abflüssen aus dem Rheinstromgebiet bei Andernach
- Durchführen von Überschwemmungsberechnungen am Niederrhein und in Gelderland
- Bestimmung der Auswirkungen von Deichüberflutungen und Hochwasser reduzierenden Maßnahmen auf den Wasserstand und den Abfluss
- Einschätzung der Auswirkung von Klimaänderung

In diesem Teilbericht werden die Ergebnisse der Auswirkungen der hochwasserreduzierenden Maßnahmen dargestellt.

In einem weiteren Teilbericht (Kroekenstoel et al. (2003)) sind zunächst die Sondierungsberechnungen, durchgeführt mit dem BOS-IR (DSS-Large Rivers) für den Untersuchungsbereich, beschrieben. Bei diesen Berechnungen wurden 2 permanente Abflüsse und eine künstliche Abflusswelle auf Basis vom Hochwasser von März 1988 benutzt.

Der Teilbericht von Van der Veen et al. (2004a) beschreibt die Eingabe für das hydraulische Modell BOS-IR (DSS-Large Rivers). Es handelt sich dabei um die hydraulischen Vorbedingungen und die seit 1995 durchgeführten Maßnahmen, als auch um die bis 2020 noch geplanten Maßnahmen am Niederrhein. Zugleich ist in diesem Dokument beschrieben, wie die hydraulischen Auswirkungen (d.h. vor allem die Verlust- und ggf. Zugewinn-Volumina) der Überschwemmungen in das eingesetzte SOBEK-Modell integriert wurden. Die Basis hierfür waren die Überschwemmungsberechnungen, die von der Provinz Gelderland mit dem 2D-Modell Delft-FLS (Gudden, 2004) durchgeführt wurden.

Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungen, die mit dem BOS-IR Niederrhein-Rheinzweige gemacht wurden, sind dem Bericht von Van der Veen et al. (2004b) zu entnehmen. Diese Berechnungen wurden durchgeführt in engster Zusammenarbeit zwischen LUA (Landesumweltamt) in Düsseldorf und RWS RIZA in Arnheim.

Weitere und zusammenfassende Informationen zum Gesamtvorhaben sind dem Endbericht (Lammersen, 2004) zu entnehmen.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt gegliedert:
Kapitel 1 beschreibt die Berechnungsgrundlagen und –szenarien. Im 2. Kapitel werden qualitativ die Ergebnisse dargestellt. Neben den Deichüberströmungen und der Wirkung der Maßnahmen selbst wird auch anhand eines Beispiels auf das Zusammenwirken von Deichüberströmen und Maßnahmenwirkung eingegangen. Abschnitt 3 zeigt numerisch die Ergebnisse der Auswirkungen auf die Abflussscheitel der verschiedenen Szenarien und gewählten Ganglinien. Neben dem Hochwasser von 1995 und dem Projekthochwasser mit dem höchsten Scheitel werden auch die Auswirkungen auf die Abflussscheitel von 3 Hochwassern beschrieben, die ungefähr den Größenrordnungen HQ_{100}, HQ_{200} und HQ_{500} zuzuordnen sind.
In Kapitel 4 werden die Auswirkungen auf den Wasserstand demonstriert. Den Darstellungen liegen jeweils Szenarien zugrunde, die unterschiedliche Zustände der Rückhaltmaßnahmen repräsentieren. Die Auswirkungen auf die Ganglinienform und eine Darstellung des Bereichs mit der größten wasserstandsreduzierenden Wirkung werden in Kapitel 5 und 6 diskutiert. Im darauf folgenden Abschnitt 7 wird versucht, einen Bezug zum IKSR-Aktionsplan Hochwasser herzustellen. Abschließend wird in Kapitel 8 dieser Bericht zusammengefasst.

1 Berechnungsgrundlagen und -szenarien

1.1 Berechnungsgrundlagen

Basis für die vorgestellten Berechnungen ist eine 1000-jährige Zeitreihe des Niederschlags im Rheineinzugsgebiet. Diese Zeitreihe wurde mit dem HBV-Modell der BfG in Abfluss transferiert. Auf dieser Grundlage der hydrologischen Modellierung wurden von der BfG die 16 Hochwasser mit dem höchsten Abfluss bei Andernach und bei Lobith ausgewählt. Die Projektleitung hat auf Basis verschiedener Kriterien eine Auswahl von 8 dieser Abflusswellen vorgenommen. Diese gewählten Abflusswellen sind für die weitere Betrachtung im hydraulischen Modell verwendet worden. Die hydrologische Modellierung ist beschrieben in Ebele et. A. (2004), das Wahlverfahren und die Modeleingabe für das BOS-IR in Van der Veen et al. (2004a). In Abbildung 1-1 wird eine Übersicht der unterschiedlichen Abflusswellen gezeigt.

Von der BfG wurden oben erwähnte Zeitsequenzen für 3 Szenarien zugeliefert: Zustand 2002 ohne Deichüberschwemmung am Oberrhein (Ist2002_OhneDueb), Zustand 2002 mit Deichüberschwemmung an den Oberrhein (Ist2002_MitDueb) und 2020 mit Deichüberüberströmung am Oberrhein (Soll2020_MitDueb). Für nähere Details wird auf Van der Veen et al. (2004a) verwiesen. Die für die Ermittlung der Auswirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen am Niederrhein genutzten Ganglinien beinhalten stets das Deichüberströmen am Oberrhein, damit sich die tatsächlich einstellenden hydraulischen Bedingungen möglichst realistisch im Modell wieder finden.

Zur Bestimmung der Auswirkungen von Deichüberströmen und Hochwasser reduzierenden Maßnahmen auf Wasserstand und Abluß wurde das Entscheidungen unterstützende System für die Gestaltung von Flüssen (Kurzbezeichnung auf deutsch: DSS-LR, holländisch BOS-IR) gewählt. Dieses Modell wurde in den vergangenen Jahren vom RIZA und WL|Delft Hydraulics zur Analyse von Auswirkungen von Maßnahmen an Gewässern entwickelt. Um den hydraulischen Modellkern von SOBEK ist eine GIS-gestützte Schale gestaltet worden, die es erlaubt, auf einfache und reproduzierbare Weise eine Großanzahl von Maßnahmen hydraulisch zu simulieren und in einer umfangreichen Projektverwaltung zu organisieren.

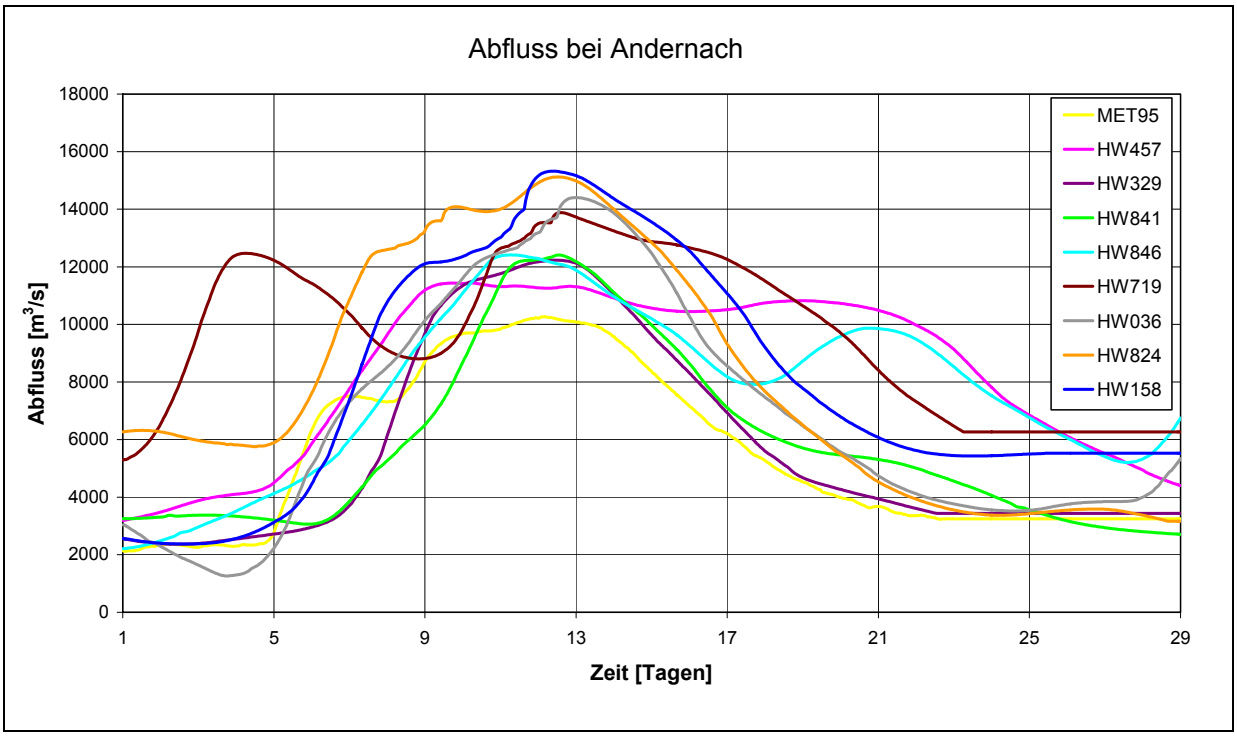


Abbildung 1-1: Genutzte Abflussganglinien (Pegel Andernach) für die hydraulischen Berechnungen zur Beschreibung der Wirkung der wasserstandsvermindernden Maßnahmen

1.2 Berechnungsszenarien

Ein Zustand ohne Retentionsräume am Niederrhein wurde als Vergleichszustand jeweils für die Sichtjahre 1995, 2002 und 2020 definiert. Desweiteren sind die Abflussreduktionen durch das Deichüberströmen am Oberrhein (Einfluss auf die „Eingangs"-Abflussganglinie beim Pegel Andernach) und durch das Deichüberströmen am Niederrhein (Einfluss auf die Abflussganglinie unterhalb bzw. im Bereich der D-NL-Grenze) in den Berechnungen berücksichtigt.

Jedes verwendete Hochwasser wird gekennzeichnet mit dem Code HW und einer Jahreszahl aus der Reihe von 1000 Jahren. Zugunsten eines Vergleiches mit einer historischen Abflusswelle wurde das historische Hochwasser von Januar 1995 mit den tatsächlich eingetretenen Abflüssen bei den Berechnungen einbezogen. Diese Abflusswelle wurde mit dem Code MET95 versehen.

Die Sichtjahre 1995/2002 und 2020 haben unterschiedliche Deichhöhen, weil im Sichtjahr 1995/2002 einige Deichstellen als nicht saniert, bzw. nicht angepasst enthalten sind. Dies führt dazu, dass im Sichtjahr 1995/2002 die berechneten Ganglinien einen erhöhten Volumenverlust durch das Überströmen am Niederrhein erfahren und somit eine höhere Wasserstandsreduzierung ergeben, als beim Vergleich mit der Referenz des Sichtjahres 2020. Um die Wirkung von Maßnahmen zu beschreiben, ist es daher nur zulässig, innerhalb eines Sichtjahres zu vergleichen, da ansonsten die jeweils unterschiedlichen Volumina des Deichüberströmens nicht berücksichtigt werden.

Eine Betrachtung der Rechenläufe ohne die Berücksichtigung des Deichüberströmens ist grundsätzlich möglich, aber nur theoretischer Natur, da die real stattfindenen Deichüberströmungen und die damit verbundenen Volumenverluste des Abflusses ignoriert werden. Diese rein hydrologische Betrachtung ohne Deichüberströmen erlaubt ferner auch deswegen keine Aussage zur Wirkung von Maßnahmen, weil diese mit zu hohen Abflüssen belastet werden und daher auch anders reagieren. Das Deichüberströmen ist daher als „ungewollte Maßnahme" in der hydraulischen Superposition mit zu berücksichtigen.

Für die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse zur Wirkung der wasserstandvermindernden Maßnahmen ist der Zustand des Sichtjahres 2020 mit den dann vorhandenen Deichhöhen als maßgebend angenommen worden, weil dieser Zustand eine Beschreibung des gesamten Systems erlaubt und ungefähr dem Zeithorizont für die mögliche Realisierung von Rückhaltemaßnahmen entspricht.

Die durchgeführten Rechenläufe mit 9 Ganglinien, 3 Sichtjahren, verschiedenen Maßnahmenszenarien sowie mit und ohne Deichüberströmen erlauben vielfältige Auswertemöglichkeiten. Die Tabelle 1-1 zeigt einen Überblick über die Rechenläufe des Modells.

Die Ergebnisse der instationären Berechnung wurden so ausgewertet, dass für jeden Rechenlauf der höchste Abfluss bzw. der höchste Wasserstand eines jeden Querprofils als Längsprofil über die betrachtete Rheinstrecke aufgetragen werden. Für die vergleichende Betrachtung zweier Szenarien wird die Auswirkung als Abfluss- bzw. Wasserstandsreduzierung dargestellt über die Differenz dieser Werte. Die Darstellung erfolgt meist so, dass mehrere oder auch alle Hochwasserwellen dargestellt werden, weil so die Bandbreite in Abhängigkeit von Höhe und Form der Welle sehr gut demonstriert wird.

Tabelle 1-1: Übersicht über die gerechneten Szenarien und die jeweils berücksichtigen Maßnahmen

	NRW											NRWMAX				NL	PLUS	
Maßnahme	Köln-Langel	Worringen	Monheim	Itter-Himmelgeist	Ilvericher Bruch	Mündelheim	Orsoyer Land	Bislicher Insel	Lohrwardt	Griethebusch	Bylerward	Orsoyer Rheinbogen [4]	Weseler Brücke [3]	Bislicher Insel 2020 [3]	Rees Flutmulde [3]	PKB-Raum für den Fluss	Oijpolder	Rijnstrangen
Variante	PFV [1]	V3 [1]	AV	2A	B2	V4	AV	AV	PFV	PV	B3							
Typ / **Name des Szenarios**	RP-U	RP-ST	DRV-LD	DRV	RP-ST	DRV	DRV-LD	RP-U	RP-U	RP-U	RP-ST	RP-ST	E	E	FM			
1995_O								X										
1995_M								X										
1995_PLUS_O								X									X	X
1995_PLUS_M								X									X	X
2002_NRW_O	X		X			X	X	X	X									
2002_NRW_M	X		X			X	X	X	X									
2002_NRW_PLUS_O	X		X			X	X	X	X								X	X
2002_NRW_PLUS_M	X		X			X	X	X	X								X	X
2020_O								X										
2020_M								X										
2020_NRW_O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
2020_NRW_M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
2020_NL_O								X								X		
2020_NL_M								X								X		
2020_NRW_NL_O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
2020_NRW_NL_M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X							
2020_NRWMAX_O	X [2]	X [2]	X	X	X [2]	X	X	X	X	X	X [2]	X	X	X	X			
2020_NRWMAX_M	X [2]	X [2]	X	X	X [2]	X	X	X	X	X	X [2]	X	X	X	X			
2020_NRWMAX_NL_O	X [2]	X [2]	X	X	X [2]	X	X	X	X	X	X [2]	X	X	X	X	X		
2020_NRWMAX_NL_M	X [2]	X [2]	X	X	X [2]	X	X	X	X	X	X [2]	X	X	X	X	X		
2020_NRW_NL_PLUS_O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X
2020_NRW_NL_PLUS_M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X	X	X

_O = Ohne Deichüberströmen am Niederrhein
_M = Mit Deichüberströmen am Niederrhein
P-V: Planungsvariante
A-V: Ausführungsvariante
PV-V: Planfeststellungsvariante

RP ST: Retentionspolder gesteuert
RP U: Retentionspolder ungesteuert
DRV LD: Deichrückverlegung mit Leitdeich
DRV: Deichrückverlegung

VL: Vorlandvertiefung
E: Entfernung hydraulischer Engpass
FM: Flutmulde

X = Maßnahmen wurde in der Berechnungsszenario berücksicht
1) jüngere Unterlagen vom STUA Köln berücksichtigt
2) Zu- und Ablaufbauwerk im Modell so verändert, dass die Maßnahme auf den Bemessungsabfluss optimalisiert ist.
3) zusätzliche geplante Maßnahme zur Entfernung von hydraulischen Engpässen
4) zusätzliche, bisher noch nicht in Planung genommener Retentionspolder

1.3 Berücksichtigte Maßnahmen

Für die 11 in NRW vorgesehenen Maßnahmen zur Wasserstandsverminderung sind nach umfangreichen Vorgesprächen, insbesondere mit dem StUA Krefeld, im Rahmen eines gemeinsamen Workshops mit der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgruppe Hochwasser in 2003 die Berechnungsvarianten (Maßnahme im Planungszustand) und die Eingabeparameter vereinbart worden.

Die jeweilis im Projekt genutzten Varianten der Maßnahmen sind in Tabelle 1-2 zusammengefasst dargestellt. Die Annahmen für die Eingabeparameter und ihre grundsätzliche Umsetzung sind im Anhang für die einzelnen Maßnahmen beschrieben.

Grundsätzlich ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass bei den Maßnahmen, die sich noch im Planungszustand befinden, die Parameter einer zum Teil recht hohen Dynamik unterliegen. Das ist aus fachlicher und planungsrechtlichern Sicht begründet. Dies führt aber dazu, dass mit Vereinbarung bei o.a. Workshop die Parametersätze für die Maßnahmen definiert wurden, aber mit Erscheinen dieses Berichtes die Parameter bereits verändert sein können. Dieser Umstand wurde in Kauf genommen, um zeitgerecht im Projekt Ergebnisse erzielen zu können. Die jeweilige Einzelplanung und detaillierte Maßnahmenberechnung wird einzelprojektbezogen und damit weitgehend unabhängig von den hier vorgestellten Ergebnissen vorgenommen werden.

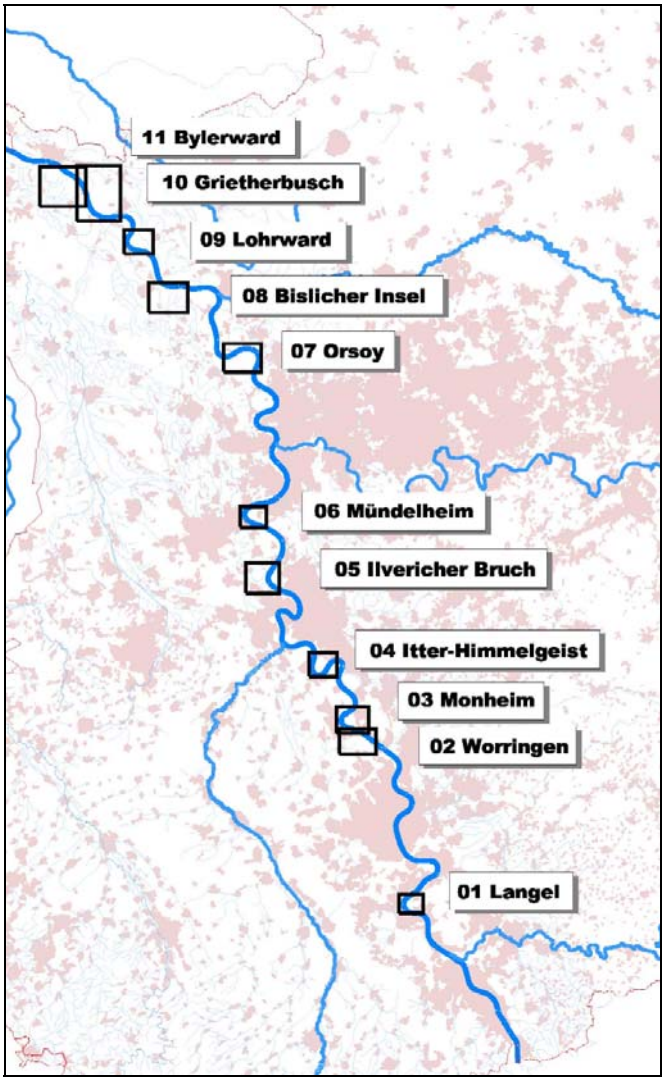


Abbildung 1-2: Lage der vorgesehenen wasserstandsvermindernden Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen

Tabelle 1-2: Gerechnete Varianten der wasserstandsvermindernden Maßnahmen in NRW

Maßnahme	**Gerechnete Variante / Maßnahmentyp**
Köln-Langel	Planfeststellungsvariante / Retentionspolder ungesteuert
Worringer-Bruch	Variante 3 / Retentionspolder gesteuert
Monheim	Ausführungsvariante / Deichrückverlegung mit Leitdeich
Itter-Himmelgeist	Variante 2a / Deichrückverlegung ohne Leitdeich
Ilvericher-Bruch	Variante B2 / Retentionspolder gesteuert
Mündelheim	Variante 4 / Deichrückverlegung ohne Leitdeich
Orsoy-Land	Ausführungsvariante / Deichrückverlegung mit Leitdeich
Bislicher-Insel	Ausführungsvariante / Retentionspolder ungesteuert (Sommerpolder)
Lohrward	Planfeststellungsvariante / Retentionspolder ungesteuert
Bylerward	Variante B3 / Retentionspolder gesteuert

Eine detaillierte Darstellung findet sich in Anlage A1 bis A11 sowie in Van der Veen et al. (2004a).

Maximalvariante 2020_NRW:

Neben den vorgesehenen Maßnahmen ist auf dem ersten Projektworkshop eine sogenannte „Maximalvariante" vereinbart worden. Die Details dieser Maximalvariante sind wie folgt (sieh auch Anlage A12 und Van der Veen et al., 2004a):

- „Optimierung" der Retentionspolder Langel, Worringen, Ilvericher Bruch 1+2 und Bylerward
- Einbeziehung des weiteren Retentionsraumes Orsoyer Rheinbogen (km 802 – 804,8)
- Beseitigung der alten Brücke Wesel (km 813,5 – 814,0)
- Bislicher Insel mit 5 Einzelmaßnahmen:
  - Beseitigung Querriegel 1 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel 2 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 821,7)
  - Beseitigung Querriegel Postdeich (rechtsrheinisch, km 821,4)
  - Beseitigung Rampe Wirtshaus Rose (rechtsrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel Melkstall (rechtsrheinisch, km 824,8)
- Reeser Schanz (Flutmulde km 834,8 – 838,0),
- Flügeldeich Oberwörmter bereits über Grietherbusch in „2020" enthalten

Maßnahmen „Raum für den Fluss" in den Niederlanden

Die hochwasserreduzierenden Maßnahmen in den Niederlanden sollen dafür sorgen, dass durch die Erhöhung der Abflusskapazität ohne Deicherhöhungen statt 15.000 m^3/s in Zukunft 16.000 m^3/s sicher abgeführt werden können.

Im Rahmen der PKB Raum für den Fluss läuft zur Zeit die Phase der Planung und Umsetzung konkreter Maßnahmen. Um diesen Prozess und die begleitenden Diskussionen zu unterstützen, wurde ein Visualisierungsinstrument geschaffen, das alle potentiellen Maßnahmen inklusive ihrer Wirkungen als Bausteine beinaltet. Mit Hilfe dieser Bausteine lassen sich die unterschiedlichen Maßnahmen mit ihrer Wirkung kombinieren. Deshalb ist in den Niederlanden die angestrebte Gesamtwirkung bekannt, die durch wasserstandsvermindernden Maßnahmen erreicht werden soll, die Maßnahmen selbst jedoch sind noch nicht festgelegt.

Die Modellumsetzung von „Raum für den Fluss" ist in Anlage A 13 sowie in Van der Veen et al. (2004a) beschrieben.

2 Qualitative Beschreibung der Ergebnisse

2.1 Auswirkungen des Deichüberströmens am Niederrhein

Die im Vorhaben betrachteten Ganglinien weisen für den Niederrhein auch Scheitelabflüsse auf, die - zum Teil deutlich - über den Bemessungsabflüssen von Hochwasserschutzanlagen (v.a. Deiche) bzw. oberhalb der Leistungsfähigkeit des Gerinnes (bei Hochufern) liegen. Es wird daher bei den im Projekt berechneten Szenarien zum Überfluten geschützter Bereiche kommen.

Insbesondere das Überströmen von Deichen wird zu Volumenverlusten in der Hochwasserwelle führen, die verminderte Scheitelabflüsse und veränderten Wellenformen im Unterlauf zur Folge haben.

Das Überfluten wirkt also im Regelfalle wie eine Retention, wobei sich je nach Szenario am Niederrhein in 3 größeren Bereichen rheinparallele Ströme einstellen, die jeweils unterhalb in den Rhein zurückgeführt werden. Diese 3 Bereiche werden im Abschnitt 3.1 näher betrachtet.

Die Deichsanierung am Rhein in NRW, d.h. das Schließen von Lücken bzw. die Anpassung der Deichhöhen, bis zum Sichtjahr 2020 führt dazu, dass an diesen Orten der Deichsanierung ein verbesserter Hochwasserschutz entsteht:
- Die Leistungsfähigkeit zwischen den Deichen ist erhöht
- Die die Deichkrone überströmende Wassermenge ist geringer

Wenn extreme Hochwasserscheitel jenseits der Deichhöhen auftreten, so bewirken sie im Sichtjahr 2020 dem entsprechend ein späteres und damit scheitelnäheres Überströmen als im Sichtjahr 1995/2002. Dies führt infolge der (ungewollt) “verbesserten” Retentionswirkung zu einer stärkeren Beeinflussung des Abflussscheitels und damit zu einer erhöhten Reduzierung der Scheitelabflüsse nach unterhalb. Desweiteren ergeben sich für das Sichtjahr 2020 geringere Scheitelabflüsse bei den Strömen, die sich infolge Deichüberströmen hinter den Deichen einstellen.

Die „Lücke“ in der Deichlinie bei Emmerich (Hochwasserschutzmauer im Sichtjahr 1995/2002 noch zu niedrig) führt in den Sichtjahren 1995/2002 zu einem Überströmen in diesem Bereich. Dies führt zu einer Verringerung des Abflussscheitels beim (höchsten) Projekthochwasser HW824 von bis zu 350 m^3/s am Pegel Lobith. Im Sichtjahr 2020 ist die Hochwasserschutzmauer an das gültige BHQ angepasst, somit wird für dieses Szenario kein Überströmen und mit keine Scheitelreduzierung mehr stattfinden.

Durch die Deichanpassungen vor allem im Raum Köln/Düsseldorf wirken sich in 2020 die Überströmungen “effektiver” auf die Senkung der Scheitelwerte aus als in 1995/2002. Dies führt dazu, dass die entsprechenden Scheitel im grenznahen Bereich niederiger sind als in 1995/2002.

Allerdings findet 2020 in Emmerich die scheitelreduzierende Überströmung der Hochwasserschutzmauer nicht statt, so dass bei Lobith in beiden Sichtjahren in etwa die gleichen Abflussscheitel erreicht werden. Die durch das Anpassen der Hochwasserschutzmauer mittelbar verursachte Scheitelerhöhung für das genannte Szenario wird also durch oberhalb liegende Maßnahmen in NRW kompensiert.

Das Szenario mit den optimierten Maßnahmen in NRW und Raum für den Fluss in den Niederlanden (2020_NRWMAX_NL_M) kommt beim größten Hochwasser (HW824) im Bereich unterhalb Emmerich dementsprechend auch zu annähernd gleichen Abflusscheiteln wie im Sichtjahr 1995/2002. Erst eine optimierte Steuerung von Bylerward könnte hier eine weitere Abflussreduzierung (bis zu 200 m^3/s) erbringen. Diese könnte bei einem noch größeren Hochwasser für die Emmericher Hochwasserschutzmauer von Bedeutung sein.

Neben der eigentlichen Betrachtung der Überflutungsbereiche ist auch die mögliche Beeinflussung der Wirkung von wasserstandsvermindernden Maßnamen zu diskutieren. So ergibt sich bei der Bemessung von Einlaufschwellen oder Steuerungsregeln für gesteuerte Retentionsbereiche immer die Erfordernis maßgebende Abflüsse und Wellen zu definieren. Diese Eingangsdaten für die weitere Betrachtung von Retentionsbereichen sind weniger von Wert, wenn ein mögliches Deichüberströmen oberhalb infolge der betrachteten Abflüsse nicht mit einbezogen wird. Eine Dimensionierung solcher Anlagen wird dann stets Mängel aufweisen, die die Wirkung nachhaltig verändern können.

2.2 Wirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen

Je nach Scheitelhöhe und Form der Hochwasserwelle wirken die hochwasserreduzierenden Maßnahmen unterschiedlich auf die Wasserstandsverminderung. Die ermittelten Wirkungen sind über die Rheinstrecke betrachtet verschieden – die maximale Wirkung ist auf einen kurzen lokalen Bereich beschränkt. Es ist daher nicht zulässig, die Auswirkung einer Maßnahme mit einer einzigen Angabe in [cm] darzustellen.

Deichrückverlegungen mit Erweiterung des Abflussquerschnittes bzw. durchströmte Polder mit eigenem Abflussanteil wurden bislang bzgl. ihrer Wirkung eher unterschätzt. Ursache dafür kann sein, dass die durch die Maßnahme durchströmte Fläche zu gering angenommen wurde. Eine Wasserstandsreduzierung findet zunächst durch den vergrößerten Abflussquerschnitt statt. Eine Zunahme der durchströmten Fläche in einem Querschnitt erlaubt niedrigere Wasserstände bei gleichen oder auch etwas höheren Abflüssen. Eine Wasserstandsreduzierung bewirkt nach oberhalb ein höheres Energieliniengefälle, welches wiederum gering erhöhte Fließgeschwindigkeit bewirken kann. Auch dieser Effekt kann dazu führen, dass bei gleichen oder sogar etwas höheren Abflüssen eine Wasserstandsreduzierung eintritt.

Bei den Rückverlegungen ist auch zu bedenken, dass es - in Fließrichtung betrachtet - zum Ende der Maßnahme durch den Einschnürungseffekt im Übergang zur vorhandenen Deichlinie zu einem kleinen Aufstau kommen kann. Deichrückverlegungen mit Erweiterung des Abflussquerschnittes bzw. durchströmte Polder mit eigenem Abflussanteil wirken durch die Vergrößerung des Fließquerschnittes vor allem nach oberhalb.

Die Auswirkungen von Retentionsräumen, die automatisch ab einem definierten Wasserstand bzw. gesteuert geflutet werden, sind im Modell weniger groß als bisher angenommen. Dieses ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die bisherigen Einlaufschwellen zu niedrig sind, um bei den hier betrachteten extremen Abflüssen genau den Scheitel zu kappen. Durch frühzeitiges Einströmen sind die Retentionsräume bereits vor Eintreffen des Scheitels gefüllt, so dass die Retention im Scheitelbereich nur noch durch das zusätzlich in den Polder einströmende Volumen erfolgt. Hierbei ist natürlich zu bedenken, dass die Größe eines Taschenpolders in vernünftiger Relation zur angestrebten Scheitelminderung stehen muss. Taschenpolder wirken eher lokal und nach unterhalb.

Die hochwasserreduzierenden Maßnahmen in NRW und den Niederlanden weisen bei Extremhochwassern Wirkungen jeweils zur anderen Grenzseite auf. Insbesondere die NL-Maßnahme „Raum für den Fluss“ hat Auswirkungen von über 50 km stromaufwärts nach Deutschland hinein. Keine der betrachteten Maßnahmen hat erkennbare negative Auswirkungen nach unterhalb.

Eine Steuerung von Retentionsräumen ist immer abhängig von den Zielen, die mit der Maßnahme verfolgt werden. Die derzeitige Planung für Retentionsräume lässt die Formulierung von Zielen für Optimierung ihres Einsatzes noch offen. Dabei ist zu bedenken, dass eine Optimierung von Maßnahmen für extreme Hochwasser (>HQ_{200}) negativ für die Wirkung von Maßnahmen bei kleineren Hochwassern (z.B. >HQ_{50}) sein kann.

Die Beseitigung von Abflusshindernissen als sinnvolle Ergänzung zu den Rückhalteräumen hat positive Auswirkungen auf die Wasserstandminderung bei allen betrachteten Hochwasserwellen.

Eine sehr gute Wirkungskombination für verschiedene Hochwasserwellen ergibt sich aus der Realisierung der geplanten Maßnahmen in NRW und in den Niederlanden in Verbindung mit der Optimierung der Steuerung von Retentionsräumen sowie der Umsetzung von ergänzenden Maßnahmen, vor allem der Beseitigung von Abflusshindernissen oder der Schaffung von Flutmulden.

Der Bereich mit der größten Wasserstandsreduzierung zeigt sich bei etwa km 828, das ist etwa im Anfangsbereich der Maßnahme Lohrward. Hier beträgt die Wasserstandsreduzierung
- für das Sichtjahr 2020,
- für das Szenario NRW-Maximalvariante UND NL-Raum für den Fluss,
- unter Berücksichtigung des Deichüberströmens,
- für die Ganglinie HW824 und
- für das Profil bei Rhein km 828

etwa 40 cm (2020_NRWMAX_NL_M, HW824, Rhein-km 828).
In anderen Bereichen oder für andere Ganglinien ist die Reduzierung geringer.

2.3 Zusammenwirken von Deichüberströmens und Wasserrückhalt am Beispiel des Rückhalteraums Worringer Bruch

Am Beispiel des vorgesehenen Rückhalteraumes Worringer Bruch wird in diesem Abschnitt verdeutlicht, dass die Vernachlässigung der Betrachtung des Deichüberströmens zu einer vollständig falschen Bewertung der Wirkung dieser Maßnahme führt.

Die Berechnungen wurden wie bereits beschrieben sowohl ohne als auch mit Berücksichtigung von Überströmen der Deiche/Hochufer am Niederrhein durchgeführt. Zur Festlegung der Deich- bzw. Uferabschnitte entlang des Rheines, die hinsichtlich Überströmen eine Gefährdung aufweisen, wurden die Ergebnisse eine zweidimensionalen Überströmungsberechnung mit dem Modell Delft FLS in die eindimensionalen Berechnungsgrundlagen übernommen. Als Ergebnis des zweidimensionalen Rechenlaufes wurden die betroffenen Deichschwachstellen und die Ausbreitung der Überschwemmungswelle im Hinterland festgelegt. Feststellbar ist, dass die überschwemmungsgefährdeten Ufer-/Deichabschnitte vor allem in dem Rheinabschnitt zwischen Bonn und Düsseldorf zu finden sind. Es ist ferner zu berücksichtigen, dass sas Deichüberströmen erheblichen Einfluss auf die Abflussscheitel weiter unterhalb haben kann.

In diesem Projekt wurden die 11 Maßnahmen in NRW im Sichtjahr 2020 (alle Maßnahmen gelten als fertiggestellt) immer zusammen betrachtet, um die gegenseitige Beeinflussung darstellen zu können. Eine konkrete Wirkung des geplanten Retentionsraumes Worringer-Bruch auf den Wasserstand bzw. Abfluss konnte aus den Überlagerungen mit den Effekten der anderen Maßnahmen und des Deichüberströmens zunächst nicht herausgearbeitet werden. Dies gilt für alle betrachteten Ganglinien. Als Grund hierfür kann zum einen festgehalten werden, dass die Retentionsmaßnahme Worringer-Bruch nur für eine Ganglinie optimiert wurde. Bei den übrigen Ganglinien strömt das Wasser zu früh ein, so dass der Polder bereits gefüllt ist, bevor der Abflussscheitel erreicht wird.

Weiterhin wurde bei Rhein-km 703 (Wuppereinmündung) ein kritischer Deichabschnitt (D_019) festgestellt, der bei einem Abfluss ab ca. 12.800 m³/s überströmt wird. Da es sich um ein sehr großes Überschwemmungsgebiet handelt, werden die Auswirkungen der Retentionsmaßnahme Worringer-Bruch auf den Abfluss und den Wasserstand im Rhein von diesem Überschwemmungsgebiet an der Wuppermündung weitestgehend kompensiert. Der Gesamteffekt im Vergleich zwischen den beiden Scenarien mit Realisierung von Worringer-Bruch sowie dem Überschwemmungsgebiet D_019 und nur Berücksichtigung des Überschwemmungsgsbietes D_019 ist annähernd gleich. Beim Rechenlauf “Ohne Worringer Bruch” erfolgt demnach eine stärkere Einströmung in das Überschwemmungsgebiet.

Zur Verdeutlichung des Zusammenhangs sind daher Rechenläufe “ohne Deichüberströmen” herangezogen worden. Vor dem Hintergrund, dass im Bereich der Bezirksregierung Köln die Hochwasserschutzanlagen auf HQ_{200} plus Freibord bemessen werden sollen, ist diese Berechnung ohne Deichüberströmen bei der gewählten Ganglinie HW846 (Scheitel $\approx HQ_{200}$) realistisch.

Während beim Rechenlauf “Mit Deichüberströmen” die maximale Wirkung für den Worringer Bruch etwa 3 cm Wasserstandssenkung beim HW846 erreichte, ergab sich beim Nachweis “Ohne Deichüberströmen” (d.h. mit geschlossener HW-Verteidigungslinie HQ_{200}) für diese Betrachtung eine Absenkung von 6-7 cm von der Wupper- bis hin zur Ruhr-Mündung.

Dieses Beispiel zeigt die eminent hohe Bedeutung der Betrachtung des Zusammenspiels zwischen Deichüberströmen und der Wirkung von Maßnahmen mit hochwasservermindernder Wirkung.

3 Numerische Darstellung (Abflussscheitel)

In diesem Kapitel wird auf die Auswirkungen von Deichüberströmen und hochwasserreduzierenden Maßnahmen auf die Abflussscheitel eingegangen. Die numerische Darstellung hierzu vollzieht sich zunächst an der Ganglinienbeeinflussung und anschließend anhand der Betrachtung der Scheitelwerte im Längsprofil des Rheins. Hierbei wir differenziert zwischen dem Gesamtabfluss und dem Abfluss der sich zwischen den Deichen ($Q_{Flussschlauch}$) einstellt. Die Differenz ist der Abfluss, der hinter den Deichen durch Deichüberströmen stattfindet.
Anschließend werden im Längsprofil die Scheitelabflüsse von 5 Ganglinien, die sich jeweils für 5 Maßnahmenszenarien einstellen, dargestellt und bewertet.

3.1 Auswirkungen des Deichüberströmens

Die größten Auswirkungen auf den Abfluss haben bei den betrachteten Projekthochwassern nicht die hochwasserreduzierenden Maßnahmen, sondern das Überströmen der Deiche. Dies wird veranschaulicht in der folgenden Abbildung 3-1, die für zwei Hochwasserwellen die Ganglinien bei km 749 aufzeigt, wie sich die Berechnungsarten „mit“ und „ohne“ Deichüberströmen numerisch auswirken können.
Die Welle HW719 führt nur oberhalb der geschlossenen Deichlinie (ab km 710) zu Deichüberströmen, so dass die Ganglinie bei km 749 bereits etwas geglättet erscheint, jedoch noch deutlich um etwa 500 m^3/s reduziert ist.
Die Welle HW158 führt auch im Bereich der geschlossenen Deichlinie zu Überströmen, so dass hier die Scheitelreduzierung mit über 1.500 m^3/s noch deutlicher ausfällt.

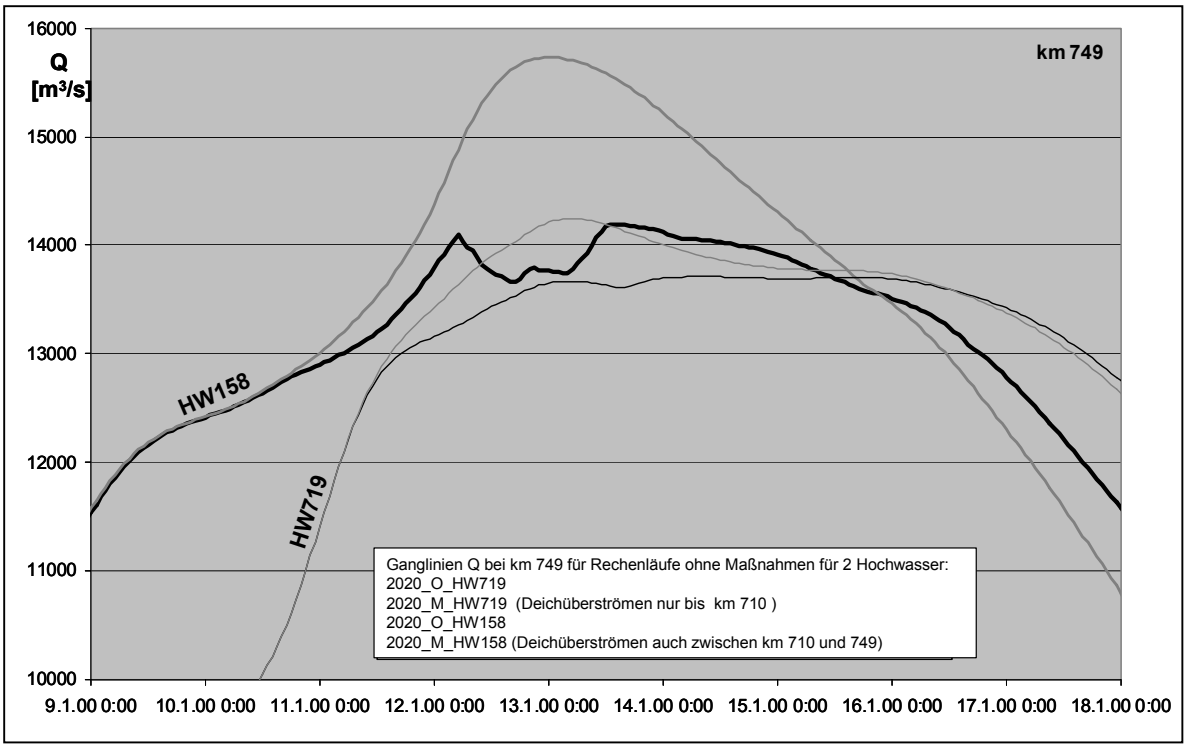


Abbildung 3-1: Auswirken des Deichüberströmens bei der hydraulischen Berechnung

Das Deichüberströmen wirkt sich bei den Szenarien 2020 stärker auf den Abfluss aus, weil das Überströmen später, d.h. näher am Scheitel, stattfindet und somit eine größere Scheitelreduzierung stattfinden kann.

Andererseits findet an einigen deichsanierten Stellen das Überströmen in 2020 nicht mehr statt, so dass diese reduzierende Wirkung der Szenarien 1995 und 2002 dann in 2020 entfällt. Die Abbildungen in den folgenden Kapiteln visualisieren unter anderem auch diese Effekte.

Abbildung 3-2 zeigt das Längsprofil der Scheitelabflüsse entlang des Niederrheins für den Zustand 1995 (oben) und 2020 (unten) jeweils ohne hochwasserreduzierende Maßnahmen. Für beide Zustände sind jeweils 3 Abflusstypen dargestellt:

- der Abfluss im Rhein, wie er berechnet wird, wenn davon ausgegangen wird, dass der gesamte Abfluss zwischen den Deichen abgeführt werden kann (1995_O_Qg bzw. 2020_O_Qg),
- Der Abfluss im Rhein Qf, der zwischen den Deichen (im Flussschlauch) abgeleitet wird, wenn Überflutungen berücksichtigt werden (1995_M_Qf bzw. 2020_M_Qf) sowie
- der Gesamtabfluss Qg aus dem Teilstrom, der zwischen den Deichen verbleibt und dem, der rheinparallel hinter den Deichen strömt und wieder zurückströmt (1995_M_Qg bzw. 2020_M_Qg).

Diese Darstellung verdeutlicht, dass die Überlagerung der sich bei den betrachteten Ganglinien realistischer Weise einstellenden Deichüberströmungen mit den hochwasserreduzierenden Maßnahmen erforderlich ist, um eine tatsächliche Wirkung von Maßnahmen zu bestimmen. Daneben findet neben dem bloßen Überlagerungseffekt auch noch eine Beeinflussung statt, wenn z.B. oberhalb einer Maßnahme stattfindende Deichüberströmungen die Ganglinie in ihrer Form so verändern, dass es sich auf die Wirkung der Maßnahme auswirkt.

Es wird auch deutlich, dass, wie erwartet, die Abflüsse bei Vernachlässigung der Effekte der Überflutungen deutlich höher sind als wenn die Verluste an Wasser durch das Überströmen von Hochwasserschutzanlagen berücksichtigt wird. Ebenfalls ist zu erkennen, dass in je 3 Bereichen der rheinparallele Abfluss hinter den Deichen eine wichtige Rolle spielt (Unterschied 1995_M_Qg und 1995_M_Qs bzw. 2020_M_Qg und 2020_M_Qs), dazwischen liegen Bereiche, wo der Scheitel durch Überflutungen gedämpft, stromparallele Abflüsse jedoch nicht auftreten bzw. nicht wieder in den Rhein zurückgeführt werden. Ab Ruhrmündung findet praktisch kein zusätzlicher Wasserverlust durch Überströmungen statt, einzige Ausnahme bildet im Zustand 1995 die Reduzierung des Scheitelabflusses bei Emmerich (Rhein-km 845).

Die Deichverstärkungsmaßnahmen bis 2020 haben beim Hochwasser HW824 sowohl auf den Gesamtabfluss Qg als auch auf den Abfluss im Flussschlauch Qf sowie auf die Verteilung zwischen diesen Teilströmen Einfluss:

In allen drei Bereichen, in denen die in den Fluss wieder zurückführenden Parallelströmungen hinter den Deichen eine Rolle spielen, ist der Anteil dieser Parallelströmung am Scheitelwert nach der Deichverstärkung in 2020 geringer als 1995. Das ist eine Verbesserung gegenüber 1995, weil neben der geringeren Abflüsse vermutlich auch eine gringere Strömungsdynamik herrschen wird.

In 2020 ist der Abfluss Qf im Fluss höher (höhere Abflusskapazität) und gleichzeitig der Gesamtabfluss Qg geringer als 1995. Durch die Deicherhöhungen vor allem im Raum Köln/Düsseldorf wirken sich in 2020 die Überströmungen effektiver auf die Scheitelwerte aus als in 1995, weil sie „näher“ am Scheitel stattfinden.

Die noch im Sichtjahr 1995 stattfinden Überströmungen in Emmerich führen zu einer Verminderung des Abflussscheitels bei Lobith (vgl. Linie 1995_M_Qg HW824 in Abbildung 3-2 oben, Abfallen der Linie etwa bei km 850).
Im Sichtjahr 2020 findet dieses Überströmen bei Emmerich nicht statt. Trotzdem ist der Abflussscheitel bei Lobith ungefähr in gleicher Größenordnung. Dies liegt daran, dass oberhalb durch das für die Abflussscheitel günstigere (weil spätere) Überströmen der Deiche die Spitzen des Abflusses wirksamer gekappt werden als in 1995.

Für das hier betrachtete Hochwasser HW824 (> HQ_{500}) führen die Deichsanierungen und das Schließen der Lücken am Niederrhein in NRW daher im Sichtjahr 2020 nicht nur dazu, dass der lokale Hochwasserschutz verbessert wird, sonder auch zu einer Verringerung der Ströme hinter den Deichen und einer Reduzierung der Scheitelwerte entlang der Niederrheinstrecke ab der Siegmündung.

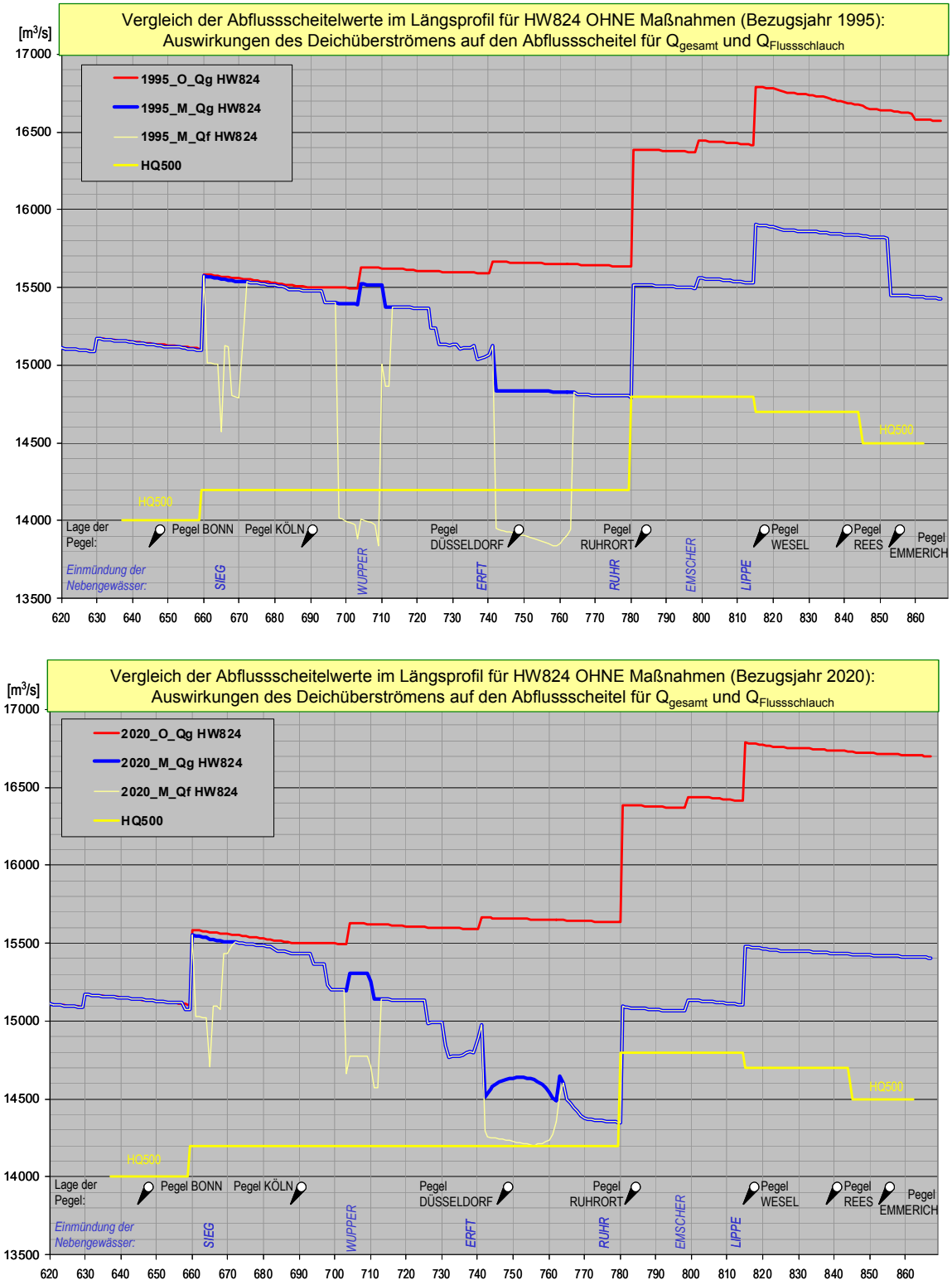


Abbildung 3-2: Vergleich der Abflussscheitelwerte für HW824 ohne Maßnahmen für die Bezugsjahre 1995 und 2020, differenziert nach Q-Gesamt (Qg) und Q-Flussschlauch (Qf)

3.2 Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf den Scheitelabfluss

Die geplanten Maßnahmen sind gemäß der in Tabelle 3-1 benannten Szenarien in den Rechenläufen berücksichtigt worden. Zur Visualisierung der Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Abfluss werden im Folgenden für mehrere Ganglinien Längsprofile der Scheitelwerte aus der instationären Berechnung diskutiert.

Neben der Darstellung für die Ganglinie des Hochwasser vom Januar 1995 (MET95) werden drei synthetische Ganglinien, die sich etwa im Bereich von HQ_{100} (HW457), HQ_{200} (HW846) und HQ_{500} (HW036) bewegen, sowie die Ganglinie mit dem höchsten Abfluss am unteren Niederrhein (HW824) vorgestellt. Der Darstellung liegt stets die Berechnung „Mit Deichüberströmen“ zugrunde.
Neben der Auswirkung der Maßnahmen wird insbesondere bei den größeren Hochwassern auch die Auswirkung des Deichüberströmens deutlich erkennbar.

Zur Orientierung enthalten die Abbildungen die Lage der geplanten Maßnahmen, der Pegel und der Einmündungen der Nebenflüsse.

Tabelle 3-1: genutzte Szenarien-Ganglinienkombinationen zur Darstellung der geplanten Maßnahmen auf den Scheitelabfluss entlang des Niederrheins

		1995_M	2002_NL_M	2020_M	2020_NRW_NL_M	2020_NRWMAX_NL_M
I	MET95	X	X	X	X	X
II	HW457	X	X	X	X	X
III	HW846	X	X	X	X	X
IV	HW036	X	X	X	X	X
V	HW824	X	X	X	X	X

3.2.1 *Hochwasser vom Januar 1995 (MET95)*

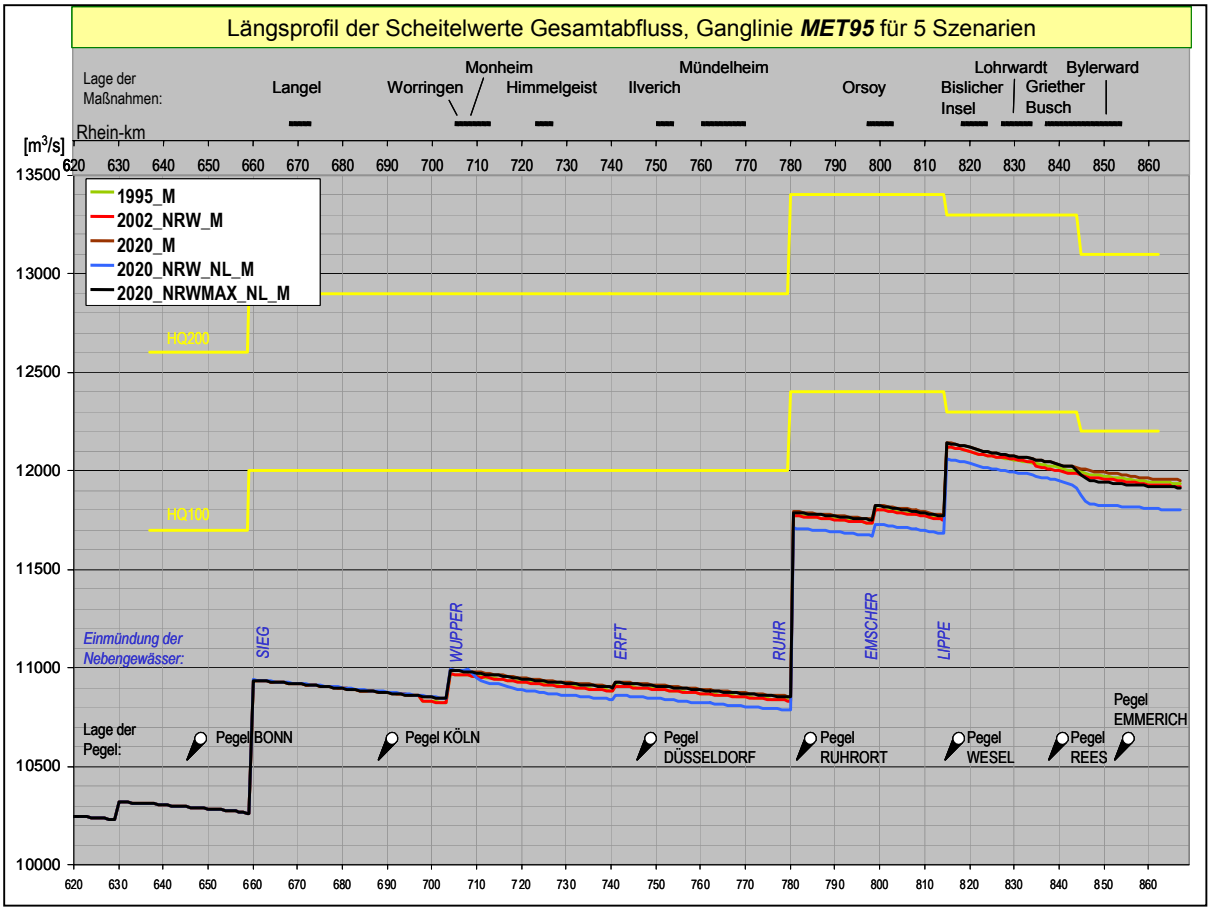


Abbildung 3-3: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie MET95 für 5 Szenarien

Für die hier betrachtete Ganglinie des Hochwassers von 1995 zeigt das oben dargestellte Längsprofil Abbildung 3-3 der Scheitelwerte, dass das Szenario 2020_NRW_NL_M die größte Wirkung entfaltet. Das einzige Deichüberströmen für die Sichtjahre 1995 und 2002 findet oberhalb der Wuppermündung statt. Im Zuge der Deichsanierung und Anpassung an das gültige Bemessungshochwasser wird in 2020 das Deichüberströmen unterbunden sein.

Die Maßnahmen bewirken in 2002 kaum eine Veränderung der Scheitelabflüsse gegenüber 1995; die Maßnahmen wirken nur einzeln, nicht zusammen. Erst in 2020 mit den realisierten Maßnahmen in NRW und „Raum für den Fluss“ in den Niederlanden zeigt sich eine geringe Reduzierung der Abflussscheitelwerte.

Diese Reduzierung hat aber keine zusätzliche Bedeutung bzgl. der Hochwassersicherheit, da die Deiche in 2020 auch ohne Maßnahmen bei diesem Hochwasser nicht überströmen würden.

Da sich ergänzend die Maßnahmenkombination 2020_NRW_NL bei den deutlichen größeren Hochwassern (vgl. folgende Abbildungen) kaum noch auswirkt, ist diese Maßnahmenkombination eher negativ zu bewerten.

Aus diesem Grunde sind in einem weiteren Szenario die Maßnahmen für größere Hochwasser optimiert worden. Die so gewählte Maßnahmenkombination 2020_NRWMAX_NL entfaltet dann in 2020 auf das hier betrachtete Hochwasser 1995 keine Wirkung mehr. Eine Wirkung ist aber auch nicht streng gefordert, weil die Abflussscheitel dieses Ereignisses durchgehend unterhalb des HQ_{100} sind.

3.2.2 *Hochwasser etwa im Bereich von HQ_{100} (HW457)*

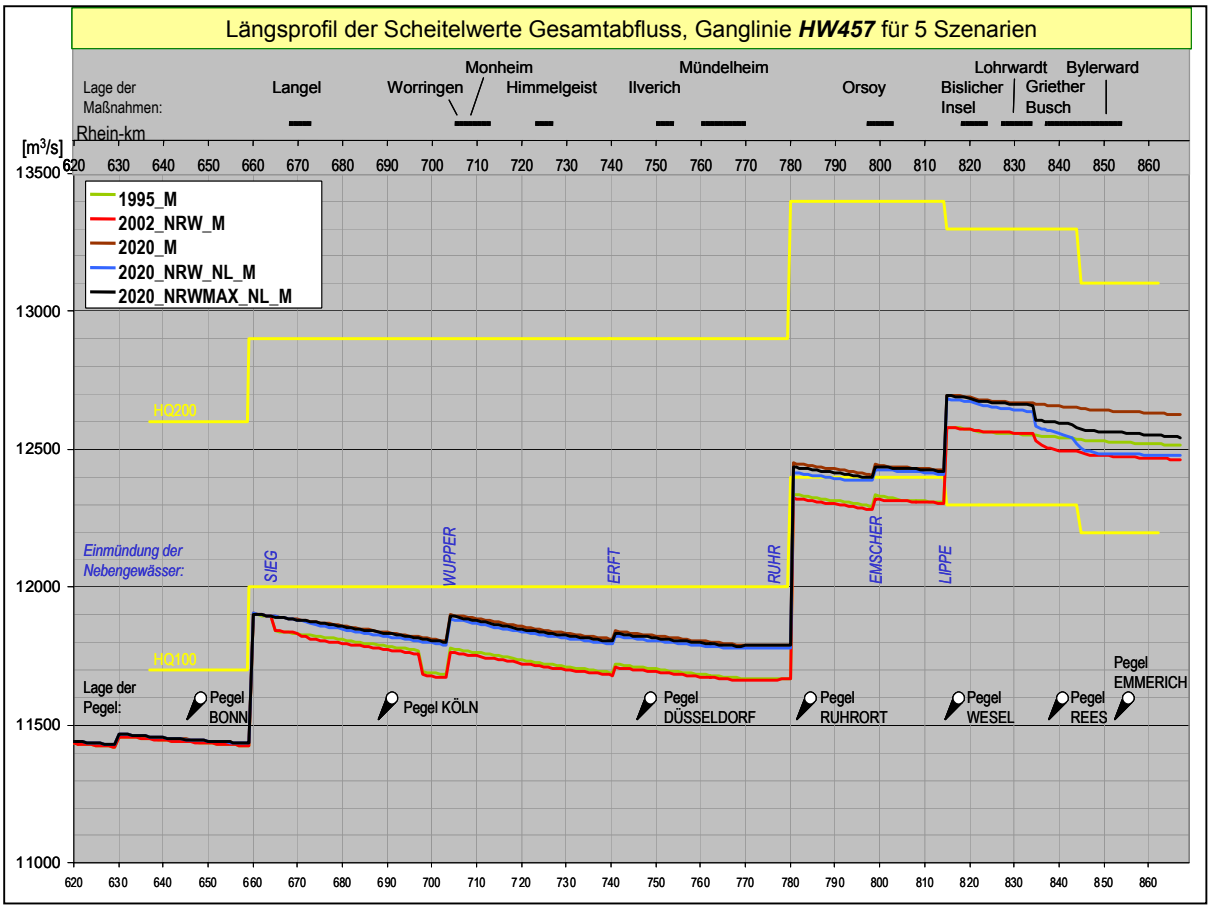


Abbildung 3-4: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW457 (im Bereich von HQ_{100}) für 5 Szenarien

Die Abbildung 3-4 zeigt im Längsprofil die Abflussscheitelwerte des betrachteten Niederrheinabschnittes ab Rhein-km 620 für die Ganglinie des Hochwasser HW457 (etwa im Bereich von HQ_{100}) für vier verschiedene Szenarien.

Für das hier betrachtete Hochwasser zeigen sich für die Bezugsjahre 1995 und 2002 kleinere Überströmungen der Hochwasserschutzanlagen etwas unterhalb der Sieg- und oberhalb der Wuppermündung. Diese Überflutungen treten nach Anpassung der Deichhöhen an das Bemessungshochwasser in 2020 nicht mehr auf. Das Bemessungshochwasser im betroffenen Bereich ist HQ_{200}.

Eine Beeinflussung der Scheitelabflüsse dieser Ganglinie HW457 durch hochwasserreduzierende Maßnahmen findet erst unterhalb km 830 statt. Für das Szenario 2020_NRWMAX_NL_M ist dieser Effekt am geringsten, weil hier die Maßnahmenwirkung auf das Bemessunghochwasser ausgelegt ist, welches in dem Bereich HQ_{500} liegt.

3.2.3 *Hochwasser etwa im Bereich von HQ200 (HW846)*

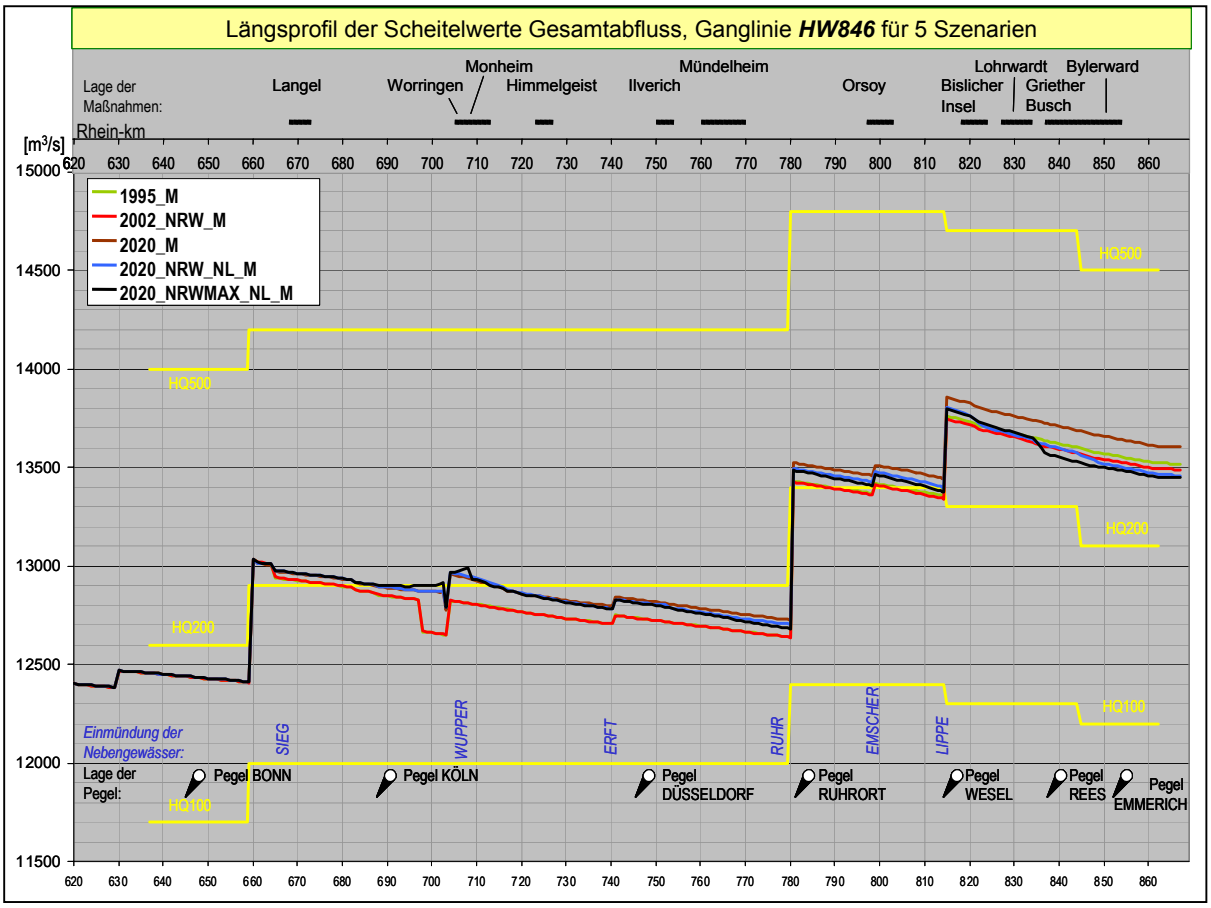


Abbildung 3-5: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW846 (im Bereich von HQ_{200}) für 5 Szenarien

Die Abbildung 3-5 zeigt im Längsprofil die Abflussscheitelwerte des betrachteten Niederrheinabschnittes ab Rhein-km 620 für die Ganglinie des Hochwassers HW846 (etwa im Bereich von HQ_{200}) für vier verschiedene Szenarien.

Auch für das hier betrachtete Hochwasser zeigen sich für die Bezugsjahre 1995 und 2002 kleinere Überströmungen der Hochwasserschutzanlagen etwas unterhalb der Sieg- und oberhalb der Wuppermündung. Diese Überflutungen treten nach Anpassung der Deichhöhen an das Bemessungshochwasser in 2020 nicht mehr auf. Das Bemessungshochwasser im betroffenen Bereich ist HQ_{200}.

Eine Beeinflussung der Scheitelabflüsse dieser Ganglinie HW846 durch hochwasserreduzierende Maßnahmen findet im Sichtjahr 2020 für die Variante NRWMAX_NL bereits im Bereich Worringen/Monheim statt, weil hier der Einlauf des Retentionsraumes Worringen auf das Bemessunghochwasser HQ_{200} optimiert wurde.

Für das Szenario 2020_NRWMAX_NL_M ergibt sich im Bereich von km 835 noch ein kleiner Effekt auf den Abflussscheitel. Hier ist die Realisierung der Flutmulde im Bereich Rees als Ursache identifizierbar.

Neben der Auswirkungen auf den Scheitelabfluss sind aber auch die Wasserstandsbeeinflussungen zu beachten, denn oft ergeben sich durch Aufweitungen des Abflussquerschnittes (auch) Fließgeschwindigkeitserhöhungen, die sich weniger auf den Abfluss, sondern mehr auf den Wasserstand auswirken. Hierzu wird auch auf das Kapitel 4 dieses Berichtes verwiesen.

3.2.4 *Hochwasser etwa im Bereich von HQ_{500} (HW036)*

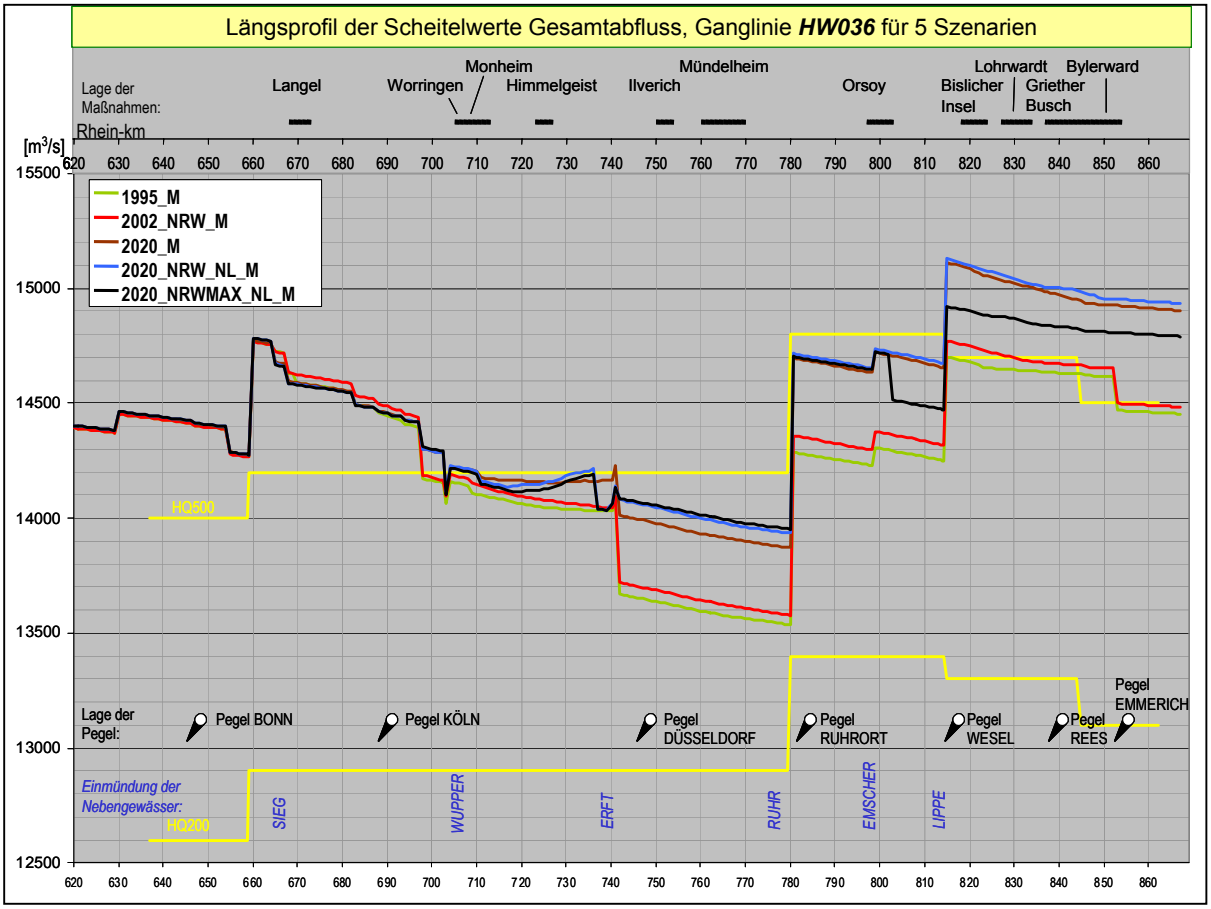


Abbildung 3-6: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW036 (im Bereich von HQ_{500}) für 5 Szenarien

Die Abbildung 3-6 zeigt im Längsprofil die Abflussscheitelwerte des betrachteten Niederrheinabschnittes ab Rhein-km 620 für die Ganglinie des Hochwasser HW036 (etwa im Bereich von HQ_{500}) für vier verschiedene Szenarien.

Für das hier betrachtete Hochwasser treten Überströmungen der Hochwasserschutzanlagen bereits oberhalb der Siegmündung auf. Diese Überflutungen finden statt bis etwas unterhalb der Erftmündung. Nach Anpassung der Deichhöhen an das Bemessungshochwasser sind diese Überströmungen allerdings weniger stark. Es findet daher eine geringere Minderung des Abflussscheitels unterhalb der Überströmungen statt.

Für das Szenario NRWMAX_NL im Sichtjahr 2020 findet sich eine Wirkung der Maßnahme Orsoyer Rheinbogen wieder (schwarze Linie in o.a. Grafik). Diese Wirkung ist spezifisch für diese Ganglinie, weil die Maßnahme für das Bemessunghochwasser optimiert wurde. Das Bemessungshochwasser im betroffenen Bereich ist HQ_{500}.

Die bereits in Abbildung 3-2 (oben) diskutierte Überströmung der Hochwasserschutzmauer in Emmerich ist auch für die Sichtjahre 1995 und 2002 zu beobachten. Diese Überströmung tritt in 2020 nach Anpassung der Höhe der Mauer nicht mehr auf.

Das geringere Deichüberströmen in 2020 wird trotz verbesserter Maßnahmenwirkung zu einer leichten Erhöhung der Scheitelabflüsse für dieses Szenario führen, jedoch innerhalb des Freibordes der Hochwasserschutzanlagen verbleiben.

3.2.5 *Hochwasser mit dem höchsten Abfluss der betrachteten Szenarien (HW824)*

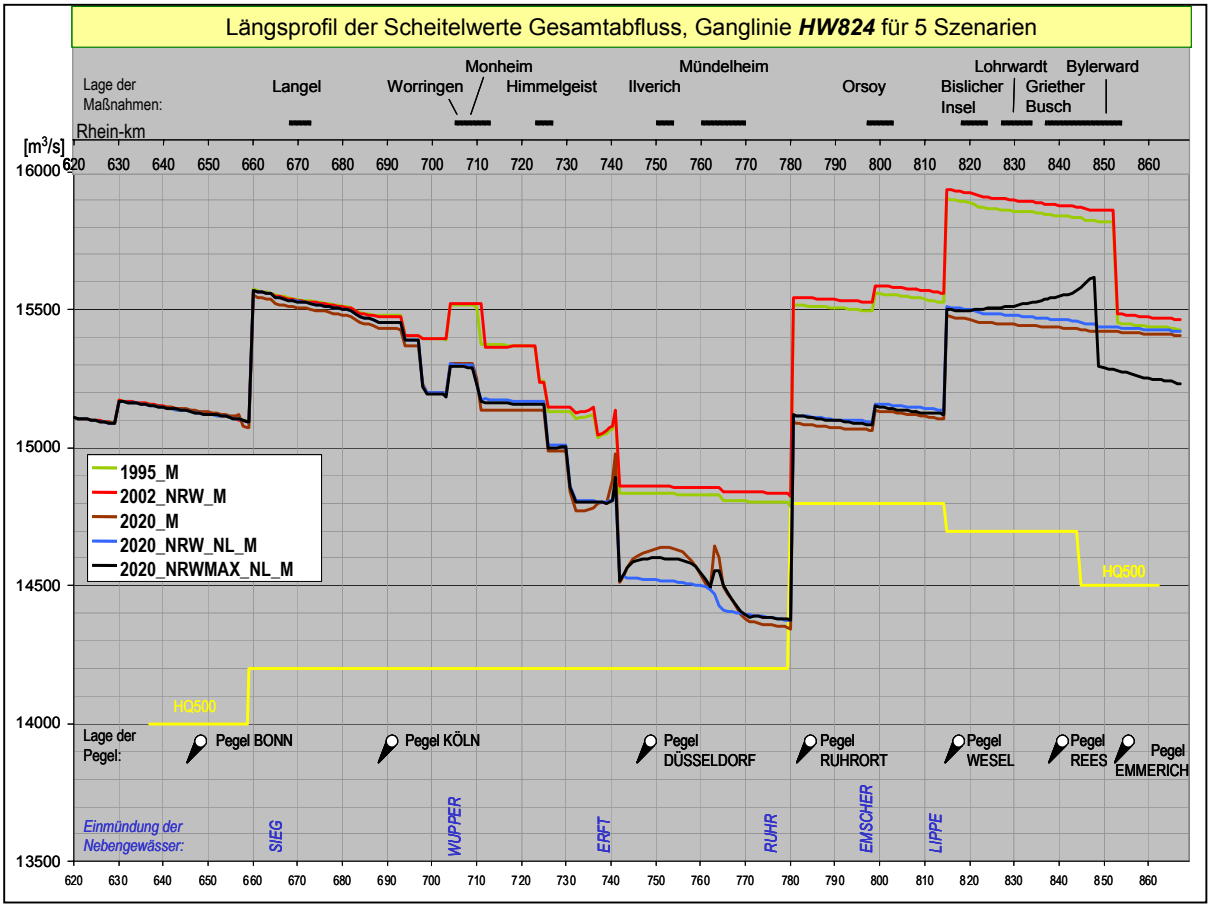


Abbildung 3-7: Längsprofil der Abflussscheitelwerte für Ganglinie HW824 (im Bereich größer HQ_{500}) für 5 Szenarien

Die Abbildung 3-7 zeigt im Längsprofil die Abflussscheitelwerte des betrachteten Niederrheinabschnittes ab Rhein-km 620 für die Ganglinie des Hochwassers HW824 (größer als HQ_{500}) für vier verschiedene Szenarien.

Auch für das hier betrachtete Hochwasser treten Überströmungen der Hochwasserschutzanlagen bereits oberhalb der Siegmündung auf. Diese Überflutungen finden statt bis etwas oberhalb der Ruhrmündung.

Nach Anpassung der Deichhöhen an das Bemessungshochwasser sind diese Überströmungen allerdings weniger stark, treffen aber für diese Ganglinie sehr gut den Scheitelbereich, so dass für das Sichtjahr 2020 eine stärkere Minderung des Abflussscheitels unterhalb der Überströmungen stattfindet.

Für das Szenario NRWMAX_NL im Sichtjahr 2020 findet sich die Wirkung der Maßnahme Bylerward wieder (schwarze Linie in o.a. Grafik). Diese Wirkung ist spezifisch für diese Ganglinie, weil die Maßnahme für das Bemssunghochwasser optimiert wurde. Das Bemessungshochwasser im betroffenen Bereich ist HQ_{500}.
Der Abflussscheitelanstieg im Bereich oberhalb von Bylerward ist auf die höhere Fleißgeschwindigkeit infolge des Einströmens in den Retentionsraum zurückzuführen. Dies ist nicht mit Wasserstandsanstieg verbunden. Die Scheitelreduzierung unterhalb kann für eine noch etwas höhere Ganglinie die wichtigen Zentimeter für die Hochwasserschutzmauer in Emmerich bedeuten.

Die bereits in Abbildung 3-2 (oben) diskutierte Überströmung der Hochwasserschutzmauer in Emmerich ist auch für die Sichtjahre 1995 und 2002 zu beobachten. Sie tritt bei der hier betrachteten Ganglinie besonderes ausgeprägt auf. Diese Überströmung tritt für diese Ganglinie in 2020 nach Anpassung der Höhe der Hochwassermauer nicht mehr auf.

4 Numerische Darstellung (Wasserstand)

Die Betrachtung der Scheitelabflüsse ist zur Beschreibung der hydraulischen Vorgänge ein probates Mittel. Wichtig ist aber bei hochwasserreduzierenden Maßnahmen die Absenkung des Wasserstandes vor allem im Scheitelbereich. Deshalb soll die Wirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen auf die Scheitelwasserstände entlang des Niederrheins dargestellt werden. Hierzu wurden die für jedes Profil im 1D-modell (DSS/SOBEK) berechneten maximalen Wasserstände eines Szenarios mit Maßnahmen in Bezug gesetzt zum Szenario des entsprechenden Sichtjahres ohne Maßnahmen.

Die Ergebnisse folgender 4 Szenarien werden mit Bezug zum Rechenlauf „ohne Maßnahmen“ dargestellt, um die Auswirkungen der hochwasserreduzierenden Maßnahmen zu beschreiben:

Tabelle 4-1: Szenarien zur Beschreibung Auswirkung der hochwasserreduzierenden Maßnahmen

	Szenario	**Beschreibung**
1	2020_NRW_M	Realisierung der NRW-Rückhalteräume
2	2020_NRW_NL_M	Realisierung der NRW-Rückhalteräume UND NL-Raum für den Fluss
3	2020_NRWMAX_M	Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung
4	2020_NRWMAX_NL_M	Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung UND NL-Raum für den Fluss

Die Berechnungen ergaben, dass die Zustandsvariante mit realisierten, aber optimierten NRW-Maßnahmen, mit einer Beseitigung der Abflusshindernisse und einer Realisierung der NL-Maßnahmen Raum für den Fluss (Szenario 2020_NRWMAX_NL_M) die größte wasserstandsreduzierende Wirkung hat. Dies ist vor allem auf die wechselseitige Beeinflussung der Maßnahmen und der vergleichsweise großen Auswirkungen der Beseitigung von Abflusshindernissen, aber auch auf die Optimierung von Maßnahmen zurückzuführen.

Die folgenden Grafiken (Abbildung 4-1 bis Abbildung 4-4) zeigen im Längsprofil die reduzierende Wirkung auf den Scheitelwasserstand der in den o.a. Szenarien genannten Maßnahmen für die 8 synthetischen Ganglinien und das Hochwasser von 1995.

Für das Sichtjahr 2002 lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Wirkung bezogen auf die Wasserstandsenkung in Lobith mit etwa 3 cm maximaler Wasserstandssenkung eher gering ist. Für dieses Sichtjahr wird angenommen, dass 6 Wasserstandsvermindernde Maßnahmen bereits realisiert sind:

- die Deichrückverlegungen Monheim, Mündelheim und Orsoy Land,
- Köln Langel und Lohrwardt, die beide im unteren Abflussbereich als ungesteuerter Retentionspolder wirken, bei weiter ansteigenden Wasserständen bzw. Abflüssen jedoch durchflossen werden und somit einen erhöhten Durchfluss ermöglichen, sowie
- Bislicher Insel, ein Sommerpoldersystem, das faktisch als ungesteuerter Retentionspolder funktioniert.

Für alle Berechnungen gilt, dass die maximale wasserstandsreduzierende Wirkung im Nahbereich der Maßnahmen selbst festzustellen ist, sich aber nach unterhalb schnell wieder verliert. Ursache für das ebenfalls zu beobachtende langsame Abklingen der Wirkung stromaufwärts ist die Vergrößerung des Abflussquerschnittes im Bereich der Maßnahme, die bei gleichen (oder höheren) Durchflüssen zu niedrigeren Wasserständen führt. Eine Wasserstandsreduzierung bewirkt nach oberhalb ein höheres Energieliniengefälle, welches wiederum erhöhte Fließgeschwindigkeit bewirken kann. Auch dieser Effekt führt dazu, dass bei gleichen oder sogar etwas höheren Abflüssen eine Wasserstandsreduzierung eintritt.

Lokale Vergrößerungen des Durchflussprofils z.B. durch Deichrückverlegungen, bewirken häufig - in Fließrichtung betrachtet - zum Ende der Maßnahme eine Verengung des Profils. Im Übergang zur vorhandenen Deichlinie kann es dabei zu einem kleinen Aufstau kommen. Deshalb kommt es unmittelbar unterhalb der Maßnahmen Köln-Langel, Monheim, Mündelheim und Lohrwardt zu höheren Wasserständen.

Alle Maßnahmen entfalten ihre größte Wirkung bei den größeren Hochwässern und im gesamten Spektrum der untersuchten Hochwässer. Einzige Ausnahme ist die Maßnahme Monheim. Hier bewirkt der relativ hohe Leitdeich, dass erst bei höheren Abflüssen der geschaffene Retentionsraum auch durchflossen wird und erst dann zu einer deutlichen Wasserstandsreduzierung führt. Eine Wirkung der Maßnahmen Orsoy Land und Bislicher Insel ist nicht eindeutig zu erkennen, da sie relativ klein ist und sich stark mit der der Maßnahme Lohrwardt überlappt.

Die grenzüberschreitende Wirkung der wasserstandsreduzierenden Maßnahmen in NRW im heutigen Zustand (2002) ist äußerst gering, Maßnahmen in den Niederlanden sind noch nicht verwirklicht.

4.1 Szenario 2020_NRW_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume)

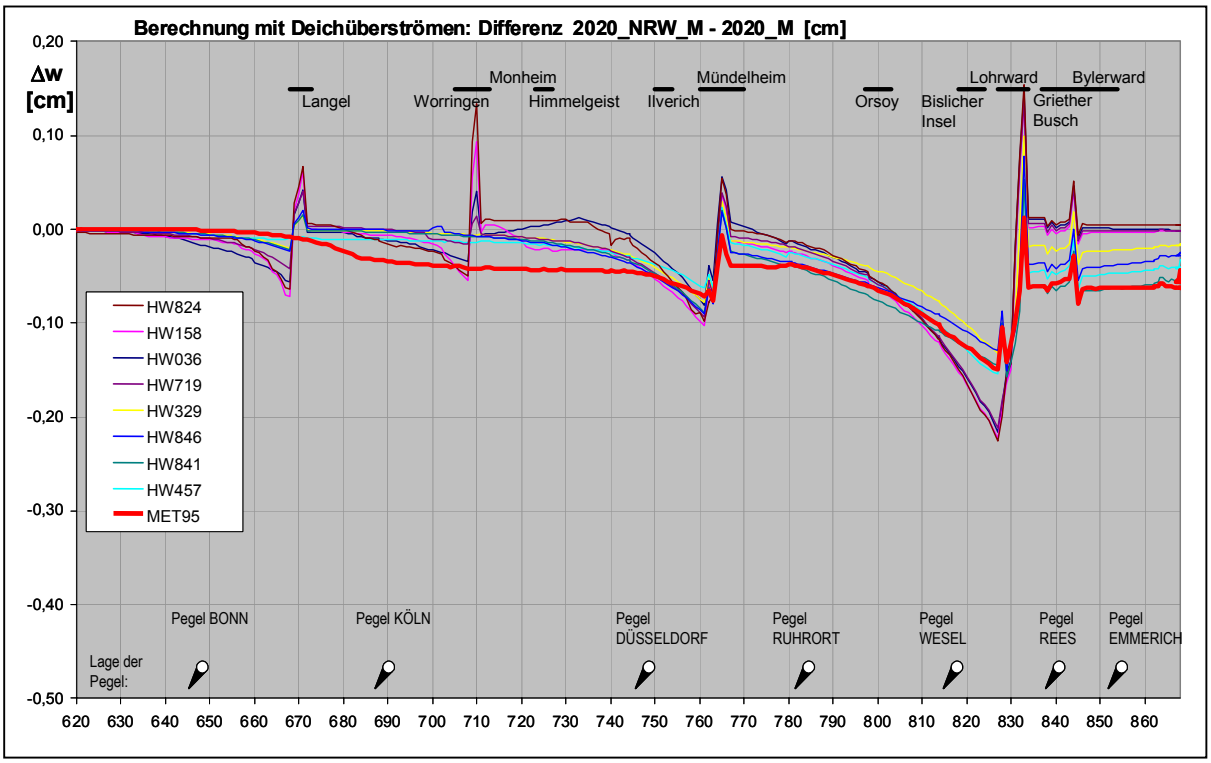


Abbildung 4-1: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRW_M zu 2020_M

Insgesamt sollen bis 2020 11 hochwasserreduzierende Maßnahmen realisiert sein (kleinere, sehr lokale Maßnahmen werden hier nicht mitgezählt):

- die bereits 2002 realisierten Deichrückverlegungen Monheim, Mündelheim und Orsoy Land, und die bis 2020 zusätzlich zu realisierende Deichrückverlegung Itter-Himmelgeist,
- die gesteuerten aber nicht durchströmten Rückhaltepolder Worringer Bruch, Ilvericher Bruch und Bylerward (bis 2020 noch zu realisieren),
- die bereits realisierten Maßnahmen Köln Langel und Lohrwardt, die beide im unteren Abflussbereich als ungesteuerter Retentionspolder wirken, bei weiter ansteigenden Wasserständen bzw. Abflüssen jedoch durchflossen werden und somit einen erhöhten Durchfluss ermöglichen sowie
- die beiden Maßnahmen Bislicher Insel (bereits verwirklicht) und Griether Busch (bis 2020 zu realisieren), beides Sommerpoldersysteme, die faktisch wie ungesteuerte Retentionspolder wirken.

Es fällt auf, dass sich die Wirkungen der Einzelmaßnahmen so stark überschneiden, dass ihre Einzelwirkungen kaum noch zu erkennen sind. Lediglich die Maßnahmen Köln-Langel, Monheim, Mündelheim, Lohrwardt und Griether Busch sind wegen ihres aufstauenden Effektes unmittelbar unterhalb der Maßnahmen als Folge der Verengung des Durchflussprofils zu erkennen.

Die Maßnahmen, die vor allem durch ihre Vergrößerung des durchflossenen Profils wirken (Lohrwardt, Mündelheim, Monheim und Köln-Langel) beeinflussen die größeren Extremhochwässer HW824 und HW158 mehr als die kleineren. Die Retentionspolder Worringen, Ilverich und Bylerward dagegen beeinflussen vor allem (bzw. ausschließlich) die kleineren Hochwässer MET95 und HW457. Dadurch wird das Hochwasser MET95 im gesamten Längsprofil relativ gleichmäßig durch alle Maßnahmen beeinflusst. Für große Strecken des Niederrheins könnte man die Feststellung treffen, dass das für 2020 geplante System von hochwasserreduzierenden Maßnahmen auf Hochwässer der Größenordnung, wie es 1995 aufgetreten ist, abgeregelt ist. Dieses – 1995 sicherlich subjektiv als „großes Hochwasser“ empfundene – ist allerdings in allen Bereichen des Niederrheins deutlich unterhalb der Bemessungsabflüsse HQ_{200} bzw. HQ_{500} einzuordnen. Es ist daher zu prüfen, ob eine Abstimmung auf dieses Hochwasser tatsächlich sinnvoll ist.

Allein das spätere Füllen der Retentionspolder Köln-Langel, Worringer Bruch, Ilvericher Bruch und Bylerward sowie der Einsatz eines weiteren Retentionspolders bei Orsoy und die gezielte Entfernung hydraulischer Engpässe im Bereich Bislicher Insel versprechen bereits eine effektivere Reduzierung der Scheitelwasserstände bei größeren Hochwässern. Für die kleineren Hochwässer bedeutet dies jedoch eine Verringerung der Wirkung.

4.2 Szenario 2020_NRW_NL_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume UND NL-Raum für den Fluss)

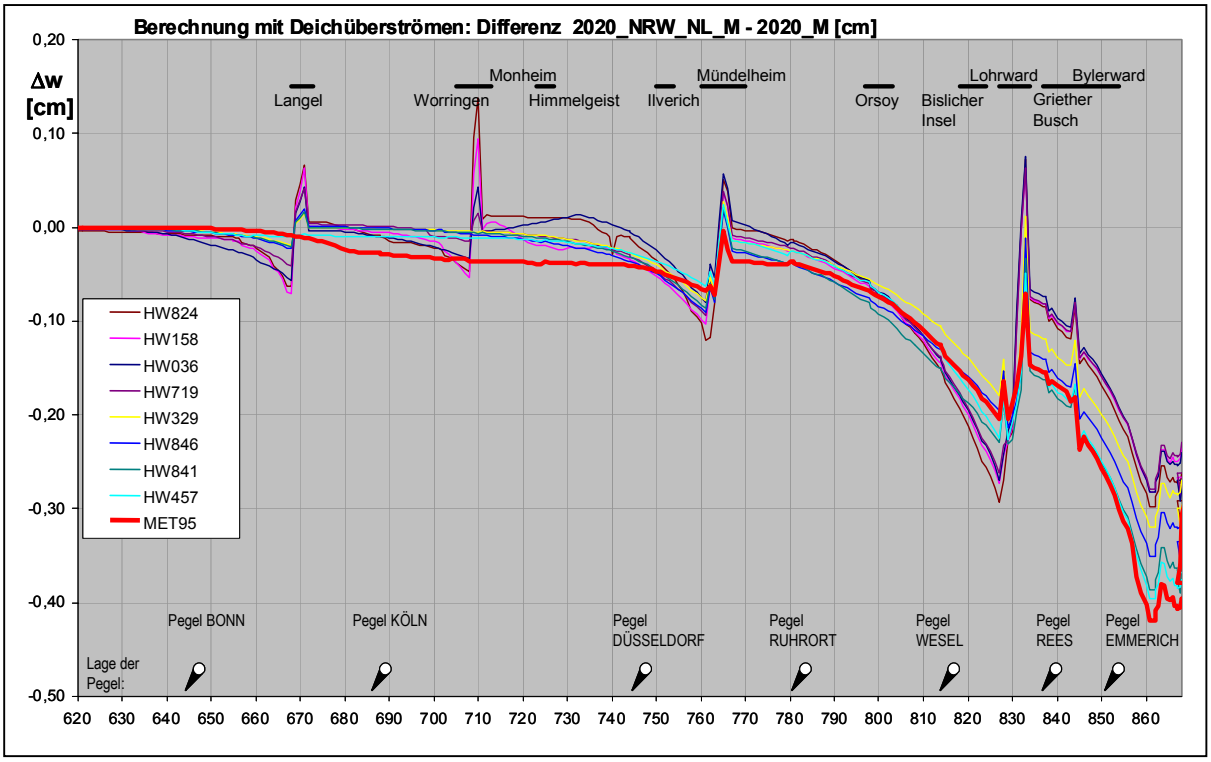


Abbildung 4-2: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRW_NL_M zu 2020_M

Wie aus Abbildung 4-2 ersichtlich wird, wirken sich die Maßnahmen in den Niederlanden deutlich nach Deutschland aus. Allein die Erhöhung der Abflusskapazität um 1000 m^3/s durch wasserstandsreduzierende Maßnahmen, ohne die Deiche zu erhöhen, führt zu einer Verringerung des Wasserstandes von ca. 30 cm an der Grenze.

Ergänzend mit den geplanten Maßnahmen in NRW betrachtet sind etwa 40 cm Reduzierung maximal erreichbar, allerdings für das Hochwasser 1995 und nicht für die größeren Hochwasser. Die Wirkung nimmt allmählich stromauf ab, und lässt sich bei Stromkilometer 810 nicht mehr nachweisen.

4.3 Szenario 2020_NRWMAX_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung)

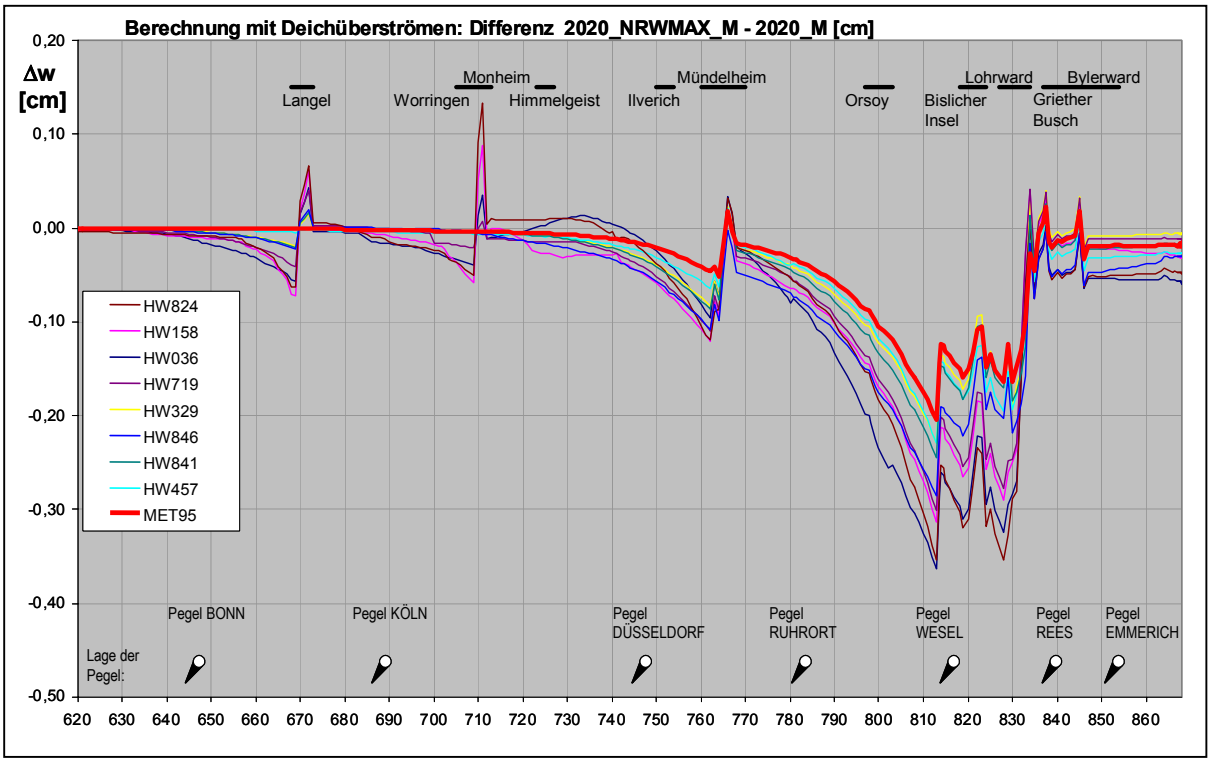


Abbildung 4-3: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRWMAX_M zu 2020_M

Diese weitgehend auf den Bemessungsabfluss abgestimmte Variante der NRW-Maßnahmen, ergänzt durch einige zusätzliche Maßnahmen bei Orsoy und Bislich erlaubt deutlich stärkere Wasserstandsreduzierungen als im derzeit geplanten Zustand. Die maximalen Reduzierungen werden für die extremen Hochwasser erreicht, während die Auswirkungen auf das 1995er-Hochwasser geringer sind.

Als Maßnahmen sind in der Variante NRWMAX integriert:

- „Optimierung“ der Retentionspolder Langel, Worringen, Ilvericher Bruch 1+2 und Bylerward
- Einbeziehung des weiteren Retentionsraumes Orsoyer Rheinbogen (km 802 – 804,8)
- Beseitigung der alten Brücke Wesel (km 813,5 – 814,0)
- Bislicher Insel mit 5 Einzelmaßnahmen:
  - Beseitigung Querriegel 1 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel 2 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 821,7)
  - Beseitigung Querriegel Postdeich (rechtsrheinisch, km 821,4)
  - Beseitigung Rampe Wirtshaus Rose (rechtsrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel Melkstall (rechtsrheinisch, km 824,8)
- Reeser Schanz (Flutmulde km 834,8 – 838,0),
- Flügeldeich Oberwörmter bereits über Grietherbusch in „2020“ enthalten.

4.4 Szenario 2020_NRWMAX_NL_M (Realisierung der NRW-Rückhalteräume mit Optimierung und Abflusshindernisbeseitigung UND NL-Raum für den Fluss)

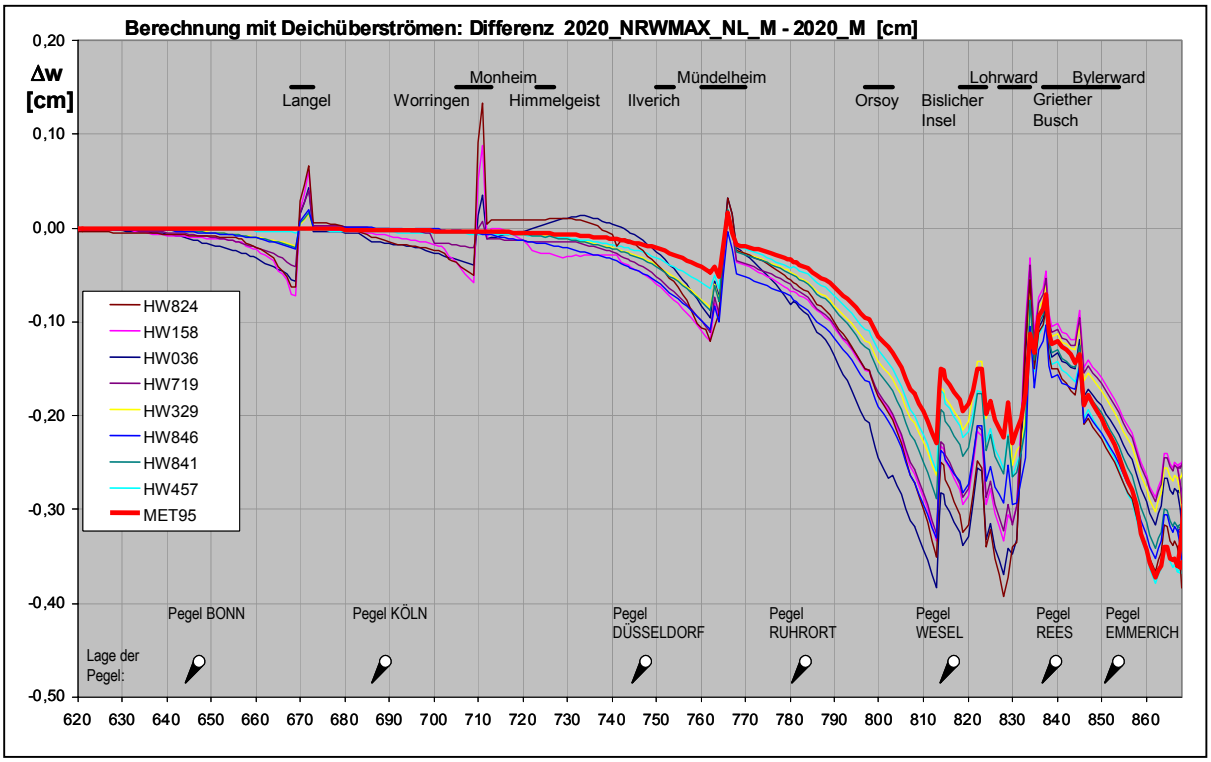


Abbildung 4-4: Wasserstandsdifferenzen der Szenarien 2020_NRWMAX_NL_M zu 2020_M

Beim Szenario mit Optimierung der NRW-Maßnahmen fällt auf, dass die Ganglinie MET95 oberhalb von Mündelheim keine Beeinflussung im Wasserstand durch die Maßnahmen erfährt. Dies bedeutet, dass die Optimierung für große Hochwasser (hier: das Bemessungshochwasser) zu relativ negativen Beeinflussung von kleineren Hochwassern (hier: Ganglinie des Hochwasser 1995) führen kann.

Weiterhin wird deutlich, dass die Optimierung vor allem zwischen der Maßnahme Orsoy-Land und der Bislicher Insel auf einer größeren Strecke eine Wasserstandsreduzierung von mehreren Dezimetern bringen kann, die um so größer ausfällt, je höher der Hochwasserscheitel des betrachteten Hochwasser ist.

Die Einschnürungseffekte, die in Fließrichtung betrachtet zum Ende von Maßnahmen auftreten können, sollten ggf. 2-D-hydraulisch näher untersucht werden, um deren Auswirkungen numerisch exakt aufzuzeigen.

Das Zusammenwirken der Maßnahmen auf beiden Seiten der Grenzen wird durch die Abbildung 4-4 besonders deutlich, denn nur so sind die Wasserstandsreduzierungen, vor allem im grenznahen Bereich zu maximieren.

Welche Relevanz dieser grenzüberschreitende Effekt der Maßnahmen in NRW und den Niederlanden hat, zeigt die Betrachtung der Hochwassermauer in Emmerich. Hier wird deutlich, dass nicht nur die Maßnahmen in NRW mit einigen cm sondern besonders auch diejenigen in den Niederlanden mit 20 bis 30 cm Reduzierung des Scheitelwasserstandes einen wichtigen Beitrag liefern, um ein Überströmen der Hochwassermauer in Emmerich zu verhindern. Bei möglichem, zusätzlichem Einsatz grenznaher Rückhaltemaßnahmen in den Niederlanden ist mit einer weiteren Reduzierung der Scheitelwasserstände zu rechnen. Maßnahmen in den Niederlanden können also auch einen Beitrag liefern, grenzüberschreitende Überflutungen hinter den Deichen zu verhindern.

5 Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die Ganglinienform

Unter Berücksichtigung des Deichüberströmens zeigen die beiden folgenden Abbildungen Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 beispielhaft die Ganglinien von drei Hochwasserwellen bei km 817 und km 860 für jeweils drei Maßnahmenkombinationen: Referenz (keine Maßnahmen), nur NRW-Maßnahmen (geplant) sowie das Szenario maximierte NRW-Maßnahmen und Raum für den Fluss in den Niederlanden, jeweils für das Sichtjahr 2020.

Tabelle 5-1: Genutzte Szenarien Kombinationen für die Analyse der Auswirkungen auf die Ganglinienform

	MET95	HW457	HW824
2020_M	X	X	X
2020_NRW_M	X	X	X
2020_NRWMAX_NL_M	X	X	X

Abbildung 5-1 zeigt, dass Maßnahmen oberhalb Rhein-km 817 einen kleinen Einfluss auf die Ganglinie des 1995er-Hochwassers bei Rhein-km 817 haben und dieses recht genau im Scheitel mindern, allerdings nur im Szenario „nur NRW-Maßnahmen“ (2020_NRW_M).

Die Maßnahmenkombination 2020_NRWMAX_NL führt zu keiner Beeinflussung der 1995er Ganglinie. Dies ist aber auch gar nicht erforderlich, weil die Wasserstände dieser Ganglinie auch unbeeinflusst nicht zu einem Deichüberströmen unterhalb km 710 führen.

Die Maßnahmen oberhalb haben nur eine geringe Wirkung auf die größeren Ganglinien, wie anhand der Ganglinien HW329 und vor allem HW824 gezeigt werden kann.

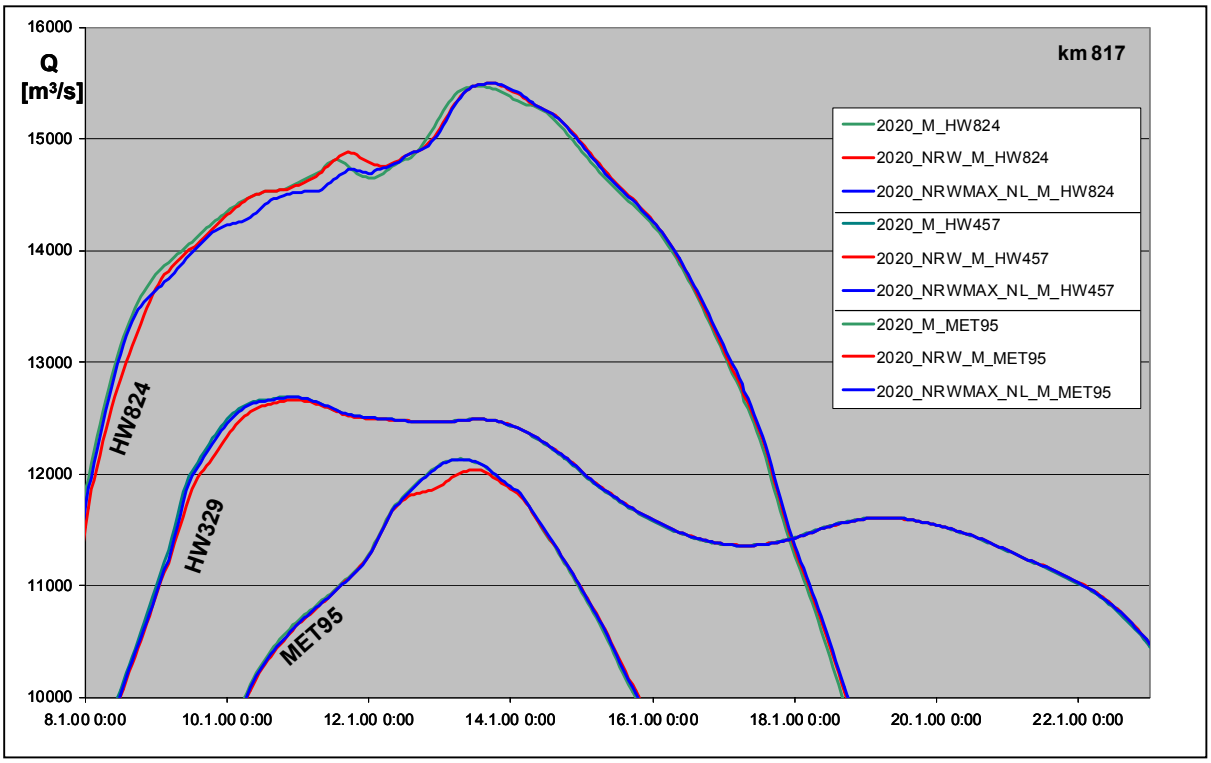


Abbildung 5-1: Vergleich von drei Ganglinien für drei Szenarien bei km 817

Kurz vor der D-NL-Grenze bei km 860 zeigt die folgende Abbildung 5-2, dass die Maximalvariante inklusive der Maßnahmen „Raum für den Fluss“ gerade bei der extrem großen Ganglinie HW824 eine Wirkung auf den Abfluss entfalten kann. Wesentlich ist hierbei die geänderte Schwelle von Bylerward, die optimiert für den Bemessungsabfluss deutlich angehoben wurde.

Das „Anspringen“ von Bylerward ist besonders bei den Ganglinien HW457 und beim 1995er-Hochwasser deutlich früher bei 10.500 m^3/s an der roten Linie zu erkennen. Die Ganglinie mit geänderter Steuerung zeigt erst bei 15.200 m^3/s, also nur beim HW824 Wirkung.

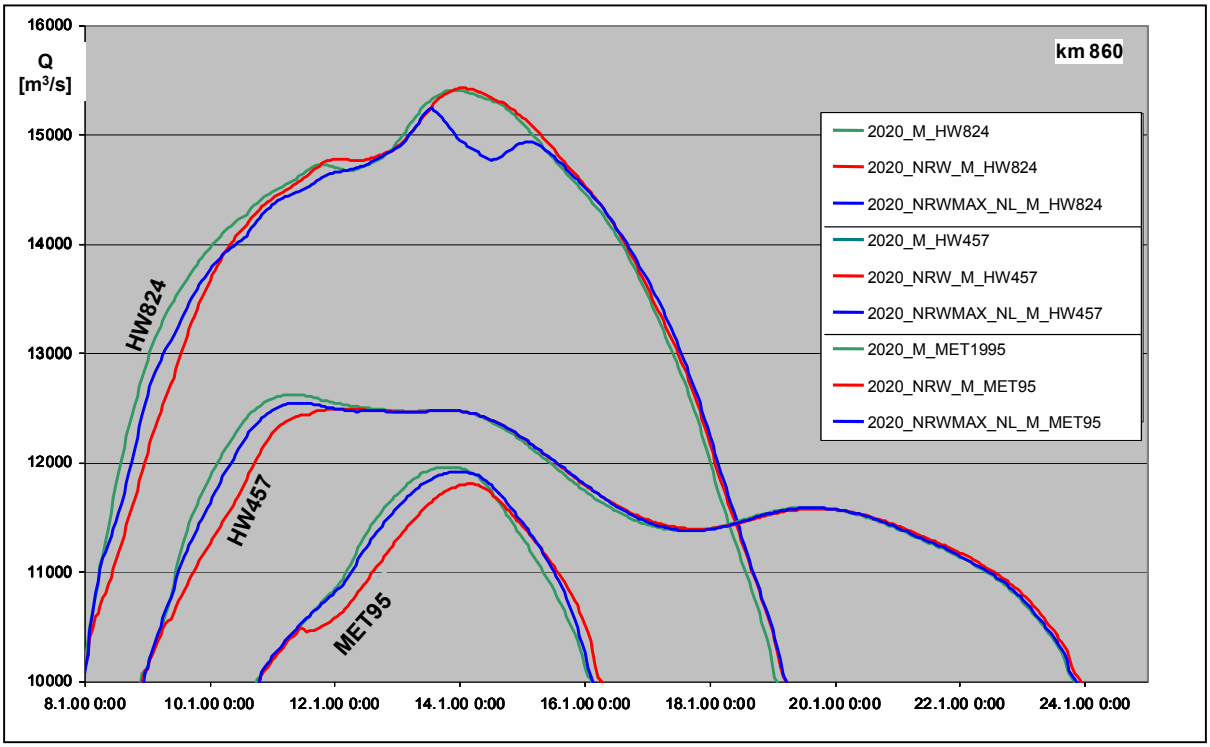


Abbildung 5-2: Vergleich von drei Ganglinien für drei Szenarien bei km 860

Im allgemeinen wird davon ausgegangen, dass sich die Dauer eines Hochwasserereignisses durch gezielte Rückhaltemaßnahmen und (ungewollte) Überflutungen verlängert. Dies ist besonders wichtig in Bezug auf die Belastung der Deiche durch hohe Wasserstände.

Abbildung 3-1 sowie Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 zeigen unterschiedliche Ganglinien für unterschiedliche Szenarien. Es wird deutlich, dass die Ganglinien durch das Deichüberströmen deutlich abgeflacht werden und im abfallenden Ast verlängert werden. Je nach betrachtetem Abflussniveau verlängert sich das Hochwasser um bis zu einem halben Tag, maximal einen Tag. Ursache hierfür ist, dass durch die Überflutungen Wasser erst verzögert wieder in den Rhein gelangen. Die Abbildungen machen jedoch auch deutlich, dass deutlich mehr Volumen im Scheitelbereich entzogen wird, als im ablaufenden Ast wieder hinzukommt. Dies ist dadurch zu erklären, dass ein großer Teil des Wassers nicht mehr in den Fluss zurückströmt, sondern hinter den Deichen verbleibt. In der Realität müsste man dieses Wasser durch gezielte Eingriffe in das System (Pumpen oder Deichöffnung) nach Ablauf des Hochwassers wieder dem Rhein zukommen lassen. Da dies aber erst nach Ablauf des Hochwassers geschehen würde ist mit keiner weiteren Verlängerung der Hochwasserganglinie zu rechnen.

Die hochwasserreduzierenden Maßnahmen haben einen vergleichbar geringen Einfluss auf die Ganglinien und spielen in Bezug auf die Verlängerung des Hochwassers keine Rolle.

Insgesamt ist die durch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen und vor allem durch die Überflutungen verursachte Verlängerung der Hochwasserwelle als gering zu beurteilen.

6 Bereich mit der größten wasserstands-reduzierenden Wirkung

Der Bereich mit der größten Wasserstandsreduzierung zeigt sich etwa bei km 828, das ist ungefähr im Anfangsbereich der Maßnahme Lohrward. Hier beträgt die Wasserstandsreduzierung

- für das Sichtjahr 2020,
- für das Szenario NRW-Maximalvariante UND NL-Raum für den Fluss,
- unter Berücksichtigung des Deichüberströmens,
- für die Ganglinie HW824
- im Profil bei Rhein km 828

etwa 40 cm (2020_NRWMAX_NL_M, HW824, Rhein-km 828).
In anderen Bereichen oder für andere Ganglinien ist die Reduzierung geringer.

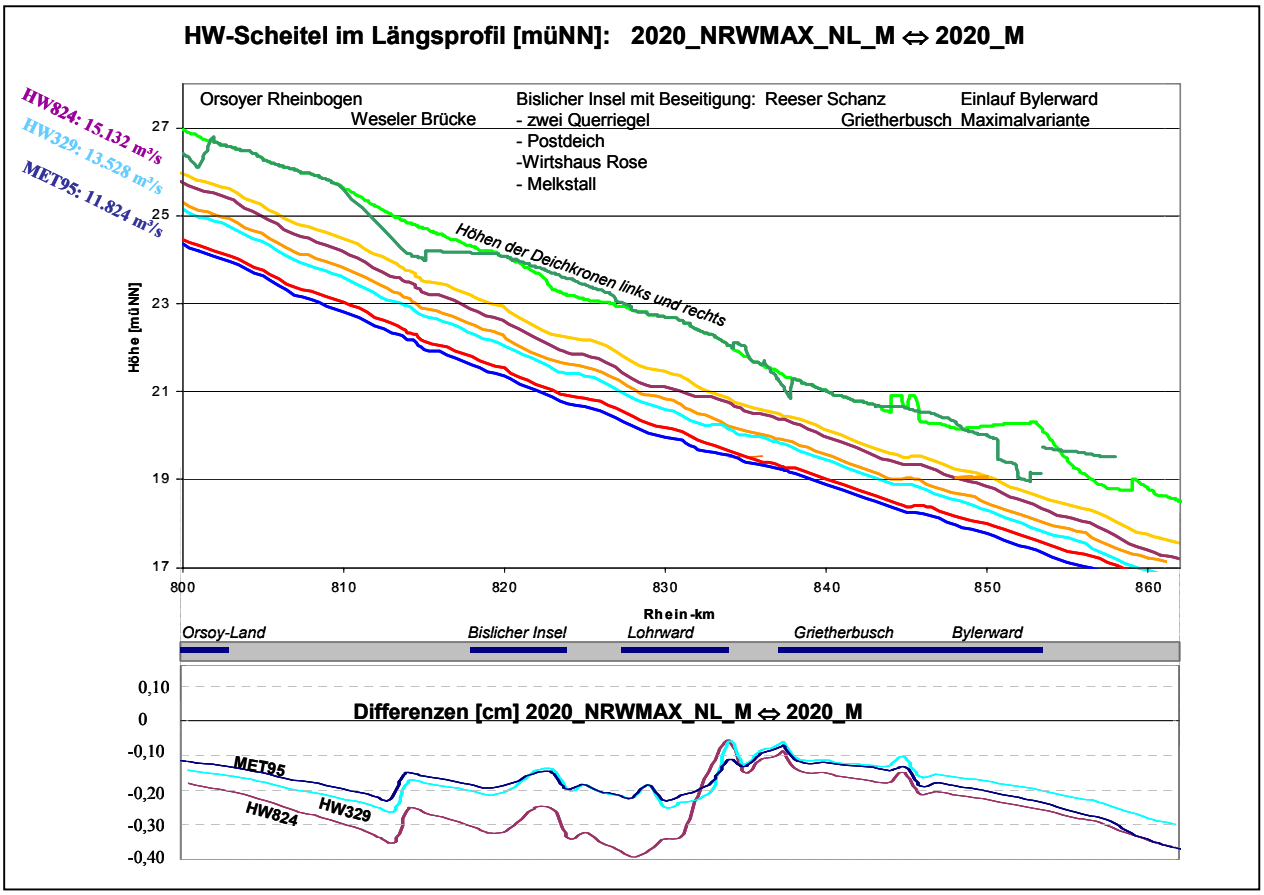


Abbildung 6-1: Detailbetrachtung der absoluten Wasserstände und der Differenzen für km 800-865

Bei der Betrachtung der Abflüsse in diesem Bereich (Abbildung 6-1) zeigt sich, dass bei km 828 die „kleineren“ Ganglinien des 1995er Hochwassers und HW329 kaum eine Veränderung erfahren, wenn die Maximalvariante inklusive Raum für den Fluss mit der Referenz verglichen wird.

Erst die besonders große Welle HW824 zeigt eine Veränderung. Neben der zeitlichen Verschiebung um einige Stunden nach hinten ist auch eine Erhöhung des Abflussscheitels in diesem Bereich der größten Wasserstandsreduzierung zu beobachten. Dieses Verhalten ist durch die Beseitung der Abflusshindernisse oberhalb (Brücke Wesel, Einzelmaßnahmen im Bereich Bislicher Insel) und die Aufweitung des Abflussquerschnittes in der Maßnahme selbst zu erklären. Die Vergrößerung des abflusswirksamen Querschnittes und das stärkere Energieliniengefälle führen zur Reduzierung des Wasserstands von etwa 40 cm bei km 828 trotz des leicht erhöhten Abflusses.

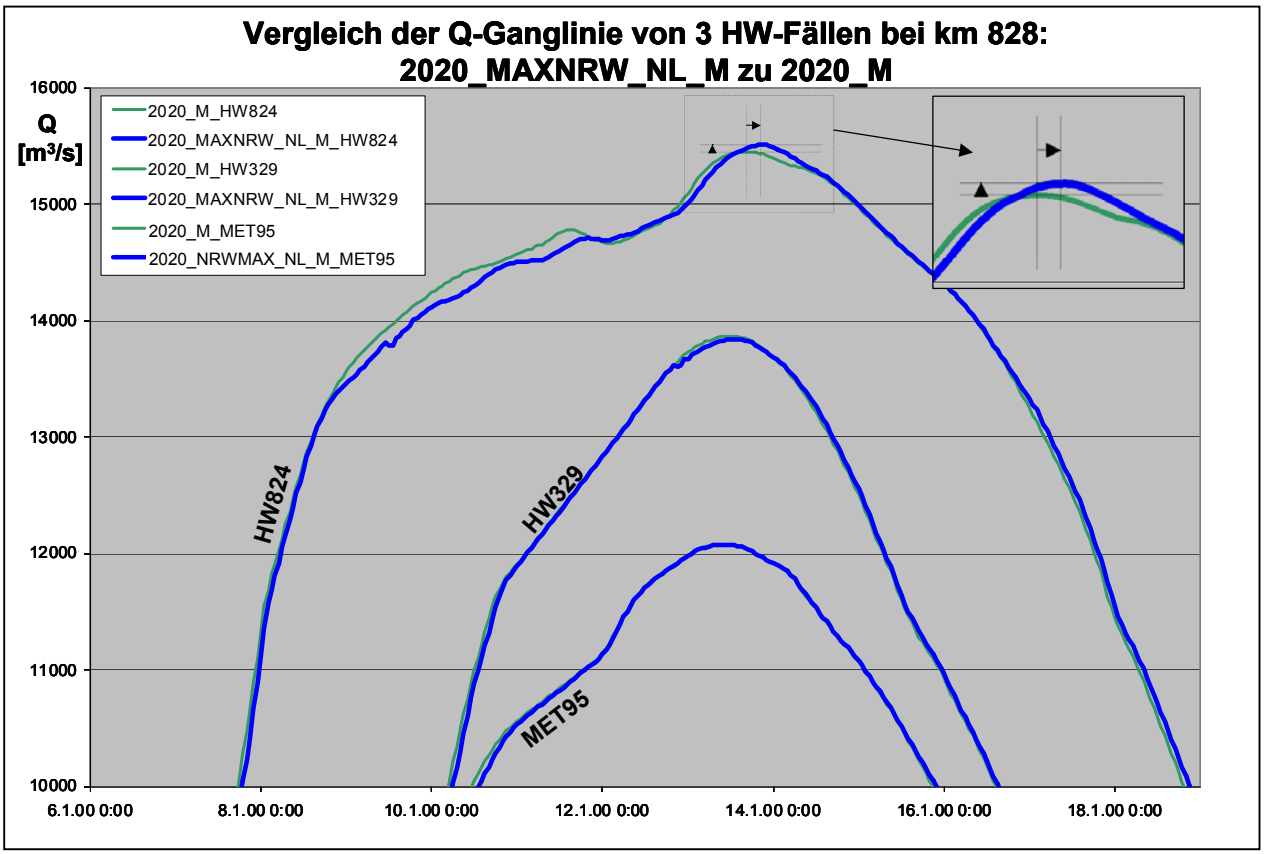


Abbildung 6-2: Vergleich der Abfluss-Ganglinien von 3 Hochwassern bei km 828

7 Bezug zum IKSR-Aktionsplan Hochwasser

Im Januar 1998 wurde von der 12. Rheinministerkonferenz der Aktionsplan Hochwasser der IKSR verabschiedet (IKSR, 1998). Eine der 4 Zielsetzungen dieses Aktionsplans ist die Reduzierung der Hochwasserstände bei extremen Abflüssen um 60 bis 70 cm. Nicht näher erläutert wird, was unter extremen Abflüssen zu verstehen ist und wo am Rhein die Wasserstandsreduzierung von 60 bis 70 cm erreicht werden soll. Die Wirkungsabschätzung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet des Rheins (IKSR, 1998), die dem Aktionsplan zu Grunde liegt lässt den Schluss zu, dass diese Zahl für den Pegel Lobith gelten soll. Dabei wird zugrunde gelegt, dass Maßnahmen entlang des Niederrheins einen Beitrag von 10 bis 30 cm Wasserstandsreduzierung liefern können und Maßnahmen in den Niederlanden 10 bis 20 cm (IKSR, 1997).

Die in dieser Studie ermittelte grenzüberschreitende Gesamtwirkung von wasserstandsreduzierenden Maßnahmen in NRW und den Niederlanden erreicht mit bis zu 40 cm Werte, die auch in der Wirkungsabschätzung genannt werden.

Um bei den dargestellten Auswirkungen einen Bezug zum IKSR-Aktionsplan Hochwasser von 1995 zu erhalten, bedarf es einer Vergleichsbasis. Diese ist durch den IKSR-Aktionsplan allerdings nicht unmittelbar gegeben, da dort

- zum zugrunde liegenden Hochwasser (historisch, synthetisch, HQx),
- zur Berechnungsart (stationär/instationär),
- zur Berücksichtigung der Auswirkung des Deichüberströmens und
- zum Ort, an dem eine Wirkung zu erzielen ist,

keine Angaben gemacht werden.

7.1 Auswirkung der Deichertüchtigung

Ein Vergleich auf Basis des Sichtjahres 1995 wird im Vergleich zu den dargestellten Wasserstanddifferenzen des Sichtjahres 2020 keinen Unterschied bzgl. der Auswirkung der (gewollten) hochwasserreduzierenden Maßnahmen ergeben, weil sich die Ausgangsbedingungen für die Berechnungen 1995_M und 2020_M nur dadurch unterscheiden, dass im Sichtjahr 1995 einige Deichstellen als nicht saniert, bzw. nicht angepasst enthalten sind. Dies führt dazu, dass im Sichtjahr 1995 die berechneten Ganglinien einen erhöhten Volumenverlust durch das Überströmen am südlichen Niederrhein erfahren und somit eine höhere Wasserstandsreduzierung ergeben, als beim Vergleich mit der Referenz des Sichtjahres 2020. Diese „höhere“ Wasserstandsreduzierung auf Basis von 1995 beim Vergleich jeweils mit den Referenzgrößen der Sichtjahre 1995 und 2020 wird also durch das (ungewollte) größere Überströmen von Deichen ausgelöst und nicht durch die (gewollte) Nutzung von Rückhaltebereichen.

Abbildung 7-1 zeigt den Vergleich der beiden Rechenläufe 1995_M und 2020_M als Differenz des Wasserstandes, in denen jeweils keine Maßnahmen, aber die unterschiedlichen Deichhöhen berücksichtigt werden. Die jeweiligen Scheitelabfluss-Längsprofile sind bereits zuvor in den Abbildungen im Kapitel 3 dargestellt.

Auffällig ist die Erhöhung der Wasserstände in drei Bereichen (km 665, 696 und 740). Dies sind die Abschnitte mit den großen Überflutungen (vergleiche Abbildung 3-2). Die erheblichen Anstiege der großen Hochwasser für das Sichtjahr 2020 sind damit zu erklären, dass durch die Deichsanierung der Wasserstand zwischen den Deichen höher ist als in 1995. Dass sich dann bei den sehr großen Hochwassern jenseits des Bemessungsabflusses einstellende Deichüberströmen wirkt sich wie zuvor geschildert in 2020 scheitelsenkender aus als in 1995.
Für die Ganglinie des Hochwassers 1995 zeigt sich nur eine unwesentliche Veränderung zwischen 1995 und 2020, weil dieses Hochwasser faktich nicht von den Veränderungen der Hochwasserschutzanlagen betroffen ist

7.2 Überlagerung der Auswirkungen des Deichüberströmens und der Maßnahmen

Abbildung 7-2 zeigt den theoretischen Vergleich der Wasserstände des Sichtjahres 1995 (ohne Maßnahmen) mit dem „besten“ Rechenlauf des Sichtjahres 2020 mit den optimierten NRW-Maßnahmen, der Beseitigung von Abflusshindernissen und der NL-Maßnahme Raum für den Fluss (also Szenario 1995_M mit 2020_NRWMAX_NL_M).

Es zeigt sich, dass die Differenz der Wasserstände bei den Ganglinien mit großem Deichüberströmen (HW824 und HW158) um etwa 10 cm größer ist, als beim Vergleich mit der Referenz des Sichtjahres 2020 (Abbildung 4-4). Dies ist durch die geschilderten größeren Volumina des Deichüberströmens im Sichtjahr 1995 zu erklären. Diese Darstellung zeigt deutlich, dass allein über diese Gegenüberstellung der sich einstellenden Wasserstände eine Wirkungsaussage mit Bezug auf den IKSR-Aktionsplan Hochwasser nicht erlaubt ist.

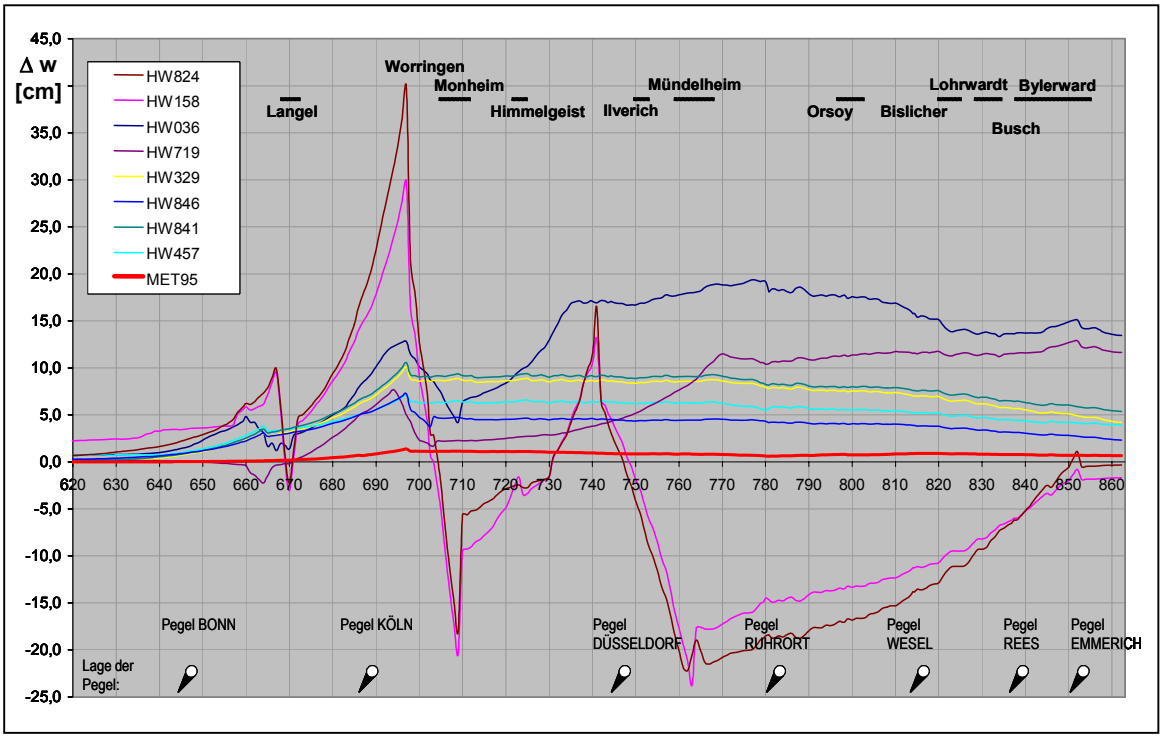


Abbildung 7-1: Vergleich: Situation „2020-ohne Maßnahmen“ (2020_M) zu „1995 ohne Maßnahmen“ (1995_M)

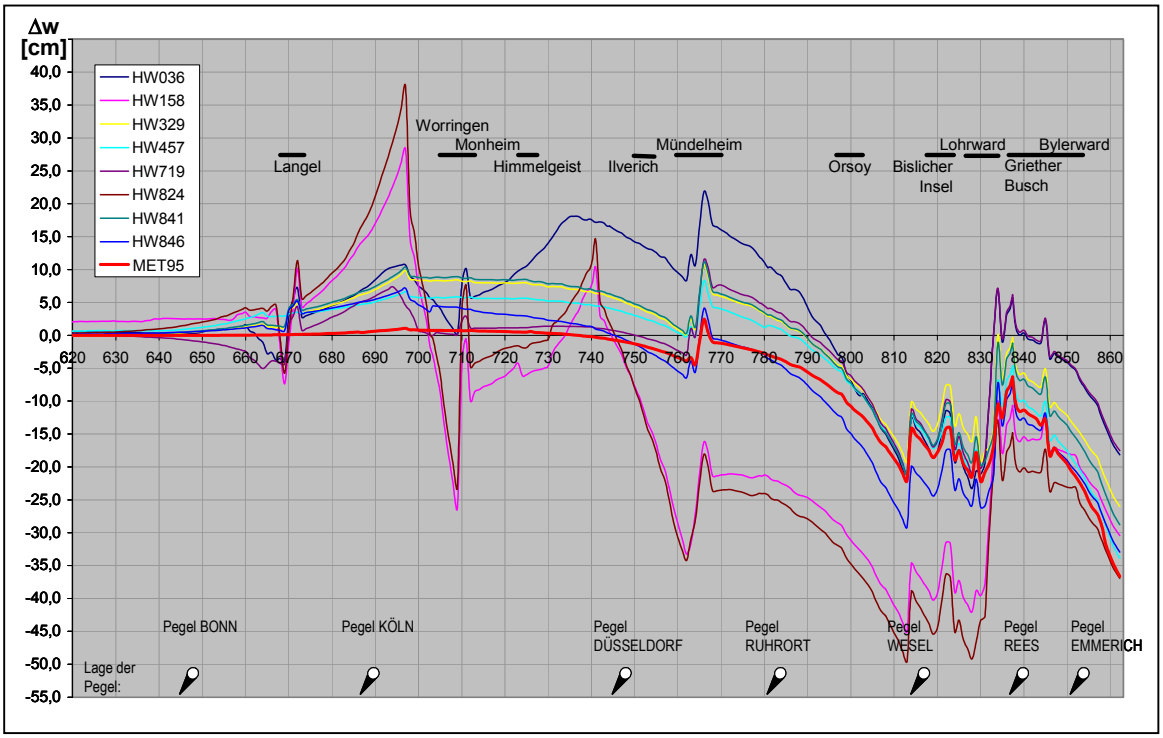


Abbildung 7-2: Vergleich: Situation „2020-NRWMAX_NL_M“ zu „1995_ M“

8 Zusammenfassung

Im Auftrag der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgruppe Hochwasser ist von 2001 – 2004 von der Provinz Gelderland, dem Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), dem Landesumweltamt NRW (LUA NRW) sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) die Studie „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“ erarbeitet worden.

Kernfragen dieser Untersuchungen waren:
- Wie viel Abfluss kann unter extremen Bedingungen aus dem Einzugsgebiet des Rheins (oberhalb des Systems deutscher Niederrhein/niederländische Rheinzweige) erwartet werden?
- Wie viel Abfluss kann zwischen den Deichen am Niederrhein und in den Rheinzweigen abgeführt werden? Welche Deichbereiche werden zuerst überströmt und wie wirkt sich das auf die Hochwasserwellen aus?
- Was geschieht, wenn der Abfluss nicht zwischen den Deichen abgeführt werden kann, welche Gebiete werden zuerst überflutet und sind grenzüberschreitende Überflutungen möglich?
- Welche Auswirkungen haben hochwasserreduzierende Maßnahmen?

Dabei wurden die zur Zeit laufenden Deichsanierungen in NRW berücksichtigt: heutige Deichhöhen (1995, 2002) und die geplanten Deichhöhen (2020). Ebenso fanden Berücksichtigung die vorhandenen bzw. geplanten Maßnahmen zur Hochwasserreduzierung am Oberrhein, am Niederrhein und in den niederländischen Rheinzweigen für die Zustände 2002 und 2020.

Durch die Auswertung von 30-jährigen Niederschlagszeitreihen im Rheineinzugsgebiet wurden Niederschlags- und Temperaturzeitreihen für einen Zeitraum von 1000 Jahren mit vergleichbaren statistischen Eigenschaften ermittelt. Unter Anwendung eines Niederschlag-Abflussmodells wurden diese Niederschläge in 1000-jährige Abflusszeitreihen für die Rheinpegel transformiert. Hieraus wurden die 16 höchsten Hochwasser am Niederrhein zur weiteren Bearbeitung im Projekt ausgewählt.

Für diese extremen Hochwasserabflüsse wurden ab dem Pegel Basel unter Einbeziehung der Nebenflüsse eindimensionale Wellenablaufberechnungen durchgeführt. Dabei wurden Deichüberströmungen sowie Rückhaltemaßnahmen zur Reduzierung der Hochwasserstände am Oberrhein berücksichtigt, um eine realistische Verformung der Hochwasserwellen bei Andernach zu erfassen.

Für die Berechnung des Wellenablaufs mit dem eindimensionalen Modell SOBEK vom Pegel Andernach bis in die niederländischen Rheinzweige wurden nach verschiedenen Kriterien 8 der oben genannten 16 höchsten Hochwasser ausgewählt. Bei der anschließenden Berechnung des Wellenablaufs ab Andernach wurden für verschiedene Szenarien die jeweiligen Deichüberströmungen und hochwasserreduzierenden Maßnahmen im Modell abgebildet.

Bei den untersuchten extremen Hochwassern kommt es am Niederrhein in einem Abflussbereich zwischen 11.000 bis 16.000 $m^{3/}$s zu großräumigen Überflutungen. Hierbei ist der südliche Niederrhein (Großraum Köln/Bonn bis ca. Düsseldorf/Dormagen) zuerst betroffen. Mit zunehmender Höhe der Hochwasserscheitels wird auch der mittlere Teil (Düsseldorf/Dormagen bis etwa zur Einmündung der Ruhr) überflutet.

Im nördlichen Teil (Einmündung der Ruhr bis in die Niederlande) findet bei reiner Höhenbetrachtung der Wasserspiegellagen und der Deichlinien kein Deichüberströmen statt, allerdings nur bei erheblicher Inanspruchnahme des Freibordes. Diese Strecke wäre erst gefährdet, wenn z.B. durch Klimaänderungen noch höhere Abflüsse eintreten.

Überflutungen führen zu Wasserverlusten im Fluss und damit zur Reduzierung der Scheitelabflüsse. Die abfluss- und wasserstandssenkende Wirkung des Deichüberströmens ist in den Projektberechnungen größer als die der berücksichtigten hochwasserreduzierenden Maßnahmen. Ursache hierfür ist, dass die durch die Überflutungen eingenommenen Flächen hinter den Deichen deutlich größer sind, als die Flächen, die für gezielte Rückhaltemaßnahmen zur Verfügung gestellt werden.

Bei der derzeit laufenden Deichsanierung in NRW werden die Hochwasserschutzanlagen an das Bemessungshochwasser angepasst. Dies bedeutet in Teilbereichen eine Erhöhung bzw. eine Lückenschließung der Deichlinie, vor allem im Bereich von Köln/Bonn bis Düsseldorf/Krefeld. Damit wird lokal ein höheres Schutzniveau hergestellt. Ein Überströmen der Deiche bei Extremhochwasser (> Bemessungsabfluss BHQ) findet später statt, d.h. näher am Hochwasserscheitel, womit die scheitelreduzierende Wirkung des Überströmens zunimmt.
Durch Überflutungen im Großraum Köln/Bonn bis etwa Duisburg/Krefeld werden die Ganglinien nach unterhalb deutlich abgeflacht. Gleichzeitig werden sie im abfallenden Ast um ca. ½ Tag verlängert.

Qualitativ gleich wirken zwar auch die hochwasserreduzierenden Maßnahmen; das Ausmaß der Wirkungen ist jedoch vergleichsweise gering.

Die Wirkung von Retentionspoldern auf Scheitelabflüsse ist stark von der Scheitelhöhe und der Ganglinienform des jeweils betrachteten Hochwassers abhängig. Deshalb muss das Schutzziel für ihren Einsatz genau definiert und durch bauliche Maßnahmen, z.B. Ausprägung der Ein- und Auslaufbauwerke oder Steuerung, umgesetzt werden.

Deichrückverlegungen wirken eher lokal. Bei Erweiterung des durchströmten Querschnitts kommt es bei kaum veränderten Abflüssen zu Wasserstandssenkungen, die sich vor allem nach oberstrom auswirken. Unmittelbar unterhalb kann es zu kleineren Wasserstandserhöhungen kommen, wenn der Übergang zur vorhandenen Deichlinie zu einer deutlichen Verengung des Profils führt. Dies sollte beim Anlegen solcher Maßnahmen unbedingt beachtet werden.

Das System an hochwasserreduzierenden Maßnahmen am Niederrhein zeigt in der Planung für 2020 (Szenario 2020_NRW_M) seine besten Wirkungen bei Ereignissen der Größenordnung des Hochwassers 1995. Durch einen zielgerichteten Einsatz der Maßnahmen, vor allem der Retentionspolder, kann die hochwassersenkende Wirkung im Bereich Bislich auf 25 bis 30 cm bzw. an der Grenze auf 6 cm verbessert werden (Szenario 2020_NRWMAX_M).

Die hochwasserreduzierenden Maßnahmen in den Niederlanden sollen dafür sorgen, dass durch die Erhöhung der Abflusskapazität ohne Deicherhöhungen statt 15.000 m^3/s in Zukunft 16.000 m^3/s sicher abgeführt werden können. Die daraus resultierende Wasserstandsenkung von etwa 30 cm an der Grenze wirkt sich noch bis ca. 50 km stromauf aus (Szenario 2020_NL_M).

Durch die Kombination der Wirkungen der geplanten Maßnahmen in den Niederlanden und der Maßnahmen in NRW (Szenario 2020_NRW_NL_M) können nach heutigen Erkenntnissen für Extremhochwasser, die über das Bemessungshochwasser hinaus gehen, Wasserstandsabsenkungen um bis zu 30 cm an der Grenze und bis zu 25 cm im Raum Bislich/Lohrwardt erreicht werden.

Werden die derzeit geplanten Maßnahmen in NRW sowie einige zusätzliche Maßnahmen, z.B. zur Beseitigung von Abflusshindernissen, auf den Bemessungshochwasserabfluss abgestimmt (Szenario 2020_NRWMAX_NL_M), können in Kombination mit den Maßnahmen in den Niederlanden sogar Wasserstandsabsenkungen um bis zu 40 cm an der Grenze und im Raum Bislich/Lohrwardt erreicht werden. An anderen Stellen ist die Reduzierung des Wasserstandes geringer.

Damit wird deutlich, dass sich die Maßnahmen in NRW und in den Niederlanden gegenseitig ergänzen. Dadurch kann z.B. einem frühen Überströmen der Hochwassermauer in Emmerich entgegen gewirkt werden. Ein Überströmen der Hochwassermauer bei Emmerich beträfe auch niederländisches Gebiet.

Die geschilderten Sachverhalte verdeutlichen
den gegenseitigen Nutzen grenzüberschreitender Bemühungen im Hochwasserschutz und die Erforderlichkeit einer grenzüberschreitenden Abstimmung von hochwasserrelevanten Planungen und Maßnahmen
die Abhängigkeit der Wirkung von hochwasserreduzierenden Maßnahmen von Deichüberströmungen, die Ganglinien maßgeblich in Form und Scheitel verändern.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchung basieren auf Berechnungen mit nacheinander geschalteten und miteinander gekoppelten statistischen und numerischen Modellen. Eine Wertung aller Faktoren lässt den Schluss zu, dass bei der Beurteilung der Untersuchungsergebnisse von einer Schwankungsbreite der Abflüsse von ca. ± 500m^3/s ausgegangen werden kann.

Alle Ergebnisse dieser Studie gelten nur für die Situationen am Niederrhein und den Rheinzweigen, wie sie in den Modellen berücksichtigt wurden. Dies gilt im Besonderen für Aussagen zur Wirkung der hochwasser-reduzierenden Maßnahmen. Die Parameter der Maßnahmen sind gemäß dem Kenntnisstand bzw. Planungszustand des Jahres 2002 berücksichtigt worden. Bis zu Realisierung der noch in der Planung oder Planfeststellung befindlichen Maßnahmen können sich Veränderungen in Details ergeben, die Einfluss auf die Wirkung dieser Maßnahmen haben werden. Desweiteren können auch Änderungen der Deichhöhen große Auswirkungen auf die Ergebnisse bzw. auf die Wirkung von Maßnahmen haben. Da das hydraulische System des Niederrheins einschließlich des Gebietes hinter den Deichen sehr komplex ist, ist es unmöglich vorherzusagen, wie groß die Wirkung solcher Änderungen ist, ohne eine erneute Modellierung durchzuführen. Entsprechende Veränderungen müssen deshalb stets im Modell detailliert berücksichtigt werden.

9 Literaturverzeichnis

9.1 Berichte innerhalb des Projektes "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremen Hochwasser am Niederrhein"

Im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein" wurden die folgenden Teilberichte erstellt:

Eberle, M.; Hammer, M.; Busch, N.; Engel, H.; Krahe, P. & Wilke, K. (2004): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Extreme Abflüsse aus dem Rheineinzugsgebiet; ISBN 9036956501. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956684).

Gudden, J.J. (2004): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Überflutungen in Nordrhein-Westfalen und Gelderland; ISBN 9036956641. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956692).

Hartman, M.R. (2002): Drehbuch Abstimmung von BOS-IR auf Delft-FLS. HKV-lijn in water, Auftraggeber Rijkswaterstaat RIZA, Oktober 2002. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor)

Kroekenstoel, D.F., Veen, R. van der & Brinkmann, M. (2003): Studie afvoercapaciteit Niederrhein, Verkennende berekeningen met het BOS Inrichting Rivieren. RIZA-werkdocument 2003.27X.

Lammersen, R. (2004): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Endbericht; ISBN 9036956382. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956390).

Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlagen. Bearbeitet durch Buchholz, O.; Friedeheim, S.; Wegelein, D. und Bangel, H. der Hydrotec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen.

Mehlig, B. & Brinkmann, M. (2004): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Rückhaltemaßnahmen in NRW und den Niederlanden; ISBN 903695665. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956706).

Mierlo, M.C.L.M. van; Gudden, J.J. & Overmars, J.M.S. (2003): Calibratie Delft-FLS model, NoordRijn Westfalen en Gelderland. Rapport juni 2003, WL | Delft Hydraulics. Auftraggeber Provinz Gelderland (nl.).

Veen, R. van der; Lammersen, R.; Kroekenstoel, D.F. & Brinkmann, M. (2004a): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am N iederrhein, Teilbericht Eingabedaten für das DSS Niederrhein-Rheinzweige; ISBN 9036956668. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956714).

Veen, R. van der; Kroekenstoel, D.F. & Brinkmann, M. (2004b): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Berechnungsergebnisse DSS Niederrhein-Rheinzweige; ISBN 9036956676. (Liegt auch in niederländischer Sprache vor unter ISBN 9036956722).

9.2 Sonstige Literatur

IKSR (1997): Wirkungsabschätzung von Wasserrückhalt im Einzugsgebiet des Rheins, Koblenz

IKSR (1998): Aktionsplan Hochwasser, Koblenz

LUA (2002): Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeiten HQ_T an den Pegel des Rheins. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA), 2002.

MUNLV-NRW (2003): Neufestsetzung des Bemessungshochwassers für den Rhein, Schreiben des Ministeriums für Umweltschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen an die Bezirksregierung Düsseldorf und die Bezirksregierung Köln vom 18.September 2003.

Darüberhinaus wird in der Anlage in jeder Maßnahmenbeschreibung jeweils auf die verwendete Literatur verwiesen

Anlage A:

Kurzbeschreibung der Maßnahmen und deren Umsetzung im Modell

Anlage	Maßnahme	Verwendet im Szenarienmodus bzw. in Szenarienkombinationen
A1	Köln-Langel	NRW
A2	Worringer Bruch	
A3	Monheim	
A4	Itter-Himmelgeist	
A5	Ilvericher Bruch	
A6	Mündelheim	
A7	Orsoyer Land	
A8	Bislicher Insel	
A9	Lohrwardt	
A10	Grietherbusch	
A11	Bylerward	
A12	"Optimierung Retentionspolder - Köln-Langel, - Ilvericher Bruch 1+2 - Bylerward Orsoyer Rheinbogen Weseler Brücke Bislicher Insel 2020 Rees Flutmulde	NRWMAX
A13	PKB - Raum für den Fluss	NL
A14	Rijnstrangen	PLUS
A15	Oijpolder	

Anlage A1: Köln-Langel

Vorliegende Studien und Unterlagen

B*usch, N., Chojetzki, U., Engel, H. und Gundert, P.J. (1994):* Wasserspiegellagenberechnungen am Rhein vom Pegel Köln bis zur deutsch-niederländischen Grenze, BfG-Bericht 862

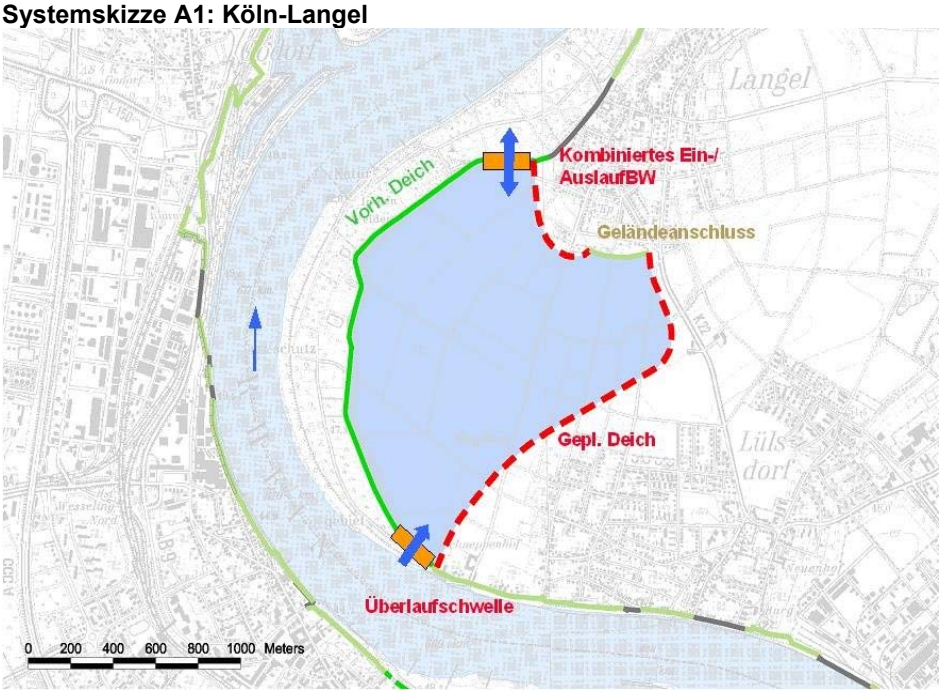
Planfeststellungsunterlagen zum Retentionsraum Köln-Porz-Langel/Niederkassel (Juni 2000): Hochwasserschutzkonzept der Stadt Köln, Planfestellungsabschnitt 12, Retentionsraum Köln-Porz-Langel/Niederkassel, Entwurfs und Genehmigungsplanung

Ergänzende Angaben des StUA Köln

Situationsbeschreibung

Ungefähr zwischen Rhein-km 669,2 und 672,5 ist rechtsrheinisch der Rückhalteraum Köln-Porz-Langel/Niederkassel (im folgenden kurz Köln-Langel genannt) geplant (Planfeststellungsverfahren).

Systemskizze A1: Köln-Langel



Hier soll der Banndeich zurückgelegt werden, so dass eine Fläche von 158 ha und ein Volumen von 4,525 Mio m^3 bei einer Einstauhöhe von 50,33 m ü NN dem Rhein zur Überflutung zur Verfügung gestellt wird. Der alte Rheindeich bleibt erhalten. In den Altdeich werden zwei Zu- und Ablaufbauwerke bei Rhein-km 669,3 bzw. 672,3 integriert. Beide Bauwerke bestehen aus Schwellen der Länge 200 m und Schwellenhöhen von 49,62 m ü NN bzw. 48,22 m ü NN. Darüberhinaus befindet sich am unteren Ende der Maßnahme eine Doppelrohrleitung zur Restentleerung. Sie erfolgt ab einem Rheinwasserstand von 48,22 m ü NN – 20 cm (Angaben StUA Köln, September 2003).

Theoretisch müsste das Becken zugleicherzeit über beide Schwellen gefüllt werden. Eine vorsichtige Annahme ist das Füllen der Maßnahme nur über eine Schwelle. Da die Schwelle des unteren Bauwerks niedriger liegt, als die des oberen Bauwerks, muss davon ausgegangen werden, dass bis zu einer Höhe von 48,22 m ü NN das Becken gefüllt wird, ohne dass über das untere Bauwerk etwas in den Fluss zurückgeleitet wird. Übersteigt der Wasserstand im Becken die Höhe von 48,22 m ü NN kann das Wasser über das untere Bauwerk wieder abfließen. Bei gleichzeitigem Befüllen über das obere Bauwerk muss davon ausgegangen werden, dass eine Strömung durch das Becken entsteht.

Die Entleerung des Beckens erfolgt v.a. über die Schwelle des unteren Bauwerks (u.U. auch über das obere Bauwerk), die Restentleerung über die Doppelrohrleitung.

Umsetzung in SOBEK

Prinzipiell wird die Retentionsmaßnahme Köln-Langel in drei Teilprozesse unterteilt:

Teilprozess 1: Füllung des Beckens über oberes Bauwerk bis zur Schwellenhöhe des unteren Bauwerks. Dieser Prozess wird als Retentionsbecken dargestellt.

Teilprozess 2: Füllen des Beckens, wenn der Wasserstand im Becken höher ist als die Schwellenhöhe des unteren Bauwerks. Dieser Prozess wird dargestellt als Speichervolumen im Querprofiel.

Teilprozess 3: Durchströmen des Beckens, wenn der Wasserstand im Becken höher ist als die Schwellenhöhe des unteren Bauwerks. Dieser Prozess wird abgebildet als lateraler, negativer Zustrom am oberen Bauwerk und lateraler, positiver Zustrom am unteren Bauwerk.

zu Teilprozess 1:
Zur Darstellung des Wasserrückhaltes im Retentionsraum Köln-Langel bis zur Schwellenhöhe des unteren Bauwerks, wird der Lage des oberen Bauwerkes entsprechend ein Retentionsbecken bei Rhein-km 669,3, SOBEK-km 14500 in das SOBEK-Modell eingebaut. Das Volumen des Beckens entspricht dem Volumen des Rückhalteraumes Köln-Langel bei der Schwellenhöhe des unteren Bauwerkes (48,22 m ü NN). Laut Speicherkennlinie (Planfeststellungsunterlagen, Juni 2000) beträgt dieses Volumen sowie die zugerhörige überflutete Fläche 0,90 Mio m^3 bzw. 114,68 ha. Hieraus lässt sich die Beckentiefe ermitteln zu 0,79 m und die Höhe des Beckenbodens zu 47,43 m ü NN. Die Schwellenhöhe des Einlassbauwerks entspricht der Schwellenhöhe des oberen Bauwerks (49,62 m ü NN), die Schwellenlänge beträgt 200 m. Die Schwellenlänge des Entleerungsbauwerkes wird (fiktiv) auf 4 m und die gate-hight auf 3 m gesetzt.

Bei Erreichen des Rheinwasserstandes von 49,62 m ü NN am oberen Bauwerk wird das Bauwerk geöffnet. Da sich die Steuerung in SOBEK auf den Wasserstand am nächst unterhalb liegenden Rechenpunkt (SOBEK-km 15200 entsprechend Rhein-km 670) bezieht, entspricht dies nach den Wasserspiegellagenberechnungen der BfG (Busch et al., 1994) einem Wasserstand von 49,43 m ü NN am Rechenpunkt. Erreicht der Wasserstand im Becken die Höhe der unteren Schwelle, so wird das Bauwerk wieder geschlossen. Die Entleerung erfolgt über freie Vorflut.

Für Köln-Langel war die Planfeststellungsvariante vorgesehen. In späteren Gesprächen sind durch das StUA-Köln einige Änderungen angegeben worden. Diese Änderungen konnten teilweise nicht mehr in dieses Projekt einfließen, da die Berechnungen bereits durchgeführt waren. Das bei der Berechnung des ersten Prozesses berücksichtigte Volumen beträgt jetzt 0,92 Mio m^3 (also 0,02 Mio m^3 zu viel). Die Schwellenhöhe wird mit 49,81 m ü NN statt 49,62 m ü NN angesetzt. Dadurch erfolgt das Einströmen etwas zu spät. Die hierdurch entstandenen Abweichungen im Berechnungsergebnis werden akzeptiert, weil die Effekte als gering einzustufen sind.

zu Teilprozess 2:
Die Beckenfüllung oberhalb der Schwellenhöhe des unteren Bauwerks wird als Volumen bzw. Profilbreite dem Profil km 672 (SOBEK vak p_639) zugefügt, wobei sich die Profilbreite bei 50,33 m ü NN (dem höchsten angegeben Profilpunkt) aus der Gesamtfläche der Rückhaltemaßnahme (158 ha) / Profillänge (1000 m) ergibt. Diese wird manuell in das vorhandene SOBEK-Profil eingebaut.

zu Teilprozess 3:
Die durch die Lage und Schwellenhöhe der beiden Bauwerke hervorgerufene Strömung durch das Becken wird durch Wasserentzug am oberen Bauwerk und gleichzeitigen Zustrom in den Rhein am unteren Bauwerk simuliert. Der Entzug des Wassers vollzieht sich am oberen Bauwerk bei km 669,3 = SOBEK-km 14500. Da an dieser Stelle bereits ein Bauwerk definiert ist, wird die Anknüpfung des seitlichen Entzuges (sicherheitshalber) um 1 m nach unten verschoben (SOBEK-km 14501). Zurückgeführt wird das Wasser am unteren Bauwerk bei SOBEK-km Bonn-Köln 17500 entsprechend Rhein-km 672,3.

Zur Bestimmung des Wasserentzugs am oberen und des Wiedereinleitens des Wassers am unteren Bauwerk wird in den Planungsunterlagen die Überfallformel von Poleni benutzt. Diese Formel rechnet den Abfluss bei vollkommenem Überfall über die Schwelle. Um diese Annahme zu prüfen, wurden Testrechnungen durchgeführt. Hierzu wurde (vorübergehend) in SOBEK ein zusätzlicher Flusszweig mit den Bauwerken als Stauwehre eingebaut. Hierdurch kann bei der Bestimmung der Kennwerte für das Ab- bzw. Zuströmen auch der Fall des unvollkommenen Überfalls an den Schwellen berücksichtigt werden. Die dabei gewonnenen Abflüsse in Abhängigkeit zu den Rheinwasserständen wurden als Kennlinie zur Definition der seitlichen Ab- bzw. Zuflüsse in SOBEK genutzt.

Anlage A2: Worringer Bruch (Köln-Worringen)

Vorliegende Studien und Unterlagen

Busch, N., Chojetzki, U., Engel, H. und Gundert, P.J. (1994): Wasserspiegellagenberechnungen am Rhein vom Pegel Köln bis zur deutsch-niederländischen Grenze, BfG-Bericht 862

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH (2000a): Vorstudie Rückhalteraum Köln Worringen, Teil A, Zusammenfassende Empfehlung

Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH (2000b): Vorstudie Rückhalteraum Köln Worringen, Teil B, Wasserwirtschaft

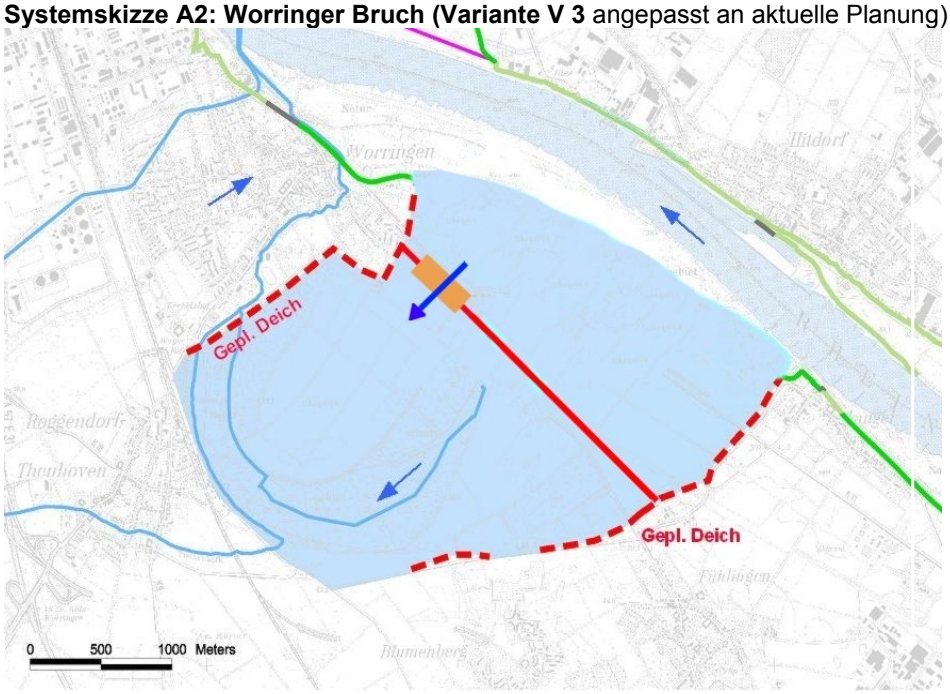
Björnsen Beratende Ingenieure: Telefonische Angaben zu den Vorgaben zur Vorplanung

Ergänzende Angaben des StUA Köln

Situationsbeschreibung

Ca. zwischen km 705,5 und 708,5 liegt linksrheinisch der Rückhalteraum Worringer Bruch. Hierzu liegen in einer Vorstudie die Vorschläge von insgesamt 4 Varianten vor (Franz Fischer Ingenieurbüro GmbH 2000a und 2000b), wovon die Variante 3 gerechnet wurde (Beschluss workshop 19./20. November 2002 in Rees). Auf der Grundlage eines Gespräches mit dem StUA Köln am 2.9.2003 wurden die Größen der Variante 3 an den damals aktuellen Planungsstand angepasst. Die benötigten Daten wurden von Björnsen Berantende Ingenieure telefonisch übermittelt.

Systemskizze A2: Worringer Bruch (Variante V 3 angepasst an aktuelle Planung)



In der im Rahmen des Projektes berücksichtigten Endvariante wird die Maßnahme wie folgt aussehen:
Auf eine Einstauhöhe von 43,0 m ü NN wird ein neuer Deich mit Linienführung entlang der B9 errichtet. Der entstehende Retentionsraum hat ein Volumen von 7,6 Mio m³ bei einer überstauten Fläche von 227 ha. Der Banndeich wird entfernt.
Hinter dem neuen Deich entsteht ein gesteuerter Retentionsraum mit einem Volumen von 12,2 Mio m³. Die Einstauhöhe beträgt 41,0 m ü NN, die überstaute Fläche 410 ha. Die Flutung des Polders erfolgt wellenabhängig ab HW50, die Entleerung mit der abfließenden Hochwasserwelle. Das kombinierte Einlauf/Auslaufbauwerk (Rhein-km 705,3) erhält auf Höhe der Geländeoberkannte (39,0 m ü NN) eine regelbare Wehranlage. Der maximale Zulauf wird auf 330 m³/s festgelegt.

Die Maßnahme setzt sich demnach aus 2 Teilmaßnahmen zusammen:

1. Deichrückverlegung, Fläche 227 ha, Stauziel 43,0 m ü NN, Rhein-km 705,5 – 708,5
2. Retentionsgebiet, Fläche 410 ha, Volumen 12,2 Mio m³, Stauziel 41,0 m ü NN, mittlere Gebietshöhe 38,02 müNN, Einlaufbauwerk Rhein-km 708,1, Einlauf max. 330 m³/s

Für den Betrieb des Polders wurden bei den Berechnungen im Gesamtprojekt zwei verschiedene Zielrichtungen aufgenommen:

Szenarien **NRW**: Die Steuerung erfolgt wellenabhängig ab HQ 50

Szenarien **NRWMAX**: Eine auf HQ_{200} optimierte Steuerung. Hintergrund: gem. Erlass des MUNLV vom 18.09.2003 wurde als Bemessungshochwasser HQ_{200} (12900 m³/s) festgelegt.

Umsetzung in SOBEK

Die Teilmaßnahme 1 wird im DSS als Deichrückverlegung zwischen Flusskilometer 705,5 und 708,5 mit einer nicht durchströmten Fläche von 227 ha auf einer Länge von 3000 m dargestellt. Dies bedeutet eine Verbreiterung der Profile P_674 bis P_676 um 757 m.

Die Teilmaßnahme 2 des Rückhalteraum Worringer Bruch wird als Retentionsbecken dargestellt, mit einem Beckenvolumen von 12,2 Mio m^3 und einer Fläche von 410 ha bei einer Einstauhöhe von 41,0 m ü NN. Daraus ergibt sich eine Beckentiefe von 2,98 m und eine Beckenbodenhöhe von 38,02 m ü NN. Angeordnet wird das Rückhaltebecken dort, wo sich das Ein- und Auslassbauwerk befindet, also bei Rhein-km 708,1 bzw. SOBEK-km Köln-Düsseldorf 20100.
Da die Wehre auf einen maximalen Abfluss von 330 m³/s begrenzt sind, wird die Schwellenhöhe auf 39 m ü NN und die Schwellenlänge auf 36 m gesetzt. Gesteuert wird das Öffnen des Bauwerks auf den Wasserstand am nächst unterhalb gelegenen Rechenpunkt in SOBEK (SOBEK-km Köln-Düsseldorf 21000 enstprechend Rhein-km 709). Basierend auf den Ergebnissen der Wasserspiegellagenberechnungen der BfG (Busch et al., 1994), wird das Bauwerk dann geöffnet, wenn bei Rhein-km 709 ein Wasserstand von 41,65 m ü NN erreicht wird. Das Bauwerk schließt sich, wenn die maximale Einstauhöhe von 41,0 m ü NN erreicht wird.
Die Schwellenhöhe des Auslaufbauwerks wird entsprechend der Beckenbodenhöhe auf 38,02 m gesetzt, da die in der Vorstudie genannte Schwellenhöhe mit 38,00 m ü NN angegeben wird und die Auslassöffnungen für die Restentleerung noch tiefer liegen.
Über die Schwellenbreite werden in den Planungsunterlagen keine Angaben gemacht, lediglich muss gewährleistet sein, dass sich das Gebiet innerhalb von 10 Tagen wieder entleert. Deshalb wurde fiktiv eine Schwellenbreite von 12 m und eine Öffnungshöhe von 3 m angegeben. Das Auslassbauwerk ist immer vom Becken zum Fluss hin durchströmbar.

Anlage A3: Monheim

Vorliegende Studien und Unterlagen

Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

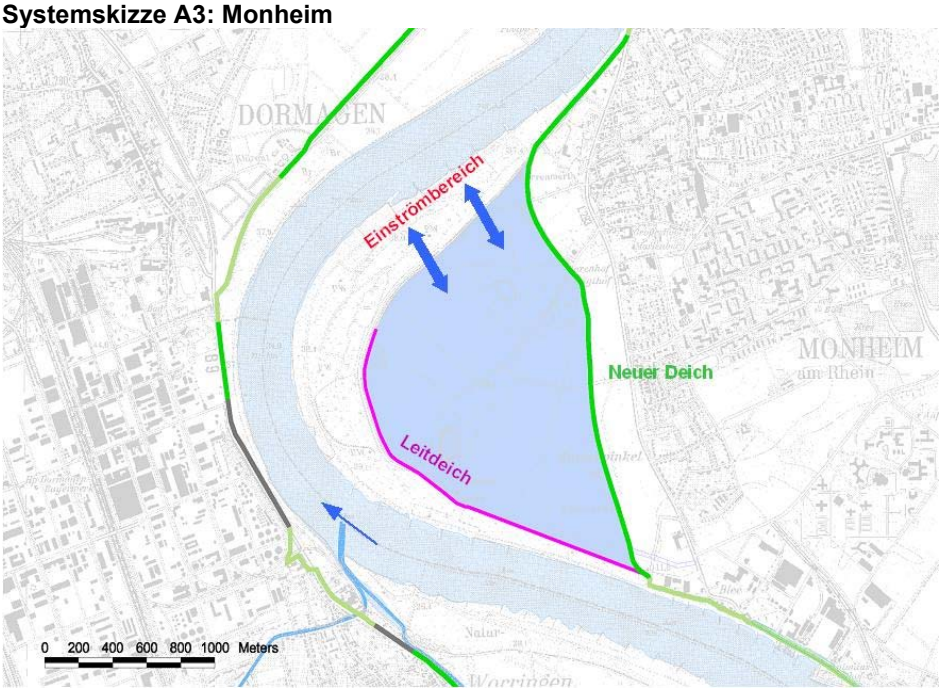
Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Ergänzende Angaben des StUA Krefeld

Situationsbeschreibung

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Deichrückverlegungen im Bereich ca. Rhein-km 711,5 bis 713,5. Der vorgelagerte Leitdeich Monheim liegt nach Angabe von Herr Nebelung von StUA Krefeld auf BHW1977 (42,77 m ü NN) ohne Freibord. Die gewonnene Fläche beträgt etwa 185 ha, das maximale Volumen (Wasserstand Deichkrone) etwa 8 Mio. M^3.

Systemskizze A3: Monheim



Umsetzung in SOBEK

Für das Vorhaben LAHOR war diese Maßnahme bereits in SOBEK abgebildet worden. Kleinere Unterschiede zwischen der Modellabbildung und den realisierten Geometrien konnten durch Profilanpassungen in den DSS-Tabellen umgesetzt werden. Zur Plausibilisierung wurden mit BASELINE neue Profile erstellt und Vergleichsrechnungen durchgeführt.

Die Strömung über den Leitdeich wird durch Wasserentzug bei Flusskilometer 709,5 und gleichzeitigen Zustrom in den Rhein bei Flusskilometer 711,5 simuliert. Zur Bestimmung der Abflüsse des Entzugs und des Wiedereinleitens des Wassers wurden Testrechnungen durchgeführ. Hierzu wurde (vorübergehend) in SOBEK ein zusätzlicher Flusszweig eingebaut mit dem Leitdeich als Stauwehr. Hierdurch kann bei der Bestimmung der Kennwerte für das Ab- bzw. Zuströmen auch der Fall des unvollkommenen Überfalls an den Leitdeich berücksicht werden. Die dabei gewonnenen Abflüsse in Abhängigkeit zu den Rheinwasserständen wurden als Kennlinie zur Definition der seitlichen Ab- bzw. Zuflüsse genutzt.

Anlage A4: Itter-Himmelgeist

Vorliegende Studien und Unterlagen

Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

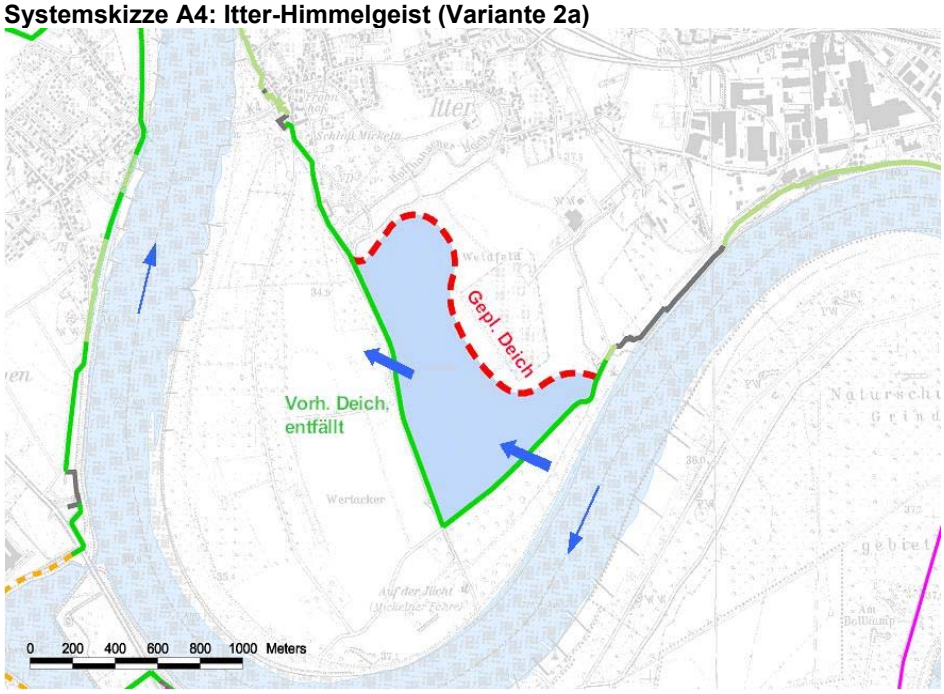
Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Ergänzende Angaben des StUA Krefeld

Situationsbeschreibung

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Deichrückverlegungen im Bereich ca. Rhein-km 723,5 bis 729,5. Sie befindet sich in der Voruntersuchung. Für die Berechnung ist die (kleinere) Variante 2a gewählt worden. Sie schafft eine zusätzliche Fläche im Überschwemmungsgebiet von etwa 58 ha.

Systemskizze A4: Itter-Himmelgeist (Variante 2a)



Umsetzung in SOBEK

Für das Vorhaben LAHoR war diese Maßnahme bereits in SOBEK abgebildet worden (Bemmel und Rabbers, 2001). Im Vergleich zu den damals gültigen Planungen, treten kleine Unterschiede zu den heutigen Planungen auf.

Anlage A5: Ilvericher Bruch

Vorliegende Studien und Unterlagen

Busch, N., Chojetzki, U., Engel, H. und Gundert, P.J. (1994): Wasserspiegellagenberechnungen am Rhein vom Pegel Köln bis zur deutsch-niederländischen Grenze, BfG-Bericht 862

Gewecke und Partner, GMBH (1999a): Vorstudie Rückhalteraum Ilvericher Bruch Teil A, Zusammenfassende Darstellung

Gewecke und Partner, GMBH (1999b): Vorstudie Rückhalteraum Ilvericher Bruch Teil B, Wasserwirtschaft

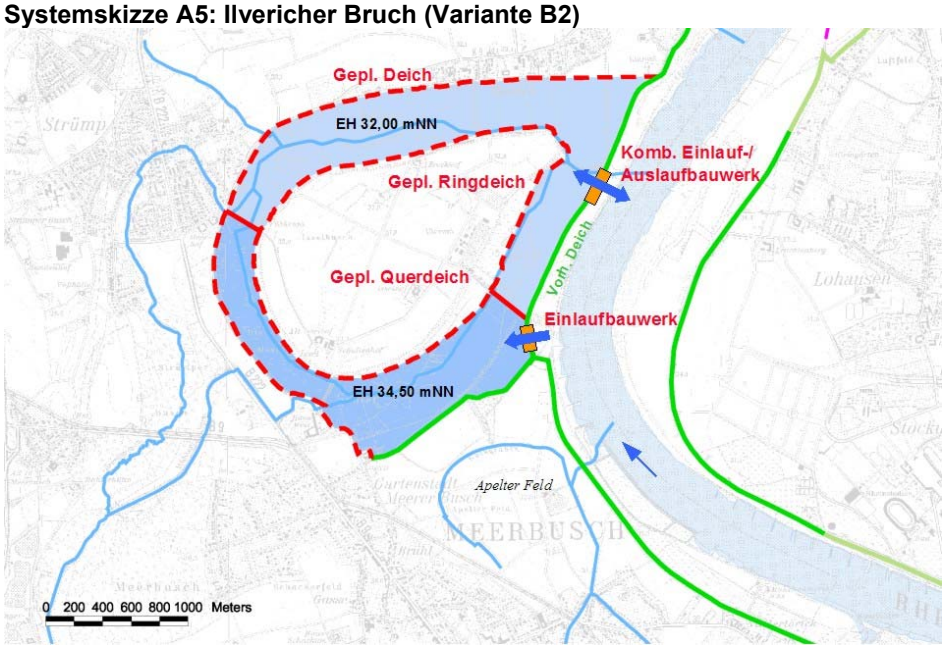
Göbel, N. (Mai 1999): Abschätzung der hydraulischen Wirkung des Polders Ilvericher Bruch auf den Hochwasserabfluss des Rheins

Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen

Situationsbeschreibung

Zwischen ca. km 750 und 754,5 liegt linksrheinisch in einer Altarmschleife des Rheins der Rückhalteraum Ilvericher Bruch. Hierzu liegen in einer Vorstudie die Vorschläge von insgesamt 4 Varianten vor (Gewecke und Partner GMBH, 1999a und 1999b), wovon die Variante B2 gerechnet werden soll (Beschluss des projektbegleitenden workshops vom 19./20. November 2002 in Rees).

Systemskizze A5: Ilvericher Bruch (Variante B2)



Prinzipiell handelt es sich hier um 2 getrennte Retentionspolder mit je einem Bauwerk im oberen und einem im unteren Polder bei Rhein km 751,8 bzw. 753,0. Das Gesamtvolumen ist bei Gewecke und Partner GMBH (1999a und 1999b) mit 9,8 Mio m^3, die überspannte Fläche mit 270 ha angegeben. Berechnungen durch HYDROTEC (Landesumweltamt NRW, 2003) ergaben für den oberen Polder ein Volumen von 5,520 Mio m^3 bei einer Fläche von 112 ha und für den unteren Polder 4,55 Mio m^3 bei 163 ha. Die Einstauhöhe des oberen Polders wird mit 34,5 m ü NN, die des unteren Polders mit 32,00 m ü NN angegeben.

Die Schwellenhöhe des Bauwerks wird bei Gewecke und Partner (1999b) für den oberen Polder mit 28 m ü NN und für den unteren Polder mit 27 m ü NN angegeben. Aus einer Bauwerksskizze kann die Schwellenhöhe von 29 m ü NN entnommen werden, es bleibt jedoch offen, für welches Bauwerk diese Bauwerksskizze gültig ist.

Weitere Bauwerksdaten sind der hydraulischen Studie von Göbel (1999) zu entnehmen. Hier wird für das Einlassbauwerk des oberen Polders eine Querschnittsfläche des Durchlasses von 30 m^2 bei einer Abflusskapazität von 100 m^3/s, und für das untere Bauwerk von 24 m^2 bei einer Kapazität von 140 m^3/s angegeben.

Über die Befüllung und Entleerung der Polder wird in Gewecke und Partner (1999b) auf die Variante A verwiesen. Demnach erfolgt die Befüllung der Maßnahme über beide Bauwerke, die Entleerung über das

untere Bauwerk bei freier Vorflut mit maximal 80 m^3/s sowie eine Restentleerung über ein Schöpfwerk, das laut Lageplan direkt beim unteren Bauwerk bei Rhein-km 753 liegt und eine Kapazität von 10 m^3/s aufweist. Da bei der Variante A die gesamte Ilvericher Altrheinschlinge ein einziger Polder ist, ist auf diese Weise eine Flutung und Entleerung des Polders möglich.

Bei einer Teilung der Schlinge in einen oberen und einen unteren Polder ist eine Entleerung des oberen Polders durch das untere Bauwerk sowie das Schöpfwerk nicht möglich. Es wird deshalb angenommen, dass der obere Polder durch das obere Bauwerk auch entleert wird.
Über die Steuerung der Maßnahme liegen keine Angaben vor. Hierzu können jedoch die Ergebnisse der hydraulischen Berechnung von Göbel (1999) herangezogen werden.

Umsetzung in SOBEK
Die Rückhaltemaßnahme Ilvericher Bruch wird in SOBEK durch zwei Retentionsmaßnahmen dargestellt:

Der Obere Polder wird als Rückhaltebecken mit einer Oberfläche von 112 ha und einem Volumen von 5,520 Mio m^3 dargestellt, was einer Beckentiefe von 4,93 m entspricht. Bei einer Einstauhöhe von 34,5 m ü NN ergibt sich eine Beckenbodenhöhe von 29,57 m ü NN, was der von HYDROTEC (Landesumweltamt NRW, 2003) angegebenen mittleren Geländehöhe entspricht. Das Einlassbauwerk befindet sich bei Rhein-km 751,8, sodass die Maßnahme im SOBEK-modell dem SOBEK-km Düsseldorf-Ruhrort 7600 zugeordnet wird.

Da die Beckenbodenhöhe von 29,57 m ü NN höher liegt als alle Angaben zur Höhe der Bauwerksschwelle, wird die Schwellenhöhe auf Beckenbodenhöhe 29,57 m ü NN festgesetzt.
Der hydraulischen Studie von Göbel (1999) folgend wird eine Querschnittsfläche von 30 m^2 angenommen. Auf der Grundlage der in einer Bauwerksskizze angegebenen “Schwellenlänge” von 2 X 4 m ergibt sich eine gate hight von 3,75 m (was in Widerspruch zur Bauwerksskizze steht). Durch dieses Bauwerk wird der obere Polder sowohl gefüllt als auch geleert.

Zur Festlegung der Steuerung werden die Ergebnisse der hydraulischen Untersuchungen herangezogen (Göbel, 1999). Aus deren Anlage 9 kann aus der Grafik abgelesen werden, dass bei einem Wasserstand von 33,26 m ü NN im Rhein bei km 754 der Polder sich beginnt zu füllen. Da die Steuerung dieses Polders sich in SOBEK auf den nächst unterhalb des Bauwerks sich befindenden Rechenpunkt (Rhein-km 752 = SOBEK-km 7800) beziehen soll, muss der Wasserstand von km 754 auf km 752 umgerechnet werden. Nach den Wasserspiegellagenberechnungen der BfG (Busch et al. 1994) ergibt sich ein Wasserstand von 33,63 m ü NN.
Das Bauwerk wird geschlossen, wenn im Becken ein Wasserstand von 34,5 m ü NN erreicht wird.
Die Entleerung erfolgt über ein Auslaufbauwerk mit der gleichen Schwellenhöhe als das Einlaufbauwerk.

Für den unteren Polder ergibt sich aus der Fläche von 163 ha und dem Volumen von 4,550 Mio m^3 eine Beckentiefe von 2,79 m. Bei einer Einstauhöhe von 32,00 m ü NN errechnet sich die Beckenbodenhöhe zu 29,21 m ü NN, was der durch HYDROTEC (Landesumweltamt NRW, 2003) angegebenen mittleren Geländehöhe entspricht. Gemäß der Lage des Bauwerks bei Rhein-km 753 liegt die Retentionsmaßnahme im SOBEK-Modell bei SOBEK-km Düsseldorf-Ruhrort 8800. Da es sich hierbei auch um einen Rechenpunkt handelt, wird die Lage um einen Meter nach oben auf SOBEK-km Düsseldorf-Ruhrort 8799 verlegt.

Auch beim unteren Polder liegen die Angaben zur Schwellenhöhe des Bauwerks unterhalb denen der ermittelten Beckenbodenhöhe, sodass als Schwellenhöhe des Einlassbauwerkes die Beckenbodenhöhe von 29,21 m ü NN gewählt wird. Auf der Grundlage des bei Göbel (1999) genannten Querschnittes des Bauwerkes von 24 m^2 und der in den Bauwerrksskizzen verzeichneten “Schwellenlänge” wird eine gate higt von 3 m angenommen (was in Widerspruch zur Bauwerksskizze steht).

Zur Festlegung der Steuerung werden die Ergebnisse der hydraulischen Untersuchungen herangezogen (Göbel, 1999). Aus deren Anlage 8 kann aus der Grafik abgelesen werden, dass bei einem Wasserstand von 33,35 m ü NN im Rhein bei km 754 der Polder sich beginnt zu füllen. Da die Steuerung dieses Polders sich in SOBEK auf den nächst unterhalb des Bauwerkes befindlichen Rechenpunkt (Rhein-km 753 = SOBEK-km 8800) beziehen soll, muss der Wasserstand von km 754 auf km 753 umgerechnet werden. Nach den Wasserspiegellagenberechnungen der BfG (Busch et al. 1994) ergibt sich ein Wasserstand von 33,52 m ü NN.
Das Bauwerk wird geschlossen, wenn im Becken ein Wasserstand von 32,00 m ü NN erreicht wird.
Die Entleerung erfolgt über ein Auslaufbauwerk mit der gleichen Schwellenhöhe wie das Einlaufbauwerk.

Anlage A6: Mündelheim

Vorliegende Studien und Unterlagen

Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

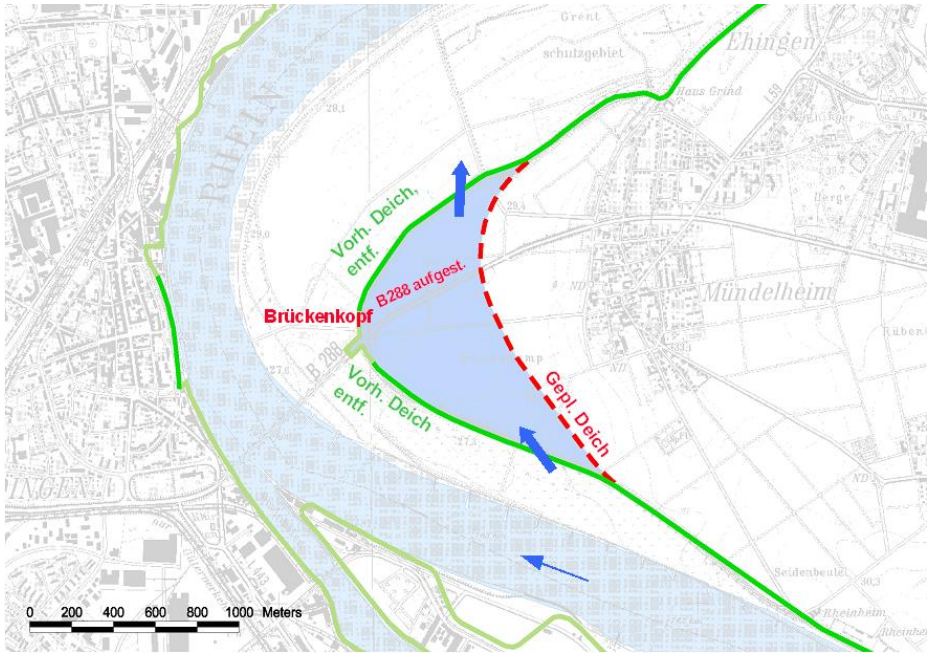
Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Ergänzende Angaben des StUA Krefeld

Situationsbeschreibung

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Deichrückverlegungen im Bereich ca. Rhein-km 761,5 bis 768,5, mit einem Flächengewinn von etwa 64 ha. Die Maßnahmen befindet sich in der Vorbereitung zum Planfesstellungsverfahren.

Systemskizze A6: Mündelheim



Umsetzung in SOBEK

Für das Vorhaben LAHoR war diese Maßnahme bereits in SOBEK abgebildet worden (Bemmel und Rabbers, 2001). Gegenüber dem damals aktuellen Planungsstand bestehen jedoch deutliche Unterschiede, weil heute davon ausgegangen wird, dass die Brücke aufgeständert wird.

Deshalb mussten die Profile manuell angepasst werden, wobei die folgenden Schritte durchlaufen wurden:

1. Anbinden der neuen Rückhaltemaßnahmen an die "Deichlinien"
2. Fachgrenzen geändert
3. zusätzliche/abzügliche Flächen pro Fach (im Vergleich zu Bemmel en Rabbers,2001) errechnet
4. pro Querprofil wird diese Fläche als Profielerweiterung ins SOBEK-profiel eingebaut
5. auch die durchströmte Fläche wird manuell geändert und manuell eingebaut.

Anlage A7: Orsoy Land

Vorliegende Studien und Unterlagen

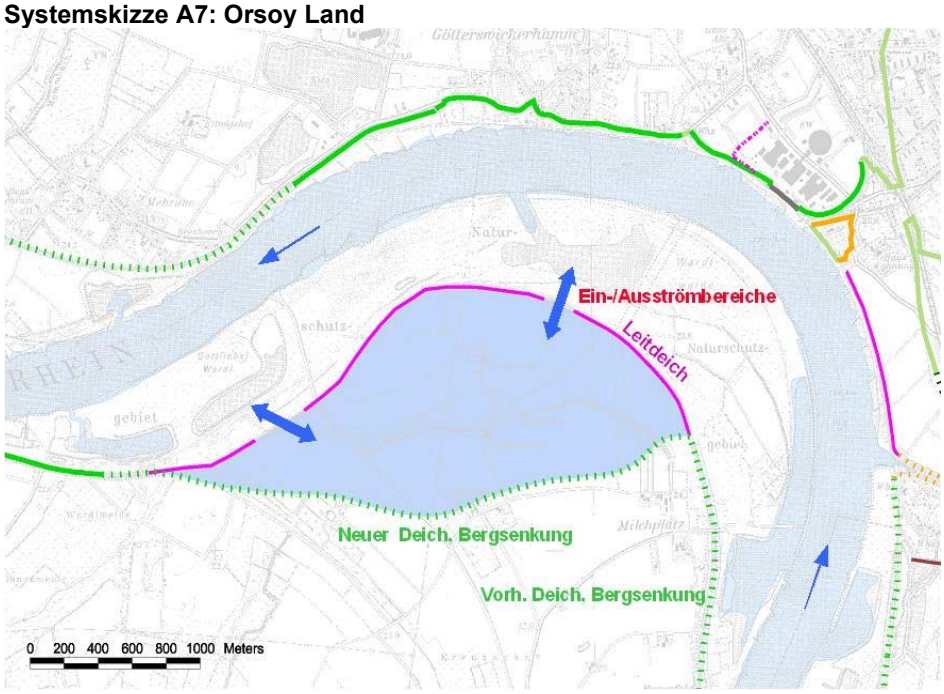
Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Situationsbeschreibung

Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Deichrückverlegungen im Bereich ca. Rhein-km 801,5 bis 803,5, mit einem Flächengewinn von etwa 215 ha. Diese Maßnahmen ist bereits ausgeführt.

Systemskizze A7: Orsoy Land



Umsetzung in SOBEK

Im Rahmen des LAHoR-Projektes wurde die Deichrückverlegung schon einmal in ein SOBEK-Modell aufgenommen (Bemmel und Rabbers, 2001). Zwischen dem damals angenommenen Umfang der Deichrückverlegung und dem inzwischen realisierten Umfang zeigen sich kleine Unterschiede. Diese sind jedoch sehr gering, sodass im Rahmen dieser Studie die von Bemmel und Rabbers, 2001 erzeugten Profile genutzt wurden.

Anlage A8: Bislicher Insel

Vorliegende Studien und Unterlagen

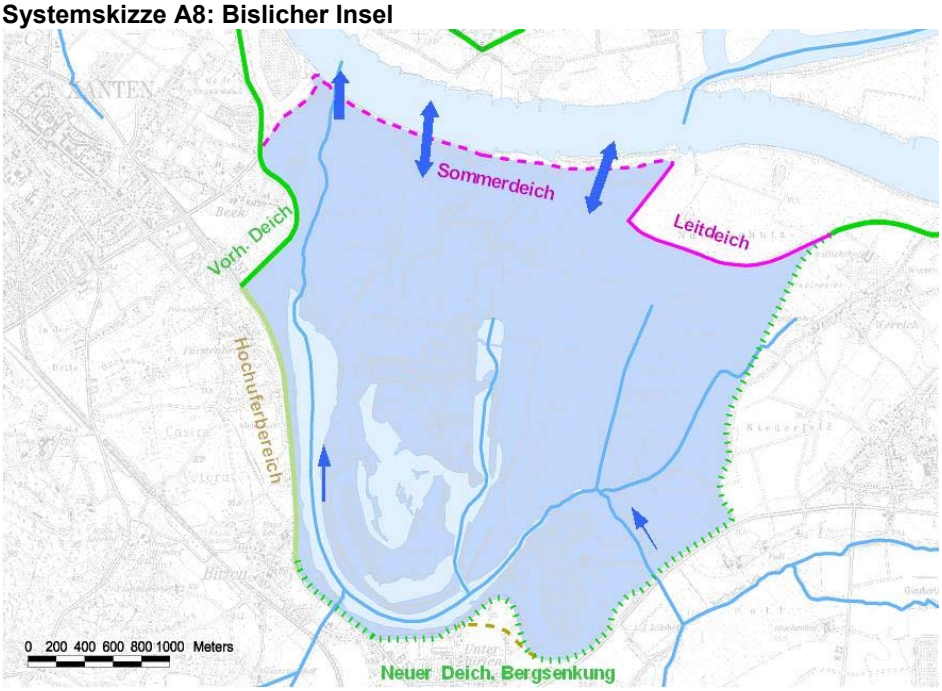
Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Situationsbeschreibung

Im Bereich Rhein- km 818,5 – 823,5 wurde auf der linken Rheinseite durch den Bau eines neuen, landeinwärtsgelegten Deich verhindert, dass der Bereich der Bislicher Insel durch die Erhöhung des alten Deiches auf Banndeichniveau vom Rheinhochwasser abgeschnitten wird, was die ursprüngliche Planung war. Da dadurch ein in der Planung bereits bestehender Banndeich in einer späteren Planung zurückgelegt wurde, wird diese Maßnahme im Allgemeinen als Deichrückverlegung angesehen.

Systemskizze A8: Bislicher Insel



Umsetzung in SOBEK

Der realen oben skizzierten Historie der Implementierung dieser Maßnahme entsprechend wurde sie in SOBEK wie folgt umgesetzt: In der SOBEK-Version ohne Retentionsmaßnahmen wird der alte Deich bereits als Sommerdeich angesehen. Die Ausdehnung des Geländes hinter dem Sommerdeich entspricht in etwa der Ausdehnung des heute durch den neuen Banndeich umschlossenen Gebietes. In der SOBEK-Version mit Retentionsmaßnahmen ändert sich lediglich in beschränktem Maße der Umfang des Gebietes.
Im Rahmen des LAHoR-Projektes wurde diese Maßnahme schon einmal in ein SOBEK-Modell aufgenommen (Bemmel und Rabbers, 2001). Zwischen dem damals angenommenen Umfang der Maßnahme und dem inzwischen realisierten Umfang zeigen sich kleine Unterschiede. Diese sind jedoch sehr gering, sodass im Rahmen dieser Studie die von Bemmel und Rabbers, 2001 erzeugten Profile genutzt werden.

Anlage A9: Lohrwardt

Vorliegende Studien und Unterlagen

Busch, N., Chojetzki, U., Engel, H. und Gundert, P.J. (1994): Wasserspiegellagenberechnungen am Rhein vom Pegel Köln bis zur deutsch-niederländischen Grenze, BfG-Bericht 862

Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization in BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR

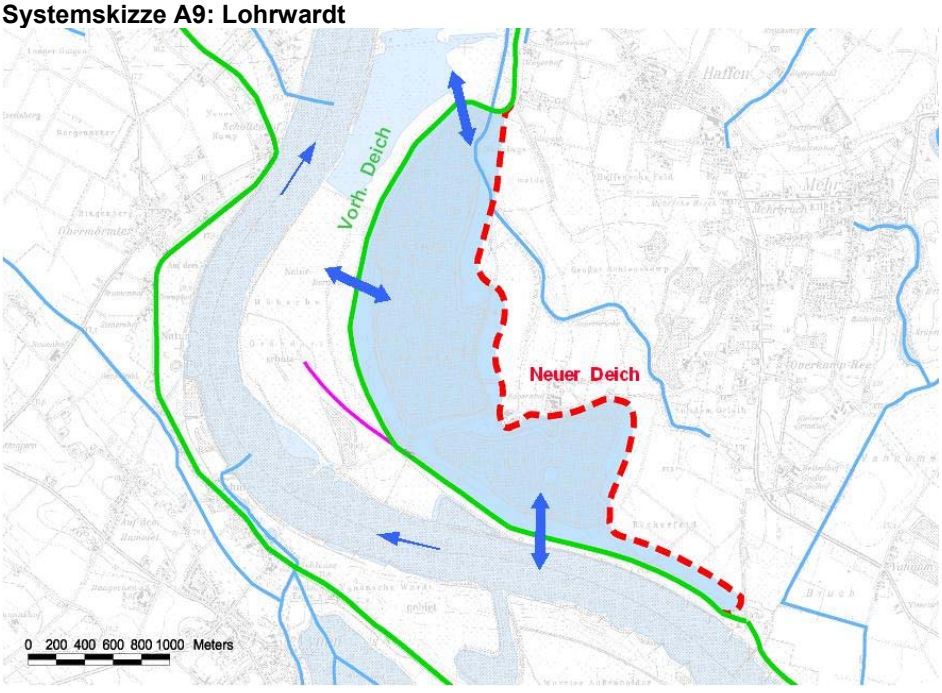
Gewecke und Partner (April 2001): Entwurfs- und Genehmigungsplanung Deichsanierung 1. und 2. Planungsabschnitt, Teil A, Technische Planung

Gewecke und Partner (März 2002): Vorentwurf der Einlass- und Auslassbauwerke für den Roosenhofsee und Lohrwardtsee im Rahmen der Deichrückverlegung Lohrwardt, Teil C

Situationsbeschreibung

Bei Rees-Lohrwardt wird auf der rechten Rheinseite zwischen Rhein-km 827,8 bis 834,8 der Banndeich zurückgelegt. Der alte Deich bleibt stehen, wird jedoch auf gesamter Länge parallel zum Wasserpiegelgefälle auf eine Höhe erniedrigt, die bei Rhein-km 834,2 20 m ü NN entspricht. Nach Busch et al. (1994) ist dies gleichbedeutend mit einem HQ90 bzw. 12 065 m^3/s. Darüber hinaus wird bei Rhein-km 834,2 auf 300 m Länge eine Überlaufschwelle in den alten Deich eingebaut, mit einer Schwellenhöhe von 19,5 m ü NN. Ab einem Wasserstand von 19,5 m ü NN bei Rhein-km 834,2 wird der Polder zunächst über diese Schwelle befüllt. Bei weiter steigendem Wasserstand über 20 m ü NN bei Rhein-km 834,2 strömt das Wasser über die gesamte Länge des alten Deiches in den Polder. Die Entleerung des Polders erfolgt bei freier Vorflut mit ablaufender Welle über eine Schleuse. (Gewecke und Partner, April 2001). Diese Schleuse soll so konzipiert sein, dass sie maximal 500 m^3/s zurück in den Rhein ablassen kann (Anmerkung: Diese Angabe erscheint physisch nicht möglich und wird in SOBEK nicht realisiert). Hierzu werden die Dimensionen 3 m X 3 m bei einer Sohlenhöhe des Bauwerks bei 14,00 m ü NN vorgeschlagen (Gewecke und Partner, März 2002). Zu ökologischen Zwecken soll darüber hinaus ein Einlassbauwerk bei Rhein-km 829,5 für eine Flutung des Polders bei niedrigeren Wasserständen bis zu 15,5 m ü NN sorgen (Gewecke und Partner, März 2002). Für die Steuerung dieser Bauwerke liegt ein umfangreicher Vorschlag vor (Gewecke und Partner, März 2002).

Systemskizze A9: Lohrwardt



Umsetzung in SOBEK

Zur Darstellung dieser Situation in SOBEK wird das gesamte System als eine Kombination von Retentionsmaßnahme und Sommerdeich in den Querprofilen angesehen (s. Bemmel und Rabbers, 2001):

Teilprozess 1: Vor Erreichen eines Wasserstandes von 19,5 m ü NN bei Rhein-km 834,2 wird das gesamte Wasser im Profil bis zum alten Deich (in SOBEK als Sommerdeich dargestellt) abgeführt.

Teilprozess 2: Ab einem Wasserstand von 19,5 m ü NN bei Rhein-km 834,2 wird über eine Überlaufschwelle ein Rückhalteraum gefüllt, der in SOBEK als Retentionsbecken dargestellt wird. Die Füllung des Beckens endet, sobald der Wasserstand im Becken eine Höhe von 19,5 m ü NN erreicht hat.

Teilprozess 3: Bei Wasserständen im Rhein, die bei Rhein-km 834,2 höher sind als 20 m ü NN, wird der gesamte Sommerdeich überflutet und das noch freie Rückhaltevolumen (über 19,5 m ü NN) gefüllt. Darüber hinaus wird ein Teil der Fläche auch durchströmt. In SOBEK wird dieser Prozess dargestellt als durchströmter Bereich der Querprofile

zu Teilprozess 1:

Dieser Teil des Prozesses findet im Bereich des Querprofiles statt, der nicht durch die Rückhaltemaßnahme beeinflusst ist.

zu Teilprozess 2:.

Ab einem Wasserstand von 19,5 m ü NN bei Rhein-km 834,2 wird der Rückhalteraum über eine Schwelle gefüllt. Bei vorheriger ökologischer Flutung dieses Gebietes ist der Rückhalteraum bereits bis zu einer Höhe von 15,5 m ü NN geflutet. Als Retentionsvolumen steht also nur noch das Volumen zwischen 15,5 m ü NN und 19,5 m ü NN zur Verfügung. Nach Bemmel und Rabbers (2001) umfasst dieses Volumen 7,3 Mio $m^{3.}$ und die Fläche zwischen dem alten und dem neue Deich 295 ha. Daraus ergibt sich eine mittlere Beckentiefe von 2,49 m und die Beckensohle bei 17,01 m ü NN. Diese wird gleich gesetzt mit dem Anfangswasserstand im Becken.

Das Ein- und Auslassbauwerk und damit die Retentionsmaßnahme befindet sich bei Rhein-km 834,2 (= SOBEK-km WESEL-REES 20200). Die Schwellenhöhe des Einlassbauwerks beträgt 19,5 m ü NN, die Schwellenlänge 300 m. Das Öffnen des Bauwerks wird gesteuert durch den Wasserstand am nächst unterhalb liegenden Rechenpunkt in SOBEK, d.h. auf SOBEK-km Wesel-Rees 21000 entsprechend Rhein-km 835. Das Öffnen des Bauwerks soll bei einem Wasserstand von 19,5 m am Bauwerk erfolgen, was nach den Wasserspiegellagenberechnung der BfG (Busch et al., 1994) einem Wassersstand von 19,34 m ü NN bei Rhein-km 835 entspricht. Das Schließen des Bauwerks erfolgt bei Erreichen des Wasserstandes im Becken bei Schwellenhöhe = 19,5 m ü NN. Das Entleeren erfolgt bei freier Vorflut mit ablaufender Welle über ein Auslaufbauwerk mit einer Schwellenlänge von 3 m, einer Öffnungshöhe von 3 m und einer Schwellenhöhe, die der Beckenbodenhöhe von 17,01 m ü NN entspricht (Zahlen fiktiv, da die Angaben in den Planungsunterlagen vor allem über die Leistung der Schleuse als physisch nicht möglich angesehen werden müssen).

zu Teilprozess 3.

Das Volumen im Retentionsraum oberhalb der Schwellenhöhe 19,5 m ü NN wird als Speichervolumen in die Profile (dA) eingebaut. Ebenso wird angenommen, dass ein Teil des gewonnenen Profils durchströmt ist. Da im Rahmen des LAHoR-Projektes diese Schematisierung bereits durchgeführt wurde, wurden die durch Bemmel und Rabbers (2001) erstellten Profile übernommen. Im Vergleich zu den damals gültigen Planungen, treten kleine Unterschiede in der tatsächlichen Ausführung auf.

Anlage A10: Grietherbusch

Vorliegende Studien und Unterlagen

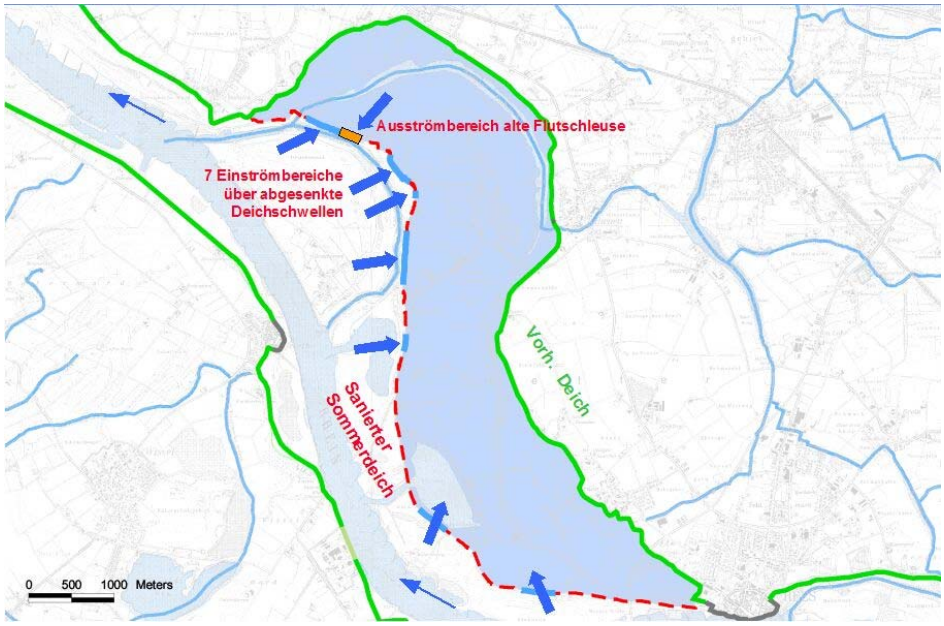
Bemmel, M.S. van und Rabbers, H.H. (2001): Dike Realignment along the Rhine, GIS-schematization im BASELINE for SOBEK modelling, Meander consultancy and research, Bericht 100033.1 38682/WSR. Bericht, BASELINE-Datensatz und SOBEK-Profile versie 2001.1

Landesumweltamt NRW (2003): Bestandsaufnahme und Datenrecherche zur Studie "Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein"; Bericht und Anlage. Bearbeitet durch Buchholz, o.; Friedeheim, S.; Wegelein, D und Bangel, H der Hydrorec, Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen; neue Deichlinien als shapefile

Situationsbeschreibung

Zunächst war nicht vorgesehen die geplanten Veränderungen am Sommerdeichsystem Grietherbusch zu berücksichtigen (Beschluss workshop 19./20. November 2002 in Rees). Beim zweiten Workshop (30. Juni/1.Juli 2003) wurde jedoch festgelegt die Veränderungen dieser Maßnahme doch zu berechnen. Bei Grietherbusch wird auf der rechten Rheinseite eine Verbesserung des Sommerpolders durchgeführt. Die Banndeiche bleiben unverändert, der Sommerdeich wird im Bereich Rhein-km 837,5 bis 847,5 um ca. 40 cm erhöht.

Systemskizze A10: Grietherbusch



Umsetzung in SOBEK

Im Rahmen des LAHoR-Projektes wurde diese Maßnahme schon einmal in ein SOBEK-Modell aufgenommen (Bemmel und Rabbers, 2001). Zwischen dem damals angenommenen Umfang der Maßnahme und dem inzwischen geplanten Umfang zeigen sich kleine Unterschiede. Diese sind jedoch sehr gering, sodass im Rahmen dieser Studie die von Bemmel und Rabbers, 2001 erzeugten Profile genutzt wurden.

Anlage A11: Bylerward

Vorliegende Studien und Unterlagen

Busch, N., Chojetzki, U., Engel, H. und Gundert, P.J. (1994): Wasserspiegellagenberechnungen am Rhein vom Pegel Köln bis zur deutsch-niederländischen Grenze, BfG-Bericht 862

Gewecke und Partner, GMBH (Februar 2001): Vorstudie Bylerward, Teil A, Zusammenfassende Ergebnisdarstellung

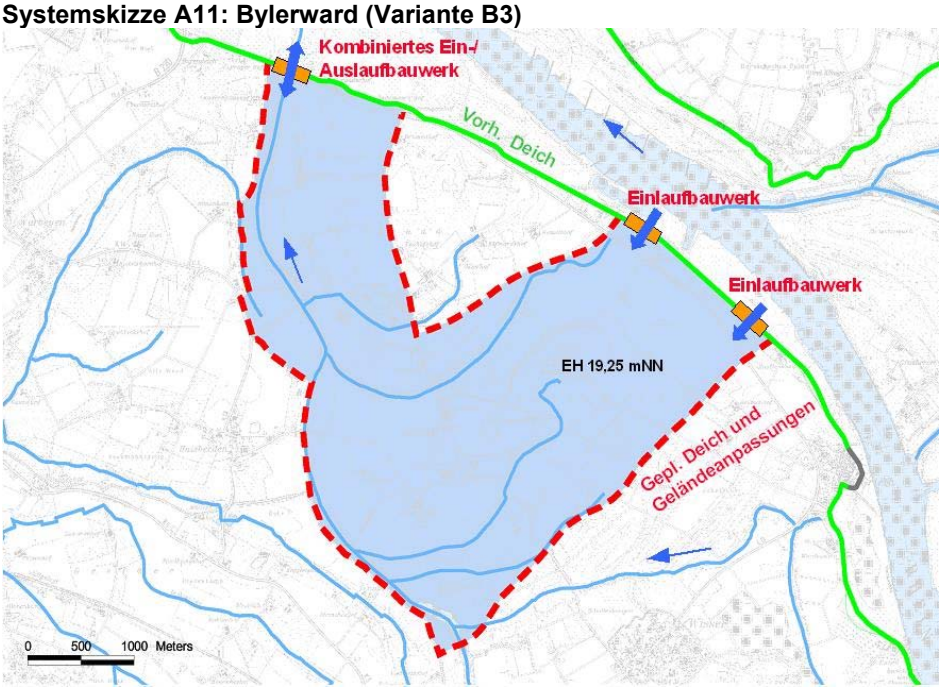
Gewecke und Partner, GMBH (September 1999): Vorstudie Bylerward, Teil B Bereich Wasserwirtschaft

Göbel, N. (Mai 1999): Abschätzung der hydraulischen Wirkung des Polders Bylerward auf den Hochwasserabfluss des Rheins

Situationsbeschreibung

Ca. zwischen km 845,5 bis 854,5 liegt linksrheinisch die Maßnahme Bylerward. Hierzu liegen in einer Vorstudie die Vorschläge von insgesamt 10 Varianten vor (Gewecke und Partner GMBH, Februar 2001 und September 1999), wovon die Variante B3 gerechnet werden soll (Beschluss workshop 19/20. November 2002 in Rees).

Systemskizze A11: Bylerward (Variante B3)



Mit einer Fläche von 1200 ha und einer maximalen Einstauhöhe von 19,25 m ü NN umfasst dieser Rückhalteraum 52 Mio m^3. Bei Rhein-km 846,5 und 848,2 ist je ein Einlaufbauwerk, bei km 852 ein Ein- und Auslaufbauwerk geplant. Die Schwellenhöhen der Bauwerke werden mit 14,5 bis 12,5 m. ü NN angegeben (alle Angaben aus: Gewecke und Partner GMBH, Februar 2001 und September 1999).

Über die Dimensionen der Bauwerke ist bei Gewecke und Partner GMBH, Februar 2001 und September 1999 lediglich bei der Beschreibung der Variante B1 vermerkt, dass die Einlaufquerschnitte jeweils zwischen 12 bis 16 m^2 betragen sollen mit einer maximalen Leistung von ca, 250 m^3/s (es ist anzunehmen, dass es sich hier um die Gesamtleistung der drei Bauwerke handelt). Entleert wird der Polder über das Schöpfwerk Kalflack (= unterstes Bauwerk) mit einer Kapazität von 10 m^3/s. Darüberhinaus wird der Polder über freie Vorflut bzw. ein zu erstellendes Auslaufbauwerk (ca. 80 m^3/s) entleert. Im Text zur Beschreibung der Variante B3 wird auf die Angaben zur Varaint B1 verwiesen. In einer Tabelle zur hydraulischen Wirkungsabschätzung wird dagegen von einer maximalen abflussabsenkenden Wirkung der Variante B3 von 400 m^3/s ausgegangen. D.h. es müssen 400 m^3/s in den Polder geleitet werden. Da diese Zahlen übereinstimmen mit den Ergebnissen von Göbel (1999), wird davon ausgegangen, dass die Leistungsfähigkeit der Bauwerke bei der Variante B3 mit 400 m^3/s höher ist als bei der Variante B1. Bei Göbel (1999) ist darüberhinaus eine korrespondierende Durchlassöffnung von 85 m^2 angegeben. Über die Steuerung der Maßnahme liegen keine Angaben vor. Hierzu können jedoch die Ergebnisse der hydraulischen Berechnung von Göbel (1999) herangezogen werden.

Umsetzung in SOBEK

Die Maßnahme Bylerward wird in SOBEK als Retentionsmaßnahme gerechnet, die bei Rhein-km 848,9 (Mittelwert der Lage der Bauwerke) (enspricht SOBEK-km Rees-Lobith 11500) liegt.

Bei einer Fläche von 1200 ha und einem Volumen von 52 Mio m^3 ergibt sich eine Beckentiefe von 4,33 m. Bei einer maximalen Einstauhöhe von 19,25 m ü NN ergibt sich die Beckenbodenhöhe von 14,92 m ü NN. Da alle bei Gewecke und Partner genannten Schwellenhöhen niedriger liegen als die Beckenbodenhöhe muss diese auch als Schwellenhöhe angenommen werden. Die in der Studie von Göbel genannte Durchlassöffnung wurde in eine Toröffnung (gatehight) von 3 m und eine Schwellenlänge von 28,33 m übersetzt. Eine erste Berechnung ergab, dass die Kapazität von 400 m^3/s so nicht erreicht werden kann. Deshalb wurde die Schwellenlänge auf 40 m vergrößert, sodaß mit einer berechneten Kapazität von 380 m^3/s die Werte der Untersuchungen von Göbel annähernd erreicht werden.

Zur Festlegung der Steuerung werden die Ergebnisse der hydraulischen Untersuchungen herangezogen (Göbel, 1999). Aus der Grafik der Anlage 12 kann abgelesen werden, dass bei einem Wasserstand von 17,85 m ü NN im Rhein bei km 845 der Polder sich beginnt zu füllen. Da die Steuerung dieses Polders sich in SOBEK auf den nächst unterhalb des Bauwerks sich befindenden Rechenpunkt (Rhein-km 849 = SOBEK-km Rees-Lobith 11 600) beziehen soll, muss der Wasserstand von km 845 auf km 849 umgerechnet werden. Nach den Wasserspiegellagenberechnungen der BfG (Busch et al. 1994) ergibt sich ein Wasserstand von 17,45 m ü NN.

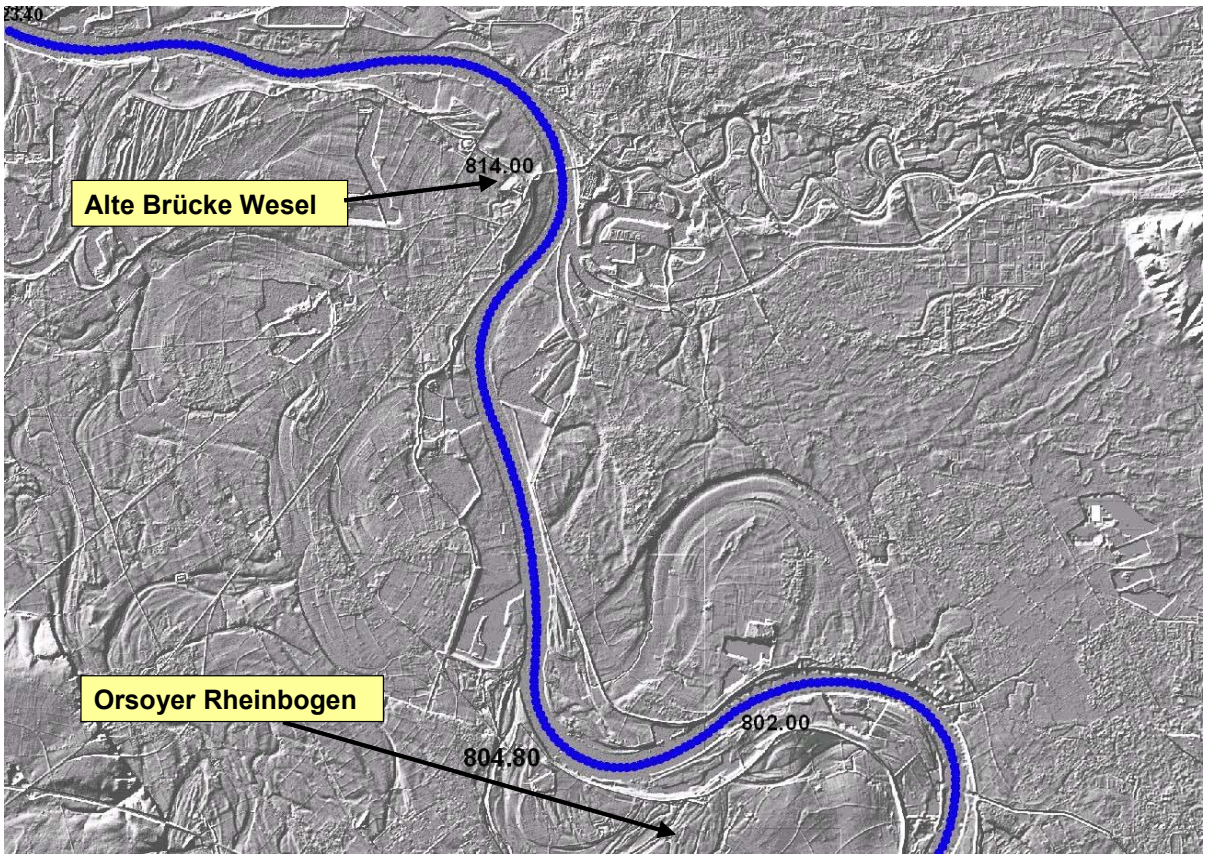
Das Bauwerk wird geschlossen, wenn im Becken ein Wasserstand von 19,25 m ü NN erreicht wird.

Die Entleerung erfolgt über ein Auslaufbauwerk mit der gleichen Schwellenhöhe als das Einlaufbauwerk. Da bei der ersten Testrechnung mit einer Schwellenlänge von 28,33 m der maximale Abfluss von 80 m^3/s gut getroffen wurde, wurde diese Schwellenlänge für das Ablaufbauwerk beibehalten. Hiermit ist auch die Restentleerung erfasst.

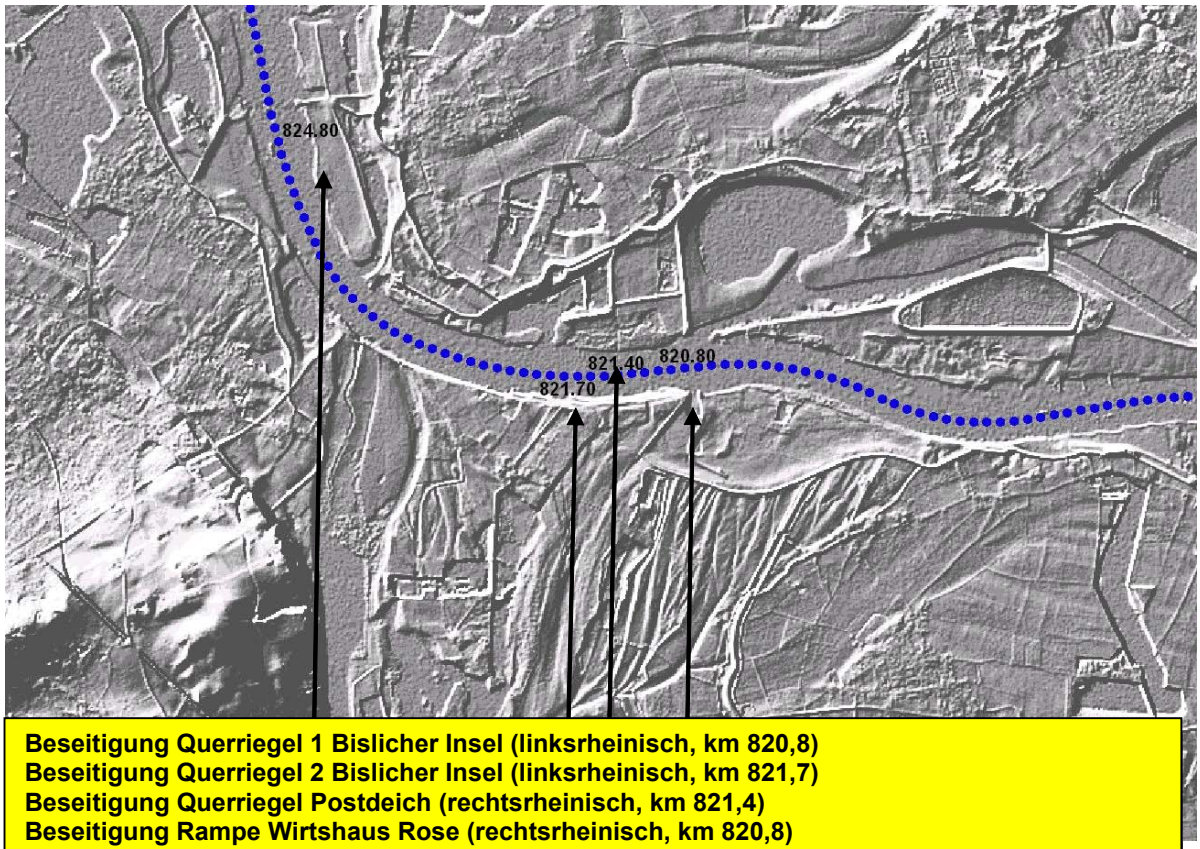
Anlage A12: Maßnahmenszenario NRWMAX

Neben den vorgesehenen Maßnahmen ist im ersten Projektworkshop auf eine sogenannte „Maximalvariante" vereinbart worden. Die Details dieser Maximalvariante sind wie folgt:

- „Optimierung" der Retentionspolder Langel, Worringen, Ilvericher Bruch 1+2 und Bylerward
- Einbeziehung des weiteren Retentionsraumes Orsoyer Rheinbogen (km 802 – 804,8)
- Beseitigung der alten Brücke Wesel (km 813,5 – 814,0)
- Bislicher Insel mit 5 Einzelmaßnahmen:
  - Beseitigung Querriegel 1 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel 2 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 821,7)
  - Beseitigung Querriegel Postdeich (rechtsrheinisch, km 821,4)
  - Beseitigung Rampe Wirtshaus Rose (rechtsrheinisch, km 820,8)
  - Beseitigung Querriegel Melkstall (rechtsrheinisch, km 824,8)
- Reeser Schanz (Flutmulde km 834,8 – 838,0),
- Flügeldeich Oberwörmter bereits über Grietherbusch in „2020" enthalten



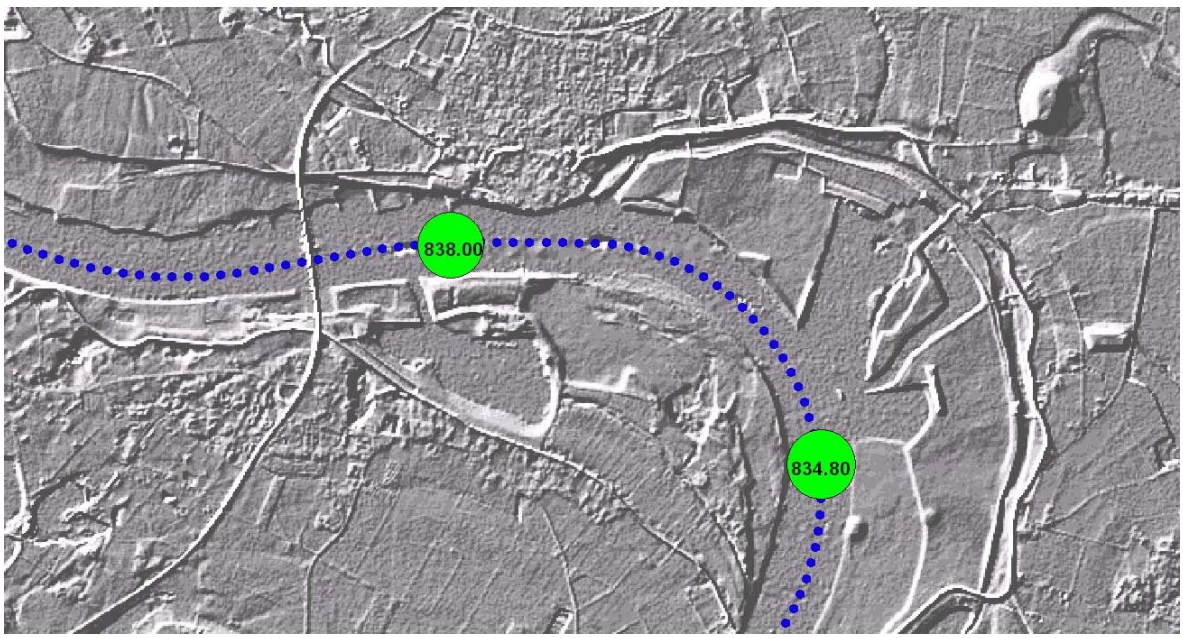
Lokalisierung der im Szenario NRWMAX realisierten Maßnahmen Orsoyer Rheinbogen und Beseitigung des hydraulischen hindernisses "Alte Brücke Wesel"



Beseitigung Querriegel 1 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 820,8)
Beseitigung Querriegel 2 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 821,7)
Beseitigung Querriegel Postdeich (rechtsrheinisch, km 821,4)
Beseitigung Rampe Wirtshaus Rose (rechtsrheinisch, km 820,8)
Beseitigung Querriegel Melkstall (rechtsrheinisch, km 824,8)

Lokalisierung der im Szenario NRWMAX realisierten Maßnahme „Bislicher Insel mit 5 Einzelmaßnahmen“:

- Beseitigung Querriegel 1 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 820,8)
- Beseitigung Querriegel 2 Bislicher Insel (linksrheinisch, km 821,7)
- Beseitigung Querriegel Postdeich (rechtsrheinisch, km 821,4)
- Beseitigung Rampe Wirtshaus Rose (rechtsrheinisch, km 820,8)
- Beseitigung Querriegel Melkstall (rechtsrheinisch, km 824,8)



Lokalisierung der "Reeser Schanz“ (Flutmulde km 834,8 – 838,0),

Anlage A13: PKB Raum für den Fluss

Wasserstandserniedrigende Maßnahmen im Rahmen des Programmas „Raum für den Fluss“ in den Niederlanden

Vorliegende Studien und Unterlagen

WL|Delft Hydraulics, (April 2002): Spankrachtstudie deelrapport 3, Hydraulische effecten van maatregelen bovenrivierengebied

Situationsbeschreibung

Entlang der Rheinzweige zwischen Lobith und dem Meer werden zur Zeit eine große Anzahl von Maßnahmen untersucht, um die Abflusskapazität des Flusses zu vergrößern ohne die Deiche zu erhöhen. Bei dieser Studie zur planerischen Grundsatzentscheidung (PKB-Studie) wird vielfältig das 2-D-Modell WAQUA eingesetzt. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Abflussverteilung an den Bifurkationspunkten Pannerden ‘scher Kop und IJsselkop gewidmet.

Um zu vermeiden, dass Arbeiten, die in der PKB-Studie bereits erledigt wurden, im Rahmen der hier behandelten grenzüberschreitenden Studie noch einmal mit Hilfe des einfacheren SOBEK-Instruments durchgeführt werden, wurde auf dem workshop vom 19./20. November 2002 beschlossen, die Auswirkungen der Maßnahmen in den Niederlanden durch Vertiefung des Hauptgerinnes darzustellen.

Umsetzung in SOBEK

Um den Umfang der Maßnahme „Vertiefung des Hauptgerinnes“ zu bestimmen, muss zunächst der Unterschied zwischen den Wasserständen bei einem Abfluss bei Lobith von 15.000 m^3/s und 16.000 m^3/s bestimmt werden. Daraus ergibt sich die sogenannte „Zielsetzung“, die nachfolgend durch die Maßnahme „Vertiefung des Hauptgerinnes“ erreicht werden soll.

Die Zielsetzung wird festgelegt mittels 3 SOBEK-Berechnungen mit SOBEK-Rijn Version 2000.3 (Zustand 1997):

1. Berechnung mit der Standardbemessungsganglinie 15.000 m^3/s bei Lobith. Diese Berechnung dient als Referenzberechnung
2. Berechnung mit der Standardbemessungsganglinie 16.000 m^3/s bei Lobith. Aus den Ergebnissen dieser Berechnung wird der Abfluss für die unteren Modellränder Werkendam, Krimpen a/d/ Lek und Ketelmeer abgeleitet. Als Folge der wasserstandserniedrigenden Maßnahmen zwischen diesen Modellrändern und dem Meer gehören zu diesen neuen Abflüssen die Wasserstände der Standardbemessungsganglinie 15.000 m^3/s. Die Wasserstands-Abflussbeziehung an den unteren Modellgrenzen werden dementsprechend angepasst.
3. Berechnung mit der Standardbemessungsganglinie 16.000 m^3/s bei Lobith und angepassten Wasserstands-Abflussbeziehungen für die unteren Modellränder.

Der Umfang die Maßnahme „Vertiefung des Hauptgerinnes“ wird bestimmt, indem für jedes SOBEK-Profil iterativ eine Vertiefung des Hauptgerinnes durchgeführt wird, bis die Zielsetzung erreicht ist. Dabei wird der gleiche Algorithmus wie im DSS angewandt.

Zur Vermeidung zu langer Rechenzeiten wurde zur Bestimmung der benötigten Vertiefung des Hauptgerinnes gefordert, dass die realisierten Wasserstandserniedrigungen von der Zielsetzung nicht mehr als 0,02 m abweicht.

Anlage A14: Rijnstrangen

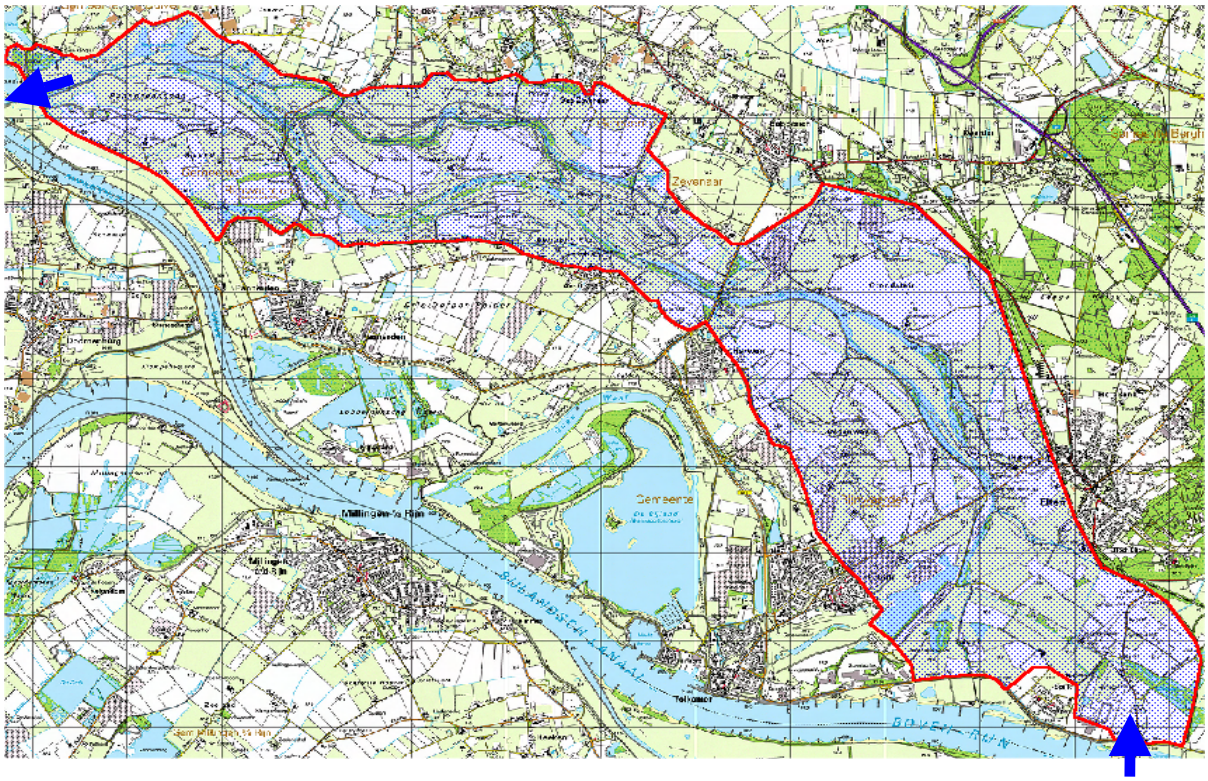
Vorliegende Studien und Unterlagen

WL|Delft Hydraulics, (April 2002): Spankrachtstudie deelrapport 3, Hydraulische effecten van maatregelen bovenrivierengebied

Situationsbeschreibung

Zwischen ca. km 857,5 und 873,8 (Pannerden 'sche Kanal) liegt rechtsrheinisch die Maßnahme Rijnstrangen. Dieses Gebiet wurde daraufhin untersucht, welche wasserstandsreduzierende Wirkung der einsatz dieses Gebietes als Rückhaltemaßnahme hat. Hierzu liegen in einer Vorstudie die Vorschläge von insgesamt 2 Varianten vor (WL|Delft Hydraulics, April 2002), wovon die Variante 90001k gerechnet wird.

Systemskizze A14: Rijnstrangen (Variante 90001k)



Mit einer Fläche von 2891 ha und einer maximalen Einstauhöhe von 17,95 m ü NN umfasst dieser Rückhalteraum 168,8 Mio m^3. Bei Rhein-km 860 ist ein Einlaufbauwerk, bei km 873,8 ein Auslaufbauwerk vorgesehen. Die Schwellenhöhen der Bauwerke werden nicht angegeben.
Über die Dimensionen der Bauwerke ist bei WL|Delft Hydraulics (April 2002) vermerkt, dass sie eine maximale Leistung von ca, 750 m^3/s. aufweisen sollen. Entleert wird der Polder über das Schöpfwerk Kandia (= unteres Bauwerk) mit einer Kapazität von 10 m^3/s. Darüber hinaus wird der Polder über freie Vorflut entleert.
Ziel dieser Maßnahme ist es, die Flusswasserstände bei Abflüssen oberhalb des Bemessungsabflusses (Zustand 1996, 15.000 m^3/s) so lange wie möglich unterhalb des Niveaus der Bemessungswasserstände MHW 1996 zu halten. Im Zustand 2002 werden diese Wasserstände bei einem Abfluss bei Lobith von 15.000 m^3/s erreicht, im Zustand 2020 bei 16.000 m^3/s.

Umsetzung in SOBEK

Die Maßnahme Rijnstrangen wird in SOBEK als Retentionsmaßnahme gerechnet, die bei Rhein-km 860 (enspricht SOBEK-km Rees-Lobith 22600) liegt. Da es sich hierbei auch um einen Rechenpunkt handelt, wird die Lage um einen Meter nach oben auf SOBEK-km Rees-Lobith 22599 verlegt.
Bei einer Fläche von 2891 ha und einem Volumen von 168,8 Mio m^3 ergibt sich eine Beckentiefe von 5,84 m. Bei einer maximalen Einstauhöhe von 17,95 m ü NN ergibt sich die Beckenbodenhöhe von 12,11 m ü NN. Die Schwellenlänge wird angenommen auf 600 m. Die in der Studie WL|Delft Hydraulics genannte Kapazität von ca. 750 m^3/s wurde erreicht mit einer Schwellenhöhe von 17,20 m ü NN.
Die Steuerung dieses Polders bezieht sich in SOBEK auf den nächst unterhalb des Bauwerks sich befindenden Rechenpunkt (Rhein-km 860 = SOBEK-km Rees-Lobith 22600). Das Bauwerk wird geöffnet bei einem Wasserstand im Fluss von 17,20 m ü NN.

Das Entleeren erfolgt bei freier Vorflut mit ablaufender Welle über ein Auslaufbauwerk mit einer Schwellenlänge von 36 m, einer Öffnungshöhe von 3 m und einer Schwellenhöhe, die der Beckenbodenhöhe von 12,11 m ü NN entspricht.

Anlage A15: Ooijpolder

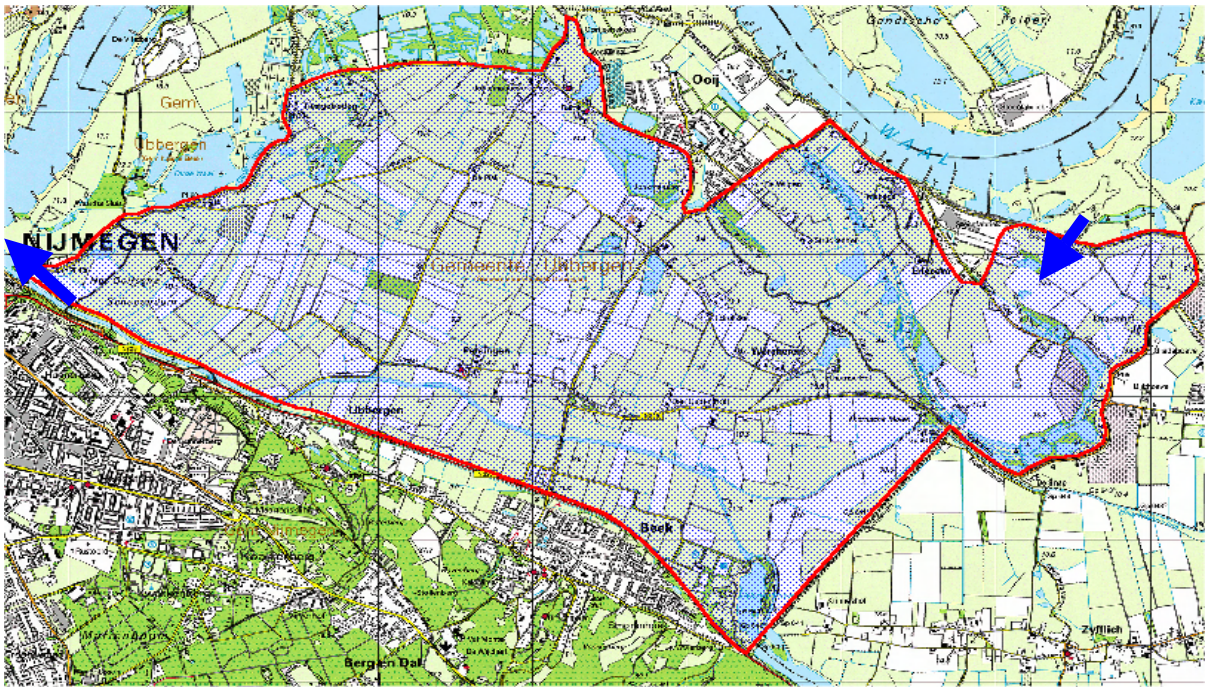
Vorliegende Studien und Unterlagen

WL|Delft Hydraulics, (April 2002): Spankrachtstudie deelrapport 3, Hydraulische effecten van maatregelen bovenrivierengebied

Situationsbeschreibung

Zwischen ca. km **874,0 bis 883,4** (Waal) liegt am linken Ufer der Ooijpolder geplant. Dieses Gebiet wurde daraufhin untersucht, welche wasserstandsreduzierende Wirkung der einsatz dieses Gebietes als Rückhaltemaßnahme hat. Hierzu liegen in einer Vorstudie die Vorschläge von insgesamt 2 Varianten vor (WL|Delft Hydraulics, April 2002), wovon die Variante 90002k gerechnet wird.

Systemskizze A15: Ooijpolder (Variante 90001k)



Mit einer Fläche von 1519 ha und einer maximalen Einstauhöhe von 15,97 m ü NN umfasst dieser Rückhalteraum 88,7 Mio m^3. Bei Waal-km 874 ist ein Einlaufbauwerk, bei km 883,4 ein Auslaufbauwerk vorgesehen. Die Schwellenhöhen der Bauwerke werden nicht angegeben.
Über die Dimensionen der Bauwerke ist bei WL|Delft Hydraulics (April 2002) vermerkt, dass die maximalen Leistung ca. 420 m^3/s betragen soll. Entleert wird der Polder über das Schöpfwerk Hollands-Duits-gemaal (= unteres Bauwerk) mit einer Kapazität von 14,6 m^3/s. Darüber hinaus wird der Polder über freie Vorflut entleert.
Ziel dieser Maßnahme ist es, die Flusswasserstände bei Abflüssen oberhalb des Bemessungsabflusses so lange wie möglich unterhalb des Niveaus der Bemessungswasserstände MHW 1996 zu halten. Im Zustand 2002 werden diese Wasserstände bei einem Abfluss bei Lobith von 15.000 m^3/s erreicht, im Zustand 2020 bei 16.000 m^3/s.

Umsetzung in SOBEK

Die Maßnahme Ooijpolder wird in SOBEK als Retentionsmaßnahme gerechnet, die bei Waal-km 874 (entspricht SOBEK-km Waal__1 6900) liegt. Bei einer Fläche von 1519 ha und einem Volumen von 88,7 Mio m^3 ergibt sich eine Beckentiefe von 5,84 m. Bei einer maximalen Einstauhöhe von 15,97 m ü NN ergibt sich die Beckenbodenhöhe von 10,13 m ü NN. Für die Schwellenlänge wird 300 m angenommen. Die in der Studie WL|Delft Hydraulics genannte Kapazität von ca. 420 m^3/s wurde bei einer Schwellenhöhe von 15,40 m ü NN erreicht.
Die Steuerung dieses Polders bezieht sich in SOBEK auf den nächst unterhalb des Bauwerks sich befindenden Rechenpunkt (Waal-km 874.2 = SOBEK-km Waal___1 7034). Ab einem Wasserstand von 15,40 m ü NN im Fluss wird das Gebiet gefüllt.
Das Entleeren erfolgt bei freier Vorflut mit ablaufender Welle über ein Auslaufbauwerk mit einer Schwellenlänge von 36 m, eine Öffnungshöhe von 3 m und einer Schwellenhöhe, die der Beckenbodenhöhe von 10,13 m ü NN entspricht.