

Auftraggeber: Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser

Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein

Teilbericht

**Eingabedaten für das DSS
Niederrhein-Rheinzweige**

Dezember 2004

Impressum

Der vorliegende Bericht wurde vom Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS RIZA) und dem 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:** Ing. R. van der Veen (RIZA)
Dr.-Ing. R. Lammersen (RIZA)
Ir. D. F. Kroekenstoel (RIZA)
Dipl.-Ing. M. Brinkmann (LUA)
- Übersetzung:** Bericht: Reva-Taaltraining en Vertalingen, Wekerom
RWS-RIZA, Arnhem, L.W.J. van Hal&Dr.-Ing. R. Lammersen
Anlagen: Originalsprache
- Druck:** MacDonald/SSN, Nijmegen
- 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:** 9036956668
- Informationsdienste:** <http://www.munlv.nrw.de>
<http://www.gelderland.nl>
<http://www.minvenw.nl>
- 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 Invoergegevens BOS-IR Niederrhein-Rijntakken
(ISBN 9036956714)

Inhaltsangabe:

0	Einleitung	1
1	Auswahl der Ganglinien	3
1.1	Beschreibung der Daten	3
1.2	Analyse der von der BfG bereitgestellten Ganglinien	4
1.3	Auswahlkriterien für Ganglinien	5
1.4	Auswahl der Ganglinien	6
2	Bereitstellung der Ganglinien für das DSS	9
2.1	Bestimmung der Zeitreihen, Reihenlängen, und Bezugszeiten	9
2.2	Eingabe für den Einfluss des Grundwassers	9
2.3	Eingabe für die Nebenflüsse in den Niederlanden.....	11
3	Schematisierung von Maßnahmen	13
3.1	Wasserstandsreduzierende Maßnahmen	13
3.2	Aktivierung der Maßnahmen im DSS.....	14
3.3	Schematisierung von Maßnahmen	14
3.3.1	Schematisierung der Retentionsräume.....	15
3.3.2	Schematisierung der Deichrückverlegungen	17
3.3.3	Schematisierung durchströmter Teile von Retentionsmaßnahmen	18
3.3.4	Schematisierung von Maßnahmen im Rahmen des Programms Raum für den Fluss	18
4	Schematisierung des Gebiets hinter den Deichen	19
4.1	Einleitung	19
4.2	Grundbedingungen Deichbruch, Deichüberströmen.....	19
4.3	Auswahl der Ganglinien zur Abreglung von SOBEK auf Delft-FLS	20
4.4	Zeitreihen für Delft-FLS.....	20
4.5	Vorgehensweise bei der Abreglung SOBEK auf Delft-FLS	22
5	Zusammenfassung	29
6	Literatur	31
6.1	Teilberichte im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“	31
6.2	Andere Literatur	32
Anlage A:	Analyse der durch die BfG bereitgestellten Hochwasserganglinien aus dem Einzugsgebiet	A1
Anlage B:	Beschreibung der wasserstandsreduzierenden Maßnahmen	B1
Anlage C:	Beschreibung Modellierung Deichüberströmen/Deichbruch im DSS Niederrhein-Rheinzweige	C1

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 3.1: Funktionsskizze der Retention in SOBEK.....	15
Abbildung 3.2: Bauwerkdimensionen in der Breite (Draufsicht).....	16
Abbildung 3.3: Bauwerkdimensionen in der Höhe (Seitenansicht).....	16
Abbildung 3.4: Lagedifferenz beim neuen Deich bei Monheim zwischen der Schematisierung für das LAHoR-Projekt (Van Bommel & Rabbers, 2001) und der heutigen Schematisierung (Landesumweltamt NRW, 2003).....	17
Abbildung 4.1: Umrechnung Eingabetabellen für Grundwasser von SOBEK in Delft-FLS.....	21
Abbildung 4.2: Abflussdifferenz infolge der Umsetzung des Grundwasseraustausches in SOBEK und in Delft-FLS.....	22
Abbildung 4.3: Gebiete hinter den Deichen, die bei den genannten Hochwassern potenziell (linke Abbildung) und tatsächlich (rechte Abbildung) von Deichüberströmen oder Deichbruch betroffen sind (Bezugsjahr 1995).....	24
Abbildung 4.4: Abreglung SOBEK auf Delft-FLS für Zustand 1995/2002.....	27
Abbildung 4.5: Abreglung SOBEK auf Delft-FLS für Zustand 2020.....	28

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1.1: Übersicht über die 16 höchsten Abflussscheitelwerte an den Pegeln Andernach und Lobith	3
Tabelle 1.2: Übersicht über die Zeitreihen, die von der BfG bereitgestellt wurden	4
Tabelle 1.3: Bemessungsgrundlage von Deichen und global abgeschätzte Abflusskapazität (Lammersen, 2004)	5
Tabelle 1.4: Geschätzte Wirkungsbereiche der Maßnahmen (Lammersen, 2004)	6
Tabelle 1.5: Ausgewählte Ganglinien mit Auswahlkriterien	7
Tabelle 1.6: Unterschiede bei BfG-Modellierung und RIZA-Modellierung	7
Tabelle 2.1: Indikative Übersicht über den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser	10
Tabelle 3.1: Maßnahmen im Studiengebiet	13
Tabelle 4.1: Delft-FLS-Berechnungen für die Abstimmung mit SOBEK	20
Tabelle 4.2: Modellränder Delft-FLS	20
Tabelle 4.3: Gebiete mit Überflutung des Deichhinterlands durch Überströmen von Hochuferbereichen oder Hochwasserschutzmauern	25
Tabelle 4.4: Gebiete mit Überflutung des Deichhinterlands durch Deichbruch	26

0 Einleitung

Um die nötige Kenntnis zum weiteren Vorgehen im grenzüberschreitenden Hochwasserschutz zu gewinnen, rief die *Deutsch-Niederländische Arbeitsgruppe Hochwasser* das Projekt „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“ ins Leben. In enger Abstimmung mit der Arbeitsgruppe und unter der Leitung des Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA) wurde das Projekt im Zeitraum von 2002 bis 2004 von der Provinz Gelderland, dem RIZA, dem Landesumweltamt (LUA) in Düsseldorf sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz durchgeführt.

Die Aufgabenstellung des Projekts lässt sich im Wesentlichen durch die folgenden Kernfragen zusammenfassen:

- Wie viel Abfluss kann unter extremen Bedingungen aus dem Einzugsgebiet des Rheins erwartet werden?
- Wie viel Abfluss kann zwischen den Deichen am Niederrhein und in den Rheinseiten abgeführt werden? Wo finden Deichüberströmungen statt und wie wirkt sich das auf die Abflusswelle aus?
- Was geschieht, wenn der Abfluss nicht zwischen den Deichen abgeführt werden kann? Welche Gebiete hinter den Deichen werden überflutet? Sind grenzüberschreitende Überflutungen möglich?
- Welche Auswirkungen haben Hochwasser reduzierende Maßnahmen?

Berücksichtigt werden sollten:

- Die heutigen (1995, 2002) sowie die für 2020 im Zuge der zur Zeit laufenden Deichsanierungen in NRW geplanten Deichhöhen.
- Die vorhandenen bzw. geplanten Maßnahmen zur Hochwasserreduzierung am Oberrhein, am Niederrhein und in den niederländischen Rheinseiten für die Zustände 2002 und 2020.
- Das heutige Klima sowie die Auswirkung möglicher Klimaänderungen.

Das Untersuchungsgebiet dieses Projekts umfasst das Einzugsgebiet des Rheins bis unterhalb von Boven-Merwede, Lek und Ketelmeer. Das Studiengebiet beschreibt den Rhein (Sommer- und Winterbett und potenziell überflutungsgefährdetes Gebiet) im deutsch-niederländischen Grenzgebiet und wird innerhalb dieses Projekts flussaufwärts durch Andernach und flussabwärts durch die Strecke begrenzt, auf die sich Maßnahmen in den Niederlanden auf die Wasserstände in Deutschland auswirken, (es wird von Tiel [Waal], Amerongen [Nederrijn] und Zutphen [IJssel] ausgegangen).

Im Wesentlichen wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Ermittlung extremer Abflüsse aus dem Rheineinzugsgebiet bei Andernach
- Überflutungsberechnungen für den Niederrhein und Gelderland
- Erfassung der Wirkungen des Deichüberströmens und der Hochwasser reduzierenden Maßnahmen auf den Wasserstand und den Abfluss
- Einschätzung der Auswirkung von Klimaänderungen.

Bei der Ermittlung der Auswirkungen des Deichüberströmens und der Hochwasser reduzierenden Maßnahmen auf den Wasserstand und Abfluss wurde das Decision Support System DSS-large rivers (auf Niederländisch BOS-Inrichting Rivieren – BOS-IR) eingesetzt. Dieses Modell wurde in den vergangenen Jahren von RIZA und WL|Delft Hydraulics zur Analyse der Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen entwickelt. Bei dem DSS handelt es sich um eine spezielle Benutzeroberfläche für den hydraulischen Rechenkern SOBEK. Mit dem DSS können auf einfache und eindeutige Weise eine Vielzahl von wasserbaulichen Maßnahmen simuliert werden. Darüber hinaus bietet das DSS umfassende Casemanagement-Möglichkeiten. Im Prinzip ist das DSS eine leere Hülle. Wenn diese mit einem SOBEK-Modell und Datenbanken in Bezug auf die Geometrie und Randbedingungen gefüllt werden, kann ein DSS für einen Flussabschnitt gebaut werden.

Um zu gewährleisten, dass die einzelnen Parteien hinter den eingesetzten Mitteln (Modellen) stehen und die ausführenden der Untersuchung über die richtigen und aktuellsten Informationen für die Schematisierung des Gebiets verfügen (Geländehöhe, Deichhöhen, wasserstandsreduzierende Maßnahmen), fanden am 19./20. November 2002 und am 30. Juni/31. Juli 2003 Workshops statt. An diesen Workshops nahmen die Mitglieder der deutsch-niederländischen Arbeitsgruppe Hochwasser, ein

Vertreter des Wasser- und Schifffahrtsamts Duisburg-Rhein und die mit den Untersuchungen betrauten Mitarbeiter des RIZA, der Provinz Gelderland, dem LUA und der BfG teil.

In dem hier vorliegenden Bericht wird die Zusammenstellung der erforderlichen Eingabedaten für das DSS beschrieben. In Kapitel 1 und Anlage A wird auf die Vorauswahl der Hochwasserganglinien für die weitere Studie eingegangen. Dabei handelt es sich um die Ganglinien oberhalb der Begrenzung bei Andernach und um die seitlichen Zuflüsse ab Andernach. Anschließend wird in Kapitel 2 auf die Umsetzung dieser Ganglinien in Eingabedaten für das DSS eingegangen. In Kapitel 3 und Anlage B wird die Schematisierung der Maßnahmen am Niederrhein und den niederländischen Rheinzweigen besprochen.

Kapitel 4 befasst sich mit der Schematisierung des Gebiets hinter den Deichen. Anlage C enthält detaillierte Informationen über die einzelnen Gebiete. Kapitel 5 enthält schließlich eine kurze Zusammenfassung.

Weitere Informationen über das Projekt sind dem Gesamtbericht (Lammersen, 2004) und den im Literaturverzeichnis (Kapitel 6) aufgeführten Teilberichten zu dieser Studie zu entnehmen.

1 Auswahl der Ganglinien

1.1 Beschreibung der Daten

Die BfG hat mit einem Niederschlagsgenerator von KNMI 1000 Jahre Niederschlag im Rheineinzugsgebiet bis Lobith simuliert (Eberle et al., 2004). Zum Aufbau dieser 1000-jährigen Reihe hat die BfG mit 25 Blöcken von jeweils 40 Jahren gearbeitet. Jeder Niederschlagsblock hat ein Beginndatum von 1.1.1961 und ein Enddatum von 31.12.2000. Auf der Grundlage dieser Reihen hat die BfG dem RIZA die Angaben über 1000 Jahre Niederschlag für den Niederrhein und 1000 Jahre Abfluss für Andernach zur Verfügung gestellt. Die Ganglinien liegen in Bezug auf Datum und Zeit ebenso wie die Niederschlagsreihen immer zwischen 1.1.1961 und 31.12.2000. Jedes Hochwasser wird mit dem Kode HW und einer Jahreszahl aus der 1000-jährigen Reihe gekennzeichnet.

Auf der Grundlage der hydrologischen Modellierung mit HBV hat die BfG die 16 Hochwasser mit den höchsten Abflussscheitelwerten bei Andernach (und bei Lobith) ausgewählt. Für diese 16 Ganglinien hat die BfG Berechnungen mit der Modellkopplung HBV-SYNHP-SOBEK vorgenommen (Eberle et al., 2004). Die Ergebnisse dieser Berechnungen wurden dem RIZA in Form von Spreadsheet-Dateien für jede einzelne Ganglinie bereitgestellt. Tabelle 1.1 enthält eine Übersicht über die bereitgestellten Hochwasserperioden und die Differenzen zwischen der hydrologischen Berechnung mit HBV und den hydrologischen/hydraulischen Berechnungen mit der Modellkopplung HBV-SYNHP-SOBEK.

Tabelle 1.1: Übersicht über die 16 höchsten Abflussscheitelwerte an den Pegeln Andernach und Lobith (Berechnungen BfG, Berechnungen ohne Deichüberströmen am Oberrhein und Niederrhein)

Hochwasser	Hydrologische Modellierung HBV (BfG) Q [m ³ /s]		Hydraulische/hydrologische Modellierung (BfG) Q [m ³ /s]		Differenzen (%)	
	Andernach	Lobith	Andernach	Lobith	Andernach	Lobith
HW036	15087	16060	15956	17703	5,8	10,2
HW113	12970	13580	14430	15283	11,3	12,5
HW158	16894	17419	17822	19200	5,5	10,2
HW221	12339	13108	13123	14358	6,4	9,5
HW329	11590	13056	12362	14177	6,7	8,6
HW457	12461	13214	14157	15033	13,6	13,8
HW473	14082	13994	15201	15640	8,0	11,8
HW579	12379	13818	13627	15258	10,1	10,4
HW584	12756	12964	13046	13876	2,3	7,0
HW715	12990	13810	14749	15715	13,5	13,8
HW719	15354	15371	16135	16754	5,1	9,0
HW755	12780	13339	13116	14235	2,6	6,7
HW824	15071	16222	15757	17266	4,5	6,4
HW841	12691	13451	13677	14906	7,8	10,8
HW846	13173	13923	14176	15433	7,6	10,8
HW982	15367	15680	16022	17175	4,3	9,5

Die hydrologische/hydraulische Modellierung ergibt 4 bis 14% höhere Abflussscheitel als die alleinige hydrologische Modellierung. Vorab lässt sich nicht eindeutig bestimmen, welche Modellierung besser ist. Deswegen hat die BfG zwecks Validierung der hydraulischen/hydrologischen Modellierung ebenfalls eine Reihe historischer Hochwasser durchgerechnet. Dabei konnte die BfG feststellen, dass die Hochwasser von 1988, 1993 und 1995 mit der hydraulischen/hydrologischen Modellierung (bis zu 22%!) überschätzt wurden, wohingegen die Hochwasser von 1983 und 1970 leicht unterschätzt wurden.

Die Schlussfolgerung lautet, dass die Abflussganglinien, die anhand der hydrologischen/hydraulischen Modellkopplung errechnet wurden, aller Wahrscheinlichkeit nach extremer sind, als aus den Niederschlagsfeldern zu erwarten ist. Für die prinzipielle Untersuchung, was geschieht, wenn extreme Abflüsse am Niederrhein auftreten, kann diese Unsicherheit in Kauf genommen werden. Allerdings kann aus diesem Grund die Wiederkehrwahrscheinlichkeit der untersuchten Hochwasser nicht eindeutig bestimmt werden.

Die BfG hat die Zeitreihen für 3 Szenarien bereitgestellt: Zustand 2002 ohne Deichüberströmen am Oberrhein (Ist2002_OhneDueb), Zustand 2002 mit Deichüberströmen am Oberrhein (Ist2002_MitDueb) und Zustand 2020 mit Deichüberströmen am Oberrhein (Soll2020_MitDueb). In Tabelle 1.2 werden die vorhandenen Zeitreihen von Abflüssen und Wasserständen dargestellt.

Tabelle 1.2: Übersicht über die Zeitreihen, die von der BfG bereitgestellt wurden (Rheinpegel sind gelb markiert)

	Ist2002_OhneDueb ¹		Ist2002_MitDueb		Soll2020_MitDueb		Zufluesse_HBV	Zufluesse_SOBEK
	H	Q	H	Q	H	Q	Q	Q
Andernach	X	X	X	X	X	X		
OW ² Ahr	X	X	X	X	X	X		
Ahr							X	X
UW ³ Ahr	X	X	X	X	X	X		
Bonn	X	X	X	X	X	X		
OW Sieg	X	X	X	X	X	X		
Sieg							X	X
UW Sieg	X	X	X	X	X	X		
Köln	X	X	X	X	X	X		
OW Wupper	X	X	X	X	X	X		
Wupper							X	X
UW Wupper	X	X	X	X	X	X		
OW Erft	X	X	X	X	X	X		
Erft							X	X
UW Erft	X	X	X	X	X	X		
Düsseldorf	X	X	X	X	X	X		
OW Ruhr	X	X	X	X	X	X		
Ruhr							X	X
Duisburg	X	X	X	X	X	X		
UW Ruhr	X	X	X	X	X	X		
Ruhrort	X	X	X	X	X	X		
OW Emscher	X	X	X	X	X	X		
Emscher							X	X
UW Emscher	X	X	X	X	X	X		
OW Lippe	X	X	X	X	X	X		
Lippe							X	X
Wesel	X	X	X	X	X	X		
UW Lippe	X	X	X	X	X	X		
Rees	X	X	X	X	X	X		
Lobith	X	X	X	X	X	X		

1.2 Analyse der von der BfG bereitgestellten Ganglinien

Auf der Grundlage der von der BfG bereitgestellten Zeitreihen wurde eine erste Analyse im Hinblick auf die Abflussscheitel an den wichtigsten Rheinpegeln, die Laufzeit zwischen den wichtigsten Pegeln und die Auswirkung von Deichüberströmen am Oberrhein vorgenommen. Zusätzlich erfolgten Analysen bezüglich der Abflussscheitel der Nebenflüsse und bezüglich der Abflüsse der Nebenflüssen zu dem Zeitpunkt, an dem der Abflussscheitel im Rhein die Mündung des Nebenflusses passiert. Schließlich wurden Analysen in Bezug auf die Volumina der Abflussscheitel oberhalb von Schwellenwerten durchgeführt, bei denen lokal möglicherweise ein Deichüberströmen am Niederrhein auftritt. Anlage A enthält für jede Hochwasserwelle aus Tabelle 1.1 eine Übersicht über die Ergebnisse dieser Analysen.

¹ Dueb : mit oder ohne Deichüberströmen bezieht sich in dieser Tabelle auf den Oberrhein

² OW : Wasserstände und Abflüsse oberhalb der Zuflussstelle

³ UW : Wasserstände und Abflüsse unterhalb der Zuflussstelle

1.3 Auswahlkriterien für Ganglinien

Gemeinsam mit der deutsch-niederländischen Arbeitsgruppe (Workshop vom 19./20. November 2002) wurde beschlossen, dass das Hochwasser vom Januar 1995 (mit tatsächlich gemessenen Abflüssen) als Ganglinie berücksichtigt werden soll. Ferner wurde beschlossen, dass die Ganglinie mit dem höchsten Abflussscheitelwert ebenfalls zu berücksichtigen ist.

Bei der Auswahl der übrigen Ganglinie spielten folgende Kriterien eine Rolle:

1. Zur Untersuchung der *Auswirkungen von Überflutungen* werden Abflussganglinien benötigt, bei denen ein oder mehrere Deiche überströmt werden (Tabelle 1.3).
2. Zur Bestimmung der *Abflusskapazität des Niederrheins* (welcher Abfluss kann noch abgeleitet werden, ohne dass es zum Überströmen eines Deiches kommt) werden Ganglinien benötigt, deren Scheitelwerte zwischen dem Niveau des Bemessungswasserstandes und dem Überströmungsniveau liegen (Tabelle 1.3).
3. Zur Bestimmung der *Abflusskapazität des Niederrheins* (welcher Abfluss kann noch abgeleitet werden, ohne dass es zum Überströmen eines Deiches kommt) sind darüber hinaus Ganglinien nötig, die etwas unterhalb des Bemessungsniveaus liegen (Tabelle 1.3).
4. Zur Bestimmung der Wirkung der *geplanten und der bereits fertiggestellten Maßnahmen* am Niederrhein sind schließlich noch Ganglinien nötig, deren Abflussscheitel im Wirkungsbereich dieser Maßnahmen liegen (Tabelle 1.4).
5. Insgesamt sollten die Ganglinien das *gesamte Spektrum an Scheitelwerten* zwischen dem historischen Hochwasser vom Januar 1995 und der Ganglinie mit den höchsten Abflussscheitelwerten umfassen.

Bei der Auswahl der einzelnen Ganglinien wird der Wellenablauf am Pegel Andernach, Bonn, Köln, Düsseldorf, Duisburg, Ruhrort, Wesel, Rees und Lobith berücksichtigt. Auf diese Weise kann die Genese der Ganglinien am Niederrhein berücksichtigt werden. Tabelle 1.3 enthält eine Übersicht über die Bemessungsabflüsse der Teilstrecken und eine erste Schätzung des Abflusses, der ohne Deichüberströmen abgeleitet werden kann (Lammersen, 2004).

Tabelle 1.3: Bemessungsgrundlage von Deichen und global abgeschätzte Abflusskapazität (Lammersen, 2004)

	Deiche 1995/2002		Deiche 2020	
	BHQ/MHW (Bemessung)	Geschätzte Abflusskapazität (Deichüberströmen) bei 1 m Freibord	BHQ (Bemessung)	Geschätzte Abflusskapazität (Deichüberströmen) bei 1 m Freibord
	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]
Köln	13300	15200	12900	14800
Düsseldorf	13300	15300	12900	14900
			14200	16200
Ruhrort	14400	16700	14800	17100
Wesel	14600	17300	14800	17500
Rees	14200	17200	14700	17700
Emmerich	14100	17100	14500	17500
Lobith	15000	16500 ¹	16000	17500 ¹

¹ 0,5 m Freibord

Tabelle 1.4: Geschätzte Wirkungsbereiche der Maßnahmen (Lammersen, 2004)

Gewässerabschnitt	Maßnahme	Ort	Unterer Grenzwert	Oberer Grenzwert
Niederrhein	Köln-Langel	Köln	10700	11000
	Worringer Bruch	Köln	9700	10000
	Monheim	Köln	5700	>5700
	Itter-Himmelgeist	Düsseldorf	6200	>6200
	Ilvericher Bruch	Düsseldorf	11000	12000
	Mündelheim	Ruhrort	5000	>5000
	Orsoy Land	Wesel	3800	>3800
	Bislicher Insel	Wesel	9000	>9000
	Lohrwardt	Rees	10000	11000
	Grietherbusch ⁴	Rees	10000	> 10000
	Bylerward	Lobith	10400	12200
Bovenrijn/Waal	Rijnstrangen	Lobith	12200	16200
	Ooijpolder	Lobith	14000	15000

1.4 Auswahl der Ganglinien

Infolge der während des Workshops am 19./20. November 2002 getroffenen Vereinbarungen wird das Hochwasser vom Januar 1995 mit tatsächlich gemessenen Abflüssen im DSS berücksichtigt und als "MET95" gekennzeichnet.

Laut Anlage A ist HW158 die extremste Abflussschwelle, und zwar unabhängig vom Bezugsjahr (2002 oder 2020) und von der Frage, ob es zu einem Deichüberströmen am Oberrhein kommt oder nicht. Aufgrund des Beschlusses des Workshops muss diese Ganglinie im DSS berücksichtigt werden.

Laut Auswahlkriterium 1 kommt für die Ermittlung der Auswirkungen von Überflutungen neben der bereits ausgewählten Abflussganglinie HW158 nur noch Ganglinie HW824 in Frage. Bei beiden Ganglinien wird der Bemessungsabfluss in der heutigen und künftigen Situation überschritten. Bis Duisburg wird ebenfalls die Abflusskapazität überschritten (Tabelle 1.3 und Anlage A). Nördlich von Duisburg wird die Abflusskapazität gerade noch nicht überschritten.

Laut Auswahlkriterium 2 kommen für die Bestimmung der Abflusskapazität Ganglinien in Frage, deren Scheitelwerte zwischen dem Bemessungsabfluss und der Abflusskapazität aus Tabelle 1.3 liegen. Dabei handelt es sich um die Abflussganglinien HW036, HW719 und HW982. Bei HW036 liegt der Abflussscheitel überall zwischen dem Bemessungsabfluss und der Abflusskapazität. Deshalb bietet es sich an, auch dieses Hochwasser auszuwählen. Für die beiden anderen Hochwasser gilt, dass die Scheitelabflüsse lediglich auf einer bestimmten Teilstrecke zwischen dem Bemessungsabfluss und der Abflusskapazität liegen (HW719 Strecke Andernach-Duisburg; HW982 Strecke Andernach-Rees). Auf den übrigen Strecken sind die Abflüsse niedriger als der Bemessungsabfluss. Da sich HW719 durch einen doppelten Abflussscheitel unterscheidet, fiel die Wahl auf HW719, nicht auf HW982.

Auf der Grundlage von Auswahlkriterium 3 kommen die Ganglinien HW221, HW457, HW584 und HW715 nicht in Frage, da der Scheitelabfluss dieser Abflussganglinien über 500 m³/s unter dem Bemessungsabfluss liegt, für den die Deiche ausgelegt sind.

Die Ganglinien HW113, HW329, HW473, HW579, HW755, HW841 und HW846 kommen mit Scheitelabflüssen, die etwas unterhalb des Bemessungsabflusses aus Tabelle 1.3 liegen, prinzipielle jedoch in Frage. Beim Bezugsjahr 2002 wird die Bemessungsgrundlage an den Pegeln Düsseldorf und Rees annähernd erreicht. Beim Bezugsjahr 2020 wird die Bemessungsgrundlage am Pegel Düsseldorf annähernd erreicht.

Auffällig in dieser Reihe ist HW329 mit einem relativ niedrigen Scheitelabfluss im südlichen Teil und einem relativ hohen Abfluss im nördlichen Teil. HW841 fällt als einziger Hochwasserabfluss im Sommer mit hohen Zuflüssen aus den Nebenflüssen des Niederrheins auf. Wird dieses Kriterium zugrunde

⁴ Nach anfänglichem Ausschluss dieser Maßnahmen während des 1. Workshop am 19./20. November 2002 wurde auf dem zweiten Workshop am 30. Juni/1. Juli 2003 beschlossen, diese Maßnahmen doch zu berücksichtigen.

gelegt, so ist HW846 die Ganglinie mit den höchsten Abflüssen. Im DSS werden die Abflussganglinien HW329, HW841 und HW846 berücksichtigt, die übrigen Ganglinien jedoch nicht.

Bezüglich Auswahlkriterium 4 ist HW457 am besten geeignet. Diese Ganglinie ist die niedrigste der von der BfG bereitgestellten 16 Ganglinien.

Aus Tabelle 1.5 geht hervor, dass die ausgewählten Ganglinien ebenfalls Auswahlkriterium 5 erfüllen. Aus diesem Grund enthält das DSS die in Tabelle 5 aufgeführten Ganglinien.

Tabelle 1.5: Ausgewählte Ganglinien mit Auswahlkriterien

Hochwasser	Scheitelabfluss Andernach [m³/s] (einschl. Deichüberströmen am Oberrhein)	Hochwasser	Scheitelabfluss Lobith [m³/s]	Kriterium
MET95	10257	MET95	11960	Workshop
HW457	11442	HW457	12725	4
HW329	12230	HW841	13886	3
HW841	12412	HW329	14083	3
HW846	12413	HW846	14131	3
HW719	13883	HW719	14658	2
HW036	14406	HW036	15998	2
HW824	15121	HW824	16627	1
HW158	15323	HW158	16706	Workshop

Zu Tabelle 1.5 ist anzumerken, dass die Auswahl der Ganglinien anhand der von der BfG bereitgestellten Ganglinien stattfand. Die BfG hat mit dem gekoppelten Modell HBV-SYNHP-SOBEK bis Lobith gerechnet (in Tabelle 1.6 als "Lobith BfG" gekennzeichnet). In diesem gekoppelten Modell wurde der Wasseraustausch zwischen Fluss und Grundwasserkörper auf der Strecke Andernach-Lobith anders modelliert als in dem Modell, das im DSS verwendet wurde: das gekoppelte SOBEK-Modell Andernach-Rheinzweige (in Tabelle 1.6 als "Lobith RIZA" gekennzeichnet). Dies führt zu anderen Abflüssen. Diese Differenzen müssen hingenommen werden. Tabelle 1.6 enthält eine Zusammenfassung.

Tabelle 1.6: Unterschiede bei BfG-Modellierung und RIZA-Modellierung

	Scheitelabflüsse Ohne Deichüberströmen am Niederrhein							
	Hydraulische/hydrologische Modellierung mit Deichüberströmen am Oberrhein				Hydraulische/hydrologische Modellierung ohne Deichüberströmen am Oberrhein			
Hochwasser	Andernach m³/s	Lobith BfG m³/s	Lobith RIZA m³/s	Differenz m³/s	Andernach m³/s	Lobith BfG m³/s	Lobith RIZA m³/s	Differenz m³/s
HW036	14406	15998	15685	313	15956	17703	17318	385
HW158	15323	16706	16283	423	17822	19200	18707	493
HW329	12230	14083	13862	221	12362	14177	13958	219
HW457	11442	12725	12628	97	14157	15033	15193	-160
HW719	13883	14658	14867	-209	16135	16754	16992	-238
HW824	15121	16627	16708	-81	15757	17266	17350	-84
HW841	12412	13886	13500	386	13677	14906	14548	358
HW846	12413	14131	13760	371	14176	15433	15212	221

Aus der Tabelle kann abgeleitet werden, dass der Abfluss bei Lobith bei den breiten, stumpfen Hochwassern HW457, HW719 und HW824 in der Modellierung des gekoppelten SOBEK-Modells Andernach-Rheinzweige (Modellierung RIZA) etwas höher ausfällt als in der Modellierung der BfG. Bei den übrigen spitzeren Hochwassern ist dies genau umgekehrt. Die Differenzen am Pegel Lobith lassen sich mit der unterschiedlichen Modellierung des Grundwasserkörpers erklären.

In der vorliegenden Studie wird mit dem gekoppelten SOBEK-Modell Andernach-Rheinzweige gearbeitet.

Aus den Berechnungen der BfG können jedoch die folgenden verbesserungsfähigen Punkte abgeleitet werden, die ebenfalls für die Hochwasservorhersage relevant sind:

- Es gibt eine Diskrepanz zwischen der hydrologischen Abflussvorhersage mit HBV und der Abflussberechnung auf der Grundlage der gemessenen Abflüsse an den Modellrändern.
- Das von der BfG verwendete interne Grundwassermodul von SOBEK führt auf der Strecke Andernach-Lobith zu anderen Ergebnissen als das externe Grundwassermodul, das für die Kalibrierung des Teilmodells Andernach-Lobith verwendet wurde.
- Aus den Berechnungen konnte bereits zuvor abgeleitet werden, dass Modellfehler an den Schnittstellen der Teilmodelle nicht unerheblich sind. In dem von der BfG verwendeten Modell befinden sich die Schnittstellen bei Andernach und bei den großen Nebenflüssen. Es müsste eingehender untersucht werden, wie sich Fehler durch Kopplung von Modellen weiter fortpflanzen.

2 Bereitstellung der Ganglinien für das DSS

2.1 Bestimmung der Zeitreihen, Reihenlängen, und Bezugszeiten

Beim DSS ist es aus Gründen der Übersichtlichkeit wichtig, dass intern immer mit denselben Reihenlängen gearbeitet wird und dass immer derselbe Zeitraum berechnet wird. In Bezug auf die Länge dieses Zeitraums wurde festgestellt, dass eine Anlaufperiode von 12 Tagen bis zum Erreichen des Abflussscheitels erforderlich ist. Die Laufzeit des Hochwasserscheitels durch das System von Andernach bis zum unteren Modellrand an der IJssel beträgt ca. 4 Tage. Für die Ablaufperiode wurden ebenfalls 12 Tage angesetzt. Daraus ergibt sich eine Reihenlänge von 28 Tagen. Da es sich hierbei um synthetische Hochwasserganglinien handelt, wird für jede Reihe der 1.1.2000 00:00 h als Beginndatum und der 29.1.2000 00:00 h als Enddatum verwendet.

Die von der BfG bereitgestellten Ganglinien haben willkürliche Zeitpunkte zwischen dem 1.1.1961 und dem 31.12.2000 (siehe Kapitel 1.1). Diese willkürlichen Zeitpunkte müssen auf eindeutige Weise an die festgelegten Berechnungsperioden gekoppelt werden. Der Scheitelabfluss und der Zeitpunkt, zu dem der Scheitelabfluss an einem Ort auftritt, werden in starkem Maße von der Annahme in Bezug auf das Deichüberströmen am Oberrhein und die Wahl des Bezugsjahres beeinflusst (siehe auch Anlage A). Die wasserstandsreduzierenden Maßnahmen am Niederrhein wirken sich ebenfalls auf den Scheitelabfluss und die Laufzeit an den unterschiedlichen Orten aus.

Bei der Verwendung von Ganglinien in dem Projekt ist es nützlich, dass die Ganglinien in der Mitte des Studiengebiets sorgfältig beschrieben werden können. Beim Bau dieser Ganglinien für das DSS geht man deswegen von dem Zeitpunkt aus, an dem der Hochwasserscheitel den Pegel Düsseldorf passiert, und zwar ohne Deichüberströmen am Niederrhein (Anlage A). Dieser Zeitpunkt wird für das DSS auf den 13.1.2000 00:00 h verschoben. Von dieser Bezugszeit werden die Zeitreihen der Abflüsse bei Andernach und von den Nebenflüssen für das DSS abgeleitet.

Ausgangspunkt der Studie ist, dass es zum Deichüberströmen am Oberrhein kommt. Aus diesem Grund wird im DDS nicht mit der Situation ohne Deichüberströmen am Oberrhein gerechnet. Da der Abfluss bei Andernach durch die Veränderungen der Geometrie oberhalb von Andernach beeinflusst wird, musste bei den Randbedingungen bei Andernach von dem Bezugsjahr 2002 und dem Bezugsjahr 2020 ausgegangen werden. Für das Bezugsjahr 1995 wird davon ausgegangen, dass der Rand dem Bezugsjahr 2002 entspricht. Auf diese Weise können die Zeitreihen für das DSS von den von der BfG bereitgestellten Daten abgeleitet werden. Bei den Nebenflüssen des Niederrheins wird davon ausgegangen, dass die Zeitreihen für die Bezugsreihen 1995, 2002 und 2020 gelten.

2.2 Eingabe für den Einfluss des Grundwassers

Auf der Strecke Andernach-Lobith wurde der Austausch von Wasser zwischen dem Fluss und dem Grundwasserkörper bei der Kalibrierung berücksichtigt. Beim Bau des Modells im Jahr 1997 stand das interne Grundwassermodul für SOBEK noch nicht zur Verfügung. Deshalb hat man sich damals dafür entschieden, den Wasseraustausch zwischen Fluss und Grundwasserkörper anhand der Hochwasserganglinie bei Andernach und des Niederschlags zu bestimmen (Barneveld und Meijer, 1997). Für die Ermittlung des Einflusses des Grundwassers wurde ein Hilfsprogramm entwickelt, dessen Eingabe aus der Abflussreihe am Pegel Andernach und dem Niederschlag am Niederrhein besteht. Die Ausgabe besteht aus der Berechnung des Wasseraustausches zwischen dem Fluss und dem Grundwasser je laufenden Meter Modelllänge für jeden einzelnen SOBEK-Zweig.

Wegen der Bedeutung des Austausches mit dem Grundwasser muss dieser Austausch für jede Ganglinie festgelegt werden. Ausgangspunkt ist, dass der Austausch für das DSS anhand der Abflüsse bei Andernach für das Bezugsjahr 2002 mit Deichüberströmen am Oberrhein ermittelt wird.

Damit der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser bei den Ganglinien korrekt dargestellt werden kann, sollte man die „Vorgeschichte“ berücksichtigen. Zu diesem Zweck wird die Eingabereihe des Niederschlags und des Abflusses um eine Initialisierungsperiode erweitert. Der Niederschlag wird von der 1000-jährigen Niederschlagsreihe am Niederrhein abgeleitet. Der Abfluss am Pegel Andernach stammt aus den Zeitreihen bei Andernach und wird um die HBV-Ergebnisse ergänzt. Bei der Erstellung der Eingabe für den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser wurde von einer Initialisierungsperiode von einem Monat ausgegangen.

Im Hinblick auf die Zeitreihe bei Andernach bedeutet dies, dass die Zeitreihe immer den 1.12.1999 als Beginnzeit erhält. Falls diesbezügliche Angaben in den von der BfG bereitgestellten Hochwasserganglinien verfügbar sind, werden die letzten 48 Stunden von den Ergebnissen des gekoppelten HBV-SYNHP-SOBEK-Modells abgeleitet. Fehlende Daten sowie auf jeden Fall die ersten 696 Stunden stammen immer aus den Ergebnissen von HBV. Im Hinblick auf die Zeitreihe der Niederschläge wird von der entsprechenden Niederschlagsperiode aus der 1000-jährigen Niederschlagsreihe ausgegangen.

Diese Daten wurden in das Hilfsprogramm für den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser eingegeben. Die sich daraus ergebende SOBEK-Eingabe über den Berechnungszeitraum 1.1.2000 00:00 h bis 29.1.2000 00:00 h wurde in die Eingabe für das DSS eingebaut.

Tabelle 2.1 enthält eine Übersicht über den Umfang des Wasseraustausches zwischen Fluss- und Grundwasser auf den unterschiedlichen Strecken des Modells Andernach-Lobith. In SOBEK wurde die Eingabe für jeden einzelnen SOBEK-Zweig als eine Zeitreihe des Austausches zwischen Fluss- und Grundwasser je laufenden Meter Modelllänge angegeben.

Tabelle 2.1: Indikative Übersicht über den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser

Abflüsse in m ³ /s		And-Bon ABgrw	Bon-Köl BKgrw	Köl-Düs KDgrw	Düs-Ruh DRgrw	Ruh-Wes RWgrw	Wes-Ree WRgrw	Ree-Lob RLgrw
HW036	min.	-79,5	-82,6	-154,8	-96,6	-98,5	-96,7	-108,0
	max.	14,6	16,6	24,0	16,6	17,1	14,5	16,9
	durchschnittl	-20,4	-18,7	-32,4	-18,2	-17,4	-14,0	-13,9
HW158	min.	-88,4	-91,7	-174,1	-107,0	-109,6	-108,7	-120,9
	max.	7,8	8,0	7,6	4,3	6,2	6,8	9,6
	durchschnittl	-29,9	-26,7	-47,8	-27,4	-26,0	-21,2	-21,0
HW329	min.	-63,8	-68,4	-129,8	-79,0	-81,1	-83,8	-93,9
	max.	14,4	17,9	25,9	18,0	18,3	15,4	17,9
	durchschnittl	-11,3	-9,6	-17,3	-7,4	-6,1	-4,5	-3,7
HW457	min.	-52,5	-56,6	-106,1	-59,8	-56,5	-53,8	-54,9
	max.	12,6	11,1	13,0	7,5	8,7	7,7	9,1
	durchschnittl	-11,4	-9,0	-13,5	-6,1	-5,5	-4,2	-3,7
HW719	min.	-64,7	-70,2	-133,0	-80,9	-83,6	-80,0	-82,3
	max.	1,9	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
	durchschnittl	-14,4	-11,7	-19,4	-9,4	-8,8	-6,9	-6,4
HW824	min.	-76,2	-79,5	-150,5	-92,0	-93,0	-95,8	-105,4
	max.	19,1	17,7	25,4	17,7	18,2	15,3	17,8
	durchschnittl	-22,3	-18,6	-33,3	-17,7	-16,3	-13,4	-13,2
HW841	min.	-68,2	-74,7	-139,4	-86,6	-90,1	-91,9	-103,0
	max.	18,1	17,8	27,3	18,9	18,5	15,0	17,4
	durchschnittl	-14,2	-13,0	-24,6	-13,7	-12,9	-10,4	-10,0
HW846	min.	-67,0	-72,6	-136,3	-84,0	-87,0	-87,2	-93,1
	max.	9,2	9,1	10,2	6,2	8,0	8,1	10,4
	durchschnittl	-20,0	-17,8	-30,4	-16,8	-16,3	-13,4	-13,2
MET95	min.	-49,4	-52,8	-102,3	-64,0	-64,0	-66,8	-73,4
	max.	12,5	12,9	25,8	17,9	18,1	14,9	17,3
	durchschnittl	-13,4	-13,4	-24,4	-13,2	-12,4	-9,9	-9,7

Negative Abflüsse = Abströmen von Wasser in den Grundwasserkörper
positive Abflüsse = Zuströmen von Wasser aus dem Grundwasserkörper

2.3 Eingabe für die Nebenflüsse in den Niederlanden

In den Zeitreihen der BfG fehlen Daten bezüglich der Nebenflüsse im niederländischen Teil des Einzugsgebiets. Insbesondere für die Abflüsse der IJssel sind diese Abflüsse nicht unerheblich. Zur Generierung von Zeitreihen für diese Nebenflüsse wurde für jede ausgewählte Ganglinie aus Tabelle 1.5 eine SOBEK-Berechnung mit den folgenden Randbedingungen erstellt:

- Andernach, Bezugsjahr 2002 ohne Deichüberströmen am Oberrhein, gemäß Abschnitt 2.1
- Nebenflüsse von der BfG, gemäß Abschnitt 2.1
- Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser, gemäß Abschnitt 2.2
- Abflusskurven an den unteren gelegenen Modellrändern.

Die SOBEK-Berechnungen wurden mit dem im DSS eingebauten gekoppelten SOBEK-Modell Andernach-Rheinzweige durchgeführt. Der berechnete Abfluss am Pegel Lobith wurde als Basis für die Ermittlung der Abflüsse der Nebenflüsse in den Niederlanden verwendet. Dieses Verfahren wurde bereits bei der Bestimmung der Bemessungsabflüsse 2001 (randvoorwaardenboek 2001) angewandt. Es beruht auf einer Regressionsfunktionen zwischen den Abflüssen der Oude IJssel bzw. des Twentekanal und den Abflüssen am Pegel Lobith und wird für die übrigen Wasserläufe durch eine Beziehung zwischen den Flächen der Einzugsgebiete ergänzt. [Van der Veen et al., 2002].

Die sich daraus ergebende SOBEK-Eingabe über den Berechnungszeitraum 1.1.2000 00:00 h bis 29.1.2000 00:00 h für die Nebenflüsse in den Niederlanden wurde für jede Ganglinie in die Eingabe für das DSS eingebaut.

3 Schematisierung von Maßnahmen

3.1 Wasserstandsreduzierende Maßnahmen

Am Niederrhein und den Rheinzweigen werden in der Zeit von 1995 bis 2020 eine Reihe von wasserstandsreduzierenden Maßnahmen durchgeführt. Infolge dieser Maßnahmen ändern sich die Wasserstände am Niederrhein von Bezugsjahr zu Bezugsjahr. Nach Rücksprache mit der deutsch-niederländischen Arbeitsgruppe wurde während des ersten und zweiten Workshops (Workshop 19./20. November 2002 und Workshop 30. Juni/1. Juli 2003) bestimmt, welche Maßnahmen berechnet werden sollten. Tabelle 3.1 bietet einen Überblick über diese Maßnahmen. Die Maßnahmen im Rijnstrangen-Gebiet und im Ooijpolder sind ergänzende Retentionsmöglichkeiten, die sich im Grenzgebiet in erheblichem Maße auf die Wasserstände auswirken können.

Tabelle 3.1: Maßnahmen im Studiengebiet

Gewässer- abschnitt Niederrhein	Maßnahme	Variante	Typ	Schematisierung Maßnahme	Anlage
Durchgeführt oder geplant in NRW	Köln-Langel	PFV	RP UD	Deichrückverlegung, Retention, grüner Fluss	B1
	Worringer Bruch	PV-V3	RP ST	Retention	B2
	Monheim	AV	DRV LD	Deichrückverlegung	B3
	Itter-Himmelgeist	PV-2A	DRV	Deichrückverlegung	B4
	Ilvericher Bruch	PV-B2	RP ST	Retention	B5
	Mündelheim	PV-V4	DRV	Deichrückverlegung, grüner Fluss	B6
	Orsoy Land	AV	DRV LD	Deichrückverlegung	B7
	Bislicher Insel	AV	RP U	Deichrückverlegung	B8
	Lohrwardt	PFV	RP UD	Deichrückverlegung, Retention, grüner Fluss	B9
	Griether Busch	PV	RP U	Verbesserung Sommerpolder	B10
Bylerward	PV-B3	RP ST	Retention	B11	
Zusätzliche Maßnahmen in NRW	Optimierung der Retentionsräume - Köln-Langel - Worringer Bruch - Ilvericher Bruch - Bylerward		RP ST	Retention	B12.1
	Hydraulische Engpässe - Reeser Schanz - Brücke bei Wesel - Bislicher Insel 2020		E	Hydraulische Engpässe	B12.2
	Orsoyer Bogen		RP ST	Retention	B12.3
Niederlande	Programm Raum für den Fluss		Divers	Divers	B13
	Rijnstrangen	90001k		Retention	B14
	Ooijpolder	90002k		Retention	B15
PV: Planungsvariante PFV: Planfeststellungsvariante AV: Ausführungsvariante			DRV: Deichrückverlegung DRV LD: Deichrückverlegung mit Leitdeich RP ST: Retentionspolder gesteuert RP U: Retentionspolder ungesteuert RP UD: RP U, im oberen Abflussbereich durchströmt E: Entfernung hydraulischer Engpässe		

In Anlage B werden die einzelnen Maßnahmen und die relevanten Annahmen bei der Schematisierung der Maßnahmen detailliert beschrieben.

3.2 Aktivierung der Maßnahmen im DSS

Für die Bestimmung der Wasserstandsreduzierungen infolge der Maßnahmen ist es erforderlich, dass die einzelnen Maßnahmen im DSS aktiviert werden können.

Für die Aktivierung der Maßnahmen im DSS gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit ist die Umsetzung von Maßnahmen in Standardmaßnahmen, die im DSS zur Verfügung stehen. Eine andere Methode besteht darin, die Maßnahmen vorab auf das Niveau der SOBEK-Eingabe vorzubereiten und im DSS eine Anpassung vorzunehmen, mit der diese Eingabe nach Belieben dem Modell hinzugefügt werden kann. Auf diese Weise können "vordefinierte" Maßnahmen ergänzt werden.

Die Standardmöglichkeiten des DSS lassen keine gesteuerte Retention zu. Eine Erweiterung der Software des DSS um das Modul der gesteuerten Retention war im Rahmen des Projektes nicht realisierbar. Andererseits hätte die Verwendung der Standardmöglichkeiten des DSS in diesem Fall zu einer unerwünschten Vereinfachung der Maßnahmen geführt, obwohl in der Regel bei derartigen Maßnahmen umfangreiche, detaillierte Informationen vorliegen. Aus diesem Grund wurden die Maßnahmen in eine SOBEK-Eingabe umzusetzen und in das DSS die Möglichkeit eingebaut, die jeweiligen Maßnahmen (einzeln) als "vordefinierte" Maßnahme zu aktivieren. Auf diese Weise ist, und sei es über einen Umweg, die gesteuerte Retention möglich.

Nach Rücksprache mit WL|Delft Hydraulics wurde beschlossen, die Maßnahmen in einem Spreadsheet festzuhalten. In Bezug auf die einzelnen Maßnahmen müssen die folgenden Felder ausgefüllt werden:

Jahr	Bezeichnung	Branch ID_Beginn	Beginn km	Branch ID_Ende	Ende km	Datei	Block ID	Sobek-Eingabe
------	-------------	------------------	-----------	----------------	---------	-------	----------	---------------

Jahr	:	Bezugsjahr, in dem die Maßnahme realisiert ist						
Bezeichnung	:	Bezeichnung der Maßnahme						
Branch ID_Beginn	:	ID des SOBEK-Branches für die Steuerung des DSS						
Beginn km.	:	Rhein-km am oberen Ende der Maßnahme für die Steuerung des DSS						
Branch ID_Ende	:	ID des SOBEK-Branches für die Steuerung des DSS						
Ende km.	:	Rhein-km am unteren Ende der Maßnahme für die Steuerung des DSS						
Datei	:	SOBEK-Eingabedatei, die um Zeilen ergänzt wird						
Block-ID	:	zusammenhängender SOBEK-Eingabeblock, der mit einem Kennwort beginnt und endet						
Sobek-Eingabe	:	die schematisierte Maßnahme auf dem Niveau der SOBEK-Eingabe						

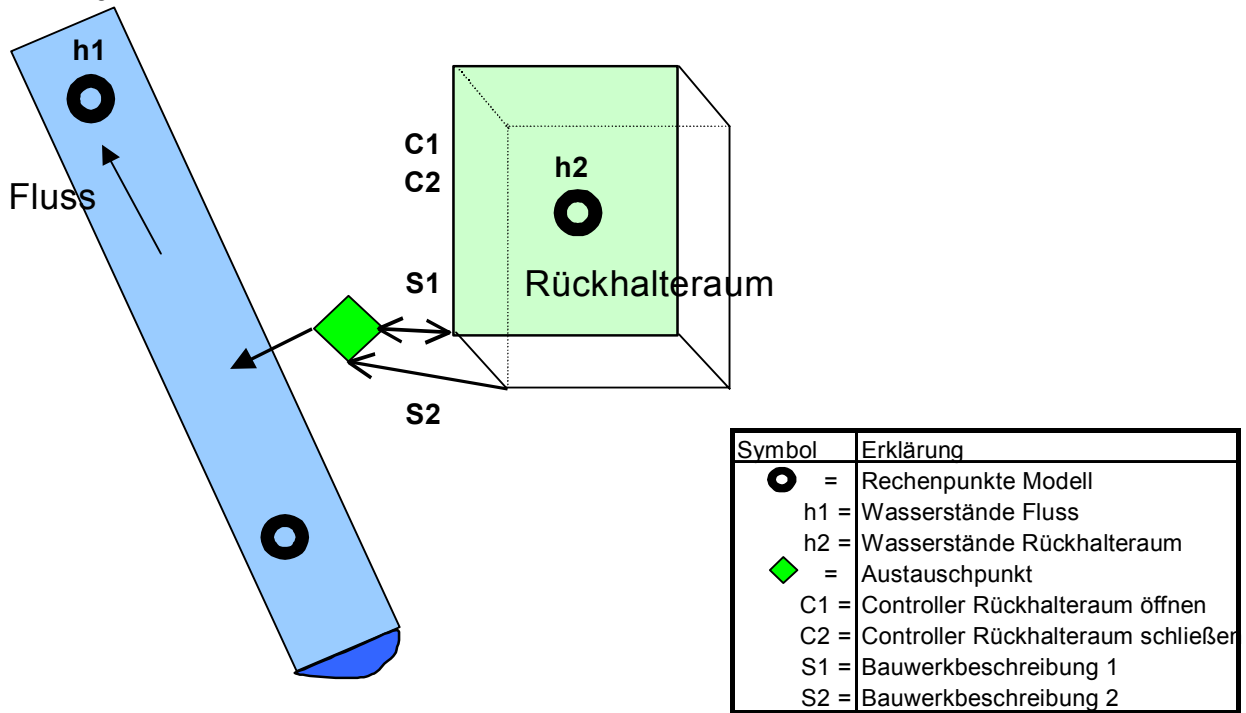
Neben der SOBEK-Eingabe muss für Maßnahmen, bei denen sich SOBEK-Profile ändern, eine zusätzliche Eingabe bereitgestellt werden. Dabei handelt es sich um die so genannten BAS-to-BOS-Tabellen mit Informationen über Oberflächen, Breiten und durchströmten Profilteilen hinter den Sommerdeichen jeweils am linken und rechten Ufer.

3.3 Schematisierung von Maßnahmen

Im Zusammenhang mit der Umsetzung der einzelnen Maßnahmen in SOBEK-Eingaben sollen zunächst einige allgemeine Grundsätze der Schematisierung erläutert werden. Zu unterscheiden sind Retentionsmaßnahmen, Deichrückverlegungen, grüner Fluss, Deichsanierungsmaßnahmen und Maßnahmen im Rahmen des Programms Raum für den Fluss (Ausgleich der Erhöhung des Bemessungsabflusses der Rheinzweige von 15000 auf 16000 m³/s durch wasserbautechnische Maßnahmen).

3.3.1 Schematisierung der Retentionsräume

Bei der Schematisierung der Rückhalteräume in SOBEK werden eine Reihe von Vereinfachungen durchgeführt.



Triggers	Controllers	Aktion	Effekt
$h1 \leq$ Trigger Gebiet öffnen	kein Controller aktiv	Schwellenbreite = 0	Gebiet geschl.
$h1 >$ Trigger Gebiet öffnen	Controller C1 aktiv	Schwellenbreite 0 --> Wert	Gebiet offen
$h2 >$ Bodenhöhe	Controller C1 bleibt aktiv	Schwellenbreite = Wert	Gebiet offen
$h2 >$ Trigger Gebiet schließen	Controller C2 aktiv	Hubhöhe 99 --> 0	Gebiet (wahlw.) geschl.

Abbildung 3.1: Funktionsskizze der Retention in SOBEK

Ein Rückhalteraum mit seinem komplexen Aufbau bezüglich Wasserstand und dazugehörigem Volumen wird in SOBEK vereinfacht als Rechteckbecken mit einer ebenen Oberfläche und einer mittleren Geländehöhe dargestellt. Zu dem Zeitpunkt, da das gesamte Gebiet überflutet ist, ist dieser Ansatz korrekt. Bei niedrigeren Wasserständen wird die tatsächliche Beziehung zwischen Wasserstand und Volumen durch diese Annahme beeinträchtigt. Das schematisierte niedrigste Niveau in dem Rückhalteraum ist dann höher als das tatsächliche niedrigste Niveau im Retentionsgebiet. Unter diesen Umständen hat der Wasserstand normalerweise keinen Einfluss auf die Wassermenge, die zwischen Fluss und Rückhalteraum ausgetauscht wird. Aus diesem Grund wird diese Vereinfachung für vertretbar gehalten.

SOBEK-intern wird ein Rückhalteraum wie ein lateraler Zustrom behandelt. Der Austausch von Wasser zwischen Fluss und Retentionspolder wird als Funktion des Wasserstandes des Flusses, des Wasserstands des Rückhalterausms und der Energieverluste am Austauschpunkt berechnet. Als Austauschpunkt sind alle in SOBEK verfügbaren Beschreibungen der Bauwerke und Steuerungen möglich. Für jeden einzelnen Retentionspolder kann jedoch nur ein einziger Austauschpunkt festgelegt werden. Diese Einschränkung hat zur Konsequenz, dass das Füllen und Entleeren des Beckens auf einen Rechenpunkt des Modells konzentriert wird, während dies in Wirklichkeit an mehreren Stellen stattfinden kann. Sofern die Lage des Rückhalterausms in SOBEK so gewählt wird, dass sie für den Rückhalteraum repräsentativ ist, wird diese Vereinfachung für vertretbar gehalten.

Je Retentionspolder können am Austauschpunkt höchstens zwei Bauwerkbeschreibungen verwendet werden. Das komplexe Zusammenspiel mehrerer Ein- und Auslasspunkte muss deshalb u.a. vereinfacht werden. In der Regel wird für das Füllen und Entleeren des Retentionsraums die Bauwerkbeschreibung

1 verwendet, sofern die Wasserstände des Flusses und/oder Retentionspolders über der definierten Schwellenhöhe liegen. Bauwerkbeschreibung 2 wird für die Restentleerung des Retentionsbeckens nach Ablauf eines Hochwassers verwendet. Als Schwellenhöhe dieses Bauwerks wird das niedrigste Höhenniveau im Rückhalteraum gewählt. Mit einem 1-D-Modell wie SOBEK lassen sich keine detaillierten Aussagen über die Füllung eines Retentionsbeckens machen. Allerdings können die hydraulischen Auswirkungen von Rückhalteräumen auf Wasserstände und Abflüsse des Flusses relativ gut eingeschätzt werden. Daher wird auch diese Einschränkung für vertretbar gehalten.

Das SOBEK-Modell arbeitet mit Zeitintervallen von einer Stunde. Die Steuerung von Bauwerken bei Rückhalteräumen erfolgt dabei immer mit hydraulischen Parametern aus einem früheren Zeitintervall. Damit lässt sich der Zeitpunkt des Öffnens und Schließens von Bauwerken nicht exakt einstellen. Für große Flüsse mit langsam an- und ablaufenden Hochwasserabflüssen wie dies beim Niederrhein der Fall ist, ist diese Einschränkung vertretbar.

Bei der Schematisierung von Rückhalteräumen wird immer von Bauwerken des Typs „General Structure“ ausgegangen. Bei derartigen Bauwerken müssen immer einige Eingabedaten bekannt sein. Dabei handelt es sich um Breiten (in m) und Höhen (in m ü NN oder m⁺ NAP) (siehe Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3).

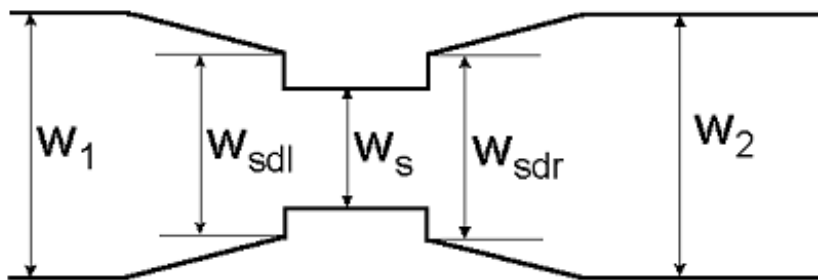


Abbildung 3.2: Bauwerkdimensionen in der Breite (Draufsicht)

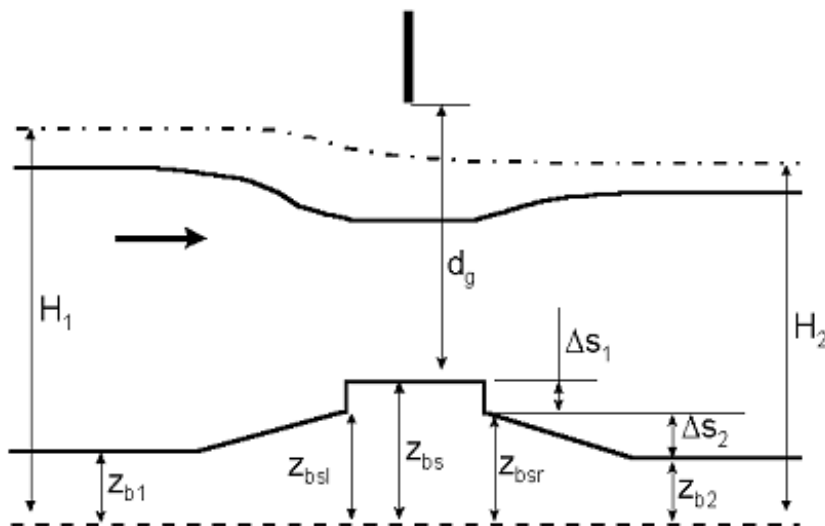


Abbildung 3.3: Bauwerkdimensionen in der Höhe (Seitenansicht)

Bei der Steuerung von Bauwerken wird immer mit zwei Controllern des Typs „Relative from value“ gearbeitet. Der erste Controller erhöht die Schwellenbreite des Bauwerks von 0 auf eine für das Gebiet definierte Schwellenbreite. Dieser Controller wird von einem hydraulischen Trigger in Abhängigkeit vom Wasserstand am ersten Rechenpunkt unterhalb des (Modell-) Standorts des Retentionspolders aktiviert.

Der zweite Controller wird eingesetzt, um das Gebiet durch Absenkung der Öffnungshöhe des Bauwerks von 99 m auf 0 m erforderlichenfalls wieder zu schließen. Dieser Controller wird von einem hydraulischen Trigger in Abhängigkeit vom Wasserstand im Rückhalteraum aktiviert.

Bei der Schematisierung von Rückhalteräumen spielen folgende Aspekte eine Rolle:

1. Oberfläche des Rückhalteriums
2. Durchschnittliche Geländehöhe des Rückhalteriums
3. Lage des Rückhalteriums im Modell
4. Dimensionierung der Bauwerke
5. Standort der Steuerung der Bauwerke
6. Steuerung der Bauwerke

In Anlage B werden die einzelnen Maßnahmen und die relevanten Annahmen bei der Schematisierung der Rückhaltemaßnahmen detailliert beschrieben.

3.3.2 Schematisierung der Deichrückverlegungen

Im Oktober 2001 wurden mit BASELINE an den Stellen, an denen Deichrückverlegungen am Niederrhein geplant bzw. realisiert waren, SOBEK-Profile für das LAHoR-Projekt erstellt [Van Bommel & Rabbers, 2001]. Bei der Zusammenstellung der Daten im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“ wurde festgestellt, dass die Lage der neuen Deiche geringfügig von der damals angenommenen Lage abweicht (Landesumweltamt NRW, 2003). Abbildung 3.4 zeigt ein entsprechendes Beispiel für die Deichrückverlegung bei Monheim. Weitere Einzelheiten sind Anlage B zu entnehmen.

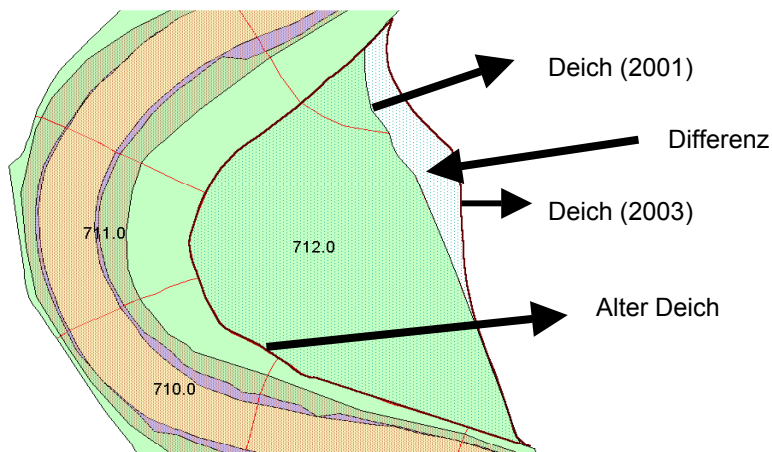


Abbildung 3.4: Lagedifferenz beim neuen Deich bei Monheim zwischen der Schematisierung für das LAHoR-Projekt (Van Bommel & Rabbers, 2001) und der heutigen Schematisierung (Landesumweltamt NRW, 2003)

3.3.3 Schematisierung durchströmter Teile von Retentionsmaßnahmen

Bei einigen Maßnahmen am Niederrhein kann es vorkommen, dass ein Rückhalteraum bei extremen Abflüssen durchströmt wird. In diesem Fall ist es nicht ausreichend, ausschließlich eine Retentionsmaßnahme zu definieren.

Im Prinzip stehen in einer solchen Situation folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

1. Die durchströmte und gesamte Breite können an der Stelle, an der sich die Retentionsmaßnahme befindet, in das SOBEK-Profil eingebaut werden. Zur Vermeidung von Doppelzählungen bei der Oberfläche muss der Retentionspolder allerdings geschlossen sein.
2. Die Durchströmung des Rückhalteriums kann durch einen wasserstandsabhängigen Wasserentzug aus dem Fluss an der flussaufwärts gelegenen Seite des Retentionspolders in Verbindung mit einer Wasserrückführung in den Fluss an der flussabwärts gelegenen Seite des Retentionspolders simuliert werden.

Welche dieser beiden Methoden am besten geeignet ist, richtet sich nach der Situation vor Ort. Aus der Beschreibung der Maßnahmen in Anlage B wird deutlich, dass bei Köln-Langel die zweite Möglichkeit und bei Lohrwardt die erste Methode gewählt wurde.

3.3.4 Schematisierung von Maßnahmen im Rahmen des Programms Raum für den Fluss

Aufgrund der Erhöhung des Bemessungsabflusses in den Rheinseiten von 15.000 auf 16.000 m³/s wurde eine Studie eingeleitet, mit dem Ziel festzustellen, wie diese Erhöhung von 1000 m³/s durch wasserbautechnische Maßnahmen im gesamten Flusssystem unterhalb von Lobith ausgeglichen werden kann, ohne die Deiche zu erhöhen. Bei dieser Studie zur planerischen Grundsatzentscheidung (PKB-Studie Raum für den Fluss) wurde und wird der Abflussverteilung an den Bifurkationspunkten, der Entfernung hydraulischer Engpässe und der detaillierten Ausarbeitung der Maßnahmen im Vorland besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Für die Berechnungen im Rahmen dieser Studie wird WAQUA (2-D-Modell) eingesetzt.

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 (1-D-Modell) durchgeführt werden, wurde auf dem Workshop vom 19./20. November 2002 beschlossen, die Auswirkungen der Maßnahmen in den Niederlanden durch Vertiefung des Sommerbetts darzustellen, so dass der wasserstandsreduzierende Effekt identisch ist.

Bei niedrigen Abflüssen ist die Anwendung dieser Methodik eigentlich nicht vertretbar, da der Effekt der Maßnahmen dann stark überschätzt wird. Die Maßnahmen werden schließlich überwiegend im Vorland durchgeführt (und nicht im Sommerbett) und zeigen deswegen erst dann Wirkung, wenn das Vorland am Abfluss beteiligt ist. In der vorliegenden Studie werden jedoch Wasserstände berücksichtigt, die über dem des Hochwassers vom Januar 1995 liegen oder damit übereinstimmen. Der Fehler bezüglich des Wasserstands ist diesem Fall unerheblich.

Bei hohen Abflüssen wird die Abflussverteilung Sommerbett-Vorland infolge der Vertiefung des Sommerbetts systematisch etwas zu sehr zum Sommerbett hin verlagert. Dies ist bei der vorliegenden Studie jedoch nicht relevant, da praktisch ausschließlich die Wasserstände untersucht werden.

In Anlage B 13 wird das Verfahren beschrieben, mit dem Maßnahmen im Rahmen des Programms Raum für den Fluss mit der Maßnahme Vertiefung des Sommerbetts simuliert werden.

4 Schematisierung des Gebiets hinter den Deichen

4.1 Einleitung

Das SOBEK-Modell beschreibt im Prinzip nur das Deichvorland. Dabei wird von unendlich hohen Deichen ausgegangen. Damit ein Deichüberströmen oder Deichbruch berücksichtigt werden kann, wurde im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein“ ein Delft-FLS-Modell für den Niederrhein und die niederländischen Rheinarme ab Rhein-km 642 (12 km oberhalb von Bonn) bis Brummen an der IJssel (IJssel-km 918), Wehr Driel im Nederrijn (Nederrijn-km 891) und Ewijk an der Waal (Waal-km 893) erstellt (Gudden, 2004). Damit wurden für das Bezugsjahr 2002 eine Reihe von Berechnungen zur Quantifizierung der hydraulischen Charakteristiken bei Deichüberströmen und Deichbruch durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Drehbuch erstellt (Hartman, 2002).

Die hydraulischen Charakteristiken beim Deichbruch werden in Übereinstimmung mit dem Drehbuch in eine SOBEK-Eingabe für die Option Rückhalteraum umgesetzt (siehe Abschnitt 3.3.1). Auf diese Weise können die Charakteristiken des Deichhinterlandes im SOBEK-Modell berücksichtigt werden. Für die Bezugsjahre 2002 und 1995 kann das Planungsgebiet damit (wie beim Workshop am 19./20. November 2002 vereinbart) sowohl vor den Deichen als auch hinter den Deichen beschrieben werden. Für das Bezugsjahr 2020 muss die geänderte Deichhöhe infolge der Deichsanierung in eine andere Steuerung von Retentionspoldern, mit der ein Deichbruch simuliert wird, umgesetzt werden.

Die Eingabe in Bezug auf den Deichbruch für die Bezugsjahre 1995, 2002 und 2020 wurde außerhalb des DSS erstellt. Diese Gebiete können mit Hilfe der in Kapitel 3.2 beschriebenen Methode im DSS (als „vordefinierte“ Maßnahme) ausgewählt werden.

4.2 Grundbedingungen Deichbruch, Deichüberströmen

Während des Workshops am 19./20. November 2002 wurden in Bezug auf die Gebiete hinter den Deichen einige Grundbedingungen festgelegt. Darüber hinaus können aus den Überflutungsberechnungen mit Delft-FLS einige zusätzliche Ausgangspunkte genannt werden. Zusammengefasst gelten folgende Bedingungen:

- Wenn der Wasserstand im Fluss die lokale Höhe einer Hochwasserschutzanlage erreicht, beginnt diese überströmt zu werden. Handelt es sich dabei um einen Deich, bricht dieser. Eine Hochwasserschutzmauer dagegen wird nur überströmt.
- Beim Überschreiten einer kritischen Höhe im Bereich eines Hochufers wird ebenfalls von einem Überströmen ausgegangen.
- Die Stelle, an der für ein Teilgebiet laut Delft-FLS die erste Überschreitung kritischer Wasserstände stattfindet, wird als Deichbruchstelle oder Überströmungsstelle gekennzeichnet.
- Die maximale Breschenbreite bei einem Deichbruch wurde auf 200 m festgesetzt.
- Deichbruch und Deichüberströmen werden in SOBEK mit der Retentionsoption simuliert (siehe Abschnitt 3.3.1).
- Für einen Deichbruch in Delft-FLS gilt ein fester Ablauf:
 1. Die Anfangsbreschenbreite ist 35 m
 2. innerhalb von 2 Stunden verringert sich die Höhe der Breschenschwelle von Deichhöhe auf Geländehöhe vor Ort
 3. daraufhin erhöht sich die Breschenbreite innerhalb von 28 Stunden von 35 auf 200 m nach der folgenden Formel: $Breschenbreite (m) = 44,65 * t^{0,45}$
mit t = Zeit [Stunden] ab dem Zeitpunkt, da die Breschenschwelle die Geländehöhe erreicht hat.
- Die Ergebnisse mit Delft-FLS müssen von SOBEK reproduziert werden. Die diesbezügliche Arbeitsweise wird in dem „Drehbuch Abstimmung von BOS-IR auf Delft FLS“ (Hartman, 2002) beschrieben.

4.3 Auswahl der Ganglinien zur Abregelung von SOBEK auf Delft-FLS

Laut Drehbuch müssen Ganglinien ausgewählt werden, mit denen die Wirkungen eines Deichbruchs und/oder des Deichüberströmens möglichst gut simuliert werden können. Wegen der Verfügbarkeit von Eingabedaten bietet es sich an, eine der Ganglinien aus Tabelle 1.1 auszuwählen.

Voraussetzung bei der Auswahl einer Ganglinie ist, dass alle potentiellen Standorte mindestens ein Mal überflutet werden. Deswegen bietet es sich an, ein extremes Hochwasser auszuwählen. Da in Zukunft infolge von Klimaänderungen auch mit noch höheren Abflüssen gerechnet werden muss, wird in erster Linie von HW158 *ohne* Deichüberströmen am Oberrhein (HW158 für den Zustand Ist2002_OhneDueb gemäß Tabelle 1.2) ausgegangen. Ferner wird der zweite Kalibrierungsschritt mit HW158 mit Deichüberströmen am Oberrhein (HW158 für den Zustand Ist2002_MitDueb gemäß Tabelle 1.2) vorgenommen. Für die Verifizierung der SOBEK-Ergebnisse mit Delft-FLS müssen zusätzliche Berechnungen mit HW824 (Zustand Ist2002_MitDueb gemäß Tabelle 1.2) durchgeführt werden. Zu Kontrollzwecken wurde auch das Hochwasser 1995 (MET95) durchgerechnet. Bei diesem Hochwasser darf in Delft-FLS kein Deichüberströmen stattfinden. Tabelle 4.1 enthält eine Übersicht über die durchgeführten Delft-FLS Berechnungen.

Tabelle 4.1: Delft-FLS-Berechnungen für die Abstimmung mit SOBEK

Nummer	Zustand Niederrhein	Ganglinie	Zustand Oberrhein
1	Gemessene Abflüsse	MET95	Gemessene Abflüsse
2	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 1995/2002	HW158	Ohne Deichüberströmen am Oberrhein (Zustand IST2002_OhneDueb)
3	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 2020		
4	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 1995/2002		HW824
5	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 2020		
6	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 1995/2002	HW824	
7	Niederrhein Überströmen + Deichbrüche 2020		

4.4 Zeitreihen für Delft-FLS

Die oberen und unteren Ränder des Delft-FLS-Modells stimmen nicht mit den Modellrändern des SOBEK-Modells überein. Tatsächlich ist das modellierte Gebiet in Delft-FLS erheblich kleiner als das in SOBEK modellierte Gebiet. Tabelle 4.2 enthält die Modellränder von Delft-FLS. An diesen Stellen wird mit SOBEK eine Ausgabe generiert, die als Eingabe für Delft-FLS verwendet wird.

Tabelle 4.2: Modellränder Delft-FLS

Rhein-km	SOBEK-Branch	SOBEK-Lage			Anmerkung
		Beginn	Ende	Ort	
639,50	ANDERN-BONN	25200	26200	25700	Hochwasserganglinie
899,89	Waal__1			32154	Aus SOBEK-Berechnungen generierte Abflusskurven
906,64	Nederryn			27606	Aus SOBEK-Berechnungen generierte Abflusskurven
919,80	Yssel__1			32089	Aus SOBEK-Berechnungen generierte Abflusskurven

In Kapitel 2.2 wurde das Verfahren für die Ermittlung des Wasseraustausches zwischen dem Fluss und dem Grundwasserkörper erläutert. In den SOBEK-Eingabetabellen wird der Austausch als Austausch je laufenden Meter an der Flussachse (Austauschlänge) festgelegt. Delft-FLS kann eine derartige Eingabe nicht verarbeiten. Außerdem kann Delft-FLS höchstens 11 Modellränder verarbeitet. Deswegen müssen die Abflusszeitreihen ebenfalls bearbeitet werden.

Für die Abreglung von SOBEK auf die Ergebnisse von Delft-FLS gilt folgendes Verfahren:

- Bis zum oberen Rand des Delft-FLS-Modells treten keine Änderungen auf.
- Ab dem oberen Rand wird der Austausch zwischen dem Fluss- und Grundwasser aus den SOBEK-Eingabetabellen mit denen der Nebenflüsse überlagert.
- Für die Nebenflüsse stehen lediglich 7 Modellränder zur Verfügung. Die wichtigsten Nebenflüsse werden beibehalten. Dadurch entfallen die Nebenflüsse an der Waal, dem Pannerden 'schen Kanaal und dem Nederrijn. An der IJssel werden die Abflüsse aller Nebenflüsse zwischen IJsselkop und dem unteren Modellrand an der IJssel addiert und der Oude IJssel zugeordnet.
- Für jeden Nebenfluss werden die SOBEK-Eingabetabellen einschließlich der dazugehörigen Austauschlängen und den lateralen Zuflüsse festgelegt. Dieser Vorgang wird in Abbildung 4.1 grafisch dargestellt.
- Die Zeitreihen für die Nebenflüsse in Delft-FLS werden ergänzt durch das Produkt der Zeitreihen aus den SOBEK-Eingabetabellen und den dazugehörigen Austauschlängen.
- Auf diese Weise wird der diffuse Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser in einen lokal konzentrierten Austausch umgesetzt. Abbildung 4.2 enthält eine Übersicht über die Abflussfehler an den Pegeln infolge dieser Methode.
- Der Abflussfehler beschränkt sich auf höchstens ca. 50 m³/s. Für den Wasserstand bedeutet dies je nach Lage und lokalem Abflussfehler einen Fehler von 0,01 – 0,03 m.

Dieses Verfahren wurde für die 7 Delft-FLS-Berechnungen aus Tabelle 4.1 angewandt.

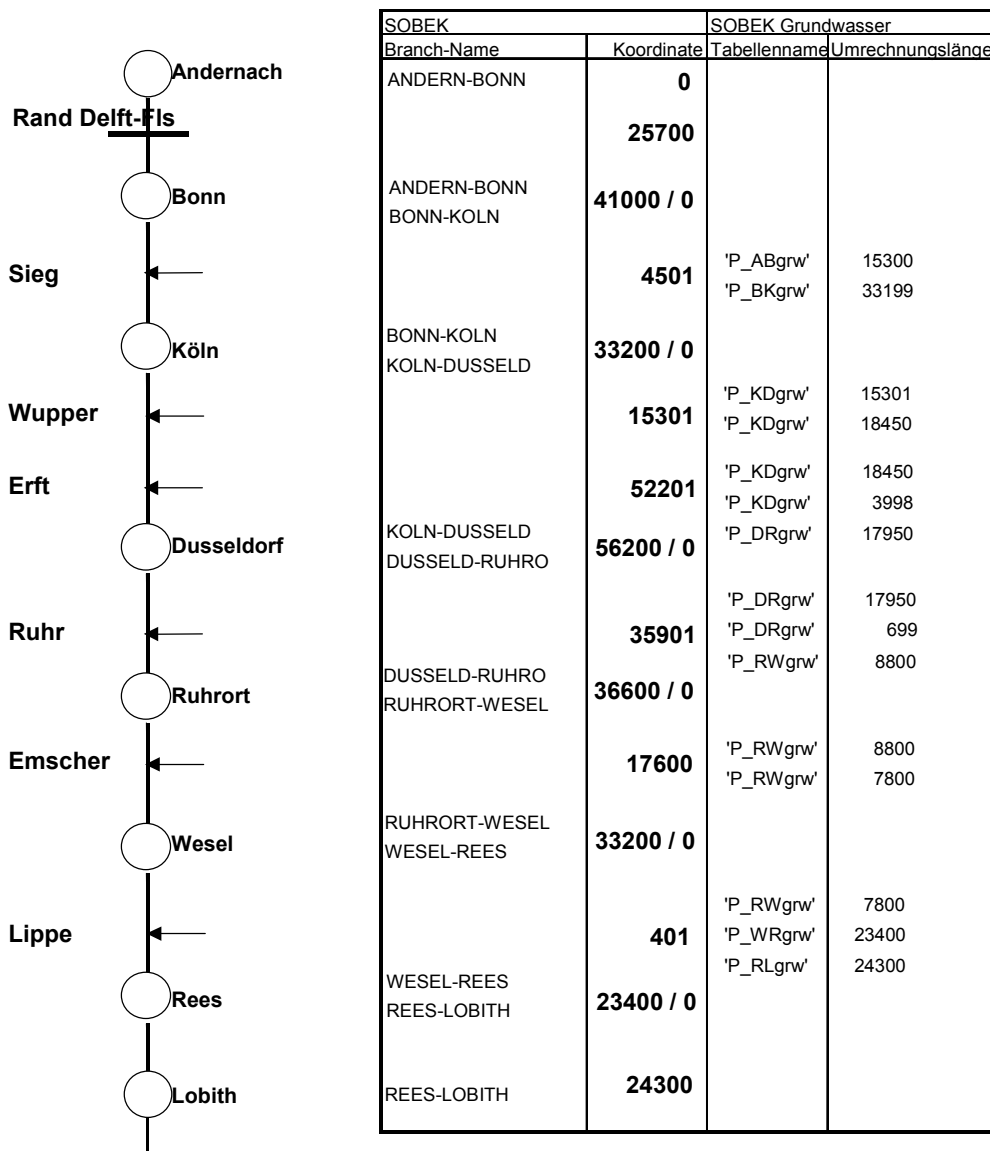


Abbildung 4.1: Umrechnung Eingabetabellen für Grundwasser von SOBEK in Delft-FLS

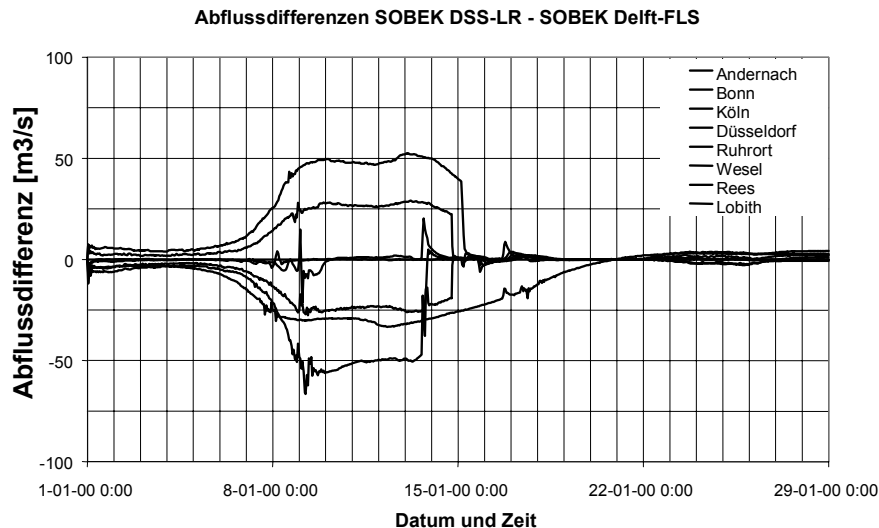


Abbildung 4.2: Abflussdifferenz infolge der Umsetzung des Grundwasseraustausches in SOBEK und in Delft-FLS

4.5 Vorgehensweise bei der Abreglung SOBEK auf Delft-FLS

Bei der Abstimmung der Modelle gibt es einen grundlegenden Unterschied zwischen einem Deichbruch und der Überflutung von Gebieten hinter Hochwasserschutzmauern oder Hochuferbereichen (siehe Kapitel 4.2).

Bei *Überströmen* von Gebieten in Delft-FLS muss für jedes Gebiet ein Ort definiert werden, an dem Austausch zwischen dem Fluss und dem Hinterland bestimmt werden soll. Mit Delft-FLS-Berechnungen können auf diese Weise für alle Gebiete, in denen Überströmen eine Rolle spielt, hydraulische Charakteristiken ermittelt werden.

Bei einem *Deichbruch* muss neben dem Ort auch der Zeitpunkt des Deichbruchs festgelegt werden. Zu dem gewählten Zeitpunkt wird dann das Szenario der Breschenausdehnung aktiviert (Kapitel 4.2). Ein Deichbruch an einer bestimmten Stelle beeinflusst in erheblichem Maße den Zeitpunkt, zu dem an einer anderen Stelle ein Deichbruch stattfindet. Deswegen sind so viele Delft-FLS-Berechnungen erforderlich, wie es Gebiete gibt, in denen Deichbruch eine dominante Rolle spielt.

Folgender Vorgehensweise wurde verfolgt:

1. Die Provinz Gelderland hat mit Delft-FLS in Bezug auf die Eingabe bei „MET95“ (Hochwasser Januar 1995) eine Kontrollberechnung mit den physischen Deichhöhen und der Lage der Hochuferbereiche durchgeführt. Bei dieser Berechnung darf das Gebiet hinter den Deichen nicht überflutet werden. Dadurch wurden das Delft-FLS und die im Modell gewählten Deichhöhen validiert.
 - Zwischen km 695,9 und 696,4 war kein Deich angegeben. Bei der Konversion in das Raster für Delft-FLS wurde die Höhe auf etwa 43,55 m ü NN herabgesetzt. Das Modell wurde um einen Deich mit einer Höhe von 44,60 m ü NN ergänzt.
 - Zwischen km 697,0-697,3 betrug die Rasterhöhe 44,10 m ü NN. Hier wurde ein Deich mit der Höhe 44,50 m ü NN ergänzt.
 - Zwischen km 701,3-702,5 lag die Rasterhöhe auf Werte zwischen 42,00 und 43,40 m ü NN. Hier wurde ein Deich mit Höhen zwischen 43,50 und 44,50 m ü NN ergänzt.
 - Zwischen km 733,6-734 war kein Deich angegeben. Dort gibt es allerdings eine Straße, die als Deich fungiert. Bei der Konversion in das Raster für Delft-FLS wurde die Höhe der Straße verringert. Das Modell wurde um einen Deich mit einer Höhe von 38,50 m ü NN ergänzt.
 - Zwischen km 759,2-760 war kein Deich angegeben. Dort gibt es allerdings eine Straße, die als Deich fungiert. Bei der Konversion in das Raster für Delft-FLS wurde die Höhe der Straße verringert. Das Modell wurde um einen Deich mit einer Höhe von 33,60 m ü NN ergänzt.

Weitere Anmerkungen zu diesen Testberechnungen, die bei der Umsetzung jedoch nicht berücksichtigt wurden.

- Nördlich und nordwestlich des Hafengebiets bei Ruhrort gibt es keine Deiche. Das Gelände ist so niedrig, dass es bei etwa 28,10 m ü NN überflutet wird (Wasserstand bei MET95 ist ca. 27,9 m ü NN).
 - Zwischen 675,1-675,8 gibt es kleine Hochwasserschutzmauern, das dazwischen liegende Gelände ist jedoch niedriger, bei km 674,5 - 675,3 und 676,1 wird Weiss überflutet.
2. Die Provinz Gelderland hat mit Delft-FLS mit der Hochwasserwelle „HW158 Zustand Ist2002_ohneDueb“ eine Berechnung mit unendlich hohen Deichen am Niederrhein durchgeführt. Mit dieser Berechnung wurde festgestellt, an welchen Stellen am Fluss potenziell die Deichhöhe erreicht werden kann und es somit zu einem Deichüberströmen kommen kann.
 3. Die Provinz Gelderland hat mit Delft-FLS mit der Hochwasserwelle „HW158 Zustand Ist2002_ohneDueb“ eine Berechnung mit den physischen Deichhöhen und der Lage der Hochuferbereiche durchgeführt.
 4. An den Stellen, an denen Überströmen relevant ist, wurden für die Berechnungsergebnisse Ausgabeorte definiert.
 5. Auf der Grundlage dieser Berechnungen wurden Gebiete ausgewählt, in denen Überströmen der dominante Faktor ist, und Gebiete, in denen Deichbruch der dominante Faktor ist.
 6. Diese Gebiete wurden mit Konturlinien festgelegt (Abbildung 4.3). Gebiete, in denen in der Zeit zwischen 1995 und 2020 Maßnahmen durchgeführt oder geplant werden (Anlage B), werden zur Vermeidung von Doppelzählungen mit eigenen Konturen definiert.
 7. Für jedes Gebiet wurde eine Zuflussstelle festgelegt (Anlage C).
 8. Für jedes Überflutungsgebiet wurden gemäß dem „Drehbuch Abstimmung von BOS-IR auf Delft FLS“ auf der Grundlage der Delft-FLS-Berechnung aus Schritt 3 die hydraulischen Charakteristiken ermittelt (Anlage C).
 9. Die einzelnen Überflutungsgebiete wurden zu einem einzigen SOBEK-Modell zusammengefügt.
 10. Mit diesem SOBEK-Modell wurden für jedes Deichbruchgebiet gemäß dem „Drehbuch Abstimmung von BOS-IR auf Delft FLS“ die einzelnen hydraulischen Charakteristiken bestimmt (Anlage C).
 11. Die einzelnen Überflutungs- und Deichbruchgebiete wurden zu einem einzigen SOBEK-Modell zusammengefügt.
 12. Mit Hilfe des Vergleichs von SOBEK-Ergebnissen mit Delft-FLS-Ergebnissen in Bezug auf die Ganglinien „HW158 Zustand Ist2002_ohneDueb“, „HW158 Zustand Ist2002_mitDueb“ und „HW824 Zustand Ist2002_mitDueb“ kann geprüft werden, ob die Abflussbeschreibung in SOBEK korrekt ist (Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5). Die Hochwasserwellen „HW158 Zustand Ist2002_ohneDueb“ und „HW158 Zustand Ist2002_mitDueb“ wurden für die Kalibrierung verwendet. „HW824 Zustand Ist2002_mitDueb“ wurde für die Verifizierung verwendet.

Tabelle 4.3 und Tabelle 4.4 sowie Anlage C enthalten eine Übersicht über alle Überströmungs- und Deichbruchgebiete. Für das Bezugsjahr 2020 wurde die zuvor beschriebene Vorgehensweise wiederholt, dann allerdings mit der für 2020 geplanten Deichhöhe. Anlage C enthält für jedes Gebiet eine Übersicht über die Änderungen in den Deichbruchgebieten für das Bezugsjahr 2020.

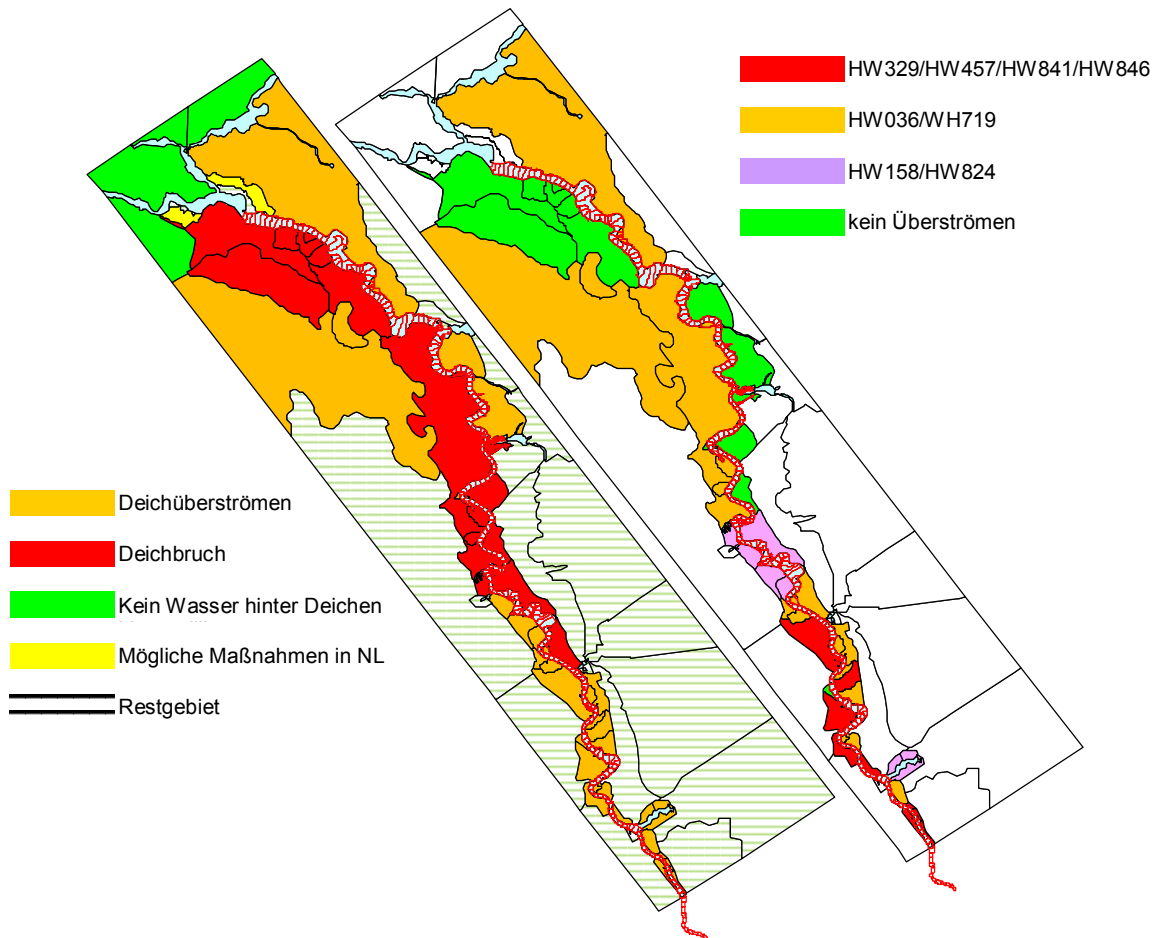


Abbildung 4.3: Gebiete hinter den Deichen, die bei den genannten Hochwassern potenziell (linke Abbildung) und tatsächlich (rechte Abbildung) von Deichüberströmen oder Deichbruch betroffen sind (Bezugsjahr 1995)

Aus Abbildung 4.3 kann abgeleitet werden, dass im südlichen Teil des Niederrheins Deichüberströmen dominant ist, wohingegen im nördlichen Teil Deichbrüche dominant sind. Wenn die Abflussganglinien extremer werden, kommt es zuerst im südlichen Teil des Niederrheins zum Deichüberströmen. Bei weiterer Zunahme der Abflüsse werden die Deiche im nördlichen Teil ebenfalls überströmt.

Aus Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5 kann in Bezug auf Lobith abgeleitet werden, dass die Ergebnisse mit Delft-FLS von SOBEK relativ gut reproduziert werden können. Bei extremen Bedingungen (ohne Deichüberströmen am Oberrhein) neigt SOBEK dazu, den Abfluss bei Lobith ein wenig zu überschätzen. Bei realistischeren Szenarien neigt SOBEK dazu, den Abfluss am Pegel Lobith etwas zu unterschätzen. Die Differenzen werden überwiegend von dem Umstand verursacht, dass das Gebiet D_027b überflutet oder nicht überflutet wird (Anlage C).

Im abfallenden Ast der Hochwasserganglinien berechnet SOBEK systematisch einen etwas höheren Abfluss als Delft-FLS. Dies wird vor allem durch die unterschiedlichen Modellierungsmethoden für das Entleeren des Deichhinterlands verursacht.

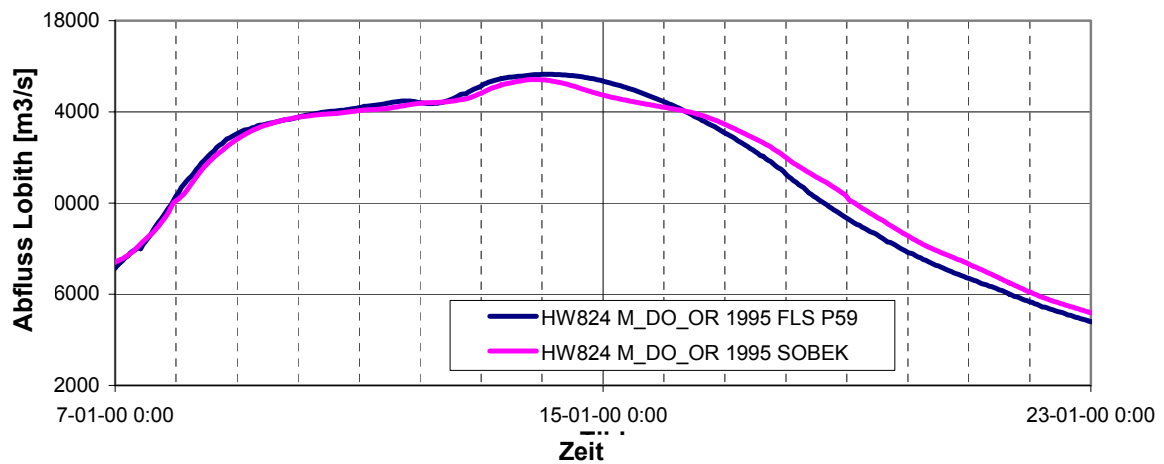
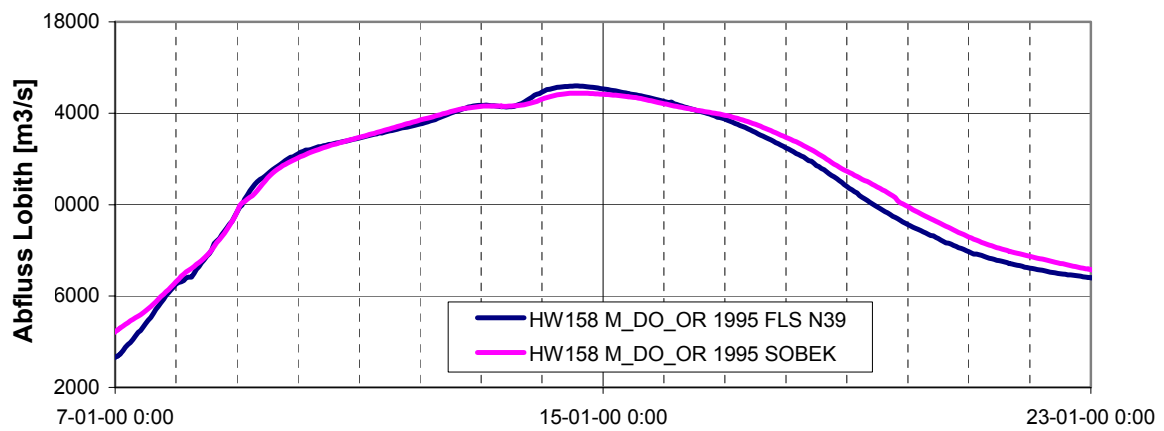
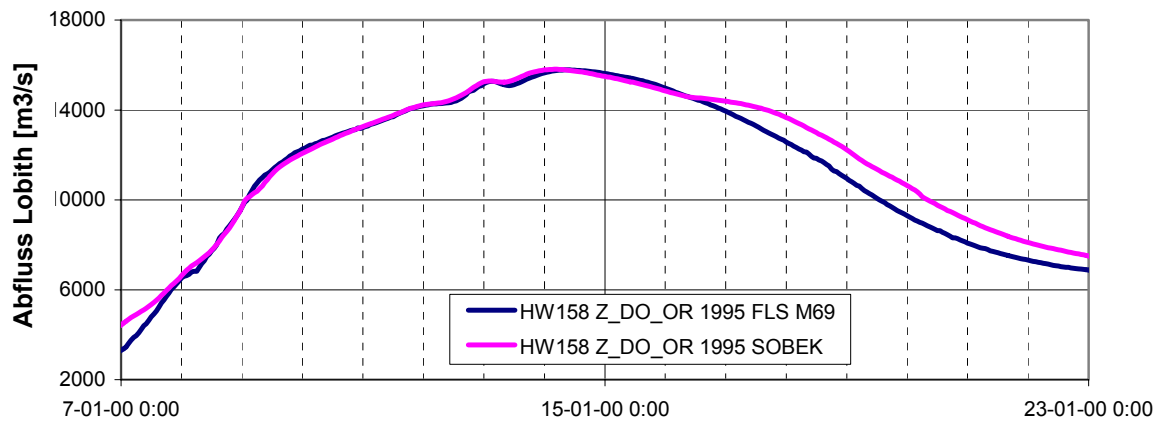
Tabelle 4.3: Gebiete mit Überflutung des Deichhinterlands durch Überströmen von Hochuferbereichen oder Hochwasserschutzmauern

Bezeichnung	Bezugsort Steuerung	Flusskilometer	Anmerkung
W_101_103	ANDERN-BONN_32200.00	646,00	
O_001	ANDERN-BONN_41000.00	654,80	
O_002	BONN-KOLN_2200.00	657,00	
O_003	BONN-KOLN_3200.00	658,00	
O_004	BONN-KOLN_3200.00	658,00	
O_005	BONN-KOLN_6199.00	661,00	
O_005_d1	BONN-KOLN_6199.00	661,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_005_d2	BONN-KOLN_10700.00	665,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_006	BONN-KOLN_10199.00	665,00	
O_006_d1	BONN-KOLN_10199.00	665,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_006_d2	BONN-KOLN_16199.00	671,00	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_006_d3	BONN-KOLN_10199.00	665,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_006_d4	BONN-KOLN_13700.00	668,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_007	BONN-KOLN_14500.00	669,30	entfällt nach 1995 (Maßnahme Köln-Langel)
O_008	BONN-KOLN_12700.00	667,50	
O_008_d1	BONN-KOLN_12700.00	667,50	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_008_d2	BONN-KOLN_16700.00	671,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_009	BONN-KOLN_28199.00	683,00	
O_010	BONN-KOLN_31700.00	686,50	
O_011	BONN-KOLN_28700.00	683,50	
O_012	BONN-KOLN_33000.00	687,80	
O_013	KOLN-DUSSELD_2999.00	691,00	
O_014	KOLN-DUSSELD_5500.00	693,50	
O_014_d1	KOLN-DUSSELD_5500.00	693,50	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_014_d2	KOLN-DUSSELD_11500.0	699,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_015	KOLN-DUSSELD_10500.0	698,50	
O_016	KOLN-DUSSELD_9999.00	698,00	
O_016_d1	KOLN-DUSSELD_9999.00	698,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_016_d2	KOLN-DUSSELD_21500.00	709,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_017	KOLN-DUSSELD_20200.00	708,20	entfällt nach 2002 (Maßnahme Worringer Bruch)
O_018	KOLN-DUSSELD_21999.00	710,00	
O_020	KOLN-DUSSELD_20800.00	708,80	entfällt nach 1995 (Maßnahme Monheim)
O_021	KOLN-DUSSELD_22999.00	711,00	
O_021_d1	KOLN-DUSSELD_22999.00	711,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_021_d2	KOLN-DUSSELD_28500.00	716,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_021_d3	KOLN-DUSSELD_22999.00	711,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
O_021_d4	KOLN-DUSSELD_37500.00	725,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
O_022	KOLN-DUSSELD_37999.00	726,00	
O_024	KOLN-DUSSELD_35999.00	724,00	entfällt nach 2002 (Maßnahme Itter-Himmelgeist)
O_025	KOLN-DUSSELD_43999.00	732,00	
O_030	DUSSELD-RUHRO_20300.00	764,50	
O_032	DUSSELD-RUHRO_17799.00	762,00	entfällt nach 1995 (Maßnahme Mündelheim)
D_035	DUSSELD-RUHRO_35899.00	780,10	
O_037	RUHRORT-WESEL_21199.00	802,00	
O_041	REES-LOBITH_15100.00	852,50	bis 2020 einschl. Lohrwardt

Tabelle 4.4: Gebiete mit Überflutung des Deichhinterlands durch Deichbruch

Bezeichnung	Bezugsort Steuerung	Flusskilometer	Anmerkung
D_019	KOLN-DUSSELD_15000.00	703,00	
D_019_d1	KOLN-DUSSELD_15000.00	703,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_019_d2	KOLN-DUSSELD_24500.00	712,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_023	KOLN-DUSSELD_35999.00	724,00	
D_023_d1	KOLN-DUSSELD_35999.00	724,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_023_d2	KOLN-DUSSELD_53500.00	741,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_023_d3	KOLN-DUSSELD_35999.00	724,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_023_d4	KOLN-DUSSELD_45500.00	733,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_023	KOLN-DUSSELD_42999.00	731,00	Zustand 2020
D_023_d1	KOLN-DUSSELD_42999.00	731,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_023_d2	KOLN-DUSSELD_53500.00	741,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_023_d3	KOLN-DUSSELD_42999.00	731,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_023_d4	KOLN-DUSSELD_45500.00	733,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_026	KOLN-DUSSELD_48999.00	737,00	
D_027	KOLN-DUSSELD_53500.00	741,50	bis 2020 einschl. Ilvericher Bruch
D_027_d1	KOLN-DUSSELD_53000.00	741,50	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_027_d2	DUSSELD-RUHRO_19300.00	763,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_027b	KOLN-DUSSELD_53500.00	741,50	bis 2020 einschl. Ilvericher Orsoy
D_031	DUSSELD-RUHRO_3799.00	748,00	
D_031_d1	DUSSELD-RUHRO_3799.00	748,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_031_d2	DUSSELD-RUHRO_11300.00	755,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_033	DUSSELD-RUHRO_17799.00	762,00	
D_033_d1	DUSSELD-RUHRO_17799.00	762,00	Wasserentzug Strömung im Deichhinterland
D_033_d2	DUSSELD-RUHRO_23300.00	767,50	Wasserrückführung Strömung im Deichhinterland
D_034	DUSSELD-RUHRO_32799.00	777,00	
O_039	REES-LOBITH_6100.00	843,50	Deichbruchstelle
O_040	REES-LOBITH_6100.00	843,50	entfällt nach 2002 (Maßnahme Bylerward)

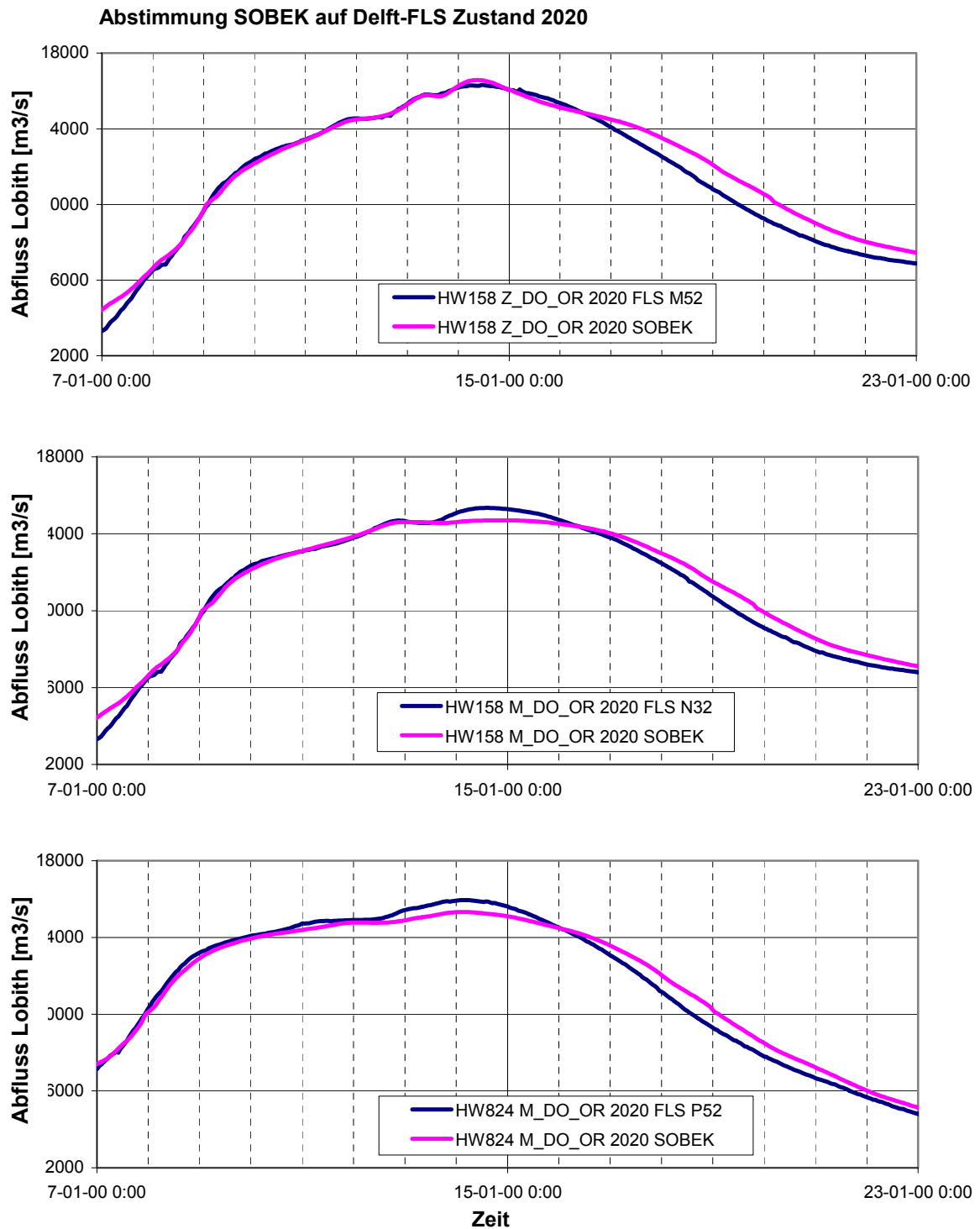
Abstimmung SOBEK auf Delft-FLS Zustand 1995/2002



Legende

- | | | |
|---------|---|---|
| HW158 | = | Abflüsse BfG Zustand 2002 für Ganglinie HW 158 |
| HW824 | = | Abflüsse BfG Zustand 2002 für Ganglinie HW 824 |
| Z_DO_OR | = | Ohne Deichüberströmen Oberrhein |
| M_DO_OR | = | Mit Deichüberströmen Oberrhein |
| FLS XXX | = | Ergebnisse Provinz Gelderland mit Delft-FLS mit Codierung |
| SOBEK | = | Ergebnisse Riza mit SOBEK |

Abbildung 4.4: Abreglung SOBEK auf Delft-FLS für Zustand 1995/2002



Legende

HW158	=	Abflüsse BfG Zustand 2002 für Ganglinie HW 158
HW824	=	Abflüsse BfG Zustand 2002 für Ganglinie HW 824
Z_DO_OR	=	Ohne Deichüberströmen Oberrhein
M_DO_OR	=	Mit Deichüberströmen Oberrhein
FLS XXX	=	Ergebnisse Provinz Gelderland mit Delft-FLS mit Codierung
SOBEK	=	Ergebnisse Riza mit SOBEK

Abbildung 4.5: Abreglung SOBEK auf Delft-FLS für Zustand 2020

5 Zusammenfassung

In diesem Bericht werden die erforderlichen Eingabedaten für das DSS Niederrhein-Rheinzweige beschrieben. Dabei handelt es sich um:

- die Hochwasserganglinien am oberen Rand bei Andernach
- die seitlichen Zuflüsse aus den Nebenflüssen
- den Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser
- die Schematisierung der Maßnahmen und
- die Schematisierung des Gebiets hinter den Deichen (Deichüberströmen und Deichbruch).

Die Eingabedaten für die Maßnahmen und das Deichüberströmen wurden in den folgenden Spreadsheets, die ebenfalls vom DSS verarbeitet werden können, zusammengefasst:

1995o_04092003.xls	Maßnahmen 1995: Rijnstrangen und Ooijpolder
1995m_09102003.xls	Deichüberströmen 1995
2002o_04092003.xls	Maßnahmen 2002: Rijnstrangen und Ooijpolder, Köln-Langel, Monheim, Mündelheim, Orsoy Land, Bislicher Insel, Lohrwardt
2002m_09102003.xls	Deichüberströmen 2002 (wie Deichüberströmen 1995)
2020o_08092003.xls	Maßnahmen 2020: Rijnstrangen und Ooijpolder, PKB-Studie „Raum für den Fluss“, Köln-Langel, Monheim, Mündelheim, Orsoy Land, Bislicher Insel, Lohrwardt, Worringer Bruch, Itter-Himmelgeist, Ilvericher Bruch, Bylerward, Grietherbusch
2020m_15102003.xls	Deichüberströmen 2020
maxvar.xls	Optimierungsvariante Köln-Langel NRWMAX, Worringer Bruch NRWMAX, Ilvericher Bruch NRWMAX, Bylerward NRWMAX, Orsoyer Bogen

Eine zusätzliche Eingabe über das DSS für die Optimierungsvariante wird in Anlage B12 beschrieben.

6 Literatur

6.1 Teilberichte im Rahmen des Projekts „Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem 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. und 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 und 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. (2004): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, Teilbericht Rückhaltmaßnahmen 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. und 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. und Brinkmann, M. (2004a): Grenzüberschreitende Auswirkungen von extremem Hochwasser am Niederrhein, 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. und 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).

6.2 Andere Literatur

Barneveld, H.J. en Meijer, D.G. (1997): SOBEM-Modell Andernach-Lobith, Model construction, calibration and verification, final report. HKV_{Lijn in Water}/Geodan im Auftrag von RIZA/Rijkswaterstaat

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

Van Bommel, M.S. en Rabbers, H.H. (2001): Dike realignments along the River Rhine. GIS schematizations in BASELINE for SOBEM modelling. Meander Consultancy and Research, report 10033.1.

Van der Veen, R., Pakes, U. en Schutte, L. (2002): Bouw en calibratie SOBEM-Rijn. Versie 2000.1 t/m 2000.3. RIZA-rapport 2002.039.