

The background of the cover is a photograph of a wide river, likely the Rhine, during a sunset or sunrise. The sky is a mix of soft yellow, orange, and pale blue. The sun is low on the horizon, creating a bright reflection on the water's surface. The water is dark with gentle ripples. In the distance, a line of trees and a low horizon are visible. In the bottom left corner, there is a decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, semi-transparent shapes in shades of blue and grey, resembling stylized waves or a modern logo element.

# **Raum für den Rhein in den Niederlanden**

**Zusammenfassung der  
Untersuchungsergebnisse**

# Raum für den Rhein in den Niederlanden

Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse

Oktober 2001



*Ministerium für Verkehr, Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten*  
**Generaldirektorat Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten**

*Direktion Ost-Niederlande  
Direktion Süd-Holland  
Staatliches Amt für Integralverwaltung der Binnengewässer und für  
Abwasserreinigung RIZA*



**WL | delft hydraulics**



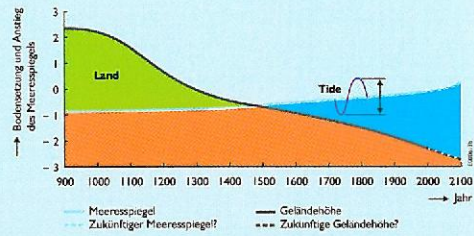
Einzugsgebiet des Rheins und Untersuchungsgebiet

	S.
<b>Zum Geleit</b>	<b>5</b>
<b>Problem und Hintergründe</b>	<b>9</b>
<b>Lösungsansätze für das Problem</b>	<b>23</b>
Festhalten von Wasser im Einzugsgebiet	27
Speichern von Wasser an den Rheinarmen	31
Ableiten von Wasser über die Rheinarme	35
<b>Kombination von Maßnahmen</b>	<b>51</b>
<b>Umgang mit Unsicherheiten</b>	<b>55</b>
Verantwortlich für Fotos und Darstellungen	58
Impressum	59



Der Teil der Niederlande, der überflutet werden könnte

Gebiete, die ohne Dünen und Deiche von der See bzw. den Flüssen überflutet werden könnten.



Bodensenkung und Anstieg des Meeresspiegels



### Die Niederlande im Rheindelta

Mehr als die Hälfte der Niederlande liegen im Einzugsgebiet des Rheins, eines der größten Ströme Europas. Das Einzugsgebiet des Rheins umfasst eine Oberfläche von 185.000 km<sup>2</sup> und erstreckt sich über neun Staaten. Die Länge des Rheins von der Quelle bis zur Mündung in die Nordsee beträgt 1.320 km. Der Fluss verläuft durch vier Staaten: die Schweiz, Frankreich, Deutschland und die Niederlande. Bei Lobith erreicht der Rhein die Niederlande und fließt von dort noch 170 km bis zur Nordsee.

Die Niederlande liegen also am Ende des Rheins, in dessen Delta. In einem Delta verzweigt sich ein Fluss mehrmals, in diesem Fall in die so genannten Rheinarme. In dieser Broschüre geht es um 3 Rheinarme, Waal, Neder-Rijn/Lek und IJssel. Dort, wo die Wasserstände nicht mehr nur von der Flusswassermenge bestimmt werden, sondern auch vom Meer mit seinen Gezeiten, spricht man von den mündungsnahen Flussabschnitten. Zusammen nehmen die Vorländer und das Hauptgerinne der Rheinarme und des Mündungsgebietes eine Fläche von etwas 500 km<sup>2</sup> ein.

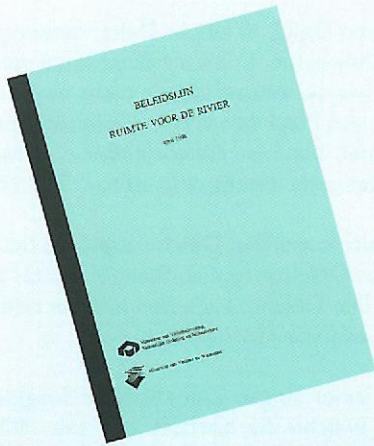
Um die Niederlande bewohnbar zu machen und zu erhalten, wurden Deiche angelegt. Schon Mitte des 14. Jahrhunderts kam ein nahezu geschlossenes Deichsystem zu Stande, das bis heute das Bild der Flusslandschaft in den Niederlanden prägt. Die Deiche, auch Banndeiche oder Winterdeiche genannt, schützen das dahinter liegende Land vor Hochwasser.

1995 wurden die niederländischen Flussregionen - nach einer langen Zeit relativer Sorglosigkeit - von einer Hochwasserwelle des Rheins aufgeschreckt, welche die höchste war seit 1926 und auch noch lange anhielt. Etwa 250.000 Menschen wurden für eine knappe Woche evakuiert, da man Zweifel an der Standfestigkeit der Deiche hatte, die durch die lange Dauer der Hochwasserwelle aufgeweicht wurden. Dieses Hochwasser - gemeinsam mit seinem Vorgänger im Jahr 1993 und den Hochwassern an der Maas - machte erneut deutlich, dass weiterhin Wachsamkeit geboten ist, wenn es um die Sicherung der Flussregionen gegen Überflutungen geht.

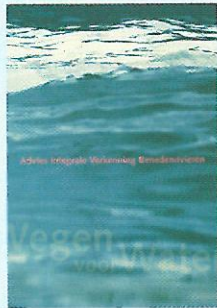
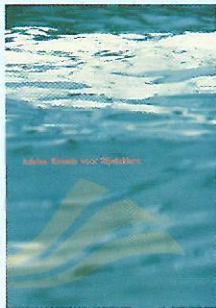
### Die Deiche als Achillesferse?

Auch auf Grund ihrer Lage im Rheindelta haben die Niederlande eine wirtschaftliche Blütezeit erlebt. Rotterdam ist einer der größten Welthäfen mit einem großen und wohlhabenden Hinterland. Die Landwirtschaft in den Niederlanden profitierte von den fruchtbaren Böden, die der Rhein angeschwemmt hat. Die wirtschaftlich starke Position der Niederlande ist teils auch den Deichen zu verdanken. Gleichzeitig machen die Deiche die Niederlanden verwundbar. Sie bilden eine Art Achillesferse. Das ist folgendermaßen zu erklären:

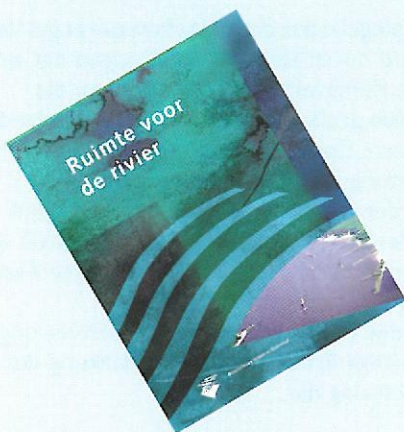
Ein großer Teil der Niederlande liegt unter dem Meeresspiegel oder dem Hochwasserpegel der großen Flüsse. Der Meeresspiegel steigt allmählich an und durch Klimaveränderungen hat sich dieser Prozess inzwischen beschleunigt. Durch dieselben Klimaveränderungen können die Spitzenwasserstände des Rheins und der Maas, des zweiten großen Flusses in den Niederlanden, stark zunehmen, so dass höhere Deiche erforderlich wären. Das eingedeichte Land senkt sich schon seit Jahrhunderten vor allem durch Bodenverdichtung und die Oxidation von Moorgebieten ab, da die Böden so „gut“ entwässert werden. Dadurch wird der Unterschied zwischen den Wasserständen innerhalb und außerhalb der Deiche immer größer. Innerhalb der Deiche nimmt die Bevölkerung zu, die Bodennutzung wird intensiver und das investierte Kapital wächst stark an. Auch diese gesellschaftliche Entwicklung setzt sich stetig fort. Die wirtschaftlichen und emotionalen Folgen einer Überflutung, oder auch nur einer Evakuierung, sind dadurch um ein Vielfaches größer als früher. Die weitere Erhöhung und Verstärkung der Deiche stellt daher nicht mehr ohne weiteres die beste Lösung dar.



Planungsleitlinien Raum für den Fluss



Empfehlungen Raum für die Rheinarme und Mündungsgebiete und Regierungsstandpunkt



### Die Regierung wird aktiv

Die Hochwasser von 1993 und 1995 haben eine Reihe von Diskussionen in Gang gesetzt. Die Regierung beschloss als Erstes, mit der Feststellung des „Deltaplans Große Flüsse“ die schon laufende Verstärkung der Deiche beschleunigt durchzuführen, nämlich bis 2001. Gleichzeitig wurden aber schon 1996 die „Planungsleitlinien Raum für den Fluss“ in Kraft gesetzt, mit dem Ziel, die Abflusskapazität der großen Flüsse zu erhalten und (wo möglich) zu erhöhen sowie neue Schadensfälle durch Hochwasser zu vermeiden. 1998 beschlossen die Regierungen der Rheinuferstaaten dann den Aktionsplan Hochwasserschutz.

### Die Regierung handelt vorausschauend

In dem 1999 von der Regierung verabschiedeten 4. Bericht zum Wasserhaushalt wird dem Hochwasserschutz besondere Aufmerksamkeit gewidmet, unter anderem weil durch die Klimaveränderung höhere Wassermengen in den Flüssen und ein höherer Meeresspiegel vorausgesehen sind. Die Antwort auf diese Entwicklungen liegt in der Vorbereitung der vorhersehbaren Folgen.

Inzwischen hat die Regierung auch eine Reihe von Untersuchungen und Studien durchführen lassen und eine Kommission eingesetzt, die eine beratende Rolle bei der Festlegung der zukünftigen Ziele der Wasserwirtschaft gespielt hat. Die Titel der bereits abgeschlossenen Studien lauten:

- Raum für die Rheinarme (RfR);
- Integrale Untersuchung des Mündungsgebietes (IVB);
- Wasserwirtschaft im „Nassen Herzen“ (Ijsselmeer).

Für die Maas läuft noch die „Untersuchung zur Erweiterung der Maas“. Auch auf der Basis der genannten Studien hat die Regierung bereits Standpunkte zu den Themen „Wasserwirtschaft im 21. Jahrhundert“ und „Raum für den Fluss“ bezogen. In diesen Regierungsstandpunkten werden drei Folgeschritte angekündigt, die für die Region der Rheinarme von Bedeutung sind:

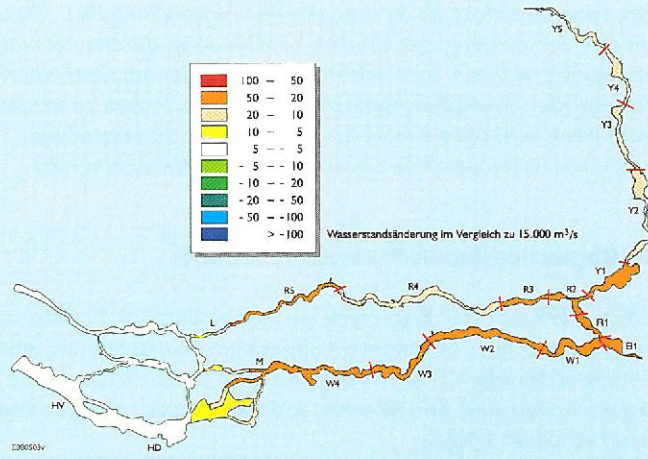
- Eine „Planstudie“ Raum für den Fluss, die auf konkrete Planungen und die Durchführung von Maßnahmen abzielt, die kurzfristig fertiggestellt werden müssen (bis 2015).
- Eine „Spannkraftstudie“, die bei der Formulierung einer langfristigen Strategie (bis 2050 und darüber hinaus) behilflich sein soll. Diese Studie muss Einsicht geben in die zukünftige Verteilung der Hochwasserabflussmenge auf die drei Rheinarme. Sie muss auch verdeutlichen, welche Gebiete am Fluss für die Aufnahme des Hochwassers in Zukunft erforderlich sind.
- Die Einsetzung einer Kommission „Notüberlaufgebiete“, die zur Nutzung und zum Standort von Notüberlaufgebieten beraten soll, um dann, wenn trotz allem eine Überflutung droht, diese kontrolliert ablaufen zu lassen und den Schaden so weit wie möglich zu begrenzen.

### Wozu diese Broschüre?

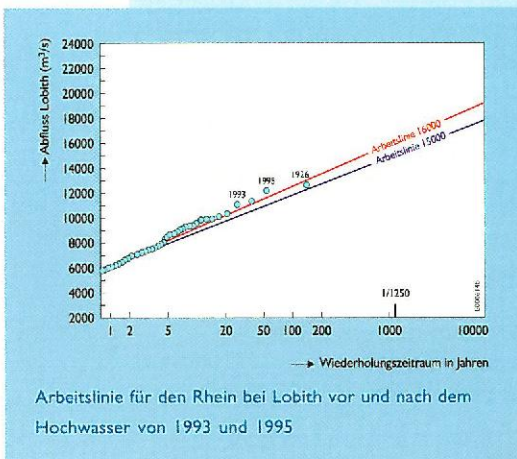
Bei den Untersuchungen für die abgeschlossenen Studien wurden auch Erkenntnisse zu den Möglichkeiten bzw. der Unmöglichkeit gewonnen, größere Abflussmengen im Flussgebiet trotz des höheren Meeresspiegels sicher zu bewältigen. Die Ergebnisse der Studien wurden in einem Bericht zu den Rheinarmen zusammengefasst („Raum für die Rheinarme - was die Untersuchungen uns gelehrt haben“) sowie in Hintergrundberichten zur „Integralen Untersuchung der Mündungsgebiete“. Diese Broschüre enthält wesentliche Passagen aus diesen Berichten, gibt aber auch neueste Erkenntnisse wieder.

Diese Erkenntnisse können für jeden wichtig sein, der an der Planstudie aktiv teilnehmen möchte, sich an den Diskussionen über die langfristige Strategie und/oder die Notüberlaufgebiete beteiligen will, oder sich einfach für den Fluss interessiert.





Veränderung der pro Flussabschnitt gemittelten Hochwasserstände (geschätzt) bei einem Anstieg des Bemessungsabflusses im Rhein von 15.000 auf 16.000 m³/s, gleich bleibender Abflussverteilung an den Flussteilungen der Rheinarme und einer Meeresspiegelerhöhung von 0 cm



Hochwasser Januar 1995

## Problem und Hintergründe

### Worin besteht eigentlich das Problem?

Das Problem, mit dem wir uns *kurzfristig* konfrontiert sehen, besteht darin, dass die maßgebenden Abflussmengen infolge der Hochwasser von 1993 und 1995 höher ausfallen als bisher. Diese so genannte Bemessungsabflussmenge ist die Abflussmenge, die nach der Statistik mit einer Chance von 1:1.250 pro Jahr vorkommt. Diese Abflussmenge bestimmt ihrerseits die Bemessungswasserstände, die so genannten Bemessungswasserstände, aus denen die Höhe der Deiche abgeleitet wird.

Ende 2001 wird die neue Bemessungsabflussmenge bestimmt. Sie wird für den Rhein dann bei 16.000 m<sup>3</sup>/s liegen. Bisher betrug sie 15.000 m<sup>3</sup>/s. Ohne weitere Maßnahmen bedeutet das auch höhere Bemessungswasserstände. Nebenstehende Abbildung zeigt, um wie viel die Wasserstände infolge der Zunahme der Bemessungsabflussmenge bei Lobith um 1.000 m<sup>3</sup>/s ansteigen.

Durch die Klimaveränderung wird der Bemessungsabfluss langfristig (2050-2100) wahrscheinlich bis 18.000 m<sup>3</sup>/s weiter zunehmen. Gleichzeitig steigt der Meeresspiegel, wodurch das Flusswasser Richtung See aufgestaut wird.

Wenn wir das Ansteigen des Wasserspiegels zulassen, müssen die Flussdeiche erhöht und verstärkt werden. Wenn dies nicht erfolgt, nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Überflutung zu. Aber je höher die Deiche werden, desto größer sind die Folgen, wenn es doch einmal zu einem Deichbruch kommt. Hinter den Flussdeichen liegen oft tiefe Polder, in denen bei einem Deichbruch schon einige Meter Wasser anstehen könnten.

Die Herausforderung besteht nach dem Regierungsstandpunkt „Raum für den Fluss“ darin, neben den Deichverstärkungen auch andere Maßnahmen zu erkunden, mit denen - trotz der höheren Bemessungsabflussmenge - eine neuerliche Erhöhung der Deiche vermieden werden kann. Dabei wird vom Grundsatz „Raum für den Fluss“ ausgegangen. Das bedeutet, das Flussbett zu erweitern und den Hochwasserstand zu senken. Die Maßnahmen, die notwendig sind, um die Zunahme von 15.000 m<sup>3</sup>/s auf 16.000 m<sup>3</sup>/s aufzufangen, müssen bis 2015 durchgeführt worden sein.

### Ist also der Schutz gegen die Überflutung der Flussgebiete hinter den Deichen die zentrale Fragestellung?

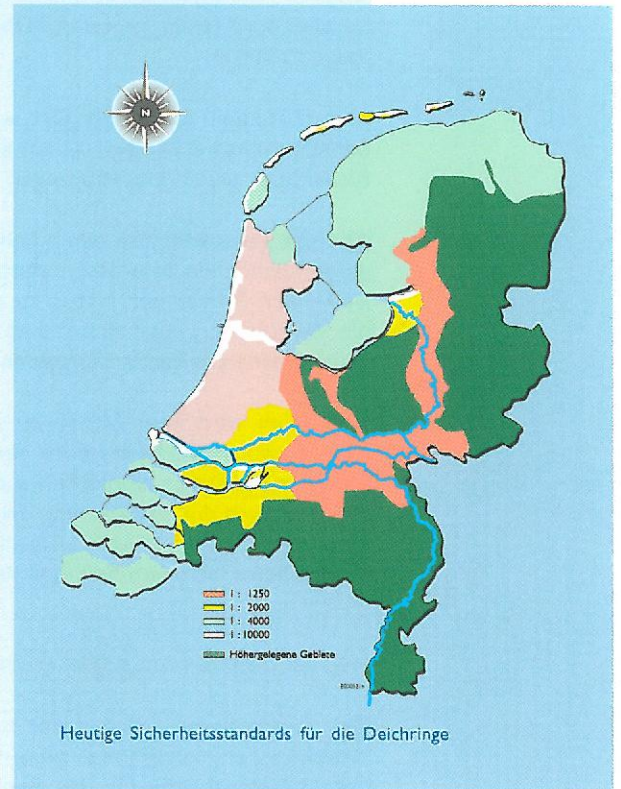
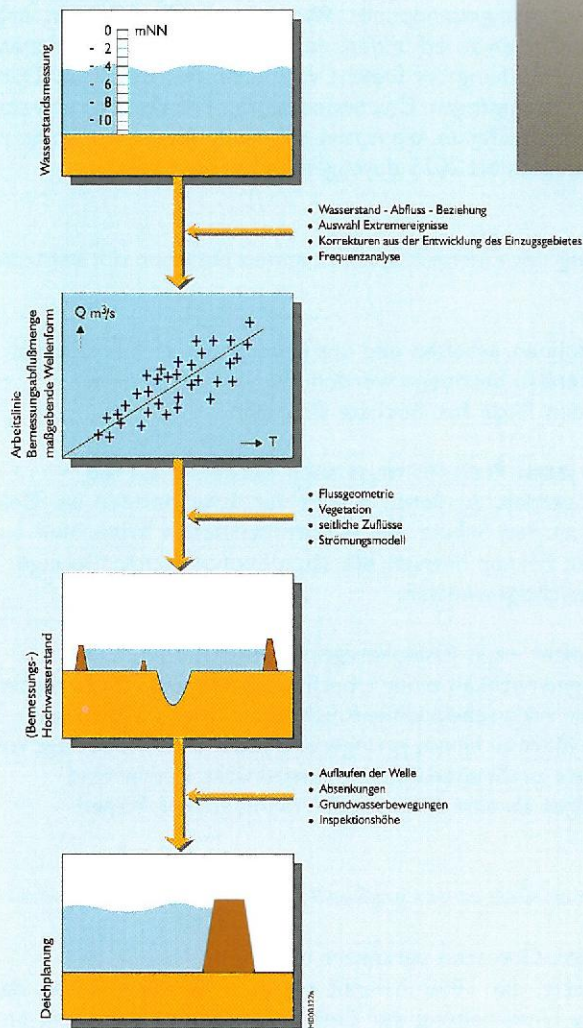
In der Tat, denn das ist der Ort, wo wir wohnen, arbeiten und uns erholen, wo sich Industrien befinden und wo Landwirtschaft und Gartenbau betrieben werden. Der Schutz all dieser Aktivitäten gegen Überflutungen durch den Fluss hat höchste Priorität.

Aber es geht nicht um einen Schutz um jeden Preis. Es muss auch Rücksicht auf die gesellschaftlichen Interessen genommen werden, zu deren Schutz der Staat berufen ist. Dabei ist an den Schutz der Natur zu denken, an den Schutz des kulturhistorischen Erbes, und an die Verbesserung der räumlichen Qualität. Ferner müssen die sozialökonomischen Belange vieler gesellschaftlicher Gruppen berücksichtigt werden.

Schließlich wird über Sicherheit immer öfter nach Risikokategorien entschieden. Ein Überflutungsrisiko besteht aus der Wahrscheinlichkeit einer Überflutung und den Folgen dieser Überflutung. Daher ist die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit nicht die einzige Möglichkeit, sondern auch die Reduzierung der Folgen führt zu einem geringeren Risiko. Diese Idee liegt vor allem dem Gedanken an Notüberlaufgebiete zu Grunde. Anders ausgedrückt: Besser eine kontrollierte Überflutung mit geringen Folgen als eine unkontrollierte mit großen Folgen.

### Wie ist unser Schutz gegen Hochwasser im Gebiet der großen Flüsse eigentlich geregelt?

Der Schutz gegen Hochwasser ist in vielen Gesetzen verankert und im „Hochwasserschutzgesetz“ zusammengefasst, das 1996 in Kraft getreten ist. Darin steht, dass die Wasserverbände für den Bau und die Unterhaltung der Deiche zuständig sind. Allein an den Rheinarmen geht es dabei schon um etwa tausend km Deichlänge.



Von der Wasserstandsmessung über die Arbeitslinie und den Bemessungswasserstand bis zum Deichentwurf

Das Hochwasserschutzgesetz schreibt vor, dass die Deichbehörden ihre Deiche alle fünf Jahre auf ihre Sicherheit hin prüfen müssen. Diese Prüfung findet für jedes Deichringgebiet gesondert statt. Dabei handelt es sich um ein Gebiet, das von Deichen umschlossen wird. Manchmal schließen die Deiche den Ring nicht, sondern schließen an höhergelegene Gebiete wie die Veluwe an. In den Niederlanden gibt es 53 solcher Deichringgebiete, von denen 20 an den Rheinarmen liegen.

Das Hochwasserschutzgesetz sieht auch vor, dass alle fünf Jahre die Bemessungswasserstände ermittelt werden müssen. Auf dieser Grundlage wird berechnet, wie hoch die Deiche an den Rheinarmen sein müssen. Die Hochwasserstände müssen immer wieder neu bestimmt werden, da sich der Fluss im Laufe der Zeit verändert. Das Hauptgerinne wird ausgespült, das Vorland erhöht sich durch Schlammablagerungen, und im Vorland ändert sich manchmal auch die Bodennutzung oder der Pflanzenwuchs.

Schließlich regelt das Hochwasserschutzgesetz, dass die Rijkswaterstaat-Ämter für angemessene Warnvorkehrungen zu sorgen haben. Wenn zu erwarten ist, dass der Wasserstand in den Rheinarmen oder an der Küste einen bestimmten Wert überschreitet, werden die verantwortlichen Behörden darüber informiert.

### **Worauf beruht die Höhe unserer Flussdeiche denn nun genau?**

Deiche werden so geplant, dass sie dem Hochwasser für eine bestimmte Zeit standhalten können. Einen wesentlichen Ausgangspunkt bildet der maßgebende Hochwasserstand. Das ist der Wasserstand, dem der Deich noch sicher standhalten können muss. Weiterhin werden Winddruck und Wellenschlag einkalkuliert. Schließlich wird der Deich noch mit einer zusätzlichen Höhenreserve ausgestattet, um ihn während eines Hochwassers als Inspektionsweg gut begehbar zu halten und um die Setzung des Deichkörpers aufzufangen.

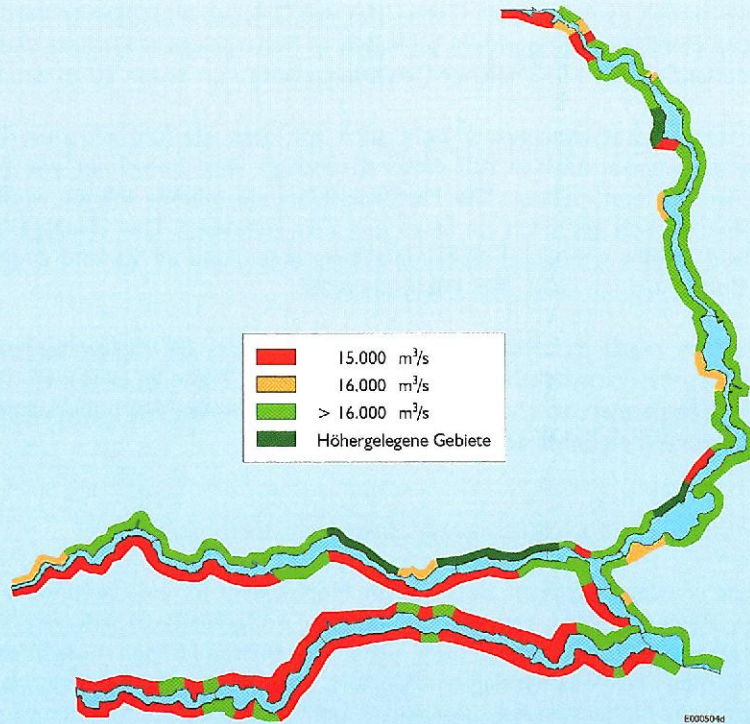
Der Bemessungswasserstand ist der Wasserstand mit der Eintrittswahrscheinlichkeit, die sich aus dem Schutzstandard ergibt, der für die einzelnen Deichringgebiete festgelegt wurde. So haben die Deichringgebiete an den Rheinarmen fast alle einen Schutzstandard von 1/1250, das bedeutet: Die Chance, dass in einem bestimmten Jahr ein höherer Wasserstand als der Bemessungswasserstand auftritt, ist kleiner als 1/1250. Im Westen der Niederlanden liegt der Schutzstandard höher, nämlich bei 1/2000 bis zu 1/10.000 beispielsweise für den Deichring „Zentral-Holland“, in dem Großstädte wie Rotterdam und Den Haag liegen. Das hängt mit der Bevölkerungsdichte und den höheren wirtschaftlichen Werten zusammen, aber auch mit der schwierigen Vorhersagbarkeit von Sturmfluten, durch die sich die Wahrscheinlichkeit von Personenschäden erhöht, und schließlich mit der Tatsache, dass Seewasser salzhaltig ist und bei eventuellen Überflutungen größere Schäden verursacht.

### **Wie werden die Bemessungswasserstände an den Rheinarmen berechnet?**

Die Bemessungswasserstände an den Rheinarmen können berechnet werden, wenn die Bemessungsabflussmenge bei Lobith bekannt ist. Dabei werden Computermodelle eingesetzt, mit denen das Strömungsverhalten des Wassers im Fluss nachempfunden wird.

Bei einer bestimmten Abflussmenge werden die Wasserstände im Fluss vor allem vom Querschnitt bestimmt, der im Flussbett vorhanden ist, und vom Strömungswiderstand, den das Wasser beispielsweise durch Bühnen und Vegetation erfährt. Der Zusammenhang zwischen Bemessungsabflussmenge und Bemessungswasserständen ist deswegen nicht direkt vorhanden, sondern hängt von der Breite des Flussbettes, der Höhe des Deichvorlands und der Vegetation im Vorland ab.

In den Flussunterläufen werden die Bemessungswasserstände aus einer großen Anzahl an Kombinationen aus den Abflüssen für den Rhein und die Maas, dem Meereswasserspiegel sowie dem eventuellen Versagen des Maeslant- und Hartel-Sperrwerks.



Maximale Abflussmenge des Rheins bei Lobith, für die die Deiche bislang ausgelegt worden sind

E000504d



Hochwasser an der Waal



Zaltbommel

### Was bedeutet die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung des Bemessungswasserstandes eigentlich?

Erstens - und das ist ganz wichtig - bedeutet die Überschreitung des Bemessungswasserstandes noch nicht, dass ein Deich überläuft oder sofort bricht. Es wird ja zusätzlich eine Höhenreserve eingebaut. Dann sind die Wahrscheinlichkeiten einer Überschreitung des Bemessungswasserstandes von einmal in 1250 Jahren, von 1/1250 pro Jahr oder - noch besser - von 0,08 % pro Jahr nur verschiedene Arten, die statistische Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung des Bemessungswasserstandes auszudrücken. Man spricht dann auch vom 1250jährigen Hochwasser. Was das genau heißt, führt häufig zu Missverständnissen.

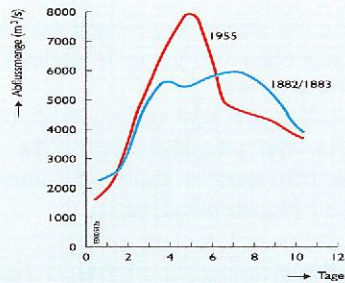
Einmal in 1250 Jahren bedeutet nämlich *nicht*, dass eine Überschreitung nur einmal in 1250 Jahren vorkommen kann oder dass es nach einem solchen Ereignis 1250 Jahre dauert, bis es wieder passiert. Es bedeutet, dass eine Überschreitung nach den Messungen in der Vergangenheit und nach statistischen Annahmen *im Durchschnitt* einmal in 1250 Jahren auftritt. Die Wahrscheinlichkeit, dass im nächsten Jahr eine Überschreitung des Bemessungswasserstandes in den Rheinarmen auftritt, beträgt mithin 0,08 %. In einem Menschenleben von 80 Jahren beträgt die Wahrscheinlichkeit 6 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein solches Ereignis während eines Menschenlebens zwei Mal eintritt, beträgt ungefähr 0,2 %. Die Wahrscheinlichkeit eines Wasserstandes, der höher ist als 1995, beträgt etwa 2 % pro Jahr. Jemand, der nach dem Hochwasser 1995 geboren wurde, hat eine Chance von 80 %, mindestens einmal einen Wasserstand in den Rheinarmen zu erleben, der höher ist als der vom Januar 1995. Die Chance, dies mindestens zwei Mal zu erleben, beträgt 50 %.

Für die Schutzstandards von 1/2000, 1/4000 und 1/10.000 im Westen des Landes gilt dasselbe Ausgangsprinzip, nur mit kleineren Zahlen.

### Sind die vorhandenen Deiche denn nun sicher oder nicht?

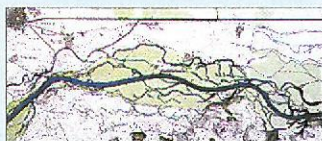
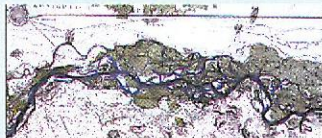
Nach den Hochwassern von 1993 und 1995 saß den Niederländern der Schreck in den Gliedern und es wurde ein Rückstand bei der Verstärkung der Deiche festgestellt. Die Regierung beschloss den „Deltaplan Große Flüsse“: Alle Flussdeiche wurden bis zum Jahr 2000 den Anforderungen angepasst. Sind die Deiche denn nun sicher? Einerseits ja: Die Deiche wurden ja wie beschlossen verstärkt und sind zurzeit sicherer als jemals zuvor. Andererseits nein: Denn die Bemessungsabflussmenge wird Ende 2001 auf 16.000 m<sup>3</sup>/s angepasst. Von Ausnahmen abgesehen, sind die Deiche dafür vom Grundsatz her nicht ausreichend dimensioniert. Die Deiche sind natürlich dieselben geblieben, genau so hoch und stabil. Da aber von einer höheren Abflussmenge ausgegangen wird, sind weitere Maßnahmen erforderlich, um „genau so sicher“ zu bleiben.

Bei Diskussionen über die Sicherheit vor Überflutungen muss man sich bewusst sein, dass es sich dabei um einen relativen Begriff handelt. Jederzeit kann ein Wasserstand in den Flüssen eintreten, auf die Deiche nicht ausgelegt sind. Das wird implizit bei der Verwendung von Schutzstandards vorausgesetzt. Die erwünschte Sicherheit ist eine gesellschaftliche Entscheidung. Auch wenn man eine 100 %-ige Sicherheit wollte, was übrigens mit enormen Investitionen und negativen Folgen für Umwelt und Landschaft verbunden wäre, bleibt weiterhin das Problem, dass es bei Naturereignissen wie Wind, Regen und Wasserabfluss keine absoluten und bekannten Obergrenzen gibt. Eine Garantie kann also nie gegeben werden, sondern es bleibt immer ein Restrisiko bestehen. Man kann sich dagegen nur so gut wie möglich wappnen und für den Fall des Falles gut vorbereitet sein. Gerade für derartige unvorhergesehene Umstände wird über kontrollierte Überflutungen in Notüberlaufgebieten nachgedacht.



### Die Hochwasserwellen von 1882/83 und 1955 am Oberrhein bei Worms

Diese Wellen wurden durch heftige Niederschläge im Süden des Einzugsgebietes ausgelöst und weisen ein vergleichbares Volumen. Die Welle von 1955 ist wegen der Kanalisierung des Oberrheins wesentlich steiler und höher.

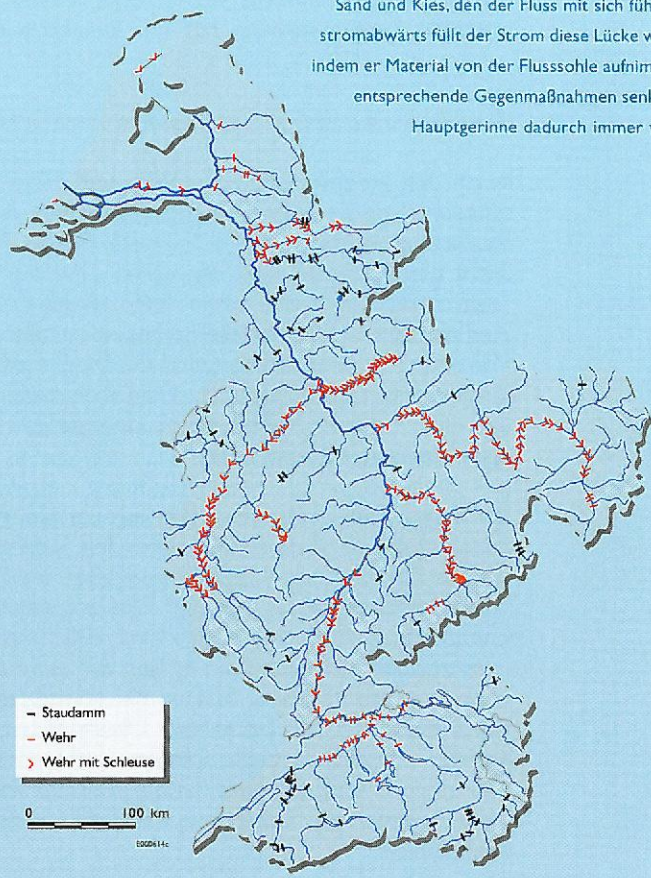


### Der Oberrhein nach den Plänen von Johann Gottfried Tulla

Die Karten zeigen den Oberrhein vor der Regulierung um 1830, nach der Regulierung und nach der Kanalisation (mit Staustufen) um 1963. Durch diesen Ausbau hat der Oberrhein viel von seiner ursprünglichen Überflutungsfläche eingebüßt.

### Staustufen und -dämme im Einzugsgebiet des Rheins

Diese bilden eine unüberwindliche Barriere für den Sand und Kies, den der Fluss mit sich führt. Weiter stromabwärts füllt der Strom diese Lücke wieder auf, indem er Material von der Flusssohle aufnimmt. Ohne entsprechende Gegenmaßnahmen senkt sich das Hauptgerinne dadurch immer weiter ab.



### Wie hoch ist die Bemessungsabflussmenge bei Lobith jetzt? Und wie hoch war sie früher?

Ab Ende 2001 beträgt die Bemessungsabflussmenge bei Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s. Zur Klarstellung: Das ist die im Jahr 2001 neu festgestellte Bemessungsabflussmenge, bei der die Hochwasser von 1993 und 1995 bereits berücksichtigt sind. Bis Ende 2001 betrug die Bemessungsabflussmenge 15.000 m<sup>3</sup>/s, ein Wert, der auf Empfehlung der Kommission Boertien festgelegt wurde, die 1992 ins Leben gerufen wurde, als in der niederländischen Gesellschaft der Widerstand gegen vorgenommene Deichverstärkungen zugenommen hatte.

Die Bemessungsabflussmenge unterlag in der Vergangenheit einigen Änderungen, und das nach Maßgabe nicht nur fortschreitender Erkenntnisse, sondern auch unterschiedlicher Vorstellungen über die einzuhaltenden Sicherheitsgrenzwerte. So wurden die Flussdeiche an den Rheinarmen nach den Überflutungen des Jahres 1926 an die bis dahin höchste bekannte Abflussmenge angepasst (ungefähr 12.500 m<sup>3</sup>/s bei Lobith). Die Flutkatastrophe von 1953 verstärkte aber die bestehenden Zweifel über die Widerstandskraft der Flussdeiche: Die Bemessungsabflussmenge des Rheins wurde 1956 auf 18.000 m<sup>3</sup>/s bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von etwa 1/3000 pro Jahr festgelegt. Die Konsequenz davon war, dass die Flussdeiche überall hätten verstärkt werden müssen. Die Unruhe und der Widerstand, der dadurch in der niederländischen Gesellschaft entstand, veranlassten den Minister für Verkehr und Wasserwirtschaft 1975 dazu, die Kommission Becht einzusetzen. Das wichtigste Ergebnis dieser Kommission lautete, dass es zu verantworten sei, von dem niedrigeren Sicherheitsstandard von 1/1250 pro Jahr auszugehen. Die damit verbundene Bemessungsabflussmenge wurde auf einen Wert von 16.500 m<sup>3</sup>/s festgelegt. 1993 schließlich stellte die bereits genannte Kommission Boertien fest, dass die Bemessungsabflussmenge weiter auf 15.000 m<sup>3</sup>/s reduziert werden konnte. Der Sicherheitsstandard von 1/1250 pro Jahr blieb unverändert.

### Wie wird die Bemessungsabflussmenge bei Lobith eigentlich berechnet?

Die Bemessungsabflussmenge wird über eine statistische Analyse aus den Spitzenabflusswerten abgeleitet, die in der Vergangenheit aufgetreten sind. Am Rhein bei Lobith werden seit 1901 Messungen vorgenommen. Dabei wird zunächst mit der Korrektur der Veränderungen begonnen, die das Einzugsgebiet des Rheins im 20. Jahrhundert erfahren hat.

Eine wichtige Veränderung betrifft die Kanalisierung des Oberrheins in Süddeutschland in der Zeit nach 1928. Diese hat zur Folge, dass die Abflusswellen, die vor allem infolge von Niederschlägen in Süddeutschland entstehen, unser Land schneller und heftiger erreichen.

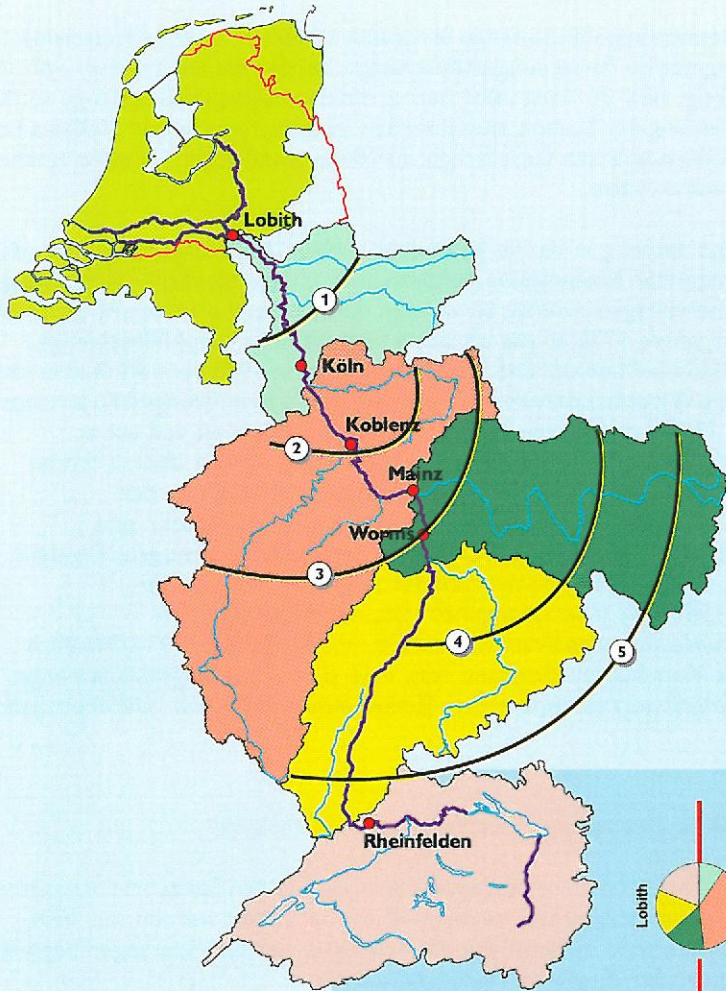
Nach allen Korrekturen folgt eine statistische Analyse. Das Ergebnis ist eine Grafik, bei der in der Horizontalen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwassers und in der Vertikalen die Höhe der Abflussmenge dargestellt werden. Die Linie durch die aufgetretenen Spitzenabflusswerte wird als Arbeitslinie bezeichnet. Wenn man diese Linie verlängert, kann man die Abflussmenge mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1/1250 pro Jahr ablesen.

### Wie entsteht eigentlich ein Hochwasser am Rhein?

Natürlich durch Niederschläge, die im Einzugsgebiet des Rheins fallen. Aber die Höhe und Form der Abflusswelle, die wir bei Lobith messen, ist eine Folge des zeitlichen Auftretens der Abflussspitzen aus den Nebenflüssen in den Rhein im Verhältnis zum Abfluss im Rhein selbst. Ausschlaggebend dafür ist das Niederschlagsverhalten, d.h. wo, in welchen Teilen des Einzugsgebietes, und wann der Regen fällt.

Außerdem spielt die Vorgeschichte eine Rolle. Hat es schon eine Weile geregnet, sodass der Boden kaum noch Wasser aufnehmen kann? Oder ist der Boden gefroren, so dass Niederschläge schnell ablaufen? Oder ist gerade Tauwetter, so dass der gefallene Schnee schmilzt? Alles in allem bedeutet das, dass praktisch jedes Hochwasser auf unterschiedliche Weise entsteht.

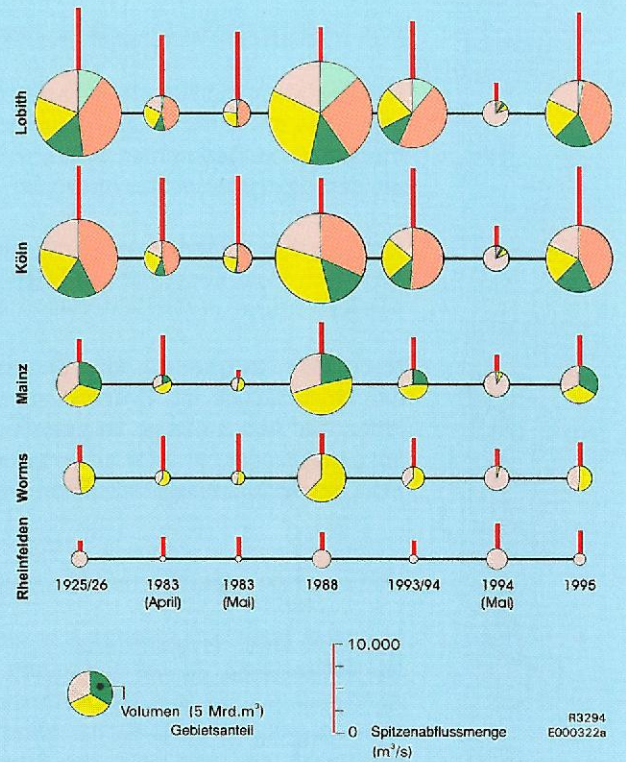




Fließdauer einer Hochwasservelle bis Lobith in Tagen

**Teileinzugsgebiete und Pegelhöhe**

- Lobith
- Köln
- Mainz
- Worms
- Rheinfelden



R3294  
E000322a

Entstehen eines Hochwassers: immer wieder anders

So ist das Rheinhochwasser von 1993 vor allem in der Mitte und im Süden des Einzugsgebietes entstanden, weil die Spitzenabflussmenge des Rheins mit der Abflussspitze der Mosel bei Koblenz fast genau zusammentraf. In Süddeutschland waren die Verhältnisse nicht so extrem, aber die Abflussmenge der Mosel war mit  $4.200 \text{ m}^3/\text{s}$  die höchste seit Beginn der Messungen im Jahr 1817.

Das Hochwasser von 1995 entstand vor allem in der Mitte und im Norden des Einzugsgebietes. Infolge einer extrem hohen Abflussmenge des Mains war die Abflussmenge am Mittelrhein 1995 höher als 1993, die Spitzenabflussmenge der Mosel lag aber etwa  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  niedriger als 1993. Heftige Regenfälle in den kleineren Teileinzugsgebieten nördlich der Mosel führten dann aber zu einem 6 cm höheren Wasserstand in Köln als 1993. Bei Lobith betrug die Abflussmenge  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  und der Wasserstand war etwa 10 cm höher als der höchste bis dahin gemessene Wasserstand aus dem Jahr 1926.

Die Niederlande sind im Jahr 1995 noch einigermaßen gut davongekommen, weil die meisten Spitzenabflussmengen der Nebenflüsse nicht mit der Spitzenabflussmenge des Rheins selbst zusammentrafen. Die Spitzenabflussmengen einiger Nebenflüsse eilten der Spitzenabflussmenge im Rhein voraus, während andere der des Rheins nachfolgten. Nur der Spitzenabfluss der Mosel traf gleichzeitig ein. Außerdem kam der Spitzenabfluss genau dann im Mündungsgebiet an, nachdem an der Küste ablandiger Wind aufgetreten war und Wasser durch die Haringvliet-Schleusen gelassen werden konnte.

#### **Wie lange dauert es, bevor eine Abflusswelle die Niederlande in Lobith erreicht?**

Da geht einige Zeit ins Land. Eine Hochwasserwelle, die in Süddeutschland entstanden ist, braucht 4 bis 5 Tage, bevor sie die Niederlande erreicht. Von Koblenz bis Lobith dauert es bei einem Abstand von 250 km immer noch 2 Tage.

In den Niederlanden bewegt sich eine Hochwasserwelle im Rhein langsamer fort als in Deutschland, da sie im flachen Delta angekommen ist. Eine Hochwasserwelle legt den Abstand von etwa 170 km zwischen Lobith und der Nordsee in ungefähr 2 Tagen zurück.

#### **Wie verteilt sich die Bemessungsabflussmenge an den Flussteilungen in die einzelnen Rheinarme? Und geht das von selbst?**

Die Wassermenge, die unter den gegebenen Umständen Lobith erreicht, setzt ihren Weg zu etwa 65 % über die Waal fort. Etwa 20 % fließen über Neder-Rijn und Lek ab, während die IJssel etwa 15 % zu bewältigen hat. Diese Verteilung stimmt in groben Zügen immer noch mit der Verteilung überein, wie sie 1771 in einer Vereinbarung zwischen den Provinzen Gelderland, Overijssel, Utrecht und Holland abgesprochen wurde:  $\frac{6}{9}$  der unverteilter Wassermenge des Rheins über die Waal,  $\frac{2}{9}$  über den Neder-Rijn und  $\frac{1}{9}$  über die IJssel. Diese Mengenverteilung bleibt bei einer Zunahme der Bemessungsabflussmenge praktisch unverändert.

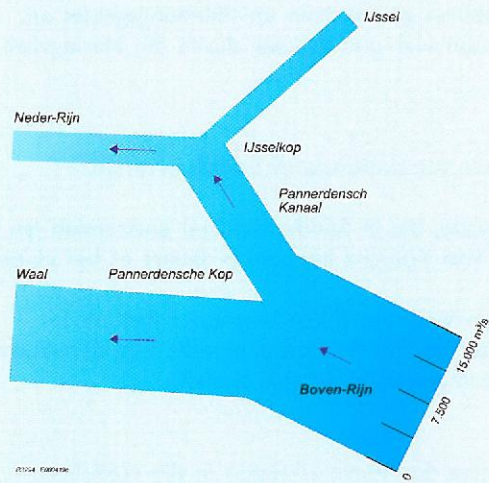
Die Verteilung über die Rheinarme geht tatsächlich von selbst in dem Sinne vor sich, dass es keine Regelungseinrichtung gibt. Form und Beschaffenheit des Flussbettes bis etwa 25 km unterhalb der Teilungspunkte bestimmen nahezu vollständig die Verteilung der Abflussmenge auf die Rheinarme, das heißt: Höhenlage des Hauptgerinnes, Höhenlage und Ausdehnung des Deichvorlands, das Vorhandensein von Dämmen, Buhnen, Überläufen, Brückenköpfen, Vegetation, usw.

Wichtige Bauwerke, die bei Hochwasser die Verteilung der Abflussmengen beeinflussen, sind der Millingerdam am linken Ufer der Waal und der Pannerdensche Überlauf am rechten Ufer des Pannerdensch Kanaal.

Die Verteilung der Bemessungsabflussmenge auf die Rheinarme ist daher untrennbar mit der baulichen Gestaltung rund um die Flussteilungspunkte verbunden. Eine Störung dieser Abflussverteilung bringt unweigerlich eine Bedrohung für die Überflutungssicherheit mit sich, da schon  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  zusätzlichen Abflusses in den Neder-Rijn/Lek oder die IJssel etwa 10 cm höhere Wasserstände verursachen. Die für die bauliche Gestaltung zuständigen Behörden verfahren daher bei der Verwaltung und Unterhaltung der Flüsse in den Gegenden rund um die Teilungspunkte sehr sorgfältig.



Mündung der IJssel



Flussteilungspunkte der Rheinarme



IJsselkop



Sturmflutwehr am Nieuwe Waterweg



Pannerdensch Kop

**Ist nur die Abflussmenge bei Lobith wichtig oder kommt in den Niederlanden auch noch Wasser dazu?**

In den Niederlanden ist der Gesamtzufluss über Nebenflüsse, Bäche und Kanäle in den Rhein verhältnismäßig gering. Beim Hochwasser von 1995 betrug die Zuflussmenge aus Nebenflüssen in die Waal und den Neder-Rijn weniger als 1 % der Abflussmenge in diesen Rheinarmen. Nur an der IJssel, dem kleinsten der drei Rheinarme, kann die seitliche Wasserzufuhr stärker ausfallen: 1995 waren es fast 10 % der Abflussmenge, die damals durch die IJssel strömte.

**Werden die Bemessungswasserstände in den Rheinarmen auch vom Meereswasserstand und vom Wasserstand des IJsselmeers mitbestimmt?**

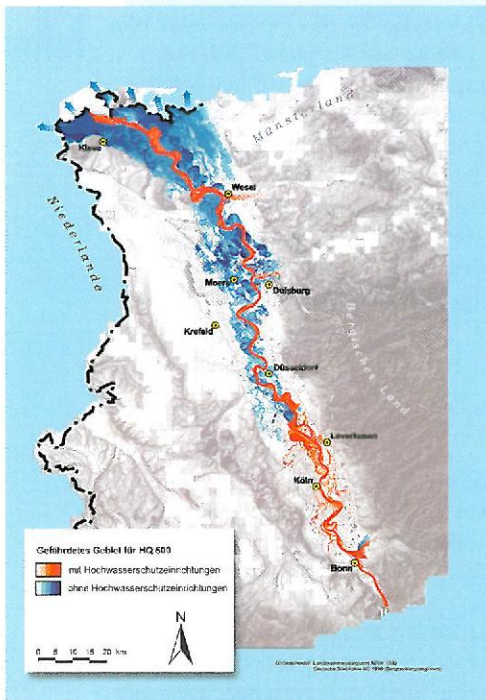
In den Rheinarmen sind die hohen Abflussmengen die wichtigste Ursache für das Hochwasser. Nur an den Flussunterläufen der Rheinarme und im Mündungsgebiet gibt es noch andere Ursachen: Stürme, die das Wasser des Meeres und des IJsselmeers aufstauen. In der Waal ist ein solcher Aufstau kaum zu spüren, erst auf der Merwede ist das der Fall. Im Lek muss der Meereswasserspiegel jedoch unterhalb von Hagestein zunehmend berücksichtigt werden. Daher werden die Bemessungswasserstände hier aus verschiedenen Kombinationen von Rheinabflussmenge und Meereswasserstand abgeleitet. Bei Rotterdam werden die Bemessungswasserstände fast vollständig vom Meer bestimmt. Im IJsseldelta bilden Stürme auf dem IJsselmeer eine ernst zu nehmende Gefahr. Bei Zwolle wird der Bemessungswasserstand noch vollständig von der IJsselabflussmenge selbst bestimmt, unterhalb von Kampen aber vor allem durch den maßgebenden Sturm auf dem IJsselmeer.

**Verändert sich die Bemessungsabflussmenge in Zukunft nicht, z.B. durch Klimaänderungen?**

Ja, mittlerweile steht wohl zweifelsfrei fest, dass sich das Klima ändert und dass die durchschnittliche Erdtemperatur steigen wird. Was das aber genau für die Abflussmengen in den Flüssen bedeutet, ist schwer festzustellen. Eine höhere Lufttemperatur geht mit einer Zunahme von Niederschlägen im Winter einher. Das kann höhere Abflussmengen in den Flüssen zur Folge haben, jedoch hängt auch vieles von der Luftzirkulation über Europa ab. Bezüglich des Ausmaßes, in dem die Bemessungsabflussmenge des Rheins steigen könnte, gehen die Erwartungen daher noch auseinander. Geht man z.B. nach gemittelter Schätzung von einem Temperaturanstieg um 1 °C bis 2050 aus, würde die maßgebende Rheinabflussmenge dann um etwa 5 % höher liegen. Folgt man der hohen, jedoch nicht unrealistischen Schätzung von 2 °C Temperaturanstieg, kommt man zu einer 10 %-igen Zunahme der Rheinabflussmenge. In diesem Fall würde die Bemessungsabflussmenge um das Jahr 2050 beinahe 18.000 m<sup>3</sup>/s betragen. Wenn der Anstieg der Temperatur und der Abflussmengen der Flüsse sich auch nach 2050 fortsetzt, ergibt das für das Jahr 2100 eine Abflussmenge von gut 19.000 m<sup>3</sup>/s.

**Gibt es denn keinen Maximalwert für die Abflussmenge bei Lobith, z.B. dadurch dass stromaufwärts in Deutschland die Deiche überlaufen?**

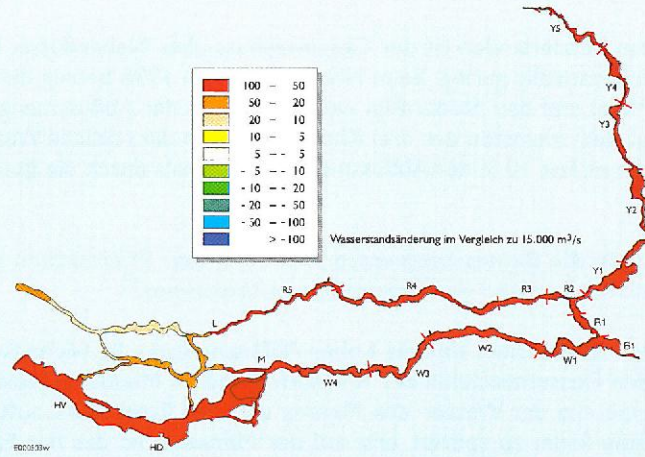
In der Tat könnte man einen physikalischen Maximalwert annehmen. Dieser wird vor allem von den Deichhöhen in Deutschland bestimmt, sowohl an den Nebenflüssen wie auch am Rhein selbst. Wenn die Abflussmengen höher werden als für die Dimensionierung der Deiche in Deutschland angesetzt, werden dort große Überflutungen auftreten. Ein Teil der Wassermenge verlässt dann das Hochwasserbett, wodurch die Abflussmenge zwischen den Deichen geringer wird. Die Wassermenge, welche die Überflutungen verursacht, fließt dann erst später wieder im Rhein ab. Der wichtigste Punkt im Zusammenhang mit einem eventuellen physikalischen Maximalwert ist die Deichhöhe in Nordrhein-Westfalen, dem Teil Deutschlands, der an die Niederlande grenzt. In der Vergangenheit wurden hier Deiche errichtet, die an einigen Stellen schon bei einer Abflussmenge von 14.500 m<sup>3</sup>/s überlaufen. Nach Abschluss des Deichverstärkungsprogramms um 2015 werden die Deiche erst bei einer Abflussmenge zwischen 17.500 und 18.000 m<sup>3</sup>/s überströmt. Wenn in Deutschland keine weiteren Maßnahmen durchgeführt werden, ist diese Abflussmenge bei Lobith vorläufig die wahrscheinlichste physikalische Obergrenze.



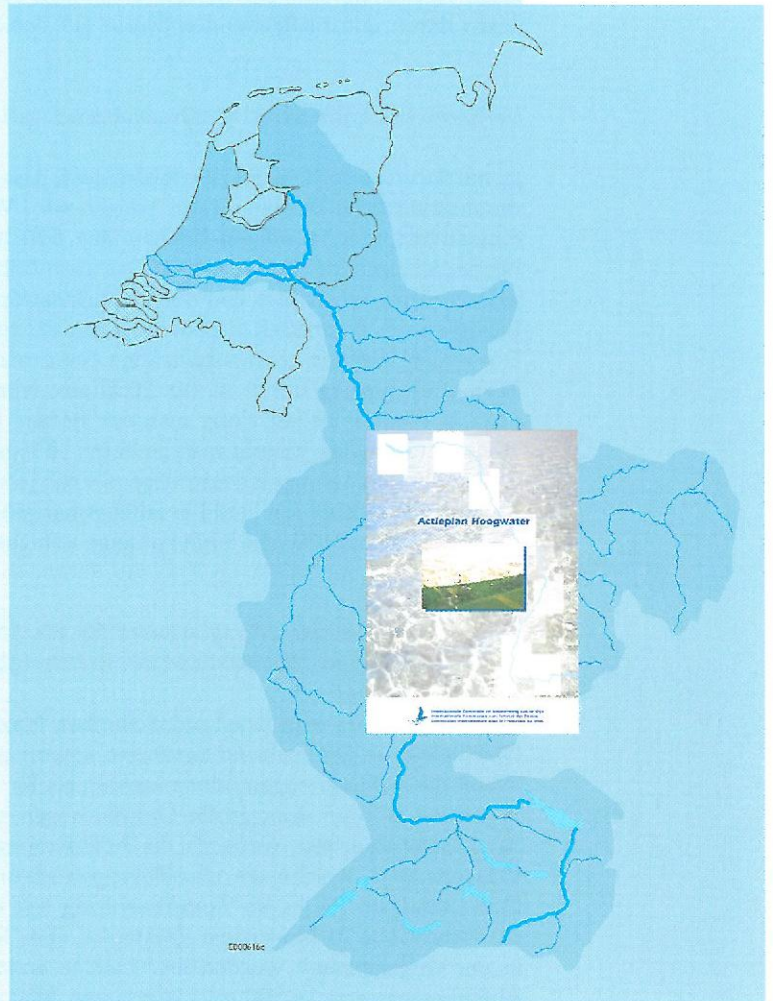
Wassertiefen in den hochwassergefährdeten Gebieten am Niederrhein mit (rot) und ohne (blau) Deiche bei einer Rheinabflussmenge mit der Eintrittswahrscheinlichkeit von 1/500 pro Jahr

### Aktionsplan Hochwasser Rhein

Ein wesentliches Ziel des Aktionsplans ist die Absenkung der extrem hohen Wasserstände (stromabwärts des durch Staustufen regulierten Teils des Oberrheins) um 30 bzw. 70 cm bis zum Jahr 2005 bzw. 2020. Diese Absenkungen wurden geschätzt als Folge der Maßnahmen im gesamten Einzugsgebiet, einschließlich der Niederlande.



Veränderung der pro Flussabschnitt gemittelten Hochwasserstände bei einem Anstieg des Bemessungsabflusses im Rhein von 15.000 auf 18.000 m³/s und gleich bleibender Abflussverteilung an den Flussteilungen der Rheinarme und einer Meeresspiegelerhöhung von 45 cm



Die große Frage ist dann natürlich, ob in Zukunft die Deiche in Deutschland nicht erhöht werden, oder aber das Flussbett erweitert, wodurch eine höhere Abflussmenge den Fluss durchlaufen kann. Das ist in Verbindung mit den im Aktionsplan Hochwasser getroffenen Vereinbarungen jedoch nicht zu erwarten. Im Aktionsplan wird nämlich auf Solidaritätsbasis zwischen beiden Staaten nach Lösungen gesucht. Das beinhaltet auch, dass stromabwärts keine Probleme als Folge der weiter stromaufwärts durchgeführten Maßnahmen entstehen dürfen.

Sollten übrigens die Deiche in Nordrhein-Westfalen überströmt werden oder brechen, kann das auch für die Niederlande unangenehme Auswirkungen haben. Bei einem Deichbruch am linken Rheinufer strömt das Wasser bis nach Nijmegen. Im Falle eines Deichbruchs am rechten Ufer kann das Wasser über die Oude IJssel (nahe Doetinchem) bis zur IJssel fließen. Das ist 1784 nach einem Deichbruch bei Bislich bereits passiert.

### **Und was sind die Folgen eines Anstiegs des Meeresspiegels für die Hochwasserstände am Rhein?**

Bezüglich der Folgen der Klimaveränderung gibt es unterschiedliche Erwartungen. So geht die mittlere Schätzung von einem relativen Anstieg des Meeresspiegels um 25 cm für das Jahr 2050 aus. Die obere Schätzung liegt bei 45 cm für das gleiche Jahr.

Für die Rheinarme ergibt sich bei der oberen Schätzung eine zusätzliche Erhöhung der Bemessungswasserstände um etwa 10 cm im Lek bei Schoonhoven und um zusätzliche 5 cm in der Merwede bei Gorinchem. Eine erhöhte Rheinabflussmenge von 18.000 m<sup>3</sup>/s verursacht hier jedoch einen Anstieg um etwa 70 cm. Die höheren Hochwasserstände werden in diesen Orten folglich vor allem durch eine höhere Abflussmenge des Flusses hervorgerufen.

Der Anstieg des Meeresspiegels bedeutet für das IJsselmeer, dass das Ablassen durch den Abschlussdeich hinweg schwieriger wird. Die obere Prognose für den Meeresspiegelanstieg bedeutet für die IJssel einen um etwa 20 cm erhöhten Bemessungswasserstand an der Mündung in das Ketelmeer. Für das Mündungsgebiet bedeuten höhere Meeresspiegel, dass das Maeslant- und das Hartel-Sperrwerk öfter geschlossen werden müssen, als es zur Zeit der Fall ist.

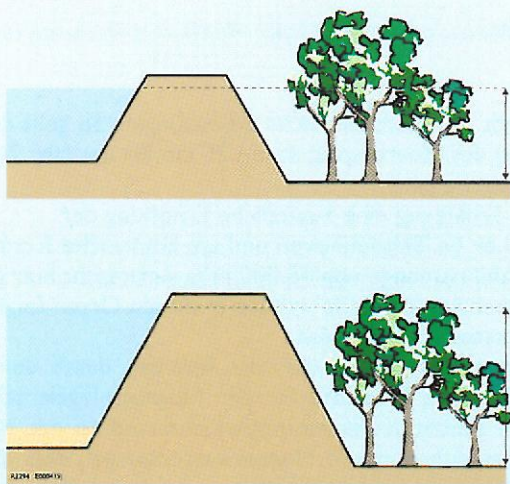
### **Wie groß ist das Problem eigentlich, langfristig gesehen?**

Dazu muss betrachtet werden, wie weit die sich Wasserstände bei einer Zunahme der Bemessungsabflussmenge bei Lobith von 15.000 m<sup>3</sup>/s auf 18.000 m<sup>3</sup>/s und bei einem gestiegenen Meeresspiegel erhöhen. Diese Erhöhung bildet das Problem, vor das wir langfristig gestellt werden. Der Wert von 18.000 m<sup>3</sup>/s stellt mithin vorläufig auch die geschätzte maximale Abflussmenge dar, die Lobith im Hochwasserbett erreichen kann. Die zuvor genannte Spannkraftstudie untersucht, ob eine derartige Abflussmenge noch sicher zu bewältigen ist. Sie wird auch deshalb durchgeführt, um beurteilen zu können, ob die kurzfristigen Maßnahmen auch zu den langfristigen Lösungsvarianten passen. Wenn über kurz oder lang ohnehin in einer völlig anderen Richtung gearbeitet werden muss, kann man sich zu Recht die Frage stellen, ob das nicht auch schon kurzfristig wünschenswert ist.

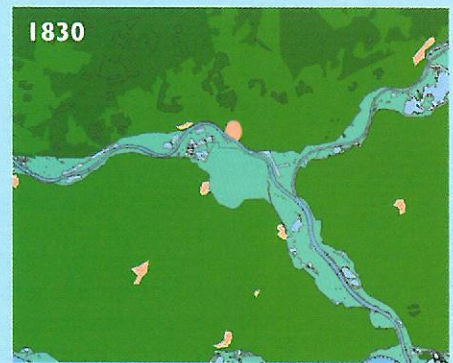
### **Und zusammenfassend ...?**

Infolge der jüngsten Hochwasser wird die gesetzlich festgelegte Bemessungsabflussmenge des Rheins von 15.000 auf 16.000 m<sup>3</sup>/s bei Lobith ansteigen. Wenn wir an dem für den Rhein verfügbaren Raum nichts ändern, wird das zu 20 bis 30 cm höheren Wasserständen führen. Dadurch werden höhere Deiche erforderlich, um den Schutz vor Überflutungen mit dem heutigen Standard beizubehalten. Je höher der Wasserstand im Fluss ist, desto schwerwiegender sind die Folgen, wenn es trotzdem zu Überflutungen kommen sollte. Das macht kurzfristige, bis 2015 durchzuführende Maßnahmen erforderlich.

Langfristig können die Wasserstände in den Rheinarmen auch noch höher werden, wenn der Abfluss des Rheins als Folge der Klimaveränderung weiter ansteigt. Ein Bemessungsabfluss von 18.000 m<sup>3</sup>/s bei Lobith resultiert in 50 bis 90 cm höheren Wasserständen. Im Mündungsgebiet und in den mündungsnahen Flussabschnitten werden durch den Anstieg des Meeresspiegels die Hochwasserstände langfristig weiter ansteigen.



Höhere Deiche, größere Risiken



Die Umgebung von Arnhem 1830 und 2000

## Lösungsansätze für das Problem

### Warum nicht einfach wieder die Deiche erhöhen?

Natürlich besitzen wir die technischen Möglichkeiten, um die Deiche - wie in der Vergangenheit - auch jetzt und zukünftig weiter zu erhöhen. Das ist aber gesamtgesellschaftlich betrachtet - vor allem langfristig - unerwünscht. Deichverstärkungen haben immer stärkere negative Auswirkungen auf die Landschaft und natur- und kulturhistorische Werte. Außerdem wird der Höhenunterschied zwischen dem Wasserstand im Fluss und dem eingedeichten Gebiet immer größer, wodurch das Risiko weiter steigt, wenn es doch einmal zur Überflutung kommen sollte. Schon jetzt machen die Bevölkerungszunahme und die gestiegenen Investitionen im eingedeichten Gebiet Überflutungen zu einem viel gravierenderen Ereignis als vor 20 oder 30 Jahren. Außerdem wird durch die immer höheren Deiche die Illusion der absoluten Sicherheit gegeben, wodurch die Investitionen wiederum zunehmen, so dass dann wieder der Wunsch nach weiteren Deicherhöhungen laut wird. Die Investitionen steigen wiederum... usw. Damit befinden wir uns in einem Teufelskreis.

In dem Regierungsstandpunkt „Wasserwirtschaft im 21. Jahrhundert“ wurde daher eine andere Strategie vorgestellt, die auf die Durchbrechung dieser Negativspirale ausgerichtet ist:

- Vorausschauend planen statt nur reagieren;
- Dem Wasser mehr Raum verschaffen, neben technischen Maßnahmen wie z.B. der Deicherhöhung;
- Die Probleme nicht auf stromabwärts liegende Gebiete abwälzen, nach dem Leitprinzip: Festhalten - Speichern - Abfließen lassen.

### Also heißt es vorzugsweise: Mehr Raum für den Fluss schaffen ...?

Das ist dann doch zu einseitig ausgedrückt. Inzwischen wurden in dem Regierungsstandpunkt „Raum für den Fluss“ weitere Erläuterungen zu der Strategie gegeben, die schon im 4. Wasserhaushaltsbericht von 1999 angekündigt worden war. Immer noch stark verkürzt, bedeutet das: Deicherhöhungen sind durch Maßnahmen zur Flussbetterweiterung so weit wie möglich zu vermeiden, so dass die Bemessungswasserstände trotz höherer Bemessungsabflüsse nicht ansteigen.

Man möchte das Verhalten des Flusses als Reaktion auf menschliche Eingriffe besser als bisher berücksichtigen. Dabei ist an die Erosion des Hauptgerinnes in den oberhalb liegenden Flussabschnitten als Reaktion auf die Festlegung der Fahrrinne zu denken, an die Versandung des Hauptgerinnes in den mündungsnahen Flussabschnitten durch den Abschluss der Seearme, und an die Schlammablagerung im Deichvorland infolge des Deichbaus sowie der Festlegung der Fahrrinne. Durch diese Vorgänge erhöht sich das Deichvorland im Vergleich zum Hauptgerinne des Flusses immer mehr. Und da sich das eingedeichte Gebiet gleichzeitig absenkt, steigt der Wasserspiegel im Fluss bei großen Abflussmengen im Vergleich zum eingedeichten Gebiet immer weiter an.

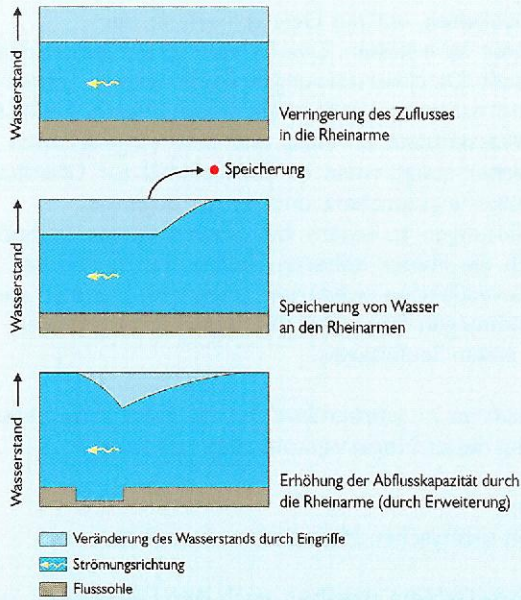
### Jetzt bitte noch etwas konkreter: Welche Möglichkeiten gibt es, um zu vermeiden, dass die Wasserstände in den Rheinarmen bei zunehmender Abflussmenge höher werden?

Im Prinzip gibt es drei Möglichkeiten, um das Problem einer höheren Abflussmenge anzugehen:

- Festhalten des Wassers im Einzugsgebiet;
- Speichern (zusätzlicher) Wassermengen an den Rheinarmen;
- Ableiten (zusätzlicher) Wassermengen über die Rheinarme.

Die Möglichkeit „Festhalten“ geht das Problem mehr oder weniger an der Quelle an, indem sie dafür sorgt, dass zusätzliche Niederschläge nicht zu höheren Abflüssen führen, oder aber diese unser Land nicht, nur teilweise oder erst später erreichen. Das setzt Maßnahmen am Oberlauf





Verschiedene Eingriffe, verschiedene Auswirkungen



Ein vielschichtiges Problem mit vielseitigen Lösungsansätzen

### Deichverlegung Bakenhof am Südufer des Neder-Rijn bei Arnhem: ein IRMA-Projekt



Heutige Situation



Mögliche Situation nach der Deichverlegung



des Einzugsgebiets voraus, insbesondere in Deutschland, wie Rückhaltevorkehrungen oder die Änderung der Bodennutzung. Vergleichbare Maßnahmen in den Niederlanden können eventuell mithelfen, den Zufluss aus Bächen und Kanälen in die Rheinarme zu verringern.

Die zweite Möglichkeit, das Problem anzugehen, „Speichern“, beinhaltet die vorübergehende Speicherung von Wasser in Rückhaltegebieten an den Rheinarmen. Das senkt die Wasserstände unterhalb der Rückhaltegebiete, manchmal bis in das Mündungsgebiet hinein.

Die Möglichkeit „Ableiten“ bezweckt Maßnahmen, welche die Abflusskapazität des Flussbettes vergrößern. Hierdurch sinken die Wasserstände oberhalb dieser Maßnahmen. Beispiele sind die Entfernung von Hindernissen aus dem Hochwasserbett, beispielsweise hochwasserfreie Geländeteile, Fähranlegestellen oder Brückenköpfe, die Absenkung des Deichvorlands, Bühnabsenkungen, Vertiefung des Hauptgerinnes und Deichverlegungen.

#### **Wird eigentlich zurzeit schon etwas unternommen, oder wird bisher nur nachgedacht?**

Im Vorlauf zur Planerstellungphase werden bereits einige dutzend Flussbetteerweiterungsprojekte vorbereitet und durchgeführt. Diese so genannten „Ohne-Reue-Projekte“ – „ohne Reue“ deshalb, weil sie immer nützlich sind - gehören zur überwiegenden Zahl zum IRMA-Programm, ausgeschrieben: INTERREG Rhein-Maas-Aktivitäten. Dieses Förderprogramm der EU-Kommission zur Lösung von Hochwasserproblemen läuft bis 2002.

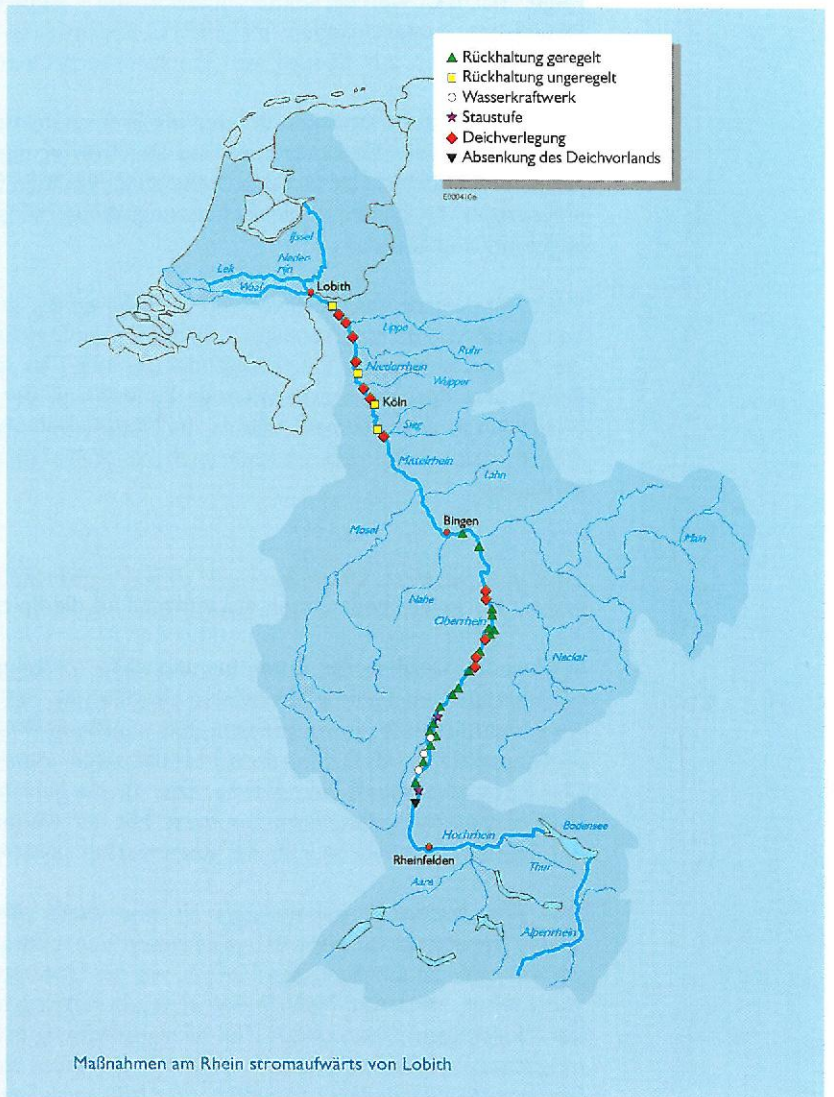
Die Maßnahmen erstrecken sich auf die Entfernung von Hindernissen im Flussbett, die Umgestaltung des Deichvorlands und Deichverlegungen. Eine wichtige Voraussetzung für diese Projekte ist, dass sie an Ort und Stelle eine derartige Erweiterung des Flussbettes bewirken, dass mindestens die Zunahme der Bemessungsabflussmenge von 15.000 auf 16.000 m<sup>3</sup>/s sicher abgeführt werden kann.

Weiterhin wurde das Deichvorland im Rahmen der letzten Deichverstärkungen vor kurzer Zeit neu gestaltet. Die Notwendigkeit, Lehm für die Deichverstärkungen zu gewinnen, wurde dabei für die Neugestaltung des Deichvorlandes genutzt. Das verträgt sich auch mit dem Wunsch, den Deichvorlandgebieten eine wichtige Funktion in der „Ökologischen Hauptstruktur“ (EHS) der Niederlande einzuräumen, wie es im Naturschutzplan der Regierung vorgesehen ist. In diesem Zusammenhang werden auch weiterhin neue „Naturentwicklungsprojekte“ formuliert.

#### **Und was passiert, wenn man mit den erforderlichen Maßnahmen nicht rechtzeitig fertig wird oder wenn jetzt schon ein Abfluss oberhalb der Bemessungsabflussmenge eintritt?**

Wie gesagt: absolute Sicherheit besteht nicht. Im Regierungsstandpunkt „Wasserwirtschaft im 21. Jahrhundert“ wird eine kontrollierte Überflutung, bei der der Schaden begrenzt werden kann, einer unkontrollierten vorgezogen, falls überhaupt Wasserstände auftreten, für die die Deiche nicht ausgelegt sind. Dafür können Notfallpolder oder Notüberlaufgebiete ausgewiesen werden. Der Regierungsstandpunkt gibt an, dass für die geplanten Notüberlaufgebiete eine Entschädigungsregelung kommen muss. Mit der weiteren Ausarbeitung dieser Vorstellungen und der Standortauswahl wurde die Kommission „Notüberlaufgebiete“ (Luteijn) beauftragt.

Eine ganz andere Vorgehensweise ist eine weitergehende Differenzierung der Sicherheitsstandards. Beispielsweise lassen sich niedrigere Sicherheitsstandards im Oberstrom wählen oder an der Seite des Flusses, wo die Überflutungsschäden am geringsten ausfallen. Es ist vorgesehen, derartige Maßnahmen schon kurzfristig bei der räumlichen Planung zu berücksichtigen. Wenn dieses Ziel nicht rechtzeitig in Angriff genommen wird, ist es dazu möglicherweise bald zu spät, da „in der Zwischenzeit die Intensivierung der Bodennutzung und die Fortentwicklung schadensempfindlicher Funktionen einfach weitergeht, ohne die Notwendigkeit kontrollierter (wenn auch selten vorkommender) Überflutungen zu berücksichtigen.“



## Festhalten von Wasser im Einzugsgebiet

### *Worin bestehen die Möglichkeiten, die Bemessungsabflussmenge in Lobith zu reduzieren?*

Die Bemessungsabflussmenge wird durch die Gesamtmenge des Wassers bestimmt, die aus dem Einzugsgebiet in Form einer Abflusswelle abgeführt wird. Die Gesamtmenge des Wassers kann durch eine Veränderung der *Wasserbilanz* im Einzugsgebiet beeinflusst werden. Für maßgebende Umstände ist das nicht möglich, wie nachstehend noch erläutert wird. Die Form der Abflusswelle kann zwar beeinflusst werden, jedoch ist das wegen des komplexen Zusammentreffens der Abflussspitzen aus den Nebenflüssen nicht einfach.

Die absolute Wassermenge, die zum Abfluss kommt, wird von der Wasserbilanz bestimmt: Wie viel Niederschlag fällt und welcher Anteil davon verdunstet? Bei geringen Niederschlagsmengen besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen der Bodennutzung und der Wasserableitung im Fluss, denn die Niederschläge erreichen den Boden oft gar nicht oder verdunsten nach Aufnahme durch die Vegetation. Auch die zeitweilige Speicherung im Boden spielt eine wichtige Rolle. Je nachdem, wie stark die Versiegelung der Oberflächen im Einzugsgebiet zunimmt, erreichen kleinere Niederschlagsmengen dann schneller den Fluss. Unter extremen - und dann für die Niederlande relevanten - Umständen hat die Bodennutzung im Einzugsgebiet des Rheins allerdings kaum mehr einen Einfluss auf die Abflussmenge im Fluss. Dabei handelt es sich um längere Zeiträume mit schweren Regenfällen, häufig bei noch gefrorenem Boden. Die Verdunstung liegt dann praktisch bei Null, und die Aufnahmekapazität des Bodens ist auf Null reduziert: Alle Niederschläge fließen direkt ab, als ob das gesamte Einzugsgebiet asphaltiert wäre.

Der zweite wesentliche Punkt ist die Form der Abflusswelle. Diese wird in erster Linie von der Art des Zusammentreffens der Spitzenabflüsse aus den großen Nebenflüssen mit dem Spitzenabfluss des Rheins bestimmt. Es geht dabei vor allem um Neckar, Main und Mosel. Im letzten Jahrhundert trafen die Abflusswellen vieler Nebenflüsse oft frühzeitiger ein als die Abflusswelle des Rheins selbst. Das bedeutet, dass eine Verzögerung dieser Abflusswellen nicht von vornherein wünschenswert ist. Etwas allgemeiner ausgedrückt: Angesichts der komplizierten zeitlichen Abstimmung der Abflussspitzen aus den Nebenflüssen und im Hauptfluss ist es nicht richtig, zu behaupten, dass jede Maßnahme, die den Abfluss in den Nebenflüssen verzögert, eine gute Maßnahme ist.

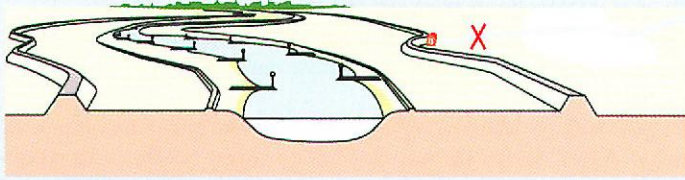
### *Wenn eine Änderung der Bodennutzung also keine Lösung darstellt, ist es dann nicht auf andere Weise möglich, die Bemessungsabflussmenge bei Lobith zu verringern?*

Wenn wir bei dieser Frage beispielsweise an Rückhaltemaßnahmen im Einzugsgebiet oberhalb von Lobith denken, kann man sie sicher mit einem vorsichtigen „im Prinzip, ja“ beantworten.

Ja, weil Rückhaltemaßnahmen in Deutschland die Spitze der Abflusswellen abflachen können, wodurch der maximale Wasserstand der Abflusswelle niedriger wird. Ein *vorsichtiges ja*, weil erstens das Problem des Zusammentreffens der Abflusswellen im Hauptstrom und in den Nebenflüssen weiterhin besteht und weil zweitens die Funktion dieser Rückhaltegebiete nicht auf die Abflachung der Abflusswelle in den Niederlanden, sondern in Deutschland abgestimmt ist.

An den großen Nebenflüssen in Deutschland sind Rückhaltemaßnahmen oft gut möglich, jedoch sind diese meistens auf den Schutz bestimmter Orte vor Hochwasser ausgerichtet. Die Verzögerung des Abflusses kann zur Senkung, aber auch zur Erhöhung der Abflusswelle im Rhein führen.

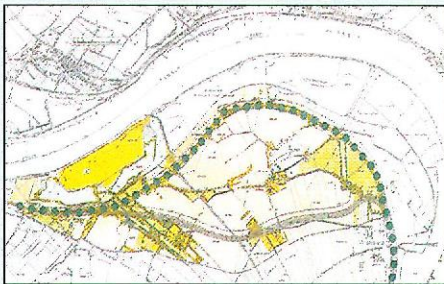
Am Rhein selbst sind Rückhaltemaßnahmen nur am Oberrhein im Süden Deutschlands und am Niederrhein in Nordrhein-Westfalen möglich. Am Mittelrhein, also zwischen der Mainmündung und Köln, sind Rückhaltemaßnahmen nicht möglich, da der Strom dort durch ein enges Flusstal fließt.



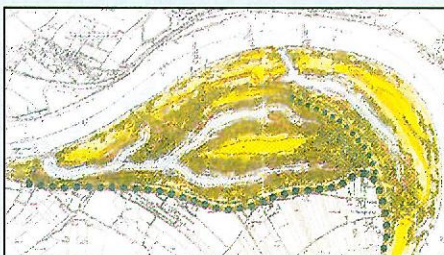
Reduzierung der seitlichen Zuflüsse aus Bächen und Kanälen



Mündung des Twentekanal in die IJssel



Situation bei Orsoy vor der Deichverlegung



Nach der Deichverlegung



Maßnahmen am Niederrhein in Nordrhein-Westfalen

Rückhaltemaßnahmen im südlichen Teil des Oberrheins in Süddeutschland können bei einer Größenordnung von 290 Mio. m<sup>3</sup> zu einer Absenkung einer extremen Abflusswelle von etwa 25 cm führen. Bei Abflusswellen, die von den Nebenflüssen in der Mitte und im Norden des Einzugsgebietes bestimmt werden, wie die von 1995, bewegt sich diese Absenkung jedoch im marginalen Bereich.

Rückhaltemaßnahmen am Niederrhein in Nordrhein-Westfalen können für die Niederlande wichtig sein, da dieses Gebiet genau oberhalb von Lobith liegt und dort keine großen Nebenflüsse mehr hinzukommen. Hier sind elf Gebiete ausgewiesen, wo Raum für den Fluss geschaffen wird. Vier von diesen Gebieten sind Rückhaltegebiete mit einem Gesamtvolumen von etwa 75 Mio. m<sup>3</sup>. In den anderen sieben Gebieten werden Deichverlegungen ausgeführt oder geplant. Diese tragen nicht substantiell zur Absenkung der die Niederlande erreichenden Hochwasserwelle bei. Die Art und Weise, wie die Rückhaltegebiete eingerichtet werden sowie der Wasserspiegel, bei dem sie volllaufen, bestimmen, ob die Niederlande daraus größere Vorteile ziehen können oder nicht. Die durch alle elf Gebiete insgesamt erreichbare Absenkung des Wasserstands bei Lobith wird auf maximal 10 cm geschätzt.

Zusammengefasst: Rückhaltemaßnahmen in Deutschland können einen begrenzten Beitrag zur Absenkung der Bemessungsabflussmenge in den Niederlanden leisten, jedoch stellen diese Rückhaltemaßnahmen in Deutschland sicher noch keine hinreichende Alternative zu Maßnahmen in den Niederlanden dar.

#### ***Ist es sinnvoll, den Zufluss aus den Bächen und Kanälen in den Niederlanden in die Rheinarme zu reduzieren?***

Ja und nein, oder besser: Es ist zu differenzieren. Die Abflussmenge des Rheins bei Lobith ist unter den maßgebenden Umständen so enorm groß (nämlich 16.000 m<sup>3</sup>/s), dass der Beitrag der seitlichen Zuflüsse aus den Poldergebieten in den Niederlanden marginal ist: Zusammen weniger als 1 %.

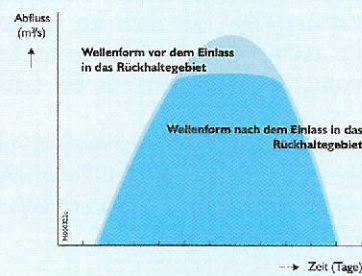
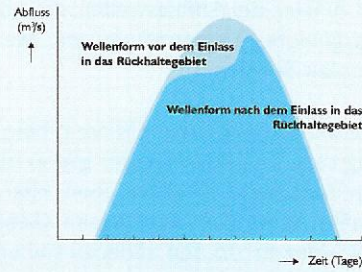
Wie bereits dargestellt, spielen die seitlichen Zuflüsse an der IJssel allerdings schon eine substantielle Rolle. Alle Quellen an der IJssel erbringen zusammen nach heutigen Erkenntnissen eine zusätzliche Abflussmenge von gut 175 m<sup>3</sup>/s. Zum Vergleich: Die Steigerung von 15.000 m<sup>3</sup>/s auf 16.000 m<sup>3</sup>/s bedeutet bei der heutigen Abflussverteilung für die IJssel eine zusätzliche Belastung von 150 m<sup>3</sup>/s.

Wenn man während eines IJssel-Hochwassers innerhalb der eingedeichten Gebiete Wasser zurückhält, kann dadurch der seitliche Zufluss verringert werden. Ein vollständiger Abschluss aller seitlichen Zuflüsse in die IJssel erbringt eine Wasserstandsabsenkung von 5 cm an den stromaufwärts und etwa 15 cm an den stromabwärts gelegenen Flussabschnitten. Ob die Einschränkung der seitlichen Zuflüsse überhaupt und wenn ja, zu welchen Kosten technisch machbar ist, und mit welchen Konsequenzen für die Umgebung u.a. der Oude IJssel und des Twentekanaals sie verbunden wäre, wurde noch nicht untersucht.

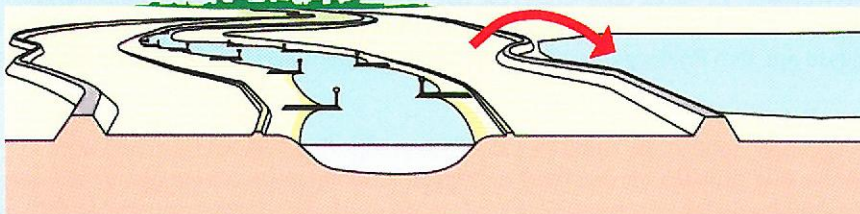
## Bauvorschriften in Überflutungsgebieten aus dem Jahr 1876

„Die Mauern von Häusern, die an Deichen liegen, dürfen bis zur Höhe von einem Dezimeter über der Deichkrone nur mit Kalk oder Trass verputzt werden. In den stromauf und stromparallel gelegenen Seitenwänden dieser Häuser dürfen Türen oder Fenster nur oberhalb der Deichkronenhöhe eingebaut werden. In den stromab gelegenen Mauern dürfen Türen eingebaut werden, die aber nicht in hölzernen Rahmen befestigt werden dürfen, sondern nur in Nuten, die in die Mauern geschlagen werden.“

Rat von Herwen und Aerdt nach der Hochwasserkatastrophe 1876



Funktionieren einer Rückhaltemaßnahme mit festen (oben) und regelbaren (unten) Einläufen



Speicherung



Bauernhof auf einem Hügel im Rijnstrangengebiet (Dijkmanshof)

## Speichern von Wasser an den Rheinarmen

**Es scheint, dass die Möglichkeiten, die Wasserzufuhr in die Rheinarme zu beschränken, damit erschöpft sind. Aber wie verhält es sich mit den Möglichkeiten, in den Niederlanden Wasser an den Rheinarmen zu speichern?**

Die vorübergehende Speicherung von Wasser ist auch in den Niederlanden möglich. Dies kann durch Rückhaltemaßnahmen erfolgen. Unter einer Rückhaltemaßnahme ist zu verstehen, dass ein Teil der Abflussspitze entnommen und zeitweise in einem eingedeichten Gebiet gespeichert wird. Wenn die Abflussspitze vorbei gezogen ist, wird das vorübergehend gespeicherte Wasser wieder freigegeben und fließt ab. Die Rückhaltemaßnahme reduziert die Menge des abzuführenden Wassers für die stromabwärts gelegenen Flussabschnitte. Darum ist ein Standort so weit stromaufwärts wie möglich gewünscht. In den Niederlanden sind Rückhaltegebiete in der Nähe der deutschen Grenze folglich am attraktivsten. Auch die Einrichtung von Rückhaltegebieten kurz hinter der Grenze in Nordrhein-Westfalen kann besonders nützlich für die Niederlande sein.

**Wie funktioniert eine Rückhaltemaßnahme denn nun genau?**

Bei Rückhaltemaßnahmen wird die Spitze der Abflusswelle gewissermaßen abgeschnitten. Die Wassermenge der „Wellenspitze“ wird über einen Überlauf oder ein anderes Bauwerk in ein Gebiet gelassen, das durch ausreichend hohe Deiche abgesichert ist. Die Gesamtkapazität dieses Gebietes muss ausreichend sein, um das Gesamtvolumen des Wassers der Wellenspitze speichern zu können.

Die erforderliche Gesamt-Speicherkapazität wird durch die Form einer Abflusswelle bestimmt, wobei vor allem deren Dauer wesentlich ist. Um die Spitze einer Abflusswelle von einigen Tagen Dauer um 1000 m<sup>3</sup>/s zu verringern, ist eine Speicherkapazität von etwa 150 Mio. m<sup>3</sup> erforderlich. Bei einer Wassertiefe von 5 Metern in Rückhaltegebieten bedeutet das eine erforderliche Fläche von etwa 3000 ha. Bei geringerer Wassertiefe muss die Oberfläche natürlich noch größer ausfallen.

**Diese Erkenntnisse über die benötigten Oberflächen und Standorte vorausgesetzt: Sind Rückhaltebecken an den niederländischen Rheinarmen dann überhaupt möglich?**

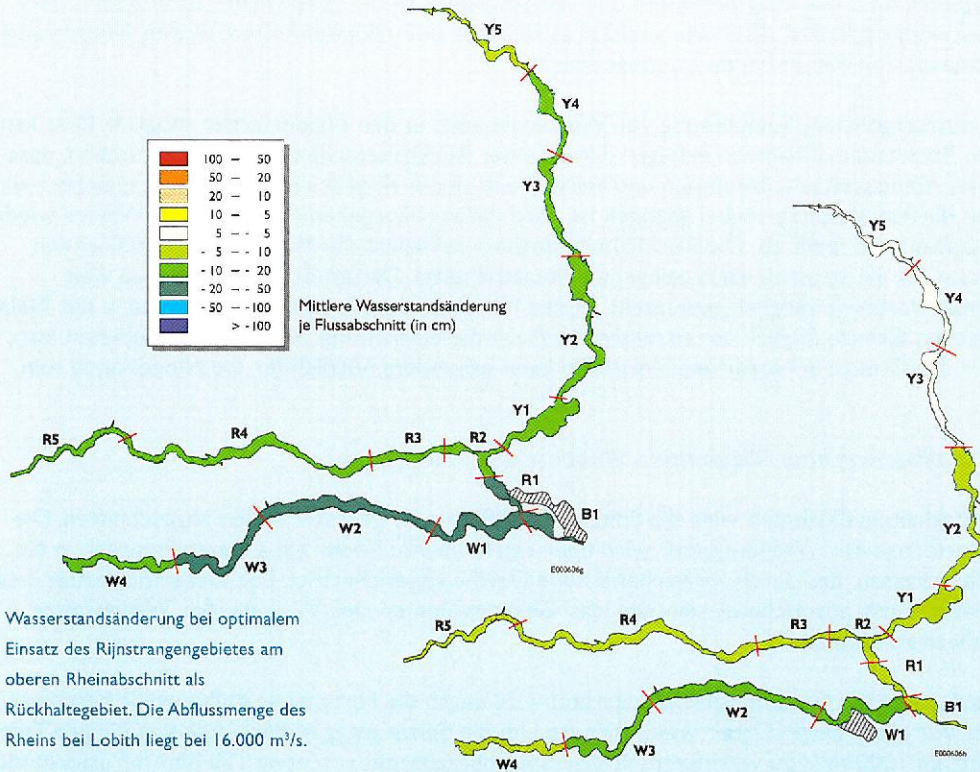
Wenn man in den Niederlanden Rückhaltegebiete realisieren möchte, müssen sie also vorzugsweise so nah wie möglich bei Lobith liegen. Die Regierung hat im Regierungsstandpunkt „Wasserwirtschaft im 21. Jahrhundert“ in jedem Falle das Rijnstrangengebiet und den Ooijpolder reservieren wollen. Diese Gebiete haben eine Speicherkapazität von etwa 150 bzw. 65 Mio. m<sup>3</sup>, bei Oberflächen von etwa 3100 und von fast 1400 ha. Zusammen ist das theoretisch ausreichend, um der Abflussspitze einen zusätzlichen Abfluss von 1000 m<sup>3</sup>/s ausreichend lange zu entnehmen. In der Spannkraftstudie wird weiter ausgearbeitet, an welchen Stellen an den Rheinarmen Rückhaltegebiete wünschenswert und möglich sind.

**„... theoretisch ...“ heißt ja doch, dass damit noch nicht alles über die Rückhaltegebiete gesagt worden ist. Was sind beispielsweise die Konsequenzen einer eventuellen Ausweisung dieser Gebiete als Rückhaltegebiet?**

Erstens kann ein Gebiet nur dann als Rückhaltegebiet genutzt werden, wenn Deiche in ausreichender Höhe errichtet werden. Das bedeutet beispielsweise für das Rijnstrangengebiet, dass noch einige Dutzend Kilometer Deiche erhöht und teilweise neu angelegt werden müssen. Auch ist ein Einlaufbauwerk zu errichten, mit dem man das Wasser je nach Bedarf in das Gebiet strömen lassen kann.

Anschließend muss natürlich eine Evakuierung gut geregelt sein, und für die Menschen, die in dem Gebiet wohnen oder arbeiten, ist eine gute Schadenregulierung erforderlich.





Wasserstandsänderung bei optimalem Einsatz des Rijnstrangengebietes am oberen Rheinabschnitt als Rückhaltegebiet. Die Abflussmenge des Rheins bei Lobith liegt bei 16.000 m<sup>3</sup>/s.

Wie vorstehend, bei optimalem Einsatz des Ooijpolders an der Waal als Rückhaltegebiet. Aus der Abbildung geht hervor, dass auch an Neder-Rijn, Lek und IJssel die Wasserstände gesenkt werden. Das kommt dadurch zu Stande, dass die Abflussverteilung an den Flussteilungen beeinflusst wird. Übrigens werden die Wasserstände auch oberhalb des Untersuchungsgebietes in Deutschland verringert. In diesem Fall auf einer Strecke von etwa 10 km, bei Rückhaltemaßnahmen im Rijnstrangengebiet auf etwa 20 km.

Speichermöglichkeiten im Mündungsgebiet



Rückhaltegebiete sollen nur selten genutzt werden, wobei an eine Wahrscheinlichkeit von etwa 1/500 pro Jahr gedacht werden muss. Gefährlich ist dabei, dass man nach einer Reihe von Jahren ohne Hochwasser wieder die falsche Vorstellung bekommt, dass die Rückhaltegebiete niemals in Anspruch genommen werden müssen. Der Wunsch, die Überläufe oder andere Einlaufbauwerke zu schließen, wird dann stärker, wodurch die Dauerhaftigkeit dieser Lösung gefährdet werden kann.

**Da wir gerade über die Wirkung reden: Gibt es bei der Nutzung von Rückhaltebecken auch Risiken?**

Sicher, denn bei Rückhaltebecken muss alles genau zusammenpassen. So dürfen sie nicht zu früh volllaufen, denn dann sind sie schon voll, bevor die eigentliche Abflussspitze eintrifft. Sie kann dann nicht mehr aufgenommen werden und fließt unbeeinflusst weiter. Dieselbe Gefahr besteht bei einer sehr langandauernden - sozusagen abgeflachten - Hochwasserwelle oder bei einer zweiten Wellenspitze kurz nach der ersten, wenn das Rückhaltebecken noch nicht (völlig) geleert werden konnte. Auch dann kann ein Rückhaltegebiet nicht mehr zur Verringerung der Abflussmenge beitragen.

Rückhaltegebiete dürfen auch nicht zu spät volllaufen, denn dann ist die Abflussspitze bereits abgelaufen. Das bedeutet, dass der Zeitpunkt des Volllaufenlassens genau stimmen muss. Beim Einlass über ein Einlaufbauwerk bedeutet das auch, dass genaue Vorhersagen über den Abflussverlauf verfügbar sein müssen.

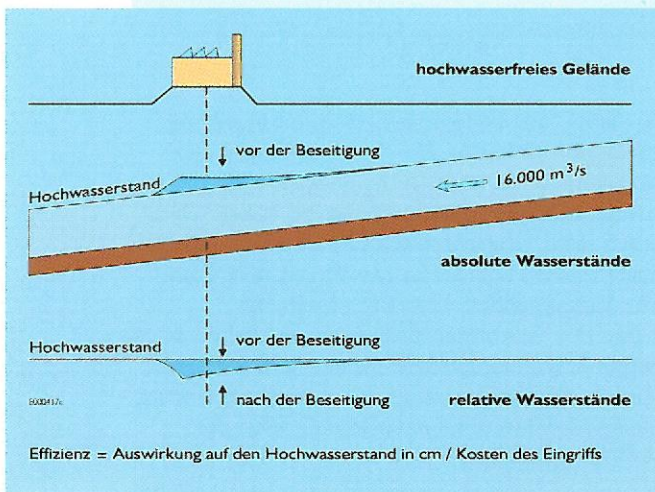
**Und noch etwas: Früher haben Rückhaltebecken offenbar nicht gut funktioniert. Warum soll das jetzt anders sein?**

Früher wurden Rückhaltegebiete meist über einen *festen Überlauf* gefüllt, also eine Absenkung in einem Deich, um das Überlaufen „kontrolliert“ stattfinden zu lassen. Die Kapazität derartiger Überläufe wurde durch ihre Höhe und ihre Breite bestimmt. Es ist auch heute noch sehr schwierig, einen Deich über eine große Länge hinweg gleichmäßig überströmen zu lassen. Dazu kommt, dass man früher die Wasserstände auch noch nicht so genau berechnen konnte. Mit der Verwendung eines *regelbaren Einlaufbauwerkes* müsste dieses Problem zu bewältigen sein. Dabei sollte man allerdings daran denken, dass man in der Vergangenheit auch mit regelbaren Einlaufbauwerken schlechte Erfahrungen gemacht hat. Die Bewohner eines Gebietes haben es oft nicht einfach hingegenommen, wenn eine Überflutung in Erwägung gezogen wurde, und ein Streit mit dem verantwortlichen Beamten war nicht selten. In diesem Zusammenhang ist der Erfahrung nach zu berücksichtigen, dass in einem weniger häufig überfluteten Gebiet immer auch der gesellschaftliche Druck zunimmt, es vor einer Überflutung zu bewahren.

**Wurde auch weiter stromab noch nach Speichermöglichkeiten Ausschau gehalten?**

Sicher, neben den zwei vorstehend genannten Rückhaltegebieten wurden Voruntersuchungen zum Einfluss verschiedener kleinerer Rückzugsgebiete an der IJssel und am Neder-Rijn/Lek sowie zu einer Speicherung im Veluwe-Randmeer und im Mündungsgebiet durchgeführt.

Im Mündungsgebiet wurden Speichermöglichkeiten in Gewässern der Provinzen Süd-Holland und Zeeland untersucht. Dort muss das Wasser dann über angepasste Pumpschleusen in die Staubecken vom Volkerakdamm und Philipsdamm geleitet werden. Zusätzliche Speicherkapazität kann weiterhin in den noch nicht sehr lange eingedeichten Teilen des Biesbosch und an der Bergschen Maas und Amer ausgemacht werden. Schließlich ist nach Speichermöglichkeiten in beispielsweise der Hoekse Waard gesucht worden.



Effizienz flussbeterweiternder  
Maßnahmen



Baggermaßnahmen an der Waal

## Ableiten von Wasser über die Rheinarme

**Und wie verhält es sich mit den Möglichkeiten, das Wasser über die Rheinarme abzuleiten: Wie funktioniert das im Vergleich zur Speicherung?**

Der wichtigste Unterschied ist, dass mit der Speicherung die Abflussmenge verringert wird, während mit Maßnahmen zur Erhöhung der Abflusskapazität nur der Wasserstand abgesenkt wird. Im ersten Fall wird die Abflussmenge reduziert, im zweiten der Wasserstand bei gleich bleibender Abflussmenge. Das bedeutet, dass die Maßnahmen für einen anderen Teil eines Flusses oder Flussabschnitts gewinnbringend sind. Eine Speicherung ist fast für das gesamte stromabwärts gelegene Gebiet nützlich. Die Erhöhung der Abflusskapazität ist vor allem für einen begrenzten Flussabschnitt oberhalb der Maßnahme gewinnbringend.

Bei Maßnahmen zur Erhöhung der Abflusskapazität ist daher nicht allein von Bedeutung, welche Wasserstandsreduzierung in der Höhe erreicht wird, sondern auch über welche Distanz sich eine Maßnahme stromaufwärts auswirkt. Die Distanz hängt davon ab, wie stark das Gefälle des Flusses an diesem Ort ist, wie die Deiche liegen, welche anderen Hindernisse es in der Nähe gibt, wie es sich mit der hydraulischen Rauigkeit der Vegetation im Deichvorland verhält, usw. Manche Maßnahmen reduzieren den Wasserstand nur ein paar hundert Meter, andere sind noch dutzende Kilometer stromaufwärts nachweisbar.

Um den Abfluss zu reduzieren und so den Wasserstand zu senken, können drei große Gruppen von Maßnahmen unterschieden werden:

- Maßnahmen im Hauptgerinne;
- Maßnahmen im Deichvorland;
- Maßnahmen im eingedeichten Gebiet (Deichverlegungen u.ä.).

**Zunächst zum Hauptgerinne: Wenn auch heute bei Hochwasser mehr als die Hälfte des Abflusses durch das Hauptgerinne erfolgt, kann das Hauptgerinne dann nicht noch zusätzlich ausgebaggert werden? Das stört fast niemanden, und der Sand kann eventuell in der Bauindustrie weiter verwendet werden.**

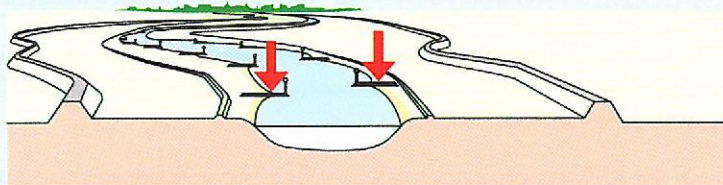
Wie bereits erläutert, erodiert die Sohle des Hauptgerinnes in den oberhalb gelegenen Abschnitten der Rheinarme auf Grund von Maßnahmen in der Vergangenheit. Wegen der negativen Auswirkungen versucht man, diesen Prozess aufzuhalten. Eine künstliche Vertiefung des Hauptgerinnes erscheint in diesem Zusammenhang etwas seltsam.

An den Unterläufen der Flüsse findet dagegen eine Versandung statt. Dort wird auch regelmäßig gebaggert. Wenn andere Maßnahmen keine Lösung bieten, könnte man über eine Vertiefung des Hauptgerinnes an den Unterläufen nachdenken.

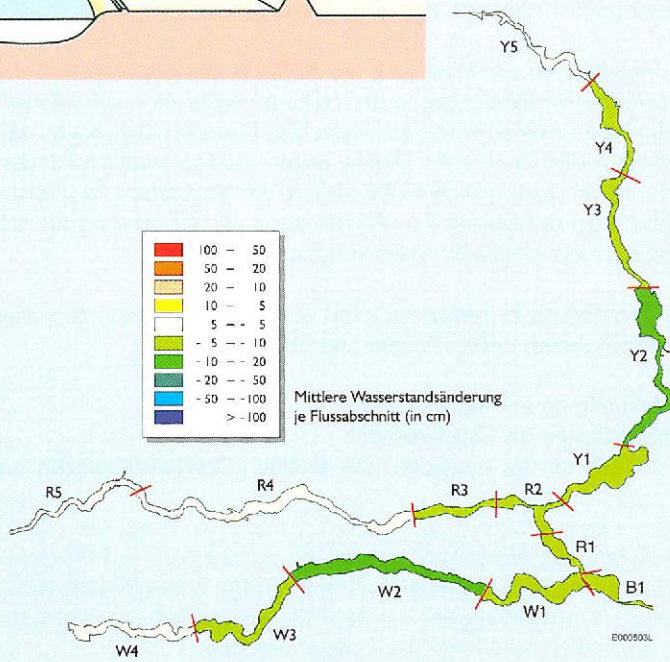
Für die drei Rheinarme wurde untersucht, welche Absenkung des Wasserstandes mit einer Vertiefung des Hauptgerinnes um 1 Meter an den Unterläufen erreicht werden kann. Danach wurde deutlich, dass die Hauptgerinnevertiefung zu einer Absenkung des Wasserstandes von fast 20 cm bis gut 30 cm führen kann.

**Aber wenn an den Unterläufen der Flüsse eine Versandung auftritt, ist die Hauptgerinnevertiefung dann überhaupt von Dauer?**

Mit Simulationen wurde ermittelt, dass die „Mulde“, die durch die Hauptgerinnevertiefung geschaffen wird, zu einer schnellen Erosion oberhalb dieser Mulde führt. Auch wurde ersichtlich, dass die „Mulde“ nach 50 Jahren in allen drei Rheinarmen so gut wie vollständig durch Sedimentation wieder gefüllt ist. Die beabsichtigte Auswirkung auf den Wasserstand ist bei der Waal - dem morphologisch „aktivsten“ Teilstrom - schon nach 20 Jahren so gut wie verschwunden. Um die Auswirkungen auf den Wasserstand beizubehalten, muss deshalb andauernd gebaggert werden.



Buhnentieferlegung



Wasserstandsänderung, im Durchschnitt je Flussabschnitt, bei Tieferlegung der Buhnen. Der Wasserabfluss des Rheins beträgt bei Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s.



Bühne an der Waal (unterer Flussabschnitt)



Bühne an der Waal (oberer Flussabschnitt)

**Noch einmal zusammengefasst: Mit der Vertiefung des Hauptgerinnes sind Probleme verbunden, und sie eignet sich nur für die Unterläufe der Flüsse. Wenn man also nicht in die Tiefe gehen kann, warum dann nicht in die Breite? Oder: Können die Buhnen nicht entfernt oder verkürzt werden?**

Buhnen wurden in der Vergangenheit angelegt, um dafür zu sorgen, dass der Fluss ohne ständiges Baggern ausreichend tief bleibt und keine Sandbänke entstehen. Die Buhnen leiten den Strom in die Mitte des Flussbettes und sorgen dafür, dass das Hauptgerinne in einer vorher festgelegten Breite ausreichend tief bleibt. Das ist vor allem für die Schifffahrt sehr wichtig.

Die Entfernung der Buhnen würde bedeuten, dass die Strömungsgeschwindigkeiten abnehmen und der Fluss an einigen Stellen untief wird. Sogar in der Mitte des Flusses könnten Sandbänke entstehen. Das heißt, dass eine Verkürzung oder Entfernung der Buhnen nur möglich ist, wenn die Schifffahrtsfunktion des Flusses aufgegeben wird. In Ausnahmefällen, zum Beispiel am Neder-Rijn, ist die Funktion der Buhnen nicht mehr so wesentlich, da der Fluss gestaut ist und keine morphologischen Entwicklungen stattfinden. Dort wäre es vielleicht möglich, nutzt aber nur sehr wenig, weil die Buhnen dort bereits sehr kurz sind.

**Wenn das Hauptgerinne nun nicht schmaler werden darf, könnten die Buhnen dann nicht tiefer gelegt werden?**

Ja, diese Maßnahme wurde bereits untersucht. In den stromaufwärts gelegenen Flussabschnitten hat sich die Flusssohle durch Erosion abgesenkt. Dadurch liegen die Buhnen heute während eines großen Teils des Jahres höher über dem Wasser als in der Zeit, in der sie angelegt worden sind. In den stromaufwärts liegenden Flussabschnitten können die Buhnen an einigen Stellen um gut 2 Meter abgesenkt werden, in den stromabwärts liegenden Abschnitten ist jedoch eine Absenkung nicht möglich.

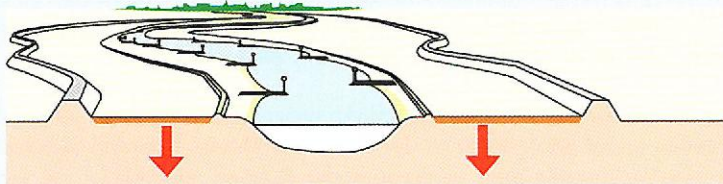
Es wurde berechnet, welche Wasserstandsabsenkung eintritt, wenn alle der etwa 1.800 Buhnen abgesenkt werden, und zwar in den stromaufwärts gelegenen Abschnitten um gut 2 Meter, in den mittleren Abschnitten um weniger als 1 Meter und an den Unterläufen der Flüsse überhaupt nicht. Danach wird deutlich, dass die Buhnenabsenkung zu einer Verringerung des Wasserstandes im Bereich von etwa 5 bis 15 cm an der Waal und an der IJssel beitragen kann. Am Neder-Rijn beträgt der Wert maximal 10 cm. Das scheint zunächst wenig zu sein, jedoch steht dem gegenüber, dass die Kosten der Buhnenabsenkung relativ gering sind. Auf Grund dessen ist diese Maßnahme dann doch sehr effizient.

**Damit scheinen die Maßnahmen im und am Hauptgerinne ausreichend besprochen zu sein. Jetzt also zum Deichvorland ...?**

Im Deichvorland kann man an Vorlandabsenkungen und an die Beseitigung hydraulischer Engpässe denken.

Durch Sedimentationsprozesse erhöht sich das Vorland allmählich. Die Vorlandabsenkung ist eine Maßnahme, mit der diese Erhöhung wieder rückgängig gemacht werden kann. Die Vorlandabsenkung kann mit der Lehmgewinnung gekoppelt werden, wie es in jüngster Zeit bei den letzten Deichverstärkungen häufig praktiziert wurde, und/oder mit der Naturentwicklung. Bei letzterer spielt u.a. eine Rolle, dass eine weit gehende Vorlandabsenkung die landwirtschaftliche Nutzung des Bodens weniger rentabel macht, insbesondere wenn auch die Uferböschungen entfernt werden. Außerdem hat sich aus praktischen Beispielen - u.a. Millingerwaard, Blauwe Kamer - ergeben, dass die Naturentwicklung nach einer Bodenabtragung ein von vielen geschätztes Ergebnis liefert.

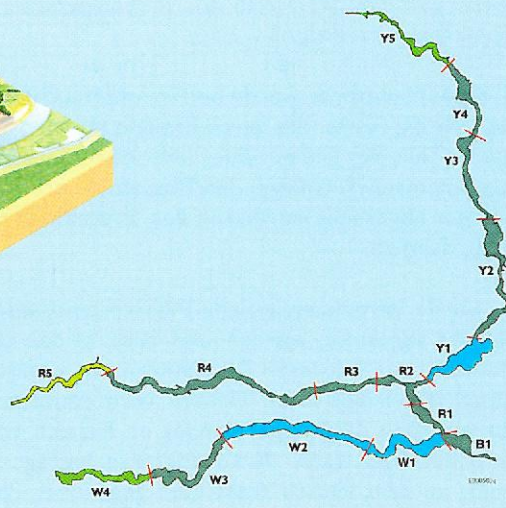
Die Beseitigung „hydraulischer Engpässe“ beinhaltet, dass verschiedene Arten strömungshemmender Hindernisse beseitigt oder verändert werden, um die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Es geht dabei um Fähranlegestellen, Brückenköpfe, hochwasserfreie Geländeteile, (hohe und/oder quer verlaufende) Sommerdeiche, Engstellen im Hochwasserbett usw.



Absenkung des Deichvorlands



Wasserstandsänderung bei Absenkung des Deichvorlands und Beibehaltung der meist landwirtschaftlichen Bodennutzung. Der Abfluss des Rheins beträgt bei Lobith 16.000 m³/s.



Wasserstandsänderung je Flussabschnitt (cm)



Wie vorstehend bei Absenkung des Deichvorlands, wodurch nasse Naturgebiete und zusätzliche Wasserflächen entstehen.



### **Dann bitte zunächst etwas über die Vorlandabsenkung ...**

Um sich ein Bild über die Effektivität der Vorlandabsenkung zu machen, wurde untersucht, welchen Nutzen eine integrale Absenkung des durchströmten Teils des Vorlands erbringt. Dabei wurden allerdings geschützte Naturgebiete ebenso ausgeschlossen wie die Streifen an den Deichen und im Hauptgerinne, die verhindern sollen, dass der Deich instabil wird oder sich das Hauptgerinne verlagert.

Eine integrale Absenkung kann unter Beibehaltung der ursprünglichen Funktion, beispielsweise der Landwirtschaft, oder aber auch mit einer großräumigen Naturentwicklung erfolgen. Im letztgenannten Fall kann tiefer abgesenkt und so auch große Wasserflächen geschaffen werden. Eine derartige Absenkung bedeutet zwar, dass Nebenziele bei der Naturentwicklung nicht erreicht werden können, denn aus dem Gelände wird ein Gewässer. Eine Naturentwicklung ohne Vorlandabsenkung führt aber zum Aufstauen des Wassers, das Sträucher und Auenwald den Abfluss verlangsamen. Die Naturentwicklung macht daher nicht nur eine tiefere Absenkung des Deichvorlands möglich, sondern macht sie auch zur Notwendigkeit, um so den Stau effekt wieder auszugleichen.

Stromaufwärts ist das Deichvorland im Vergleich zum Wasserstand im Fluss sehr hoch gelegen, das heißt, dass eine kräftige Absenkung möglich ist. Weiter stromab liegt das Vorland schon sehr tief, so dass weniger abgetragen werden kann, da sonst die landwirtschaftliche Nutzung und die Ziele des Naturschutzes gefährdet sind oder das Deichvorland vollständig unter Wasser gesetzt wird.

Durch die Absenkung des Deichvorlands unter Beibehaltung seiner Nutzung kann der Hochwasserstand an der Waal um etwa 50 cm und an Neder-Rijn und IJssel um etwa 30 bis 40 cm sinken. Landwirtschaftlich genutzte Gebiete werden so weit abgesenkt, dass noch 60 % der theoretischen Erträge erzielt werden können. Alle Uferböschungen bleiben erhalten. Mit einer sehr großräumigen Naturentwicklung und vielen zusätzlichen Wasserflächen kann der Hochwasserstand um durchschnittlich etwa 80 cm an der Waal und um etwa 60 cm an Neder-Rijn/Lek und IJssel gesenkt werden. Das ganze Gebiet wird dann so weit abgesenkt, dass eine Art „standard nasser Natur“ entsteht, das sind nasse Wiesen und Sümpfe mit nur wenig Auenwaldanteil. Dabei verschwinden dann auch die Uferböschungen.

Bei allen Rheinarmen ist die Reduzierung des Wasserstands in den stromaufwärts gelegenen Flussabschnitten am höchsten und in den stromabwärts gelegenen am niedrigsten. An den äußersten Enden der Rheinarme ist mit der Absenkung des Deichvorlands kaum noch eine Reduzierung des Wasserstands erreichbar. Dort lassen sich keine Absenkungen durchführen, da das Deichvorland schon sehr tief liegt, und außerdem ergibt sich ein starker Rückstau durch den Meeres- bzw. IJsselmeerspiegel. Am Lek ist das Deichvorland außerdem sehr schmal.

### **... und was sie kostet, bei all dem Bodenabtrag?**

Die Absenkung des Deichvorlands ist im Vergleich die bei weitem teuerste Maßnahme. Wenn die Vorlandabsenkung bei allen drei Rheinarmen als wesentliche Maßnahme zum Einsatz kommen sollte, geht es um 3 bis 4 Mrd. Euro. Bodenabtrag ist schon für sich gesehen teuer, vor allem kann aber die erforderliche Ablagerung von verunreinigtem Boden die Kosten hochtreiben. Nach Schätzungen sind nämlich etwa 15 - 20 % des Bodens verunreinigt und weitere 40 - 50 % sind nicht als Baustoff verwendbar.

Gerade weil die sichere Ablagerung verunreinigten Bodens sehr teuer ist, wurde geprüft, ob hier Kosteneinsparungen möglich sind. Das ist beispielsweise möglich, wenn verunreinigter Boden nicht abgefahren, sondern lokal in bestehenden tiefen Gewässern oder in Sandgruben sicher gelagert werden kann, aus denen vorher das brauchbare Material gewonnen wurde. Mit diesem so genannten *Umlagern* können wesentliche Kosteneinsparungen in einer Höhe von 1 bis 1,5 Mrd. Euro erreicht werden.





Vor Durchführung (1998)

**Bodenabsenkung und  
Naturentwicklung in der  
Baarsewaard am Neder-Rijn**



Während der Durchführung (1999)

***Ist die Umgestaltung des Deichvorlands nicht schon Bestandteil der derzeitigen Naturschutzpolitik?***

In der Tat ist die Umgestaltung eine der Folgen der Ausweisung großer Teile der Deichvorlandgebiete als Teil der Ökologischen Hauptstruktur (EHS) der Niederlande. Die Naturentwicklung wird dabei oft mit Abtragungen zum Ausgleich der durch dichte Vegetation verursachten Aufstauung des Flusswassers gekoppelt.

Bei der ursprünglichen Lokalisierung von Naturentwicklungsgebieten für die EHS war natürlich nicht angestrebt, eine maximale Absenkung des Wasserstands zu realisieren. Die Gebiete liegen daher teils im nicht-abflusswirksamen Bereich, teilweise aber auch im abflusswirksamen Bereich des Deichvorlands. Auch bei ihrer Gestaltung wurde nicht an die Absenkung der Wasserstände gedacht. Das führte in vielen Fällen zu einem großen Anteil an Auenwald oder Gebösch an Stellen, wo unerwünschte Stauwirkungen ausgelöst werden.

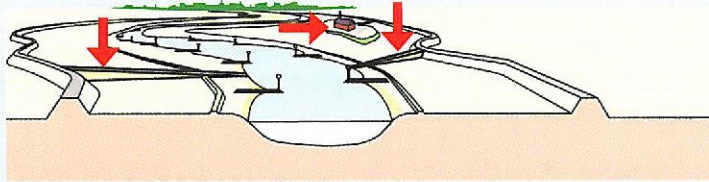
In der Untersuchung wurde die wasserstandserhöhende Auswirkung der schon geplanten Naturentwicklungsmaßnahmen berechnet. Dabei ergab sich, dass die Realisierung der EHS ohne Absenkungsmaßnahmen zu geringfügigen Erhöhungen des Wasserstands führt, im Höchstfall um etwa 10 cm. Wenn man aber gleichzeitig eine „maximale“ Absenkung durchführt, ohne dadurch die Naturschutzziele zu gefährden, kann eine Absenkung des Wasserstands von maximal etwa 15 cm erreicht werden - mithin viel weniger, als mit einer integralen Absenkung des Deichvorlands zu erreichen ist.

***Heißt das, dass die Ökologische Hauptstruktur (EHS) nicht realisiert werden kann oder behindert wird?***

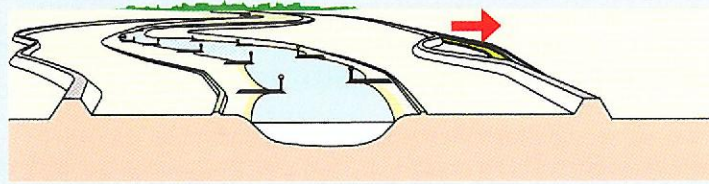
Es ist schon wichtig, dass man sich klar macht, was das eigentliche Ziel der EHS ist. Es geht dabei um die Einrichtung großer Naturgebietsflächen mit den Funktionen „Kerngebiet“ und „Verbindungsgebiet“. Die Idee dahinter ist, dass der Fortbestand einiger Tier-, aber auch Pflanzenarten auf Dauer nur möglich ist, wenn ausreichend große (Meta-)Populationen bestehen. Das sind zusammenhängende oder gut miteinander verbundene Populationen ausreichender Größe.

Die EHS kann als erfolgreich angesehen werden, wenn die Größe der Naturgebiete ausreichend ist und das „ökologische Netzwerk“ funktioniert. Der genaue Standort der Naturentwicklungsgebiete ist dabei weniger von Bedeutung.

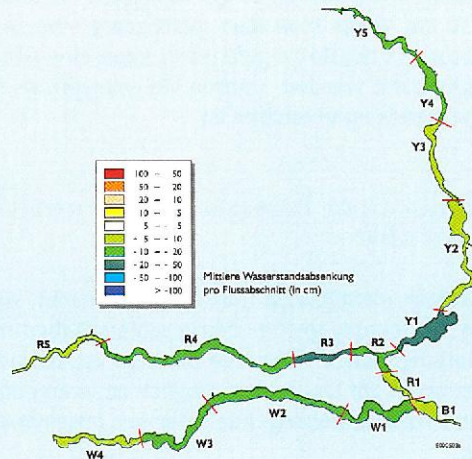
Eines der Ziele der Naturentwicklung ist die Bildung von Hart- und Weichholzauenwald. Ein vor wenigen Jahren für das Flussgebiet entwickeltes Leitbild geht auch von einem höheren Waldanteil aus. Ein Waldgebiet kann den Abfluss hemmen, jedoch hängt das Ausmaß vom genauen Standort des Waldes ab. Deshalb wurde geprüft, ob es möglich ist, im nicht-abflusswirksamen Bereich der Vorländer doch noch ein größeres Areal mit natürlichem Auenwald zu entwickeln. Es scheint möglich zu sein, dort mindestens 2500 ha Wald entstehen zu lassen, womit die vorgenannte Zielsetzung bei weitem erfüllt ist.



Beseitigung von Hindernissen im Flussbett



Lokale Deichverlegung



Wasserstandsänderung durch die Beseitigung von Hindernissen im Flussbett. Der Wasserabfluss des Rheins beträgt bei Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s.



Lexkesveer am Neder-Rijn bei Wageningen: ein wichtiger hydraulischer Engpass



Fähranlegestelle Lexkesveer

### **Und die so genannten „hydraulischen Engpässe“... ?**

Hydraulische Engpässe lassen sich identifizieren, wenn man die Gefällelinie (der Verlauf des Wasserspiegels in Längsrichtung des Flusses) studiert und vor jedem Abknicken dieser Linie auf topographischen Karten feststellt, wodurch es verursacht wird. Meistens geht es dabei um hochwasserfreie Geländeteile, Brückenköpfe, Fähranlegestellen, Uferböschungen, usw.

Für jeden Engpass wurde ermittelt, ob er entfernt und welche Wasserstandsreduzierung damit realisiert werden kann. Auch die Kosten für die Beseitigung jedes Engpasses wurden abgeschätzt. Die Kosten für das Passierbarmachen eines Brückenkopfes und die Entfernung von Fähranlegestellen variieren von unter 2,5 Mio. Euro bis gut 75 Mio. Euro bei einer großen Verkehrsbrücke. Die Kosten für die Abgrabung von Ufern und für kleinräumige Deichverlegungen liegen meist in der Größenordnung von 5 Mio. Euro. Im Einzelfall können sie sich aber auch auf mehr als 15 Mio. Euro summieren, wenn viele Wohngrundstücke zu erwerben sind. Die Kosten für die Entfernung hochwasserfreier Geländeteile können bis zu etwa 30 Mio. Euro betragen, wobei die Unsicherheiten rund um das Thema Bodenverunreinigungen eine Rolle spielen.

Der Effekt einer Reduzierung des Wasserstandes variiert bei diesen Maßnahmen stark. Nach einem Screening aller Maßnahmen an hydraulischen Engpässen werden nur noch diejenigen Maßnahmen weiter untersucht, die einen Reduzierungseffekt von mindestens 1 cm haben („sonst lohnt sich die Mühe nicht“), und mit denen wenigstens 2 mm Wasserstandsreduzierung je eingesetzte Mio. Euro erreicht werden („sonst ist es eine im Vergleich zu teure Maßnahme“).

### **Und was bringt die Beseitigung der verbliebenen Engpässe für ein Ergebnis?**

Im Durchschnitt kann mit der Beseitigung von etwa 60 Engpässen der Hochwasserstand an der Waal um etwa 20 cm verringert werden, am Neder-Rijn/Lek und an der IJssel um etwa 10 cm. Es gibt an den einzelnen Flussabschnitten jedoch große Unterschiede. So kann nur durch die Beseitigung der Fähranlegestelle bei Lexkesveer am Neder-Rijn der Wasserstand auf einen Schlag um rund 20 cm verringert werden.

Im Mündungsgebiet gibt es verhältnismäßig wenig hydraulische Engpässe, sodass mit deren Beseitigung auch nur wenig erreicht werden kann.

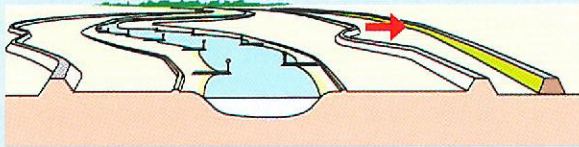
### **Gut, gehen wir dann zu den Maßnahmen in den eingedeichten Gebieten über?**

Einverstanden, aber dabei haben wir es an dieser Stelle nur mit Maßnahmen zur Verbesserung des Strömungsprofils zu tun, nicht mit Rückhalte- oder (Not-)Speichermaßnahmen. Maßnahmen im eingedeichten Gebiet können dann nützlich sein, wenn es sich nicht um Engpässe im Deichvorland, sondern um Engstellen im gesamten Hochwasserbett handelt: Wo die Breite des Flusses also zu gering ist. Derartige Engstellen liegen oft bei so genannten Scherdeichen, oder bei einer Stadt am Flussufer.

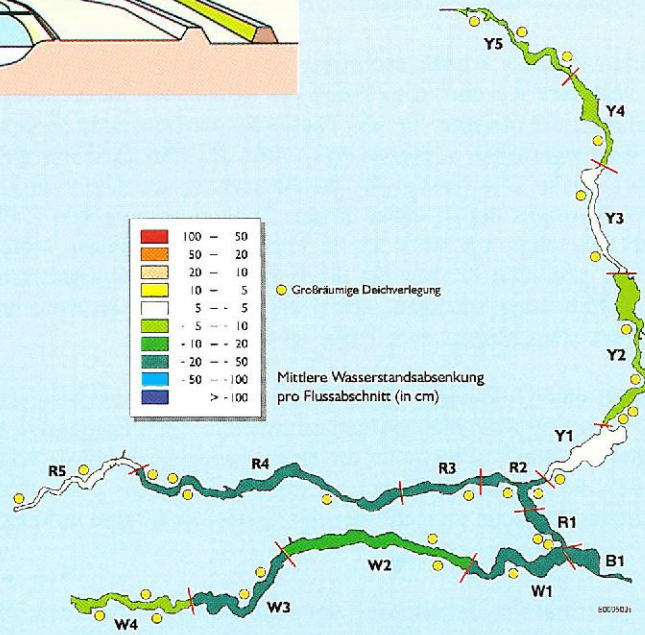
Es ist klar, dass an diesen Engstellen nur Maßnahmen eine Erleichterung bringen können, die in das eingedeichte Gebiet eingreifen.

An einem Deichvorland fehlt es ja gerade. Deshalb sind Maßnahmen aus folgenden Kategorien zu bedenken:

- großräumige Deichverlegungen;
- grüne Flüsse;
- die Nutzung bestehender Wasserläufe hinter den Deichen.



Großräumige Deichverlegung



Wasserstandsabsenkung bei großräumigen Deichverlegungen. Der Abfluss des Rheins beträgt bei Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s.



Kampen

Beispiele für Engpässe in der Nähe von Städten an der IJssel



Zutphen

### **Zunächst also: Was bieten großräumige Deichverlegungen für Möglichkeiten?**

An den Rheinarmen gibt es etwa 40 Standorte, wo eine großräumige Deichverlegung zur deutlichen Absenkung der Hochwasserstände führen kann, von den städtischen Engstellen einmal abgesehen. Selbstverständlich ist die Deichverlegung vor allem bei echten Engstellen des Hochwasserbettes effektiv, die flussaufwärts zu einer Stauwirkung führen. Die Absenkung des Wasserstands wirkt sich in diesem Fall auch noch relativ weit stromaufwärts aus. Bei einigen Deichverlegungen kann eine Absenkung der Wasserstände um dutzende Zentimeter erreicht werden. Demgegenüber bringen andere Deichverlegungen nur ein paar Zentimeter niedrigere Wasserstände. Im Durchschnitt ist mit jeder Deichverlegung eine Absenkung von etwa 10 bis 20 cm realisierbar.

Deichverlegungen sind aber auch ziemlich einschneidend und kostspielig, vor allem dann, wenn viele Gebäude auf oder direkt hinter dem Deich stehen. Trotz der Kosten, die zwischen 5 und 60 Mio. Euro für jede Deichverlegung betragen, sind alle untersuchten Deichverlegungen effizienter als 2 mm Wasserstandsabsenkung für jede eingesetzte Mio. Euro.

An der Waal und am Neder-Rijn/Lek kann mit allen Deichverlegungen zusammen eine Absenkung von maximal 60 cm erreicht werden. An der IJssel sind es nur 10 cm, zum großen Teil deshalb, weil an diesem Fluss nur einige relativ kleine Deichverlegungsmaßnahmen untersucht worden sind.

### **Die Engpässe bei den Städten sind dabei also noch nicht berücksichtigt ...?**

Nein, die Engpässe bei den Städten wurden gesondert untersucht. Das war notwendig, weil die Deichverlegung dort oft problematisch ist, wenn auf beiden Seiten des Flusses eine dichte Bebauung vorhanden oder geplant ist. Das ist beispielsweise der Fall in:

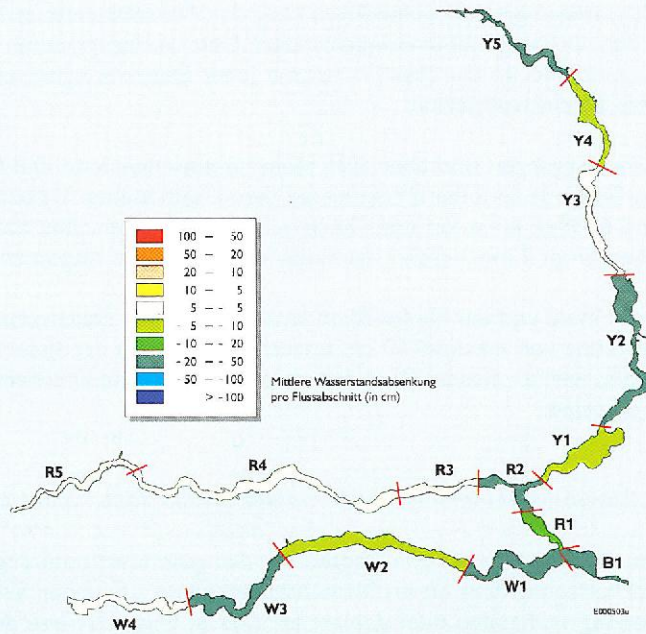
- Nijmegen
- Zaltbommel
- Gorinchem
- Arnhem
- Zutphen
- Deventer
- Kampen

Wenn eine Deichverlegung nicht gut möglich ist, kann man sich für einen so genannten grünen Fluss entscheiden. Ein grüner Fluss ist in Wirklichkeit ein Flussbett zwischen zwei Deichen, das nur bei Hochwasser durchströmt wird. Grüne Flüsse können landwirtschaftlich genutzt oder als Natur- und/oder Erholungsgebiet gestaltet werden: Sie sind, kurz gesagt, „grün“. Dort kann auch beispielsweise zu Erholungszwecken ein kleiner Flusslauf oder Teich eingerichtet werden. Wie ein derartiger grüner Fluss am besten zu gestalten ist, hängt vom jeweiligen Standort ab.

### **Was leisten grüne Flüsse an den Engpässen bei den Städten?**

Sie führen an den betreffenden Stellen zu einer starken Absenkung des Wasserstands. Diese Absenkung wirkt sich außerdem weit stromaufwärts noch positiv aus, im Falle eines grünen Flusses bei Nijmegen bis nach Deutschland, bei einem grünen Fluss bei Zutphen bis aufwärts zum Abzweig der IJssel. Das bedeutet, dass andere Maßnahmen an diesen Flussabschnitten eventuell überflüssig werden, aber auch, dass sich die Abflussverteilung über die drei Rheinarme verändern kann.

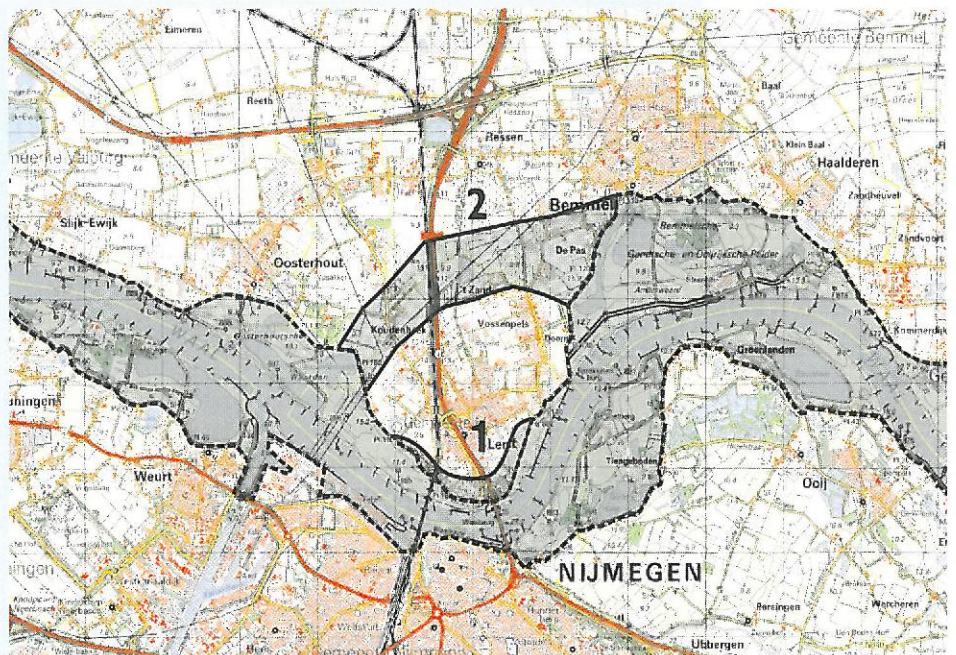
Die Wasserstandsabsenkung, die mit einer einzelnen Erweiterungsmaßnahme an einem Engpass an einer Stadt erreicht werden kann, liegt zwischen 15 und 35 cm, mit „Ausreißern“ von 50 cm für einen grünen Fluss bei Nijmegen und von 60 cm für einen grünen Fluss bei Zutphen.



Wasserstandsänderung durch Flussbetterweiterung in der Nähe der Engpässe bei Städten entlang den Rheinarmen. Der Abfluss des Rheins beträgt bei Lobith 16.000 m<sup>3</sup>/s.



Nijmegen



Deichverlegung (1) oder grüner Fluss (2) bei Nijmegen

Diese Maßnahmen haben allerdings einschneidende Auswirkungen für die räumliche Gestaltung: Bei Hochwasser wird dem Fluss ein großes Gebiet „geliehen“. Das wird für die Nutzer und Bewohner Konsequenzen haben. Trotz der hohen Kosten sind Maßnahmen an städtischen Engpässen sehr effektiv, da mit ihnen eine starke Absenkung des Wasserstands erreicht werden kann.

***Diese Maßnahmen an den städtischen Engpässen scheinen in der Tat einschneidend zu sein, bieten sie denn auch noch weitere Chancen?***

Kombinationen mit Landwirtschaft, Erholung (am Wasser) und Naturentwicklung sind an einem grünen Fluss jeweils gut möglich. Das Land wird schließlich nur selten überflutet und dann auch meist außerhalb der „Saison“, genau wie das Deichvorland. Man könnte es so darstellen: Das Land wird jedes Jahr eine Zeit lang an den Fluss verliehen, ist aber für menschliche Aktivitäten weiterhin verfügbar. Es hat daher tatsächlich einen sicheren Nutzungswert.

Außerdem bieten solche Maßnahmen für die Unterhaltung des Flusses etwas, was man als Zukunftssicherheit bezeichnen könnte. Es wird verhindert, dass der später vielleicht einmal benötigte Raum von anderen Nutzungsfunktionen beansprucht und belegt wird. Wohnbebauung, Gewerbegebiete, Treibhausbetriebe und Ähnliches, die heute zwar innerhalb der Deiche, oft aber genau hinter dem Deich entstehen, sind nicht mehr möglich, da das Gebiet unter das „Gesetz über die Verwaltung der Rijkswaterstaatwerke“ (früher: „Flüssegesetz“) fällt. Das beschränkt zwar derzeit die Nutzungsmöglichkeiten, bietet aber die Möglichkeit, in Zukunft auch noch andere flussbetriebsweiternde Maßnahmen durchzuführen, wie beispielsweise die Vorlandabsenkung.

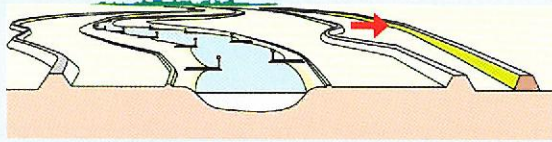
Drittens können derart einschneidende Maßnahmen angegangen werden, um die Umgebungsqualität im weiteren Sinne zu verbessern. Einige dieser Maßnahmen betreffen Standorte, an denen die Straßen- und/oder Bahninfrastruktur nicht mehr ausreichend ist (Nijmegen, Zutphen), wo Pläne für eine trockene Infrastruktur entwickelt werden (Kampen), wo eine Stadterneuerung und die Sanierung von Gewerbegebieten erwogen werden können (Arnhem) u.ä. Ein Qualitätsimpuls für die Entwicklung der direkten Wohnumgebung ist beispielsweise für Nijmegen denkbar, während an anderen Orten (Deventer, Zutphen) gerade der „grüne Stadtrand“ für Erholungszwecke aufgewertet werden kann.

***Und schließlich gibt es noch die Nutzung vorhandener Wasserläufe?***

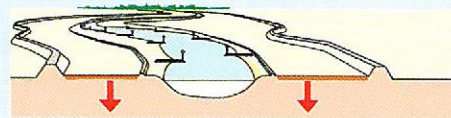
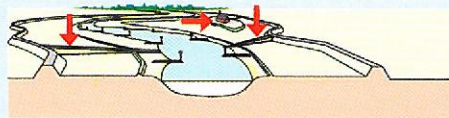
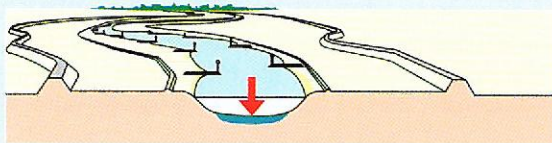
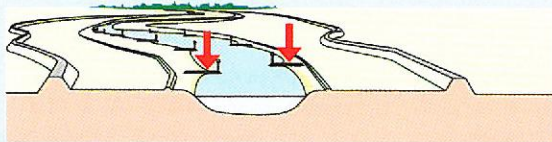
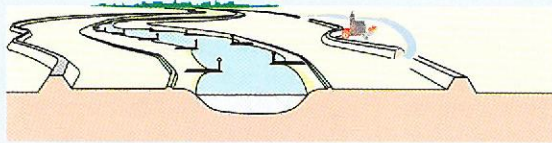
Ja, denn dort, wo vorhandene Kanäle, Flussläufe oder Reste von Altarmen parallel zum Fluss verlaufen, können sie einen Teil des Wasserabflusses übernehmen. Vor allem an den Unterläufen der Flüsse wurde nach entsprechenden Möglichkeiten gesucht, beispielsweise über den Kanal von Steenenhoek, über das Steurgat durch den Biesbosch oder durch die Insel von Dordrecht. Aber auch die Linge und der Merwedekanaal wurden als mögliche Entlastungstrecken in Betracht gezogen. Und auch neue, noch zu grabende Flussläufe sind auf Effektivität und Kosten untersucht worden, beispielsweise durch das Land von Altena und sogar durch die Krimpenerwaard.

Es stellt sich heraus, dass einige Flussläufe sehr teuer und nur schwer einzupassen sind. Der Wasserablauf durch das Steurgat, über zusätzliche Flussläufe durch den Dordtse und Brabantse Biesbosch und durch das Land von Altena kann aber eine Absenkung des Wasserstandes um einige Dezimeter bringen. In fast allen Fällen wird aber auch Wasser in eine ganz andere Richtung geführt und es wird ein anderer Fluss oder ein weiter stromabwärts gelegener Abschnitt mehr belastet als zuvor. Das setzt die nötige Vorsicht voraus.





Übersicht der Maßnahmen  
in der Reihenfolge ihrer  
abnehmenden Effizienz



Möglichkeiten zur Verwendung bestehender  
oder neuer Wasserläufe im Mündungsgebiet



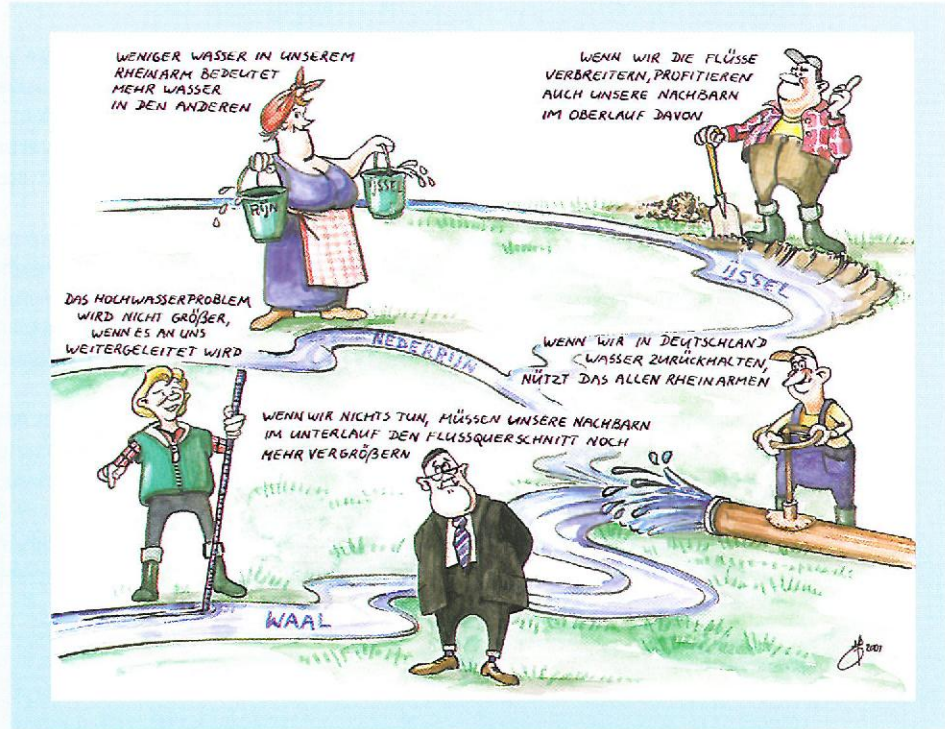
*Wenn wir jetzt alle Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserabflusses miteinander vergleichen: Welches Gesamtbild ergibt sich dann?*

Es zeigt sich, dass die großräumige Verlegung von Deichen, die Anlage grüner Flüsse und die Bühnenabsenkung die größte Absenkung des Wasserstands pro investierter Mio. Euro ergeben. Die Beseitigung hydraulischer Engpässe rangiert im Mittelfeld, ebenso die Tieferlegung des Hauptgerinnes. Das Abgraben des Deichvorlands verursacht im Verhältnis dazu die höchsten Kosten und schneidet dadurch am ungünstigsten ab.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass einige Maßnahmen nur in den stromauf liegenden Abschnitten der Rheinarme gut möglich sind, wie die Bühnen- und Deichvorlandabsenkung, und andere vor allem weiter stromabwärts, wie beispielsweise die Hauptgerinnevertiefung. Die großräumige Deichverlegung und die grünen Flüsse entlasten nur bestimmte Engpässe, möglicherweise mit substanzieller Fortwirkung in stromaufwärts liegenden Flussabschnitten.

Schließlich ist zu beachten, dass die Kosteneffektivität natürlich nur ein Aspekt der Angelegenheit ist. Bei der Absenkung des Deichvorlands ist manchmal von Mehrfachzielen die Rede: Auch die Naturentwicklung und eventuell die Gewinnung von Mineralstoffen können davon profitieren. Inwieweit mit der Deichverlegung oder mit grünen Flüssen vergleichbare Mehrfachzielsetzungen erreicht werden können, wurde erst wenig untersucht. Von grünen Flüssen in der Nähe städtischer Engpässe könnte man sich vorstellen, dass sie Chancen zur Verbindung einer „unvollkommenen Ökologischen Hauptstruktur“ bieten.

Sachzusammenhänge bei der Flussbettauerweiterung: mit dem Einzugsgebiet, mit den mündungsnahen Flussabschnitten, mit dem IJsselmeer, mit den Gebieten hinter den Deichen, zwischen den Rheinarmen, zwischen den einzelnen Flussabschnitten der Rheinarme



Streifenbebauung am Lekufer

## Kombination von Maßnahmen

*Es sieht so aus, dass wir mit nur einer Art von Maßnahmen nicht zurechtkommen. Kann die Wirkung der einzelnen Maßnahmen einfach zusammengerechnet werden, oder beeinflussen sich diese Maßnahmen gegenseitig?*

Nein, ein einfaches Zusammenrechnen der wasserstandsreduzierenden Wirkungen der einzelnen Maßnahmen ist nicht möglich. Bei einem Fluss wird die Abflussmenge immer von seiner Gesamtfunktion bestimmt. Ein einzelner *Flaschenhals* kann die Wirkung eines ganzen Maßnahmenpaketes zunichte machen, fast zu vergleichen mit dem bekannten Bild vom schwächsten Glied einer Kette. Umgekehrt können sich einzelne Maßnahmen auch gegenseitig verstärken. Es müssen daher Maßnahmenpakete mit dem Ziel zusammengestellt werden, die Wasserstände auf der gesamten Länge der Rheinarme zu reduzieren. Bei alledem müssen auch noch mögliche Veränderungen bei der Form der Abflusswellen berücksichtigt werden, um zu vermeiden, dass die Probleme nur auf die stromabwärts gelegenen Flussabschnitte abgewälzt werden.

*Wurde auch schon geprüft, ob es möglich ist, durch eine Kombination von Maßnahmen die Wassermenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s sicher abfließen zu lassen?*

Sicher, aber mit all den Maßnahmen, die vorstehend besprochen wurden, können unzählig viele Alternativen für die Neugestaltung der Rheinarme gebildet werden. Es handelt sich also teilweise um die Frage, welche Maßnahmen man vorzugsweise zuerst oder am meisten anwenden möchte. In der Untersuchung „Raum für die Rheinarme“ (RfR) sind deshalb 5 Alternativen mit verschiedenem Charakter näher betrachtet worden, wobei einzelne Alternativen noch Varianten mit einer geänderten Abflussverteilung und Fortentwicklungen für eine Abflussmenge von 18.000 m<sup>3</sup>/s hatten. Ziel dieser Studie waren Erkenntnisse bezüglich der Möglichkeiten, Kosten und Folgen verschiedener Alternativen für die Wohnbebauung, die einzelnen wirtschaftlichen Funktionen sowie für Natur und Landschaft.

In der „Integralen Untersuchung des Mündungsgebietes“ (IVB) wurden drei Alternativen gebildet, und zwar (1) eine kurzfristige mit der heutigen Abflussverteilung über die drei Rheinarme, (2) eine kurzfristige mit einer geänderten Abflussverteilung, und (3) eine langfristige Alternative.

*Ja, aber auf den Punkt gebracht ...?*

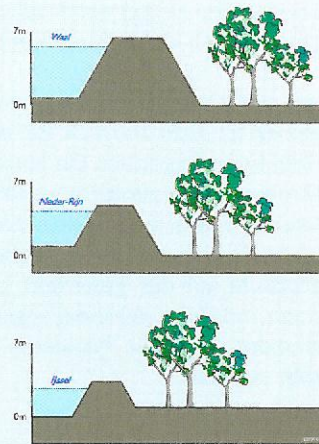
Nach beiden Untersuchungen ist es möglich, eine Wassermenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s sicher abfließen zu lassen, und zwar durch verschiedene Kombinationen von Maßnahmen, sei es hauptsächlich mit Maßnahmen vor den Deichen, sei es auch mit Maßnahmen in den eingedeichten Gebieten. In allen Fällen muss stark in das gesamte Untersuchungsgebiet eingegriffen werden, es sei denn, es wird nur auf Rückhaltemaßnahmen im stromaufwärts gelegenen Bereich gesetzt. Dann sind die dafür zu bestimmenden Gebiete aber nicht mehr als Notüberlaufgebiete verfügbar, was die Empfindlichkeit des Untersuchungsgebietes als Ganzes erhöht. Aus der Integralen Untersuchung des Mündungsgebietes ergibt sich auch, dass ein zusätzlicher Abfluss über den Neder-Rijn/Lek sehr schwer zu bewältigen ist. Nur durch regelmäßig wiederholte Hauptgerinnevertiefungen oder mit sehr einschneidenden und teuren Maßnahmen innerhalb der Deiche kann bei unveränderter Abflussverteilung eine Bemessungsabflussmenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s auch über den Lek ohne Deicherhöhungen abfließen.

*Demnach ist es möglich, eine Wassermenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s sicher abfließen zu lassen, ohne die Deiche weiter erhöhen zu müssen. Aber wenn es nun mehr als 16.000 m<sup>3</sup>/s werden, was ist dann weiter erforderlich?*

Es wurde auch untersucht, ob sich die Alternativen so erweitern lassen, dass sie auch eine Abflussmenge von 18.000 m<sup>3</sup>/s sicher bewältigen können. Dazu scheinen Maßnahmen innerhalb der eingedeichten Gebiete in großem Maßstab erforderlich zu sein, beispielsweise Deichverlegungen und grüne Flüsse.

### Deichhöhe

Die Höhe des Deichs im Vergleich zum eingedeichten Gebiet und zum Deichvorland kann bei den einzelnen Rheinarmen sehr unterschiedlich sein. Die Abbildungen sind eine schematische Wiedergabe des durchschnittlichen Deichprofils an Waal, Neder-Rijn und IJssel. Der eingezeichnete Wasserstand gilt für eine Bemessungsabflussmenge von 15.000 m<sup>3</sup>/s bei Lobith. Die Wassertiefe ist ein Durchschnittswert im Deichvorland.



## Abflussverteilung zwischen den Rheinarmen 1880

„Wenn man Mittel bedenkt, um die Gefahren von Hochwasser und Eisgang von Neder-Rijn und Lek abzuwenden, hat man nicht so sehr das Wohl derjenigen im Auge, die hinter den Deichen dieser Flüsse ansässig sind, sondern wendet seine Aufmerksamkeit vor allem dem Wohlergehen der reichen Städte und fruchtbaren Landstriche zu, die den Kern Hollands ausmachen und durch jene Deiche geschützt werden, die Noorderlekdijk, Ober- und Underdamm genannt werden. Um die übrigen Anwohner kümmert man sich wenig, die Bewohner der Batavierinsel können sich sogar glücklich schätzen, wenn ihre Interessen von den getroffenen Maßnahmen nicht angetastet werden.“

Die Veränderungen bei der Wasserverteilung auf die drei Rheinarme haben das Ziel, fernem Freunden die Last des Hochwassers zuzuschieben, während mit den seitlichen Ableitungen näher gelegene Bekanntschaften belastet werden. Das einzige Mittel, das die Vorgenannten haben, wenn sie sich nicht aufopfern wollen, ist das heroische „Überdeichen“, wodurch man in fortwährenden Streit mit den Oberliegern gerät. Alle diese Mittel bildeten und sind immer noch die Elemente eines „Wasserkrieges“, der langwieriger ist als der 80-jährige Krieg. Ein unseliger Streit, der zwischen Landstrich und Landstrich geführt wird.“

Ingenieur R.P.J. Tucein Nolthenius in: Watervrede (1880)



Niedrigwasser



Hochwasser

Bei unveränderter Abflussverteilung wird man am Neder-Rijn/Lek auch kaum um weitere Deicherhöhungen herumkommen. Das hat wie gesagt mit dem schmalen Deichvorland in diesem Flussabschnitt und der Streifenbebauung zu tun. Darüber hinaus befinden sich innerhalb der eingedeichten Gebiete die Mooregebiete der Alblasserwaard und der Krimpenerwaard, wo das Anlegen neuer Deiche wegen der dicken Moorschicht sehr aufwendig ist. Eine zusätzliche Abflussmenge verursacht bei der Waal weniger Probleme, da vor allem rund um den Biesbosch mehr Möglichkeiten gegeben zu sein scheinen, die zusätzliche Wassermenge aufzufangen. Aus diesem Grund wurde in der Integralen Untersuchung der Flussunterläufe auch betrachtet, ob Wasser aus dem Neder-Rijn/Lek auch nach Süden abgeleitet werden kann, sei es über den Diefdijk und die Linge, sei es über den Merwedekanal. Aber das sind sehr einschneidende und teure Maßnahmen.

**Liegt es dann nicht viel näher, die zusätzliche Wassermenge gleich vom Pannerdense Kop ab in die Waal zu lenken? Oder in Waal und IJssel zusammen?**

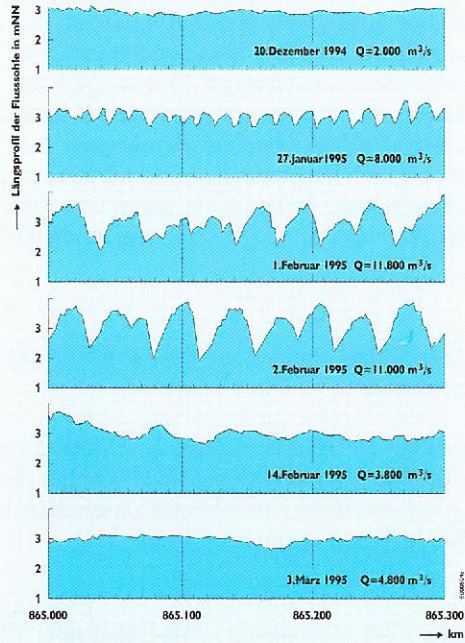
Sicher, und deshalb wurde in der Integralen Untersuchung der Flussunterläufe eine Veränderung der Abflussverteilung vorgeschlagen, und in der Studie „Raum für die Rheinarme“ wurden die Möglichkeiten und Konsequenzen verschiedener alternativer Abflussverteilungen untersucht. Und in der Tat liegt bei Abflussmengen oberhalb von 16.000 m<sup>3</sup>/s eine Veränderung der Abflussverteilung geradezu auf der Hand.

Es scheint möglich zu sein, mindestens noch weitere ca. 1000 m<sup>3</sup>/s über die Waal oder über Waal und IJssel zusammen abfließen zu lassen, wobei Neder-Rijn/Lek nicht weiter belastet werden. Und auch noch höhere Abflussmengen können nach kräftiger Erweiterung über diese zwei Rheinarme abgeleitet werden, allerdings wird es dann an den Flussunterläufen immer schwieriger, um eine Erhöhung der Deiche herumzukommen.

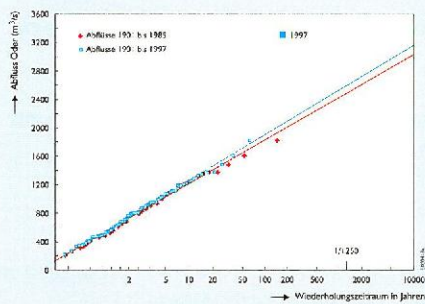
Wichtige Erwägungen für eine Entscheidung über eine andere Abflussverteilung können sein, dass:

- Eingriffe an nur einem oder zwei Rheinarmen preiswerter sein und weniger Folgen mit sich bringen können als Eingriffe an allen drei Rheinarmen;
- 1000 m<sup>3</sup>/s zusätzlicher Abfluss in der Waal gerade 10 % mehr sind als die heutige Bemessungsabflussmenge für diesen Rheinarm und nur 45 cm Wasserstandserhöhung verursachen;
- die IJssel die verhältnismäßig größte Deichvorlandfläche hat, wodurch 1000 m<sup>3</sup>/s zusätzlich in der IJssel zwar etwa 40 % Abflussmenge mehr bedeuten, die damit verbundene Wasserstandserhöhung aber nur 100 cm beträgt;
- demgegenüber gerade an der IJssel wieder die größten Einschränkungen für eine Absenkung des Deichvorlands wegen der häufig sehr wertvollen Deichvorlandflächen bestehen;
- an Waal und Neder-Rijn durch Überflutungen sehr hohe potenzielle Schäden entstehen können (die Deichringe dort werden oft mit Badewannen verglichen);
- die Einpassung von Deichverlegungen an der IJssel aber wieder einfacher ist, da das Gebiet erst jüngst eingedeicht wurde, das Gebiet innerhalb der Deiche am wenigsten intensiv genutzt wird und es im Vergleich zum Fluss nicht so tief gelegen ist.

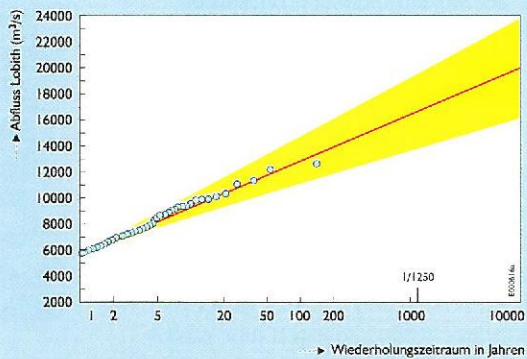
Schließlich ist die Speicherkapazität in und rund um die aufnehmenden Gewässer sehr wichtig. Eine zusätzliche Abflussmenge über die Waal muss ja zeitweise im nördlichen Deltabecken gespeichert werden: Also in der Nähe von Rotterdam und den Drehtstädten. Eine zusätzliche Abflussmenge über die IJssel landet im IJsselmeer, was zu einer Erhöhung der Wasserstände im IJsselmeer mit vielen damit verbundenen Problemen führen kann. Allerdings ist das IJsselmeer viel größer als das nördliche Deltabecken, sodass ein Auffangen hoher Abflussmengen hier relativ langfristig stattfinden kann, auch wenn das Ablassen in das Wattenmeer zeitweise erschwert ist. Aber die Speicherkapazität kann im Westen der Niederlande eventuell wiederum einfacher vergrößert werden, indem Wasser von dort in die Provinz Zeeland abgeleitet wird. Eben diesen Zusammenhängen auf nationaler Ebene wird in der gerade laufenden Spannkraftstudie viel Aufmerksamkeit gewidmet.



Entwicklung der Flusssohle in der Waal: vor, während und nach dem Hochwasser im Januar 1995



Arbeitslinie der Oder in Polen und das Hochwasser 1997



Der 90 %-Zuverlässigkeitsbereich der Arbeitslinie des Rheins bei Lobith

### Hochwasser und Bemessungsabflussmenge

Die heute maßgebliche Abflussmenge beträgt  $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Die statistische Analyse der Abflussspitzen im Zeitraum von 1901 bis 1995 (darin sind die jüngsten Hochwasser enthalten) ergibt eine Bemessungsabflussmenge von  $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Zeitraum von 1901 bis 1995 ist im Vergleich zu der Bemessungsabflussmenge, wie sie im Durchschnitt einmal in 1.250 Jahren vorkommt, relativ kurz. Eine Verlängerung dieses Zeitraums mit den historischen Abflussdaten von 1981 bis 1995 - das sind 15 Jahre mit relativ vielen Spitzenabflusswerten - ergibt für das Jahr 2010 eine Bemessungsabflussmenge von  $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$ . Wird dieser Zeitraum dagegen um die Werte von 1974 bis 1987 und aus dem Jahr 1992 verlängert - diese Werte lassen ein durchschnittliches Bild bei den Spitzenabflusswerten erkennen -, dann ergibt sich eine planungsrelevante Abflussmenge von  $15.700 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Hochwasser 1997 an der Oder

## Umgang mit Unsicherheiten

*Es ist also möglich, die Rheinarme so auszubauen, dass eine Abflussmenge von 18.000 m<sup>3</sup>/s sicher abgeleitet werden kann. Aber sind wir damit am Ziel, oder kann es noch viel mehr werden? Oder allgemein gefragt: Wie verhält es sich eigentlich mit den Unsicherheiten?*

Es gibt tatsächlich viele Unsicherheiten, und daran lässt sich auch nur wenig ändern. Es beginnt schon mit den Unsicherheiten über die heutige Situation. So wird, wie bereits erläutert, die Deichhöhe aus dem Bemessungswasserstand abgeleitet, der wiederum aus der Bemessungsabflussmenge abgeleitet wird. Die erste Unsicherheit betrifft also die Bemessungsabflussmenge selbst. Sodann bestehen Unsicherheiten über die Form der Abflusswelle, die Abflussverteilung auf die drei Rheinarme an den Teilungspunkten, die Lage der Flusssohle und der Strömungswiderstand der Vegetation im Hochwasserbett an den drei Rheinarmen. Alle diese Unsicherheiten wirken in den Bemessungswasserständen fort.

Zweitens haben wir es mit Veränderungen in der Zukunft zu tun, und die Zukunft ist per Definition nicht vorher bestimmbar. Vom Klima wissen wir sicher, dass es sich verändert, aber nicht wie schnell. Die heute verwendeten Klimamodelle weisen zwar alle in dieselbe Richtung, aber die Unterschiede zwischen den Vorhersagen sind noch erheblich. Das alles verursacht ein großes Dilemma für die zuständigen Behörden: Einerseits ist Sicherheit so wichtig, dass die Behörden höhere Wasserstände im voraus berücksichtigen müssen, sobald sie berechnet werden können, andererseits ist die Geschwindigkeit der Veränderungen sehr unsicher. Einfach abzuwarten, bis neue Hochwasser die Statistik erneut korrigieren, erscheint inakzeptabel. Daran können auch weitere Untersuchungen nichts ändern.

Mit all diesen Unsicherheiten müssen wir umgehen können (bzw. es lernen).

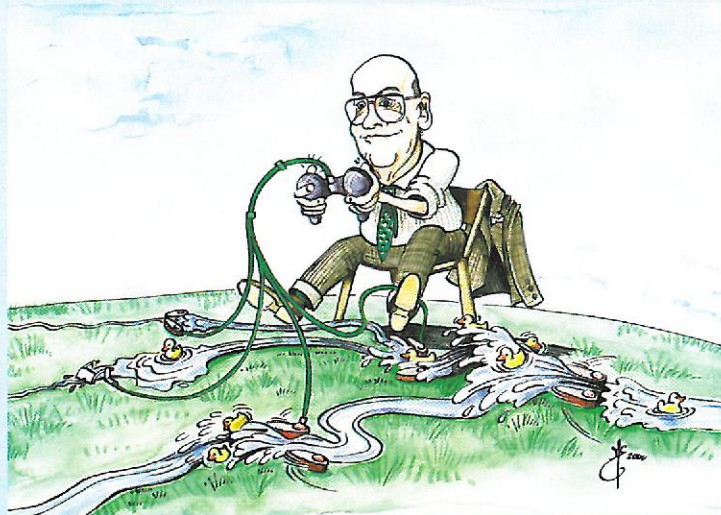
*Das ist ja was! Am wichtigsten scheint doch zu sein, wie groß die Unsicherheit über die Bemessungsabflussmenge ist?*

Die Bemessungsabflussmenge für den Rhein basiert auf einer Extrapolation von Messdaten aus der Vergangenheit, momentan aus dem Zeitraum von 1901 bis 1996. Vorher wurde der Zeitraum von 1901 bis 1991 herangezogen. Durch die Verlängerung sind die beiden Jahre 1993 und 1995 mit ihren hohen Abflussmengen dazugekommen. Dadurch verändert sich die Schnittlinie auf der Grafik etwas, und die neue Bemessungsabflussmenge hat sich auf 16.000 m<sup>3</sup>/s erhöht. Es wird ersichtlich, dass einzelne Hochwasserereignisse in relativ nassen Jahren die Bemessungsabflussmenge stark beeinflussen können.

Der wichtigste Grund für die starke Veränderung der Bemessungsabflussmenge ist, dass diese für Ereignisse berechnet wird, die nur einmal in 1250 Jahren vorkommen. Aber Messdaten liegen erst für 100 Jahre vor. Das bedeutet, dass die Grafik für Zeiträume weit außerhalb des gemessenen Datenbereiches extrapoliert wird. Das kann zu merkwürdigen Ergebnissen führen, wie sich an den Messreihen für ein Teileinzugsgebiet des Flusses Oder demonstrieren lässt. Die Messreihe der Jahre 1901 bis 1985 ergibt dort eine nahezu gerade Linie ohne Ausreißer. 1997 wurde dann aber eine Abflussmenge von 3300 m<sup>3</sup>/s gemessen, die die höchste des Jahrhunderts war. Nur dieses eine Hochwasser führte dazu, dass die „neue“ Extrapolationslinie die Abflussmenge für den Risikostandard 1/1250 von 2500 auf 2600 m<sup>3</sup>/s ansteigen ließ. Diese liegt aber noch immer weit unterhalb der gemessenen Abflussmenge!

Mit dieser Feststellung wird auf einen Blick klar, dass extreme Abflussmengen wie bei der Oder vielleicht selten sind, dennoch aber schon im nächsten Jahr erneut eintreten können. Das ist eine Unsicherheit, an der keine Untersuchung irgendetwas ändern kann. Was allerdings möglich ist - und auch geschieht -, ist die Definition eines Unsicherheitsbereichs rund um die Extrapolationslinie. Ein derartiger Bereich rund um die neueste Extrapolationslinie, auf der die Bemessungsabflussmenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s beruht, ergibt für den Rhein, dass die Wahrscheinlichkeit einer Bemessungsabflussmenge (bei einem Ausgangswert von 1:1.250) zwischen 13.000 und 18.500 m<sup>3</sup>/s bei 90 % liegt. In diesem Bereich liegt nicht nur der neue Wert von 16.000 m<sup>3</sup>/s, sondern auch der bisherige von 15.000 m<sup>3</sup>/s und sogar die womöglich zukünftige von 18.000 m<sup>3</sup>/s.





Karikatur, übergeben an Herrn Ing. J.H. Jansen, Direktor bei der Rijkswaterstaat-Direktion Ost-Niederlande und Vorsitzender der Verwaltungskommission „Raum für die Rheinarme“, anlässlich seiner Verabschiedung vom Ministerium für Verkehr und Wasserwirtschaft am 27. April 2000 in Arnhem.



#### Eisdämme in der Zukunft?

In der Vergangenheit entstanden viele Überflutungen durch Eisdämme im Fluss. Durch die Flussregulierung und die Abflüsse von Kühl- und Brauchwasser hat sich die Wahrscheinlichkeit von Eisdämmen stark reduziert. Kalte Winter gibt es immer noch, während sich die Zahl der Tage pro Jahr, in denen Eis auf den Flüssen liegt, in diesem Jahrhundert stark reduziert hat. Trotzdem müssen wir - vor allem bei Naturentwicklungsmaßnahmen im Deichvorland - wachsam bleiben und Einrichtungen zur Eisbekämpfung bereit halten.



### Und wie verhält es sich mit der Klimaveränderung?

Es gibt verschiedene Klimaszenarien, die alle von Schätzungen für einen oberen und einen unteren Wert ausgehen. Wenn man von dem Szenario mit einem oberen Wert für den Temperaturanstieg von 4°C bis zum Jahr 2100 ausgeht, würde die Abflussmenge des Rheins um 20 % ansteigen. Wenn man das zu der Bemessungsabflussmenge von 16.000 m<sup>3</sup>/s hinzuzählt, ergibt sich eine Bemessungsabflussmenge von gut 19.000 m<sup>3</sup>/s, vorausgesetzt, dass es gelingt, diese Menge in Deutschland im Hochwasserbett zu halten. Wenn das nicht der Fall ist, sei es, weil es nicht gelingt, sei es weil man auf Grund internationaler Vereinbarungen abflussvergrößernde Maßnahmen vermeidet, bleibt es bei 18.000 m<sup>3</sup>/s als relevante Obergrenze für die Abflussmenge bei Lobith.

An dieser Stelle sind also zwei verschiedene Unsicherheiten zu berücksichtigen: Erstens, was wird sich klimatologisch genau ändern, und zweitens, wie werden die anderen Rheinuferstaaten darauf reagieren?

### Wenn die Bemessungsabflussmenge und die berechneten Wasserstände nun so unsicher sind, wie kann man das denn eigentlich berücksichtigen?

Das ist das große Problem, aber gleichzeitig auch die Herausforderung, mit den bestehenden Unsicherheiten besonnen umzugehen. In diesem Zusammenhang sind zwei Begriffe von Bedeutung: Flexibilität und Federkraft.

*Flexibilität* ist ein Begriff, der mit der *Anpassung* an allmähliche Veränderungen eines Trends zusammenhängt. Flexibilität ist erwünscht, um allmähliche Veränderungen beispielsweise bei den Abflussmengen bewältigen zu können, ohne dass man nachträglich bereut, zu schnell und zu einschneidend gehandelt zu haben, oder sich unangemessenes Verhalten und fehlende Voraussicht vorwerfen lassen zu müssen. Die Flexibilität könnte erhöht werden, wenn man die Abflussmengenverteilung zwischen den Rheinarmen am Pannerdense Kop und am IJsselkop regelbar macht. Dann braucht man nicht an zwei oder drei Rheinarmen gleichzeitig zu arbeiten - mit der Möglichkeit, dass man es später bereut -, und kann sich die Arbeit leichter einteilen. Dann könnte man sogar während eines Hochwassers noch regelnd eingreifen, wenn es sich als wünschenswert darstellen sollte.

Der Begriff der *Federkraft* bezieht sich dagegen vor allem auf die Erholung nach Wegfall einer Belastung, wie sie zum Beispiel ein Hochwasser darstellt. Sie ist umso größer, wenn die Folgen eines Hochwassers nicht irreparabel sind, sondern begrenzt bleiben und leicht wieder rückgängig gemacht werden können. Dazu ist es erforderlich, dass keine unkontrollierten Überflutungen auftreten - mit eventuell sehr hohen Schäden oder gar gesellschaftlichen Unzuträglichkeiten -, sondern nur *kontrollierte* Überflutungen, insbesondere dort, wo diese die geringsten Schäden verursachen. Durch *Notfallvorkehrungen* könnte eine derartige Federkraft in das Hochwassersicherungssystem „eingebaut“ werden, beispielsweise in Form von Notüberlaufgebieten oder durch die Unterteilung großer Deichringe in kleinere (Kompartimentierung) zur Eingrenzung der Überflutungsschäden. Federkraft ist also vor allem deswegen wünschenswert, um den bestehenden *Unsicherheiten* begegnen zu können.

### Was bedeuten Flexibilität und Federkraft für eine noch zu entwickelnde Strategie?

Das ist eine Frage, auf die die Untersuchungen alleine keine Antwort geben können. Es ist ja Aufgabe der Politik, insbesondere der für die Flüsse zuständigen Behörden, aber eigentlich auch der Wasserwirtschafts- und Raumordnungspolitik im Allgemeinen, in Abstimmung mit allen Betroffenen und gestützt auf die Untersuchungen eine Strategie zu formulieren. Mit dieser sollen Katastrophen in Zukunft vermieden und gleichzeitig dem Umstand Rechnung getragen werden, dass immer große Unsicherheiten bezüglich der Abflussmengen bestehen bleiben werden.

## Verantwortlich für Fotos und Darstellungen

<b>Fotos</b>	Seite
Archiv Rodenstein W. Beuerle und E. Schäfer (Fränkisch Crumbach)	2
Tom Buijse	56
Bureau voor Strooming, Natuur- en Landschapsontwikkeling (Laag Keppel)	40
Annemiek Demon	40
Dienst Landelijk Gebied	40
Klaas Jan Douben	34
DPA (Frankfort)	2
Gewässerdirektion Südlicher Oberrhein/Hochrhein (Lahr)	32
Instytut Meteorologii i Geopodarki Wodnej	54
Henk de Jong luchtfotografie (Zeist)	52
Frans Klijn	26, 30, 38, 40, 42
Eppo W. Notenboom (Lekkerkerk)	Umschlag, 42
Polderdistrict Groot Maas en Waal	6, 8, 12
P. Rey (Constance)	2
Rijkswaterstaat / dienst Weg- en Waterbouwkunde	4
Rijkswaterstaat / Meetkundige dienst	2, 10, 12, 18, 28, 46, 46, 50
Rijkswaterstaat / RIZA	2, 10, 40
Renk Ruiter	38, 48
WL   Delft Hydraulics	2, 18, 32

## Darstellungen

Dratex (Lelystad)	22, 24, 52, 54
Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Düsseldorf)	28, 20
K. Nuijten (Leuth)	40, 50, 54
Rijkswaterstaat / directie Oost-Nederland	24
Rijkswaterstaat / RIZA	14, 16, 18
WL   Delft Hydraulics	4, 6, 8, 10, 12, 14, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 54

## Impressum

Zusammenstellung	Frans Klijn, Jos Dijkman (WL   Delft Hydraulics) und Wim Silva (RIZA)
Auf der Grundlage von	Ruimte voor Rijntakken, Wat het onderzoek ons heeft geleerd (W. Silva, F. Klijn & J.P.M. Dijkman, 2000; RIZA und WL) Advies Integrale Verkenning Benedenrivierengebied (S.A. de Jong <i>et al.</i> , 2000; Rijkswaterstaat Direktion Süd-Holland)
Im Auftrag von	Rijkswaterstaat Direktion Ost-Niederlande Rijkswaterstaat Direktion Süd-Holland IRMA-SPONGE Rijkswaterstaat-RIZA WL   Delft Hydraulics
Lay-out	Ruud Ridderhof und Engelbert Vennix (WL)
Lithographie	Joost Kolkman (Leiden)
Druck	JB&A Grafische Communicatie (Wateringen)
Übersetzung	Tekom Vertalers BV (Hoofddorp) und Tillmann Baur (WL)
Informationen	Rijkswaterstaat Direktion Ost-Niederlande P.O. Box 9070, 6800 ED Arnhem, Die Niederlande Tel. +31-26-368-8601 (Marian van Voorst)  Rijkswaterstaat Direktion Süd-Holland P.O. Box 556, 3000 AN Rotterdam, Die Niederlande Tel. +31-10-402-6376 (Leo Nieuwlaat)
RIZA-Bericht WL-rapport ISBN	2001.034 Q2975.22 903695388X

