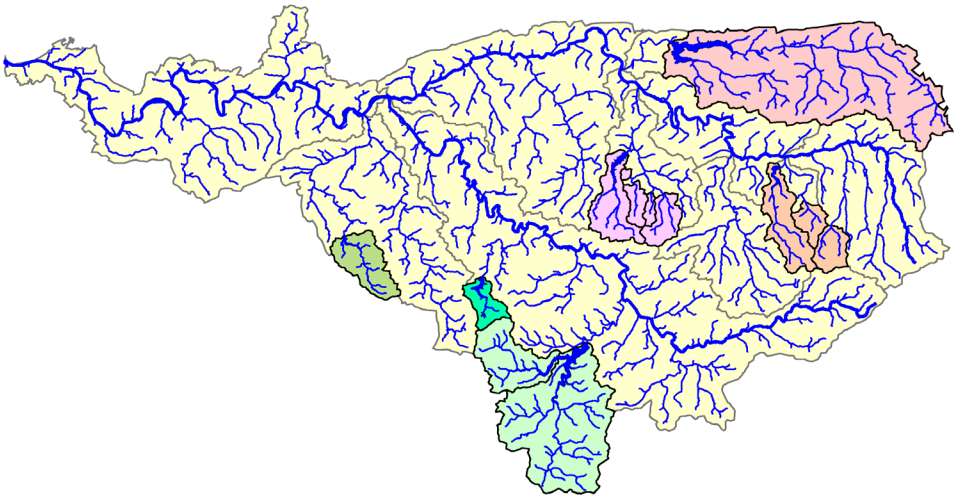
Karlsruher Institut für Technologie

Deltares
Enabling Delta Life

Hochwasserschutzwirkung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr bei ganzjährigem Betrieb unter Berücksichtigung klimabedingter Abflussänderungen einschließlich der konkurrierenden Nutzungen

– Kurzfassung –



März 2010

Ruhrverband
WISSEN, WERTE, WASSER

Klimawandel
in Nordrhein-Westfalen
Wir handeln!

Projektpartner und Bearbeiter

Teilprojekt „Ermittlung der Hochwassersicherheit im Einzugsgebiet der Ruhr“

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG)
Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Abteilung Hydrologie
Dipl.-Ing. Johannes Höfer, Dipl.-Ing. Joachim Liebert,
Dipl.-Ing. Patrick Preuß, Dr.-Ing. Jürgen Ihringer

Teilprojekt : „Erweiterung der Klimaanalyse für das Ruhrtalsperrensystem“

Deltares
Dipl.-Ing. Simone Patzke, Dr.-Ing. Dirk Schwanenberg

Auftraggeber

Ruhrverband Essen
Abteilung Mengenwirtschaft und Morphologie

Das Projekt ist Teil der Anpassungspolitik des Landes Nordrhein-Westfalen und wurde mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen finanziert. Weitere Informationen zum Thema Anpassung an den Klimawandel sowie die Anpassungsstrategie des Landes Nordrhein-Westfalen finden Sie im Internet unter: www.klimawandel.nrw.de.

Kurzfassung

Im Einzugsgebiet der Ruhr (Abbildung 1) bewirtschaftet der Ruhrverband mehrere Talsperren mit einer Speicherkapazität von 462,9 Millionen m³. Sie dienen im Verbund einerseits der Sicherstellung der Trink- und Brauchwasserversorgung und anderseits dem Hochwasserschutz durch Bereitstellung von Hochwasserschutzraum an drei Talsperren in den Wintermonaten. Im Rahmen des Projekts „Hochwasserschutzwirkung der Talsperren im Einzugsgebiet der Ruhr bei ganzjährigem Betrieb unter Berücksichtigung klimabedingter Abflussänderungen einschließlich der konkurrierenden Nutzungen“, das im Zuge der Anpassungspolitik des Landes Nordrhein-Westfalen mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen finanziert wurde, erfolgte eine Untersuchung des Hochwasserschutzgrads und dessen Veränderung infolge des Klimawandels. Hierzu wurden sowohl historische Hochwasserereignisse zur Beschreibung der heute vorhandenen Hochwasserschutzwirkung als auch Langzeitsimulationen für den heutigen und möglichen zukünftigen Klimazustand zur Quantifizierung veränderter Hochwasserverhältnisse und deren Auswirkungen auf die Hochwasserschutzwirkung der Talsperren herangezogen. Zur Berücksichtigung der konkurrierenden Nutzungen zur Sicherstellung der Trink- und Brauchwasserversorgung wurden mit den Langzeitsimulationen die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsstrategien auf die Grenzleistungsfähigkeit bzw. die langfristige Betriebssicherheit des Talsperrensystems in Niedrigwasserperioden untersucht. Diese Untersuchung verschiedener Bewirtschaftungsstrategien schließt sich an zwei bereits für den Ruhrverband durchgeführte Projekte zur Langfrist- und Klimaanalyse des Ruhrtalsperrensystems an.

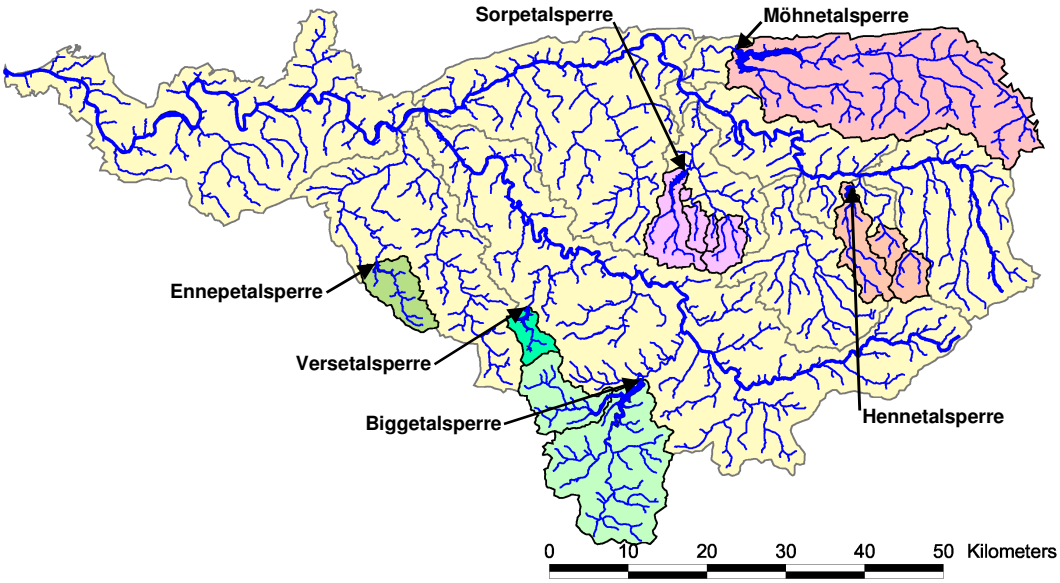


Abbildung 1: Einzugsgebiet der Ruhr

Daten- und Modellgrundlage

Beim Ruhrverband sind flächendeckend für das Einzugsgebiet der Ruhr zwei hydrologische Modelle im routinemäßigen Einsatz, die an der Universität Karlsruhe (TH) – heutiges Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – zur Abflussberechnung im Gewässersystem der Ruhr und zur Echtzeitsteuerung der Talsperren entwickelt wurden. Das kontinuierliche Abflussgeschehen wird durch die Kombination des Wasserhaushaltsmodells PRMS mit dem Bewirtschaftungsmodell BEWASYS auf Tageswertbasis ermittelt, für die Hochwasservorhersage wird für Einzelereignisse ergänzend das zeitlich hochaufgelöste

Vorhersagemodell „VMOD“ eingesetzt (IWK, 2002). Für die Anpassung des Hochwasservorhersagemodells „VMOD“ liegen ab Anfang der 1990er Jahre hochaufgelöste, zeitlich korrespondierende Niederschlags- und Abflussdaten in ausreichender Quantität und Qualität digital vor. Aus diesem Zeitraum konnten zur Beschreibung der heute vorhandenen Hochwasserschutzwirkung elf große Ereignisse ausgewählt werden. Diese Ereignisse sind zwar für das gesamte Einzugsgebiet die größten aus dem verfügbaren Zeitraum, weisen jedoch fast ausnahmslos Jährlichkeiten $T_n < 20$ a auf.

Über die Langzeitbetrachtung des Abflussgeschehens auf der Basis von Tageswerten wurde das Abflussspektrum für den heutigen Zustand erweitert und die Auswirkung der Klimaänderung auf die Abflussverhältnisse (Hochwasserabflüsse einschließlich der Hochwasserschutzwirkung der Talsperren und Betriebssicherheit des Talsperrensystems in Niedrigwasserperioden) ausgewertet. Hierzu standen sowohl für den heutigen Klimazustand bezogen auf die Zeitspanne 1961 – 1995 (Basisszenario) als auch für zwei mögliche zukünftige Klimazustände 2071 – 2100 (Zukunftsszenario) jeweils 4.000 generierte Abflussjahre zur Verfügung. Die dafür notwendigen synthetischen Klimazeitreihen wurden von Deltares abgeleitet (WL 2006 und 2007). Die Datengenerierung für den heutigen Klimazustand basierte auf dem Rainfall-Generator des Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Die zukünftigen Klimazustände (2071 – 2100) wurden auf der Grundlage des globalen Klimamodells ECHAM5/MPI-OM (Emissionsszenario A1B) und den regionalen Klimamodellen WETTREG (UBA, 2007) und REMO (MPI, 2007) abgeleitet. In Anlehnung an diese Klimaprojektionen konnten die beiden Zukunftsszenarien jeweils über eine angepasste Transferfunktion aus dem Basisszenario berechnet werden (WL 2007). Für das auf Basis des Modells WETTREG abgeleitete Zukunftsszenario (Klimaszenario K1) wurde sowohl eine Niederschlags- als auch eine Temperaturänderung berücksichtigt. Das auf Grundlage von REMO abgeleitete Zukunftsszenario beinhaltet nur eine Temperaturänderung (Klimaszenario K4). Für die Fragestellung der Auswirkung der Bewirtschaftungsstrategie auf die Betriebssicherheit des Talsperrensystems in Niedrigwasserperioden wurden beide Klimaszenarien K1 und K4 untersucht. Diese beiden Klimaszenarien decken die Bandbreite der insgesamt vier in den Vorgängerprojekten untersuchten Klimaszenarien ab. Für die Hochwasseruntersuchungen wurde nur das Klimaszenario K1 einbezogen, da Voranalysen gezeigt haben, dass dieses Klimaszenario plausible hochwasserrelevante Ergebnisse erwarten lässt. Die bereitgestellten Klimaszenarien wurden über das Wasserhaushaltsmodell PRMS und das Bewirtschaftungsmodell BEWASYS in Abflusszeitreihen übertragen. Infolge dieser Modellkette bestimmen die Unsicherheiten der meteorologisch Eingangsgrößen auch die Unsicherheiten der abgeleiteten Erkenntnisse bzgl. Talsperrenbetrieb und Hochwasserschutzwirkung der Talsperren. Aus diesem Grunde sollten neuere Erkenntnisse der Klimamodellierung verfolgt und bei Bedarf eine Fortschreibung der Wirksamkeitsanalyse der Talsperren erwogen werden.

Historische Hochwasserereignisse

Zur Analyse der Hochwasserschutzwirkung wurden zunächst auf der Basis der elf ausgewählten historischen Hochwasserereignisse verschiedene Betriebsvarianten untersucht. Hierzu gehörten die Berechnung des Hochwasserablaufs ohne Talsperren und des Hochwasserablaufs mit den ereignisspezifischen, tatsächlichen Talsperrenabgaben. Ergänzend wurden verschiedene Varianten betrachtet, die einerseits die reine Retentionswirkung der Talsperren ohne ausgewiesenen Hochwasserschutzraum und andererseits verschiedene Betriebssteuerungen auf jeweils konstante Abgaben in Kombination mit saisonal unterschiedlichen Hochwasserrückhalteräumen ohne Berücksichtigung des Talsperrenbetriebs (Talsperrenfüllung entsprechend dem Stauziel) beinhalteten. Aus diesen Varianten ergaben sich folgende wesentliche Ergebnisse:

- Die Hochwasserereignisse sind großflächig im gesamten Ruhreinzugsgebiet nicht mit einer vergleichbaren Jährlichkeit aufgetreten. Deshalb sind bei allen untersuchten Abgabesteuerungen die verschiedenen Talsperren nicht gleichmäßig an einer Hochwasserrückhaltung beteiligt. Daher ergibt sich eine große Spannweite für die ereignisspezifische Hochwasserschutzwirkung. Diese Spannweite ist im Nahbereich der Talsperren am größten. Im Fernbereich der Talsperren hängt die Wirksamkeit der Talsperren von der räumlichen Verteilung des Ereignisses und damit von den beteiligten Talsperren ab.

  Im Einzugsgebiet der Lenne dominiert die abflussmindernde Wirkung der Biggetalsperre. Somit wird die Hochwasserschutzwirkung der Biggetalsperre entlang der Lenne unterhalb des Biggezuflusses mit gewissen Abnahmen bis zur Einmündung der Lenne in die Ruhr aufrechterhalten. Dies hat ein wesentlich homogeneres Verhalten entlang der Lenne zur Folge als es an der Ruhr zu beobachten ist.

- Für die historischen Ereignisse ergibt sich mit der tatsächlichen (ereignisspezifischen) Talsperrensteuerung im Vergleich zum Hochwasserablauf ohne Talsperren und Überleitungen folgendes zusammenfassende Ergebnis:

  - Lenne

    Bei den Winterereignissen ist die Hochwasserschutzwirkung größer als bei den Sommerereignissen. Die Abflussabminderungen im Winterhalbjahr variieren am Zusammenfluss von Bigge und Lenne zwischen 36 bis 46 % und an der Mündung der Lenne in die Ruhr zwischen 27 bis 36 %. Im Sommerhalbjahr ergeben sich am Zusammenfluss von Bigge und Lenne Abminderungen zwischen 19 und 29 % und an der Mündung der Lenne zwischen 12 und 18 %.

  - Ruhr

    Die Hochwasserschutzwirkungen bei Winter- und Sommerereignisse sind sehr ähnlich. Dabei ergeben sich unterhalb des Zusammenflusses von Lenne und Ruhr tendenziell etwas größere Wirkungen bei den Winterereignissen. Die Abflussabminderungen zwischen Wenne und Röhr (Sorpetalsperre) betragen 6 bis 11 %, zwischen Möhne und Lenne 10 bis 32 % und an der Ruhrmündung 15 bis 24 %.

    Infolge dieser Abflussabminderung wird der Scheitelwertsbereich des Zuflussereignisses zum Rhein insgesamt deutlich reduziert. Die dabei auftretende zeitliche Verschiebung ist sehr gering. Im Nachlauf des Ereignisses kann infolge des Abwirtschaften der Hochwasserrückhalteräume eine maximale Abflusserhöhung stattfinden, die der Summe der einzelnen Regelabgaben entspricht. Aufgrund des unterschiedlichen Laufzeitverhaltens von Rhein und Ruhr ist das zeitgleiche Auftreten von Hochwasserscheitelwerten unwahrscheinlich. Somit hat die Ruhr mit ihrem Talsperrensystem einen unwesentlichen Einfluss auf den Scheitelwertsbereich des Rheinhochwassers.

- Die ereignisabhängige Steuerung infolge des Echtzeitbetriebs ergab bei nahezu allen historischen Ereignissen die größte Hochwasserschutzwirkung. Infolge des Talsperrenbetriebs steht i.d.R. noch zusätzlicher Hochwasserrückhalteraum zur Verfügung, da die Talsperren bei Ereignisbeginn selten bis zum Stauziel gefüllt sind. Somit kann bei einer ereignisabhängigen Steuerung zusätzlicher Retentionsraum für die Hochwasserrückhaltung gezielt eingesetzt werden.

Veränderung der Hochwasserabflüsse infolge des Klimawandels

Die Veränderung der Hochwasserabflüsse infolge des möglichen Klimawandels (Klimaszenario K1) wurde für insgesamt 20 Gewässerstellen und deren Einzugsgebiete untersucht, um eine flächendeckende Bewertung der Veränderung zu erhalten. Diese Untersuchungen zeigen ohne Berücksichtigung des Talsperreneinflusses folgendes Ergebnis:

- Eine räumliche Differenzierung der zu erwartenden Abflussveränderungen im Einzugsgebiet der Ruhr ist nicht erkennbar. Das gesamte Einzugsgebiet weist somit infolge des Klimawandels eine einheitliche Tendenz auf.

- Die Auswertungen der monatlichen Höchstwerte HQ(m) bzgl. des Jahresregimes ergaben, dass in den Monaten Dezember bis März Zunahmen der mittleren monatlichen Höchstwerte zu erwarten sind, die in den Monaten Dezember bis Februar besonders ausgeprägt sind. In den Monaten April bis November ist dagegen eine Abnahme zu verzeichnen. Somit ergibt sich für die daraus abgeleiteten mittleren Halbjahreshöchstwerte im Winterhalbjahr (Nov. – Apr.) eine deutliche Abflusszunahme und im Sommerhalbjahr (Mai – Okt.) eine deutliche Abflussabnahme. Aufgrund dieser Gegenläufigkeit sind die mittleren Jahreswerte nahezu ausgeglichen. Sie zeigen nur einen geringen Anstieg.

- Die extremwertstatistische Auswertung der Halbjahres- und Jahreshöchstwerte ergab, dass bei den Jahreshöchstwerten und bei den Höchstwerten des Winterhalbjahres im Bereich der kleinen Jährlichkeiten (T_n = 2 a) ein deutlicher Anstieg der Hochwasserabflüsse von 18 % (Jahr) und 25 % (Winter) zu erwarten ist. Bei großen Jährlichkeiten (T_n = 100 a) gehen die Abflusszunahmen deutlich zurück und betragen 7 % im Jahr und 8 % im Winterhalbjahr. Im Sommerhalbjahr ergibt sich ein gegenläufiges Verhalten. Hier ist im Bereich der kleinen Jährlichkeiten (T_n = 2 a) eine deutliche Abnahme von 31 % zu erwarten. Im Bereich der großen Jährlichkeiten (T_n = 100 a) gehen die Änderungen auch im Sommerhalbjahr deutlich zurück und liegen beim 100-jährlichen Ereignis im Mittel bei einer Abnahme von 5 %.

- Auf Grundlage der Tageswertzeitreihe dominieren beim heutigen Klimazustand in weiten Teilen des Ruhreinzugsgebiets bis in den Bereich der großen Jährlichkeiten die Winterereignisse die Jahreshöchstwerte. Zukünftig wird diese Dominanz der Winterereignisse weiter zunehmen.

Wirksamkeit der Talsperren bei unterschiedlichen Hochwasserrückhalteräumen

Die Analyse der Hochwasserschutzwirkung der Talsperren erfolgte auf Basis der abgeleiteten Abflusszeitreihen (jeweils 4.000 Jahre) für den heutigen und den möglichen zukünftigen Klimazustand (Klimaszenario K1). Dabei wurden jeweils die konstanten (maximal festgelegten) Regelabgaben mit folgenden gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräumen untersucht:

- **S0** (aktuell gültige Festlegung): Hochwasserrückhalteraum nur im Winterhalbjahr an Henne-, Möhne- und Biggetalsperre ausgewiesen.

- **S3** (Ausweitung des Rückhalteraums): Alle sechs Talsperren weisen sowohl im Winter-, als auch im Sommerhalbjahr einen Hochwasserrückhalteraum auf. Diese Rückhalteräume wurden von Deltares aus Langzeitanalysen des Talsperrenbetriebs unter Beachtung ausreichender Versorgungssicherheiten abgeleitet (WL, 2006).

Die Erkenntnisse basieren auf einem Vergleich der Hochwassersituation mit und ohne Talsperren für den heutigen und zukünftigen Klimazustand. Die wesentlichen Ergebnisse sind in Tabelle 1 für vier charakteristische Gewässerabschnitte an Ruhr und Lenne zusammengestellt.

Tabelle 1: Abflussabminderungen für verschiedene Gewässerabschnitte infolge der Talsperrensteuerungen S0 und S3 im Vergleich zum unbeeinflussten Gebietszustand für den heutigen und zukünftigen Klimazustand (ohne Berücksichtigung des Talsperrenbetriebs)

Halbjahr	Winterhalbjahr		Sommerhalbjahr	
Hochwasserrückhalteraum	S0	S3	S0	S3
heutiger Klimazustand (Basisszenario)				
Ruhr zwischen Henne und Möhne	5 - 10 %	5 - 10 %	≤ 4 %	5 - 10 %
Ruhr zwischen Möhne und Lenne	10 - 18 %	10 - 20 %	≤ 6 %	ca. 15 %
Ruhr unterhalb Lenne bis Mündung	≤ 10 %	ca. 10 %	≤ 4 %	5 - 10 %
Lenne unterhalb Bigge bis Mündung	10 - 20 %	10 - 20 %	≤ 6 %	5 - 10 %
zukünftiger Klimazustand (Klimaszenario K1)				
Ruhr zwischen Henne und Möhne	5 - 10 %	5 - 10 %	≤ 5 %	4 - 10 %
Ruhr zwischen Möhne und Lenne	10 - 16 %	14 - 20 %	≤ 7 %	10 - 18 %
Ruhr unterhalb Lenne bis Mündung	5 - 11 %	8 - 13 %	≤ 5 %	5 - 11 %
Lenne unterhalb Bigge bis Mündung	10 - 20 %	10 - 20 %	3 - 10 %	5 - 15 %

Ohne Berücksichtigung des Talsperrenbetriebs ergibt sich für den heutigen Klimazustand:

- Die vier Gewässerabschnitte zeigen im Winterhalbjahr bei S0 Abflussabminderungen zwischen 5 und maximal 20 %. Im Sommerhalbjahr liegen die Abminderungen infolge Retentionen ohne ausgewiesenen Hochwasserrückhalteraum bei maximal 6 %.

- Die Ausweitung der Hochwasserrückhalteräume auf Sorpe-, Verse- und Ennepetalsperre im Winterhalbjahr (S3) haben vorwiegend eine örtliche Hochwasserschutzwirkung. Aufgrund der kleinen Talsperreneinzugsgebiete geht die Wirkung entlang von Lenne und Ruhr deutlich zurück. Lediglich im direkten Einflussbereich der Sorpetalsperre ist an der Ruhr unterhalb der Röhr eine zusätzliche Abflussabminderung von bis zu 4 % vorhanden. Die Ennepetalsperre bewirkt eine Abminderung von bis zu 5 % im Mündungsbereich der Volme. Nach dem Zusammenfluss mit der Ruhr ist ihre Wirkung vernachlässigbar. Ebenso ist der Einfluss der Versetalsperre auf die Abflüsse entlang der Lenne sehr gering (≤ 1%).

- Die Ausweitung des Hochwasserrückhalteraums im Sommerhalbjahr bei S3 bewirken entlang der Ruhr vergleichbare Abminderungen wie im Winterhalbjahr, entlang der Lenne sind sie etwas geringer. Im Vergleich zu S0 (kein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum) ergibt sich bei S3 im direkten Einflussbereich der Hennetalsperre an der Ruhr unterhalb der Henne eine Abflussabminderung von etwa 5 %, die bis zur Einmündung der Röhr abnimmt. An der Ruhr unterhalb der Röhr ist infolge von Henne- und Sorpetalsperre eine Abminderung von 5 bis 10 % vorhanden. Durch den zusätzlichen Einfluss der Möhnetalsperre ergibt sich an der Ruhr zwischen Möhne und Lenne eine Abflussabminderung von 10 bis 15 %. An der Lenne ergeben sich Abminderungen von bis zu 5 %. Der Einfluss der Ennepetalsperre auf die Abflüsse der Volme ist sehr gering (≤ 1%). An der Ruhr unterhalb von Lenne und Volme bis zur Ruhrmündung betragen die Abflussabminderungen 5 bis 8 %.

- Auf Basis der Tageswertzeitreihen treten in weiten Bereichen des Ruhreinzugsgebiets die größten Hochwasserereignisse über die gesamten Jährlichkeiten im Winterhalbjahr auf. Im

Einzugsgebiet der Möhne dagegen dominieren ab der Jährlichkeit $T_n = 20$ a die Sommerhochwasser. So kann durch Ausweisung eines Hochwasserrückhalteraums im Sommerhalbjahr bei der Möhnetalsperre auch das Jahreshochwasserereignis reduziert werden. In Kombination mit dem Rückhalteraum an der Sorpetalsperre ergibt sich hieraus an der Ruhr zwischen Möhne und Lenne eine zusätzliche Gesamtwirkung von im Mittel etwa 7 %.

Für den möglichen zukünftigen Klimazustand zeigt Tabelle 1, dass die Hochwasserschutzwirkung der Talsperren nahezu unverändert bestehen bleibt. Dies ist darin begründet, dass sich infolge des untersuchten zukünftigen Klimaszenarios große Hochwasserereignisse nur unwesentlich verändern.

Auswirkung des Talsperrenbetriebs auf den verfügbaren Hochwasserrückhalteraum

Infolge des Talsperrenbetriebs steht neben dem ausgewiesenen gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum ein zusätzlicher betriebsbedingter Freiraum zur Verfügung. Dieser Freiraum zeigt einen ausgeprägten Jahresgang. Mit Berücksichtigung des Talsperrenbetriebs ergibt sich:

- Für den heutigen Klimazustand und den heute festgelegten Hochwasserrückhalteräumen (S0) ergibt sich infolge des Talsperrenbetriebs in den Monaten April bis September an allen Talsperren ein Freiraum, der im Mittel etwa der Hälfte des bei S3 (erweiterter Hochwasserrückhalteraum entsprechend Vorschlag Deltares) geforderten Rückhalteraums entspricht.
- Bei der Steuerung S3 nimmt betriebsbedingt vor allem in den Sommermonaten der Freiraum in den Talsperren weiter zu. Somit steht für die Hochwasserrückhaltung ein größerer Rückhalteraum zur Verfügung, als die Vorgabe S3 fordert. Deswegen wäre zu überlegen, ob nicht eine Festlegung des freizuhaltenden Hochwasserrückhalteraums unter Berücksichtigung der Betriebssteuerung sinnvoll wäre.
- Die Simulationen für den möglichen zukünftigen Klimazustand (Klimaszenario K1) ergeben, dass in den Sommermonaten (Juni/Juli bis Oktober/November) an allen Talsperren tendenziell ein größerer Freiraum infolge des Talsperrenbetriebs zu erwarten ist. In den Monaten Dezember bis Februar/März tritt dagegen eine Reduktion dieses Freiraums auf.

Auswirkung der Bewirtschaftungsstrategie auf die Betriebssicherheit des Talsperrensystems in Niedrigwasserperioden

Für die Abschätzung der Betriebsicherheit des Talsperrensystems in Niedrigwasserperioden wurde das Talsperrensystem mit den abgeleiteten synthetischen Niederschlags- und Temperaturzeitreihen (Basisszenario sowie Klimaszenarien K1 und K4) jeweils über den gesamten Zeitraum von 4.000 Jahren simuliert. Anhand der Ausfallwahrscheinlichkeit der Talsperren kann im Vergleich zum Referenzszenario (Ist-Zustand sowohl für Bewirtschaftungsstrategie als auch Klimaszenario) eine Aussage über die Auswirkung der verschiedenen Szenarien auf die Leistungsfähigkeit der Talsperren im Einzelnen sowie des Talsperrensystems im Ganzen getroffen werden. Zu den verwendeten Bewirtschaftungsstrategien zählten eine Erhöhung der mittleren Wasserentziehung um 15 % von 8 m^3/s auf 9,3 m^3/s, eine Ausweitung des Hochwasserschutzraums (HWSR) auf alle Talsperren und die Sommermonate (S3), eine Absenkung des Grenzwerts für den Mindestwasserabfluss am Pegel Villigst von 8,4 m^3/s auf 6,6 m^3/s sowie verschiedene Kombinationen dieser drei Bewirtschaftungsstrategien. Insgesamt wurden zwölf mögliche Szenarienberechnungen betrachtet.

Die Szenarienberechnungen wurden hinsichtlich der Ausfallereignisse der Talsperren ausgewertet. Ein Ausfallereignis wird dann festgestellt, wenn der Inhalt einer Talsperre zwei Prozent des vorhandenen Speichervolumens unterschreitet. Anhand der Anzahl der Ausfallereignisse im Gesamtsimulationszeitraum von 4.000 Jahren kann jeder Talsperre eine Ausfallwahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Die Ergebnisse der Auswertung aller Szenarienberechnungen sind für die Möhnetalsperre (stellvertretend für die Nordgruppe) in Tabelle 2 und für die Biggetalsperre (stellvertretend für die Südgruppe) in Tabelle 3 zusammengefasst. In den Tabellen ist farblich hervorgehoben, ob die entsprechende Kombination von Klimaszenario und Bewirtschaftungsstrategie(n) hinsichtlich der Anzahl der Ausfallereignisse im Vergleich zum Ist-Zustand eine Verschlechterung (rot eingefärbt) oder eine Verbesserung (grün eingefärbt) darstellt. Bei gleichbleibender Anzahl sind die entsprechenden Zellen gelb eingefärbt. Es ist hierbei zu beachten, dass sich bei gleichbleibender Anzahl der Ausfallereignisse die Gesamtunterschreitungsdauer durchaus verändert haben kann.

Tabelle 2: Übersicht der Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Möhnetalsperre für alle Szenarien

Klimaszenario / Bewirtschaftungsstrategie	Ist-Zustand (Wiederkehrintervall in Jahren)	K1 WETTREG (N, T) (Wiederkehrintervall in Jahren)	K4 REMO (T) (Wiederkehrintervall in Jahren)
Ist-Zustand	500	500	190
S1 Erhöhung Entziehung	400	308	167
S3 Ausweitung HWSR	444	444	174
S7 Reduktion Grenzwert Villigst	> 4.000	> 4.000	333
S1S3 Entziehung & HWSR	286	286	138
S1S3S7 Entziehung, HWSR & Villigst	800	> 4.000	286

Legende
- **Keine Veränderung im Vergleich zum Ist-Zustand**
- Verminderung der Anzahl der Ereignisse im Vergleich zum Ist-Zustand
- Erhöhung der Anzahl der Ereignisse im Vergleich zum Ist-Zustand

Tabelle 3: Übersicht der Ausfallwahrscheinlichkeiten für die Biggetalsperre für alle Szenarien

Klimaszenario / Bewirtschaftungsstrategie	Ist-Zustand (Wiederkehrintervall in Jahren)	K1 WETTREG (N, T) (Wiederkehrintervall in Jahren)	K4 REMO (T) (Wiederkehrintervall in Jahren)
Ist-Zustand	> 4.000	> 4.000	400
S1 Erhöhung Entziehung	> 4.000	> 4.000	286
S3 Ausweitung HWSR	> 4.000	> 4.000	364
S7 Reduktion Grenzwert Villigst	> 4.000	> 4.000	571
S1S3 Entziehung & HWSR	2.000	4.000	267
S1S3S7 Entziehung, HWSR & Villigst	4.000	> 4.000	308

Legende
- **Keine Veränderung im Vergleich zum Ist-Zustand**
- Verminderung der Anzahl der Ereignisse im Vergleich zum Ist-Zustand
- Erhöhung der Anzahl der Ereignisse im Vergleich zum Ist-Zustand

Hinsichtlich der Auswirkungen der Klimaänderung auf das Ruhrtalsperrensystem ist festzuhalten, dass sich Klimaszenario K1 (WETTREG) insgesamt leicht entlastend auswirkt. Klimaszenario K4 (REMO) wirkt dagegen insgesamt belastend auf das Talsperrensystem. Die entlastende Wirkung von WETTREG resultiert aus der Umverteilung des Niederschlags vom Sommer in den Winter und einer damit verbundenen schnelleren Auffüllung der Talsperren im Winter. Dieser Effekt macht sich insbesondere in der Reduzierung der Ausfalldauer bemerkbar.

Bei Untersuchung der Auswirkung der unterschiedlichen Bewirtschaftungsstrategien stellte sich heraus, dass sowohl eine Erhöhung der Entziehung als auch eine Ausweitung der Hochwasserschutzräume sich auf das gesamte Talsperrensystem belastend auswirken. Die Erhöhung der Entziehung wirkt sich dabei stärker aus als die Ausweitung der Hochwasserschutzräume. Eine Reduktion des Grenzwerts am Pegel Villigst wirkt entlastend auf die Nordgruppe, wodurch das Gesamtsystem gleichmäßiger belastet wird. Die Reduzierung des Grenzwerts hat eine signifikante Verbesserung der Versorgungssicherheit der Nordgruppe zur Folge. Bei Kombination aller drei Bewirtschaftungsstrategien kann in der Nordgruppe ein großer Teil der belastenden Wirkung, die sich durch die Erhöhung der Entziehung und die Ausweitung des Hochwasserschutzraumes ergibt, durch die Reduktion des Grenzwerts am Pegel Villigst abgefangen werden.

Literaturverzeichnis

IWK (2002): Umstellung der Talsperrenbewirtschaftung für Niedrig- und Mittelwasserabflüsse auf Echtzeitbetrieb. Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe (TH).

MPI (2007): REMO Homepage des MPI: http://www.mpimet.mpg.de/home.html.

UBA (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht Umwelt Bundesamt.

WL (2006): Langzeitbewirtschaftungsanalyse Ruhrtalsperrensystem. WL | Delft Hydraulics, Delft.

WL (2007): Klimafolgenanalyse Ruhrtalsperrensystem. WL | Delft Hydraulics, Delft.