

Erstellung eines komplexen Flussgebietsmodells für die Havel

Bernd Pfützner

1 Fragestellung

Eine wesentliche Aufgabe der Gewässerbewirtschaftung besteht darin, Methoden und Verfahren zu entwickeln und bereitzustellen, die zeigen, welche Veränderungen in wasserwirtschaftlichen Systemen vorzunehmen sind, um mit den dort vorhandenen natürlichen Wasserressourcen den Wasserbedarf aller Nutzer zu befriedigen und gleichzeitig den erforderlichen Schutz vor schädigenden Auswirkungen zu gewährleisten. Wasserbewirtschaftung ist folglich durch das Ineinandergreifen von kurz-, mittel- und langfristigen Steuerungs-, Bewirtschaftungs- und Planungsinstrumentarien charakterisiert. Ihre Aufgaben und Ziele haben sich in den letzten Jahren allerdings geändert. Wurde in den vergangenen Jahrzehnten Gewässerausbau vorwiegend nach technischen Gesichtspunkten betrieben, so ist heute auch die Berücksichtigung ökologischer Belange unerlässlich, wobei ein für den Menschen und seine Umwelt gleichermaßen tragbarer Kompromiss gefunden werden muss.

In der Vergangenheit wurden in Brandenburg Niederungen, Feuchtgebiete und Moore großflächig entwässert, um sie für den Ackerbau nutzbar zu machen - ein Eingriff, der Landschaft und Wasserhaushalt irreversibel verändert hat. Den Höhepunkt bildete die in den 1960er Jahren einsetzende Komplexmelioration zur landwirtschaftlichen Nutzung aller Flächen. Diese ist heute nicht mehr notwendig. Vielmehr steht der Rückbau von wasserbaulich veränderten Gewässern in ihren ehemaligen natürlichen Zustand im Vordergrund. So fordern das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), bis Ende 2015 in allen Gewässern einen „guten Gewässerzustand“ zu erreichen. Die WRRL enthält viele neue Aspekte, die zukünftig die Gewässerbewirtschaftung europaweit prägen werden. So sind alle Gewässer nunmehr flussgebietsbezogen zu bewirtschaften, wobei nicht mehr administrative Grenzen sondern hydrologische Bedingungen maßgebend sind.

Mit 2.803 Gewässern > 1 ha ist Brandenburg eines der gewässerreichsten Bundesländer. Etwa 4 % der Landesfläche sind Seen, und ein dichtes Netz an Fließgewässern mit insgesamt 32.000 km Fließstrecke durchzieht die Landschaft. Trotzdem herrscht auf Grund der geringen Niederschläge vielerorts Wassermangel und die Flusseinzugsgebiete weisen sehr niedrige Abflussspenden auf.

Gegenstand der vom Teilprojekt 4 durchgeführten Untersuchungen war die Frage, ob, inwieweit und durch welche wasserwirtschaftlichen Maßnahmen sich angesichts der schwierigen Wasserhaushaltssituation im Havelgebiet die Gewässergüte verbessern lässt. Insbesondere in sommerlichen Trockenperioden kommt es in der unteren Havel zu Stagnationsperioden, in denen Durchfluss und Fließgeschwindigkeiten stark absinken und die Wasserqualität abnimmt. Eine Möglichkeit, diese Niedrigwasserperioden zu mindern, liegt im Ausgleich innerjähriger Abflussschwankungen, d.h. der Speicherung von „Überschusswasser“ in Abflussbildungsperioden, vor allem im Winter, und der gezielten Wasserabgabe in Niedrigwas-

serperioden. Dazu können Speicherkapazitäten im Gewässersystem geschaffen bzw. vorhandene aktiviert oder der Wasserrückhalt im Einzugsgebiet erhöht werden. Eine Vergleichmäßigung des Abflussregimes hat neben der Minderung der negativen Folgen sommerlicher Niedrigwasserperioden aber auch ungünstige Auswirkungen auf die oberliegenden Gewässer und das Einzugsgebiet, da sie mit einer erhöhten Gebietsverdunstung durch ansteigende Grundwasserstände, einer Verringerung der Abflussdynamik und einer Verminderung von „Spüleffekten“ im Hochwasserfall verbunden ist. Die erhöhte Gebietsverdunstung hat Auswirkungen auf die Gesamtwasserbilanz, so dass nur ein Teil des im Winter zurück gehaltenen Wassers im Sommer zum Ausgleich der Abflussdefizite zur Verfügung steht. Die verringerte Abflussdynamik wirkt sich auf die Biotope im Auenbereich aus, die wechselnde Wasserstände bis hin zu Vorlandüberflutungen benötigen. Ein Ausbleiben der Spüleffekte führt u.a. zu Verschlammungen der Gewässersohle mit vielfältigen Auswirkungen auf den Stoffhaushalt und die Lebensbedingungen aquatischer Organismen. Welche Möglichkeiten zur Verbesserung der gewässerökologischen Situation im Einzugsgebiet der Havel dennoch denkbar und umsetzbar sind, soll nachfolgend dargestellt werden.

2 Wissenschaftliche Teilziele

Kernziel bei den Untersuchungen der Steuermöglichkeiten des Wasserhaushalts war die Erstellung eines Flussgebietsmodells für die Havel, mit dem sowohl das gegenwärtige als auch das natürliche Abflussregime sowie die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse abgebildet werden können. Mit Hilfe dieses Modells wurden u.a. die Auswirkungen verschiedener Optionen zur Erhöhung der Gebietsrückhaltes hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Abflusserhöhung, aber auch hinsichtlich der geschilderten negativen Effekte einer Abflussvergleichmäßigung untersucht. Im Mittelpunkt standen dabei Berechnungen zu den Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen auf den Gebietswasserhaushalt, besonders auf den Abfluss, die Verdunstung und die Grundwasserneubildung. Dazu waren Möglichkeiten des Wasserrückhaltes in der Fläche aufzuzeigen, die einen Rückhalt in Niedrigwasserperioden gewährleisten. Mit der Berechnung der Handlungsoptionen, die als Szenarios in das Modell eingingen, wurde untersucht, ob und durch welche wasserwirtschaftlichen Maßnahmen die Ziele der WRRL erreicht werden können. Als Szenarios wurden Änderungen der Wehrsteuerung, ein Wehrrückbau und die Reduzierung bzw. der Rückbau des Gewässernetzes untersucht. Hierbei waren auch die Auswirkungen auf die Grundwasserstände und ihre Ausdehnung in der Fläche von Interesse. Analysiert wurden auch die Auswirkungen einer geänderten Landnutzung auf den Gebietswasserhaushalt. Hierzu wurden detaillierte Informationen zur bestehenden Landnutzung und ihren möglichen Veränderungen übernommen, die vom Teilprojekt 9 für ein Teilgebiet der Havel unter Einbeziehung aller Nutzer erstellt wurden. Die Untersuchungen für das gesamte Einzugsgebiet wurden durch detaillierte Analysen im Gebiet „Obere Nuthe“ sowie dessen Teilgebiet „Hammerfließ“ untersetzt.

3 Forschungsansatz/Methodik

Programmtechnische Grundlage für das Flussgebietsmodell war das hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO® (PFÜTZNER 2001, PFÜTZNER 2002, BECKER u.a. 2002), das in zahlreichen früheren Untersuchungen erfolgreich in Gebieten unterschiedlichster Ausprä-

gung und Größe eingesetzt wurde und das auf Basis meteorologischer Eingangsgrößen und unter Berücksichtigung der Gebietseigenschaften alle maßgeblichen Prozesse des regionalen Wasserhaushaltes simuliert. Als Basismodell wurde das im Elbeökologie-Projekt (BECKER & LAHMER 2004) erstellte Niederschlag-Abfluss-Modell für die obere Havel verwendet. Es ist szenarienfähig, d.h. in der Lage, u.a. die Auswirkungen geänderter Flächennutzungen auf die Abflussbildung flächendifferenziert und in hoher zeitlicher Auflösung abzubilden. Für die Untersuchungen wurde dieses Basismodell wesentlich erweitert, um Managementmaßnahmen im Einzugsgebiet abbilden und ihre Auswirkungen auf die Abflussprozesse im Gewässersystem abschätzen zu können. Dazu wurde das Modell um folgende Komponenten ergänzt/präzisiert:

- Berücksichtigung aller wesentlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Abbildung des Einflusses wasserwirtschaftlicher Bauten
- Berücksichtigung der Gewässer- und Seeretention zur angemessenen Beschreibung der Fließ- und Speicherprozesse im Gewässersystem
- Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser.

Um die Wirkungen einer gezielten Bewirtschaftung von Wehren und Schöpfwerken abschätzen und die Auswirkungen von Managementoptionen abbilden zu können, waren nach Möglichkeit alle relevanten Bauwerke mit Möglichkeiten zur Durchflusssteuerung in das Modell zu integrieren. Dazu gehören u.a. Wehre, Schöpfwerke, Becken, Talsperren und Speicher, Pumpstationen und Durchlässe. Um belastbare Antworten auf die im Rahmen der WRRL gestellten Fragen zu erhalten, musste das Flussgebietsmodell weiterhin folgenden Anforderungen genügen:

- Verwendung landesweit verfügbarer Datenbestände
- Aussagen für WRRL-relevante Einheiten
- Räumliche Diskretisierung auf der Basis der LAWA-Terminologie.

Die Modellansätze wurden auf die existierenden Datenbestände abgestimmt, wobei vor allem solche Ansätze eingesetzt bzw. entwickelt/modifiziert wurden, die mit den vorhanden, i.d.R. in den Landesämtern vorgehaltenen Datenbeständen parametrisierbar sind. Dies schloss aber nicht aus, dass in besonders sensiblen Regionen oder für repräsentative Teilgebiete Untersuchungen unter Nutzung detaillierterer Datenaufnahmen durchgeführt wurden.

Zur Abbildung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse und zur Integration von Gewässernutzungen in das Flussgebietsmodell wurden umfangreiche Detailinformationen benötigt. Um die Wirkung von gewässerbezogenen Bewirtschaftungsmaßnahmen abbilden zu können, war es z.B. notwendig, die Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächengewässern im Modell zu berücksichtigen. Notwendig war somit die Integration eines Grundwassermodells. Erste Modellierungen im Fokusgebiet Hammerfließ zeigten, dass die Anforderungen an die Datenbasis und das Modell immens waren, so dass sich eine havelweite, prozessnahe Modellierung als grundsätzlich nicht möglich herausstellte. Verfolgt wurde deshalb das Kon-

zept, Detailuntersuchungen im Hammerfließ durchzuführen, um wenigstens dort die Mindestanforderungen an die Daten erfüllen zu können, und anschließend die wesentlichen Zusammenhänge auf das Gesamtgebiet zu übertragen.

4 Ergebnisse

4.1 Untersuchungen im Modellgebiet Obere Nuthe

Zur Umsetzung der WRRL wurden im Modellgebiet „Obere Nuthe“ (575 km²) die Auswirkungen geänderter Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Wasserhaushalt untersucht. Abbildung 1 zeigt das Gewässernetz und die wasserwirtschaftlichen Bauwerke in diesem Gebiet. Änderungen der Wehrsteuerung und Gewässerbewirtschaftung konnten wegen der schlechten Datenlage allerdings nur im Teileinzugsgebiet des Hammerfließes studiert werden. Die Abflussdynamik des Gebietes ist durch Stauhaltungen geprägt, die zu Konflikten zwischen Ober- und Unterliegern führen. Die von der Kultivierung durch Staubewässerung betroffene landwirtschaftliche Fläche beträgt 94 km² (16 %). 42,8 km² der Gesamtfläche werden beregnet und 0,9 km² sind drainiert.

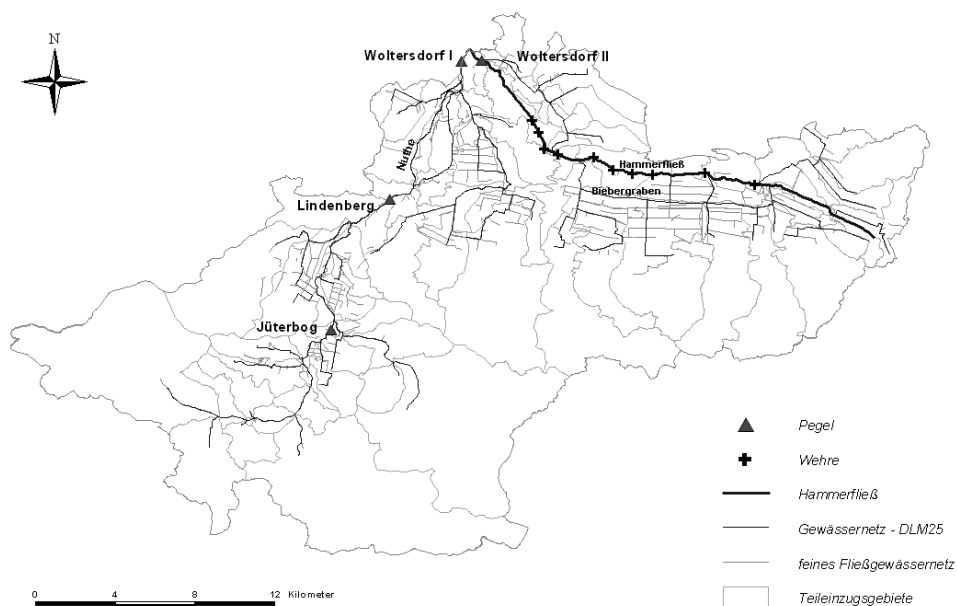


Abb. 1: Gewässernetz und wasserwirtschaftliche Bauwerke in der „Oberen Nuthe“

Bei der Berechnung von Szenarios wurden verschiedene Handlungsoptionen betrachtet und bewertet, wobei eine Änderung bzw. völlige Aufgabe der Wehrsteuerung, der Rückbau von Entwässerungsgräben sowie Änderungen der Landnutzung im Vordergrund standen. Zur Abbildung dieser Optionen wurde in das Modellierungssystem ArcEGMO das Grundwassermodell ASM (Kinzelbach & Rausch 1995) und ein Bewirtschaftungsmodell integriert. Zur Verifizierung der berechneten Grundwasserhöhen standen 23 Grundwasserpegelmessstellen zur Verfügung. Mit dem gekoppelten Ansatz wurden Wasserhaushaltsberechnungen für das Modellgebiet durchgeführt. Als Ausgangszustand für mögliche Bewirtschaftungsänderungen wurde dazu zunächst die nicht bekannte Wehrsteuerung der Vergangenheit rekonstruiert.

Das Gesamtmodell erwies sich als geeignet, die weiter unten detaillierter beschriebenen Handlungsoptionen abzubilden.

4.2 Untersuchungen im Gesamtgebiet

Für die Untersuchungen im gesamten Havelgebiet konnte auf Erfahrungen zurückgegriffen werden, die in den vergangenen Jahren bei der Erstellung einer Vielzahl von NA-Modellen für Brandenburger Einzugsgebiete gewonnen wurden. Großräumige Wasserhaushaltsanalysen wurden z.B. bei flächendeckenden Untersuchungen zu mittleren Wasserhaushaltsgrößen (LAHMER et al. 2000) oder Trendanalysen (LAHMER & PFÜTZNER 2003) durchgeführt. Das Ziel bei der Modellierung bestand vor allem darin, unter Verwendung der derzeit fundiertesten Basisdaten eine möglichst gute Abbildung der räumlichen Verteilung der Wasserhaushaltsgrößen und Abflussverhältnisse zu erreichen. Als Grundlage für die Modellierungen ergab sich ein äußerst komplexes GIS-Datenmodell. Unter seiner Nutzung erfolgte die Parametrisierung des Modells, die im Zuge einer Modellkalibrierung für etwa 10 Gebiete mit möglichst gering anthropogen beeinflussten Abflussverhältnissen präzisiert wurde. In den anschließenden Modellrechnungen (Zeitraum 1981 - 2000) wurden für alle 6.474 Teileinzugsgebiete und 11.723 Gewässerabschnitte Abflusszeitreihen in täglicher Auflösung erzeugt, daraus Abflussspenden berechnet und diese primärstatistisch zur Ermittlung verschiedener Zielgrößen ausgewertet. Die Rechnungen basierten auf einer Hydrotopklassifizierung mit insgesamt 31.120 Hydrotopen, die auch Grundlage für die Berechnung räumlicher Verteilungen verschiedener Wasserhaushaltsgrößen waren. Grundanforderung bei den Simulationsrechnungen war, die Modellierung unter Berücksichtigung aller relevanten Nutzungen (z.B. Einleitungen, Entnahmen, Überleitungen, Einspeisungen in Kanäle) mit einer einheitlichen Parametrisierung der Abflussbildungsparameter durchzuführen, den Abfluss der Havel dabei möglichst gut abzubilden und die Abflussbildungsbedingungen in allen Teilgebieten korrekt zu erfassen. Dies erforderte neben der Erweiterung der Pegelliste auch die flächendeckende Modellierung ursprünglich von der Modellierung ausgeschlossener, anthropogen stark überprägter Gebiete. Insgesamt konnten so die mittleren Abflussspenden für 41 Pegel mit Abweichungen kleiner $\pm 30\%$ vom Messwert simuliert werden. Die Modellläufe zeigten aber auch die grundlegende Problematik, die sich aus der in großräumigen Modellen naturgemäß vereinfachten Abbildung der Grundwasserverhältnisse und der nur unzureichenden Berücksichtigung von Wassernutzungen für Einzugsgebiete im Tiefland ergibt. So wird der für das Nuthegebiet gemessene Abfluss durch das großskalige Modell deutlich unterschätzt. Sensitivitätsanalysen zum Einfluss meteorologischer Randbedingungen zeigten darüber hinaus, dass in Gebieten mit sehr angespannter klimatischer Wasserbilanz geringe Modifikationen der Korrekturfaktoren für Niederschlag und potenzielle Verdunstung sehr schnell Änderungen in der Abflusshöhe von 20% bedeuten können.

4.3 Bewirtschaftungsmöglichkeiten auf verschiedenen Skalen

Ziel der in der Oberen Nuthe und dessen Teilgebiet Hammerfließ durchgeführten Untersuchungen war es, die angespannte wasserwirtschaftliche Situation zu verbessern. Während sich das natürliche Wasserdargebot nicht erhöhen lässt, kann der über die Nutzungsansprüche gesteuerte Wasserbedarf ggf. optimiert werden. Die Steuermöglichkeiten umfassen

Wehre und Stauanlagen, Oberflächen- und Grundwasserspeicher, Entwässerungsgräben, Bewässerung, die Entnahme von Oberflächen- und Grundwasser, die Gewässermorphologie und die Landnutzung. Alle wesentlichen Nutzer waren deshalb mit ihrem Wasserbedarf abzubilden und die von den Nutzern geschaffenen Steuermöglichkeiten im Fließgewässer zu analysieren. Im Einzugsgebiet des Hammerfließes gibt es 7 Nutzungsgruppen mit insgesamt 47 Nutzungen (vgl. Abbildung 2). Nutzer, Nutzungsarten und Nutzungsmengen sind Teil der GRM-Daten, die dem Langzeitbewirtschaftungsmodell ArcGRM (WASY GmbH) entnommen wurden und als genehmigte Einleitungen/Entnahmen für die Jahre 1969 bis 1994 vorlagen. Die tatsächlich entnommenen und zurückgeführten Wassermengen waren dagegen unbekannt. Gleiches galt für die Stau- und Beregnungsbewässerung.

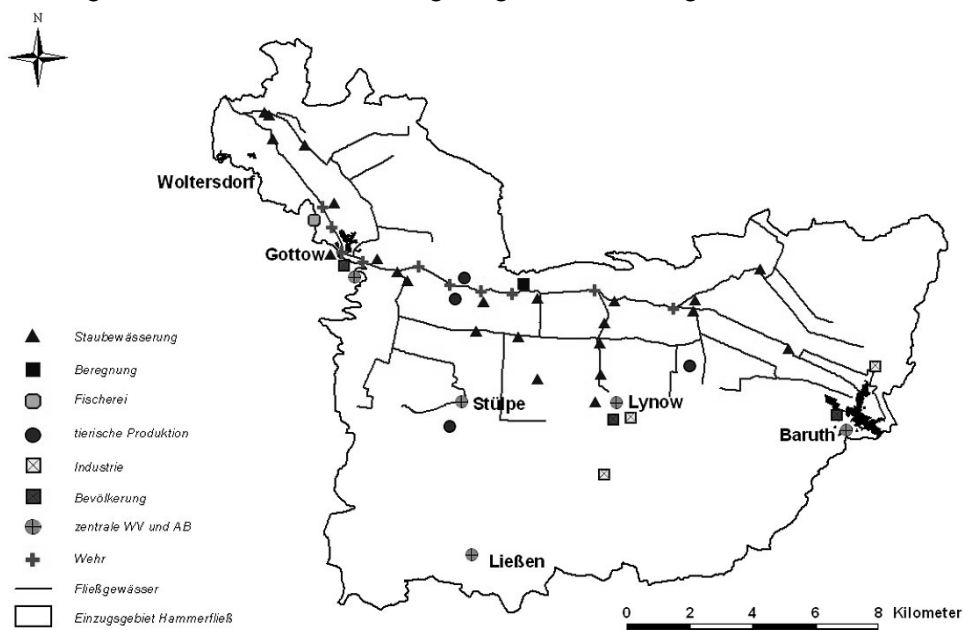


Abb. 2: Nutzer im Hammerfließ (Zeitraum 1969 bis 1994)

Obwohl das erstellte Modell prinzipiell in der Lage war, die Staubewässerung und die Nutzungsverluste abzubilden, konnten die Nutzer wegen der unzureichenden Datengrundlage nicht in das Modell integriert werden. Deshalb wurden Möglichkeiten der Gewässerbewirtschaftung anhand sog. „Handlungsoptionen“ über Szenarios simuliert. Betrachtet wurden die Auswirkungen der Handlungsoptionen (1) Erhöhung des Winterstaus, (2) Rückbau von Wehren, (3) Reduzierung des Gewässernetzes und (4) Änderung der Landnutzung auf die Wasserhaushaltsgrößen Abfluss, Verdunstung und Grundwasserneubildung. Die Obere Nuthe wird derzeit durch 31 Wehren und über 200 Stauanlagen geprägt. Von den 13 im Einzugsgebiet des Hammerfließes liegenden Wehren wurden nur die 10 im Hauptflusslauf befindlichen in das Modell integriert. Da keine Aufzeichnungen zur ihrer Steuerung vorlagen, musste die Wehrsteuerung der Vergangenheit rekonstruiert werden. Die Ergebnisse zeigten, dass sich über die rekonstruierten Stauhöhen die gemessenen Wasserstände und die Wirkungen der Wehrsteuerung auf das Grundwasserregime nachbilden ließen. Mit der rekonstruierten Wehrsteuerungen wurden anschließend die Wirkungen der vier o.g. Szenarios untersucht.

Die Erhöhung des Winterstaus (Szenario 1) soll durch einen zusätzlichen Wasserrückhalt den sommerlichen Niedrigwasserperioden entgegenwirken. Zu zeigen war, ob und wie lange Wasser während der Winterperiode im Gebiet zurückgehalten werden kann und wie viel von der zusätzlich eingestauten Wassermenge verdunstet. Abbildung 3 zeigt die flächenhaften Auswirkungen einer Erhöhung des Winterstaus um 40 cm, die zu einer Erhöhung des Grundwasserspiegels insbesondere im Bereich der Wehre führt. Das Volumen der Wassermenge, das zusätzlich im Gebiet gehalten werden kann, beträgt bei einer Stauerhöhung von 10 cm allein für das Wehr Gottow ca. 17.000 m³.

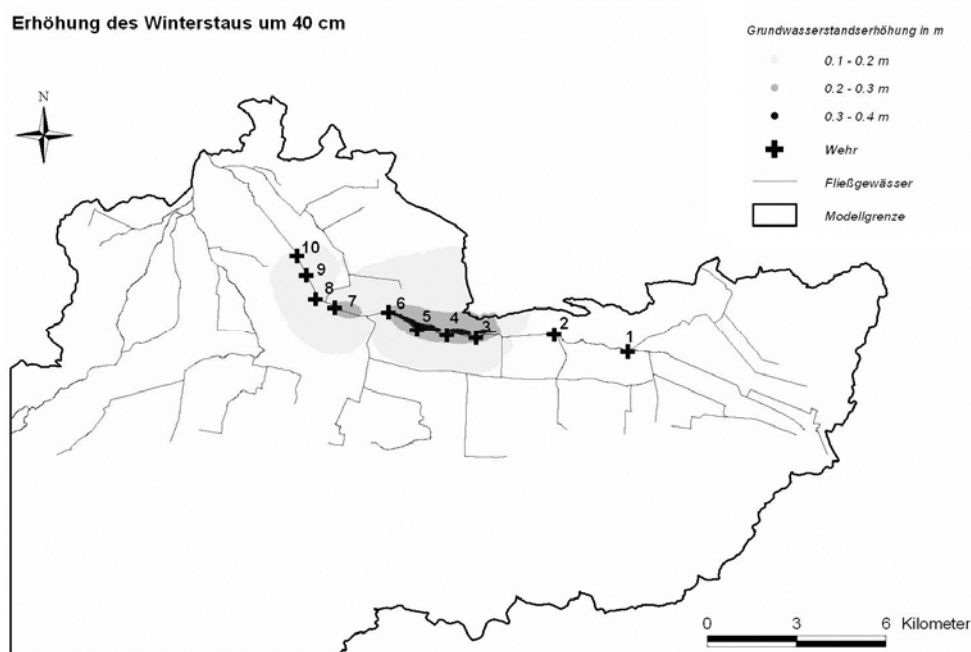


Abb. 3: Auswirkungen der Erhöhung des Winterstaus in der Fläche (Hammerfließ)

Im Szenario 2 wurde der Rückbau von Wehren simuliert. Grundsätzlich bewirkt dieser ein Sinken des Grundwasserstandes. Erwünschte Effekte sind dagegen die Wiederherstellung der Durchgängigkeit und Natürlichkeit der Fließgewässer. Dem gegenüber steht der Verlust des Wasserrückhaltes in der Fläche. Der Rückbau sollte deshalb nicht als isolierte Handlungsoption betrachtet werden, sondern durch Ersatzmaßnahmen wie den Rückbau zu Sohlrampen und/oder die Verschüttung von kleinen Meliorationsgräben begleitet werden. Die in Abbildung 4 dargestellte Differenz der Grundwasserflurabstände mit und ohne Wehre verdeutlicht, dass die Grundwasserflurabstände mit dem Rückbau im direkten Bereich der Wehre um mehr als einen Meter sinken. Die Reduzierung des Gewässernetzes (Szenario 3) betrachtet die Umkehrung der im letzten Jahrhundert durchgeführten Komplexmelioration durch Zuschüttung der vielen kleinen Entwässerungsgräben, wodurch eine Rückführung der Gewässer in den naturnahen Zustand erfolgt. Gleichzeitig wurde auch ein Rückbau der Wehre angenommen. Das Szenario führt zu einer deutlichen Verringerung der Grundwasserflurabstände, da die Dränagewirkung entfällt und sich der Grundwasserstand erhöht. Der Anteil grundwassernaher Flächen erhöht sich durch die Reduzierung des Gewässernetzes von 9 % auf 43 %, wobei das Grundwasser auf einer Vielzahl von Flächen über Flur steht. Im Szenario

rio 4 wurde eine Änderung der Landnutzung mit dem Ziel der Verbesserung der Gewässergüte und der Maximierung des Wasserrückhaltes betrachtet. Von den insgesamt sechs vom Teilprojekt 9 bereitgestellten Szenarios wurden zwei näher untersucht. Sowohl das Szenario „Gute fachliche Praxis“ als auch das Szenario „Bestmögliche Wassergüte“ führten zu nur geringen Änderungen von Wasserhaushaltsgrößen.

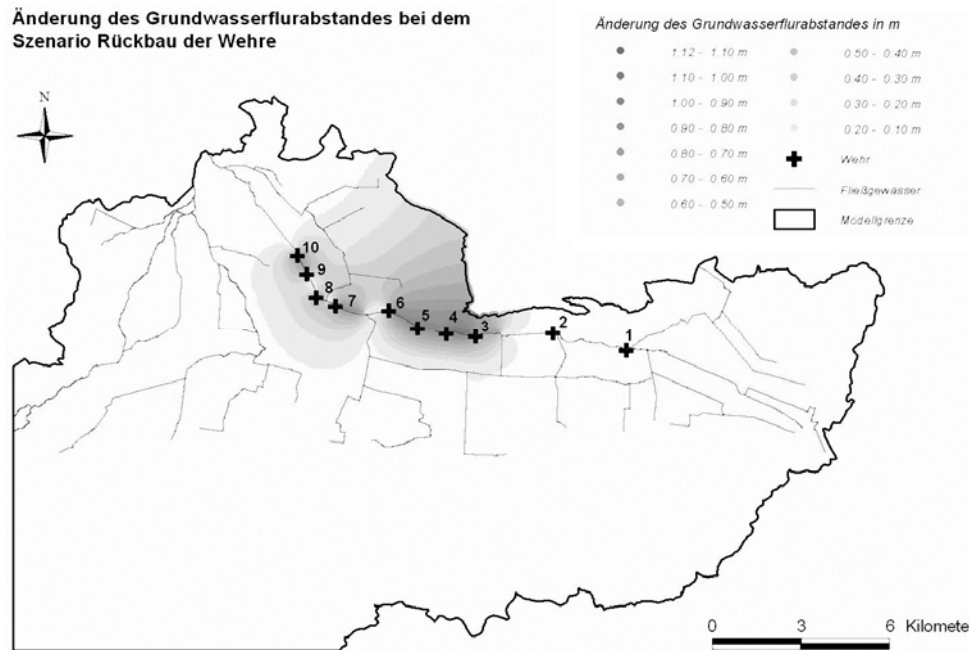















Abb. 4: Änderungen des Grundwasserflurabstandes im Szenario „Rückbau der Wehre“

Tabelle 1 enthält eine zusammenfassende Bewertung aller im Einzugsgebiet der Oberen Nuthe untersuchten Szenarios aus wasserwirtschaftlicher und ökologischer Sicht. Danach ist die Winterstauerhöhung wasserwirtschaftlich prinzipiell positiv zu bewerten. Allerdings müssen die Gewässerprofile die Erhöhung auch zulassen. Aus ökologischer Sicht würde sich die Durchgängigkeit des Gewässers noch weiter verschlechtern. Eine Änderung der Wehrsteuerung bis hin zur Aufgabe von Wehren hat einen nur geringen Einfluss auf die untersuchten Wasserhaushaltsgrößen. Der Rückbau von Wehren ist wasserwirtschaftlich negativ zu betrachten, da der Wasserrückhalt im Gebiet wegfällt und die Grundwasserstände sinken. Um weiterhin Wasser im Gebiet zu halten, müssten Ersatzmaßnahmen wie Sohlgleiten oder -rampen geschaffen werden. Ökologisch ist der komplette Rückbau der Wehre für Durchgängigkeit und Natürlichkeit der Gewässer dagegen positiv.

Eine größere Auswirkung auf den Wasserhaushalt hat die Reduzierung des Gewässernetzes, die zu einer Erhöhung der Verdunstung und zu einem Sinken des Abflusses führt. Eine vollständige Reduzierung ist deshalb für den Gebietswasserhaushalt ungünstig. Kritisch zu betrachten sind aus sozioökonomischer Sicht auch mögliche Konflikte mit den Landeigentümern, die ihre Flächen nicht mehr nutzen können. Andererseits würde eine Gewässernetzausdünnung in der Niederung die Wiederentwicklung ehemaliger natürlicher Moore befördern. Hier sind dann aber auch Stoffhaushaltsprobleme zu beachten, die bei der Umwand-

lung landwirtschaftlich belasteter Flächen in wiedervernässte Niederungen auftreten können. Die Option, die Gräben nur zur Hälfte der Profiltiefe zuzuschütten, ist dagegen wasserwirtschaftlich und ökologisch positiv zu sehen, da dann auf einigen Flächen noch Landwirtschaft betrieben und auf anderen die Rückführung in den naturnahen Zustand vollzogen werden könnte. Bei den untersuchten Landnutzungsänderungen ist die mit dem Szenario „Bestmögliche Wassergüte“ verbundene Verbesserung der Gewässergüte positiv zu bewerten. Mit der Umsetzung eines optimierten Landnutzungsszenarios sollten sich insbesondere die zwischen Ober- und Unterliegern existierenden Nutzungskonflikte lösen lassen.

Tab. 1: Bewertung der Handlungsoptionen aus wasserwirtschaftlicher und ökologischer Sicht

Handlungsoption	Bewertung	
	 positiv	 negativ
	wasserwirtschaftlich	ökologisch
Erhöhung des Winterstaus	 gute Handlungsoption bei dafür geeigneten Gewässerprofilen geringe Wirkung auf den Wasserhaushalt	 die Durchgängigkeit des Gewässers wird verhindert
Rückbau von Wehren	 Wegfall des Wasserrückhaltes im Gebiet Ersatzmaßnahmen müssen geschaffen werden	 Verbesserung der Durchgängigkeit des Gewässers positiv für die Wiederherstellung des naturnahen Zustandes
Reduzierung des Gewässernetzes	 für den Wasserhaushalt aufgrund der Verdunstungserhöhung und der Verringerung der Grundwasserneubildung negativ zu bewerten keine landwirtschaftliche Nutzung mehr möglich	 Herstellung des ehemaligen natürlichen Zustandes Rückführung zur ehemaligen vermoorten Niederung
Teilzuschüttung von Gräben	 als Ausgleichsmaßnahme zur Grundwasserstandserhöhung bei einem Rückbau der vielen Stauanlagen positiv zu bewerten	 teilweise Rückführung in naturnahen Zustand
Landnutzungsänderung „Gute fachliche Praxis“	 bei gleichbleibenden Grundwasserflurabständen nur geringe Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	 geringe Verbesserung des Stoffhaushaltes
Landnutzungsänderung „Bestmögliche Wassergüte“	 bei gleichbleibenden Grundwasserflurabständen nur geringe Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	 bestmögliche Wassergüte

Für das Gesamtgebiet war die Erstellung eines Modells mit der gleichen Detailgenauigkeit wie für das Hammerfließ auf Grund der Datenlage und der Modellgröße nicht realisierbar. Ziel der durchgeführten Untersuchungen war deshalb die Erstellung eines GIS-basierten konzeptionellen NA-Modell, in das die derzeit fundiertesten Basisdaten eingingen, um eine möglichst gute Abbildung der räumlichen Verteilung der Wasserhaushaltsgrößen und der daraus resultierenden Abflussverhältnisse zu gewährleisten. Mit diesem Modell wurden für die WRRL-relevanten Einzugsgebiete Spaltenwerte für die derzeitigen Gegebenheiten berechnet sowie die Auswirkungen verschiedener Landnutzungs- und Bewirtschaftungsszenarios analysiert.

Außerdem wurden als Grundlage zur Einschätzung der Relevanz bestimmter Wasserentnahmen für alle WRRL-relevanten Fließgewässer die quasi-natürlichen Abflüsse ermittelt, d.h. diejenigen, die sich bei aktueller Landnutzungsstruktur ohne Bewirtschaftungsmaßnahmen einstellen würden. Um die Auswirkungen einer potenziell natürlichen Vegetation auf den

Wasserhaushalt zu untersuchen, wurden Simulationsrechnungen unter Berücksichtigung verschiedener Waldgesellschaften durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen einen beträchtlichen Abflussrückgang, der für einige Pegel 30% bis 40% unter den für derzeitige Landnutzungsbedingungen ermittelten Werten liegt. Daneben wurde auch das Landnutzungsszenario „Bestmögliche Wassergüte“ untersucht, wobei die Ackernutzung völlig aufgegeben, breite Gewässerrandstreifen zum Stoffrückhalt angelegt und eine Wiedervernässung aller Niederungen angenommen wurde. Hier verringert sich der mittlere Jahresabfluss in praktisch allen Teilgebieten, allerdings um weniger als 10 % gegenüber der Ist-Situation. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sich der Wasserhaushalt des Gesamtgebietes nur unter der Annahme einer umfassenden Änderung der gegenwärtigen Landnutzung erheblich verändern lässt.

Auf der Gesamtebene wurden weiterhin Möglichkeiten der Seenbewirtschaftung untersucht. In Brandenburg gibt es insgesamt 237 WRRL-relevante Seen, wovon 177 im Haveleinzugsgebiet liegen. Von diesen sind 156 an das Fließgewässersystem angeschlossen und deshalb potenziell bewirtschaftbar. Da für die Seen keine Speicherinhaltslinien, WQ-Beziehungen und Steuerregeln vorlagen, bot sich für eine Abschätzung der Einflüsse der Seenbewirtschaftung eine einfache GIS-Analyse an. So ergäbe sich bei einer Speicherlamelle von 20 cm für die o.g. 156 Seen ein Speichervolumen von 69 Mio.m³, mit dem sich theoretisch eine Abflusserhöhung um 10 m³/s über 80 Tage realisieren ließe. Am Beispiel der Rheinsberger Seen im Oberlauf des Rhins konnte wegen der guten Datenlage dagegen eine Speicherbewirtschaftung mit ArcEGMO simuliert werden. Die Rechnungen zeigen, dass bei Vernachlässigung von Verdunstungsverlusten eine Niedrigwasseraufhöhung um 500 l/s über 37 Tage bzw. um 1 m³/s für 19 Tage in der unteren Havel möglich wäre.

5 Schlussfolgerungen

Die vom Teilprojekt 4 durchgeführten Untersuchungen basieren auf WRRL-relevanten, im Verbundprojekt erarbeiteten Bewirtschaftungsoptionen und lassen Schlüsse auf die Sensitivität möglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Winterstauerhöhung, Rückbau von Wehren, Reduzierung des Gewässernetzes oder Änderungen der gegenwärtigen Landnutzung zu. Wegen der erforderlichen umfangreichen Datenbasis konnten detaillierte Untersuchungen allerdings nicht auf der Skala des Gesamtgebietes sondern nur im Fokusgebiet Hammerfließ durchgeführt werden, das mit seiner angespannten Wasserhaushaltssituation typisch für viele ehemalige Feuchtgebiete Brandenburgs ist. Die dort gewonnenen Ergebnisse wurden - soweit möglich - auf die Zwischenebene „Nuthe“ und die Gesamtebene „Havel“ übertragen. Für das Hammerfließ wurde ein räumlich hoch aufgelöstes gekoppeltes Modell aufgebaut. Die Ursachen für die Unterschiede wichtiger Wasserhaushaltsgrößen gegenüber dem großräumigen Modell liegen vor allem darin begründet, dass durch Kopplung mit einem Grundwassermodell die inner- und überjährlichen Schwankungen der Grundwasserstände realitätsnah abgebildet werden können. Ein wichtiges Element der im Hammerfließ durchgeführten Untersuchungen war die Erkenntnis, dass sich eine Winterstauerhöhung kaum auf den Wasserhaushalt auswirkt. Durch den Rückbau von Wehren würde der Wasserrückhalt im Gebiet wegfallen und der Abfluss geringfügig steigen. Die Reduzierung des Gewässernetzes hätte eine weitere Verringerung des Abflusses zur Folge, wobei der Grundwasserstand in

Niederungen großflächig über Flur stünde. Landnutzungsänderungen haben dagegen nur geringe Auswirkungen. Wie bei allen berechneten Handlungsoptionen sind auch hier die Auswirkungen auf die mittlere Gebietsverdunstung sehr gering. Die Untersuchungen liefern aber Hinweise darauf, welche Zielgrundwasserstände mit welcher Landnutzung tatsächlich geplant und umgesetzt werden könnten. Auf Ebene des Gesamtgebietes entstand ein Modell, das je nach Datenlage unterschiedliche Parametrisierungen unterstützt, durch die Integration von Bauwerken und Gewässergeometrien sukzessive weiter ausgebaut werden kann und sich deshalb als Bewirtschaftungswerkzeug in Behörden eignet.

Insgesamt wurde mit den Analysen wasserwirtschaftlicher Handlungsoptionen ein Beitrag dazu geleistet, Möglichkeiten der Verbesserung des Wasserhaushaltes im Sinne der WRRL aufzuzeigen. Die Arbeiten haben deshalb dazu beigetragen, die Umsetzung der WRRL in Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen zu unterstützen, und zwar durch die Erarbeitung von aufeinander abgestimmten Konzepten der Ökologie, der Wasserwirtschaft und der Landnutzung. Auch wurde mit den auf verschiedenen räumlichen Skalen aufgebauten komplexen Modellen die Grundlage für Untersuchungen in weiteren Modellgebieten geschaffen. Dies gilt in besonderem Maße für das neu integrierte Grundwassermodell, das erstmals konkret in einem Untersuchungsgebiet eingesetzt wurde und mit dessen Hilfe wichtige Erkenntnisse zur Wirkung von Wehrsteuerungen auf die Grundwasserstände gewonnen werden konnten. Allerdings erschwerten Datendichte und -qualität die Konzeption des Flussgebietsmodells und machten Modellweiterentwicklungen und -ergänzungen notwendig, die sich aufwändiger als vorgesehen herausstellten. Dies betrifft insbesondere die Verfügbarkeit spezieller Daten zur Abbildung von Bewirtschaftungsmaßnahmen im Gewässernetz, die sich prinzipiell als schlecht herausstellte, da keine landesweiten Datenbanken zur Verfügung standen. Bestimmte Untersuchungen waren somit nur über Annahmen und grob aufgelöste Wasserhaushaltsbetrachtungen möglich, da es unmöglich war, bestimmte Wirkungen wie z.B. die der ca. 3.000 weiteren Bauwerke explizit im Modell abzubilden.

HINWEIS: Die Darstellungen in diesem Bericht sind eine stark gekürzte Version des detaillierten Endberichtes (Umfang ca. 120 Seiten), der in das vom Teilprojekt 8 entwickelte Entscheidungsfindungssystem „DSS-Havel“ integriert ist.

6 Referenzen

BECKER, A. & W. LAHMER (Hrsg.) (2004): Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung - Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft. Weißensee-Verlag, Berlin, 494 S.

BECKER, A., B. KLÖCKING, W. LAHMER & B. PFÜTZNER (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.

Kinzelbach, W.; Rausch, R. (1995): Grundwassermodellierung, eine Einführung mit Übungen. Stuttgart; Berlin, Borntraeger, ISBN 3-443-01032-6

LAHMER, W., J. STEIDL, R. DANNOWSKI, B. PFÜTZNER & R. SCHENK (2000): Flächen-deckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg. Landesum-weltamt Brandenburg (Hrsg.). Studien und Tagungsberichte, Band 27, ISSN 0948-0838, Ei-genverlag, Potsdam, Dezember 2000.

LAHMER, W. & B. PFÜTZNER (2003): Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwasser-menge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnun-gen. PIK-Report Nr. 85, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., September 2003, ISSN 1436-0179.

PFÜTZNER, B. (2001): Kap. 4.8.5 ArcEGMO in: Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen, Bericht Nr. I-19 der KHR, ISBN 90-36954-11-8.

PFÜTZNER, B. (ed.) (2002): Description of ArcEGMO. Official homepage of the modelling system ArcEGMO, <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.