

SILVAQUA – Ziele und Bearbeitungskonzept

SILVAQUA – Aims and Concept

Ursula Rüping, Henning Meeseburg, Martin Jansen, Bernd Abrends, Claus Döring, Swen Hentschel, Johannes Suttmöller, Friedrich Beese, Bernhard Möhring und Hermann Spellmann

Zusammenfassung

Die im Jahr 2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft gibt einen neuen Rahmen für das wasserwirtschaftliche Handeln in Europa vor. Umweltziele wie der „gute Zustand“ der Gewässer werden damit auch für forstwirtschaftlich genutzte Gebiete verbindlich vorgeschrieben. Daraus ergibt sich für das forstliche Management die Notwendigkeit, die Folgen forstlicher Maßnahmen auf den Gewässerzustand abzuschätzen.

Im Pilotprojekt SILVAQUA wurden mit einem integrativen Ansatz die Auswirkungen forstlicher Bewirtschaftung auf die Qualität und Quantität von Sicker- und Oberflächengewässern in bewaldeten Einzugsgebieten untersucht. Für das Einzugsgebiet der Oker im Nordharz sind modellhaft die Bereiche Waldentwicklung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, forstliches Wissensmanagement sowie forstökonomische Auswirkungen bearbeitet worden. Es wurde ein Modellsystem entwickelt, in dem diese Teilbereiche durch eigenständige Modelle abgebildet und über eine gemeinsame GIS-Datenbasis verknüpft werden.

Stichworte: EG-Wasserrahmenrichtlinie, forstliches Management, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, Modelle, Nordharz

Abstract

The European Water Framework Directive, effective since the year 2000, stipulates a new framework for water management measures in Europe. The legally-binding regulations specified for environmental goals, such as “good ecological status” of inland water resources, also apply in managed forests. Thus forest managers must evaluate the effects of silvicultural measures on the ecological status of water resources.

Within the framework of the pilot project SILVAQUA, an integrative approach has been adopted to study the effect of forest management on quality and quantity of seepage and surface waters in forest catchments. For the Oker River Catchment in the northern Harz Mountains, stand development, water budgets, nutrient budgets, forest knowledge base, and economic implications were addressed in the study. A model system was developed in which these main aspects were modelled and then linked together in a GIS database.

Keywords: European Water Framework Directive, forest management, water budget, nutrient budget, models, northern Harz Mountains

1 Einleitung

Mit der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft (EG-WRRL) ist ein neuer Rahmen für das wasserwirtschaftliche Handeln festgelegt worden (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT 2000, KEITZ v. u. SCHMALHOLZ 2002). Umweltziele wie der „gute Zustand“ der Gewässer werden gemeinsam mit einem detaillierten Zeitplan zur Erreichung dieser Ziele verbindlich vorgeschrieben. Zusätzlich enthält die EG-WRRL ein Verschlechterungsverbot. Spätestens 2012 soll mit der Umsetzung von Maßnahmen begonnen werden, die der Erreichung eines „guten Zustands“ der Gewässer dienen. Da die Auswirkungen vieler Maßnahmen zum Gewässerschutz relativ lange Wirkzeiträume umfassen, ist es wünschenswert, frühzeitig mit der Maßnahmenplanung zu beginnen.

Die EG-WRRL ist eine der ersten umweltpolitischen Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft, die explizit ökonomische Instrumente nutzt, um die von ihr gesetzten Ziele zu erreichen. Damit erhalten ökonomische Überlegungen in den bisher naturwissenschaftlich und technisch geprägten Bereichen des Wassermanagements mehr Bedeutung. Die Berücksichtigung ökonomischer Aspekte ist Ausdruck der Erkenntnis, dass die Beachtung wirtschaftlicher Elemente zur Erreichung der Ziele unerlässlich ist und dass die Entscheidungsfindung durch

eine verstärkte Berücksichtigung ökonomischer Informationen verbessert werden kann.

Der europäische Gewässerschutz wurde in den vergangenen zwei Jahrzehnten durch über 30 Richtlinien geprägt, die sich aber nur sektoral mit einzelnen Aspekten befassten (z. B. die Kommunalabwasser- oder die Trinkwasserrichtlinie). Am 22. Dezember 2000 ist die EG-WRRL in Kraft getreten. Sie bildet den grundlegenden Rechtsrahmen für den Schutz der aquatischen Umwelt in Europa. Die EG-WRRL beinhaltet im Wesentlichen zwei Zielsetzungen:

- Die Schaffung eines Ordnungsrahmens für die europäische Wasserwirtschaft durch Ablösung sektoraler Richtlinien und die Bündelung des wasserwirtschaftlichen Handelns in Maßnahmenprogrammen bzw. Bewirtschaftungsplänen.
- Die Erreichung bzw. Erhaltung eines guten Gewässerzustandes in allen Gewässern der EU, d. h. Oberflächengewässer, Küsten- und Übergangsgewässer sowie im Grundwasser, innerhalb von 15 Jahren.

Die eigentlichen Umweltziele wurden in Artikel 4 EG-WRRL festgelegt, der zentralen Vorschrift der Richtlinie.

Bei Oberflächengewässern gilt (Art. 4 Abs. 1a EG-WRRL):

- Verschlechterungsverbot
- Guter ökologischer und chemischer Zustand in 15 Jahren
- Gutes ökologisches Potenzial und guter chemischer Zustand bei künstlichen oder erheblich veränderten Wasserkörpern in 15 Jahren

Beim Grundwasser gilt (Art. 4 Abs. 1b EG-WRRL):

- Schadstoffeintrag in das Grundwasser verhindern oder begrenzen
- Verschlechterung des Grundwasserzustandes verhindern
- Umkehr von signifikanten Belastungstrends
- Guter mengenmäßiger und chemischer Zustand in 15 Jahren

Der Zustand der Oberflächengewässer wird gemäß der Wasserrahmenrichtlinie beurteilt anhand des „ökologischen und chemischen Zustandes“ (vgl. Art. 2 Nr. 18 EG-WRRL). Ein guter „ökologischer und chemischer Zustand“ ist in erster Linie auf die typenspezifische Ausprägung vorhandener Pflanzen- und Tierarten ausgerichtet. Vorausgesetzt werden dabei naturnahe Gewässerstrukturen und die Einhaltung von Grenzwerten prioritärer Wasserinhaltsstoffe (s. Abb. 1).

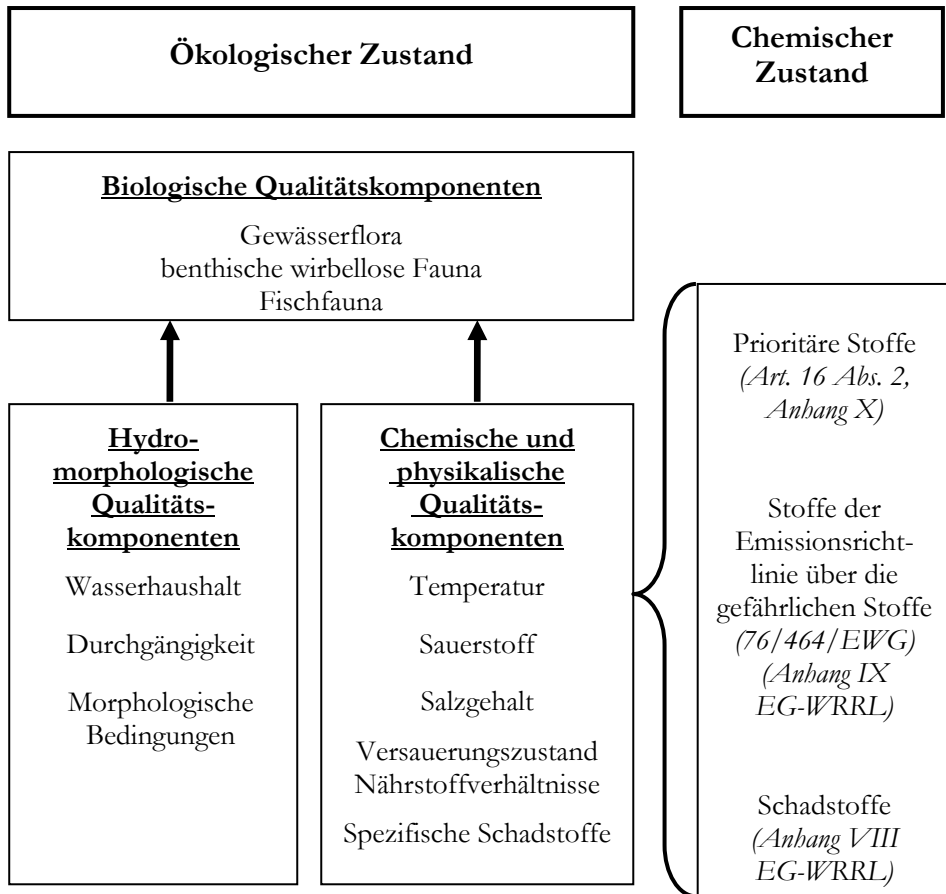


Abbildung 1: Bewertungskomponenten für den Zustand der Oberflächengewässer (FRISKE 2004, S. 35, verändert)

Neben den chemisch/physikalischen Qualitätskomponenten werden die Lebensbedingungen der Organismen in und an den Fließgewässern von den hydromorphologischen Qualitätskomponenten beeinflusst. Dementsprechend haben diese Parameter große Bedeutung bei der Bewertung des ökologischen Zustandes der Gewässer (s. Abb. 1). Wenn die chemischen und physikalischen Vorgaben der EG-WRRL erfüllt sind, haben die Gewässerstruktur und hierbei insbesondere die Durchgängigkeit und die Sedimentfracht einen hohen Einfluss auf den ökologischen Zustand.

Die Richtlinie enthält für die Gewässerbewirtschaftung in Deutschland wichtige neue Ansätze. Die Gewässer sind flussgebietsbezogen zu bewirtschaften (Art. 3 Abs. 1 EG-WRRL), d. h. von der Quelle bis zur Mündung mit allen Zuflüssen. Ausschlaggebend sind somit nicht mehr administrative Grenzen, sondern die

Wasserscheiden der hydrologischen Einzugsgebiete. Für Deutschland gibt es zehn relevante Flussgebietseinheiten. Niedersachsen liegt in den Flussgebietseinheiten Ems, Weser, Elbe und Rhein; keine dieser Flussgebietseinheiten kann allein in Niedersachsen bewirtschaftet werden. Als Konsequenz muss das Flussgebietsmanagement zukünftig über die bestehenden politischen und administrativen Grenzen hinweg erfolgen. Dies erfordert ein hohes Maß an Abstimmung und Koordination zwischen den beteiligten Bundesländern und Mitgliedstaaten. Die EG-WRRL beinhaltet ganzheitliche Bewertungsansätze. Die Wasserrahmenrichtlinie schreibt die Auswahl geeigneter Maßnahmen nach Kosteneffizienzkriterien vor, um die Ziele zu erreichen. Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie erfordert, dass Wirkungen geplanter Maßnahmen im Rahmen einer Kostenwirksamkeitsanalyse bewertet werden. Ökonomische Instrumente spielen eine wesentliche Rolle, um die Bewirtschaftungsziele zu erreichen. Zur Herstellung eines guten Gewässerzustandes sind als Instrumente national und international koordinierte Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne vorgesehen. Hier sind ggf. auch Maßnahmen zu ergreifen, die über den Bereich der Gewässerbewirtschaftung im engeren Sinne hinausgehen, z. B. in Bezug auf den Naturschutz oder die Landwirtschaft. Die EG-WRRL fordert bei der Erstellung der Bewirtschaftungspläne eine frühzeitige und kontinuierliche Information und Anhörung der Öffentlichkeit in der gesamten Flussgebietseinheit. Zudem enthält die EG-WRRL verbindliche Fristen für die erforderlichen Arbeiten und das Erreichen der Ziele.

Die Bestandsaufnahme der Gewässer im Rahmen der EG-WRRL hat gezeigt, dass die Zielerreichung bei den Oberflächengewässern in Deutschland nur bei 14 % sicher ist, bei den Grundwässern zu 47 % (s. Abb. 2). Bei Fließgewässern ist die Zielerreichung vor allem durch den hydromorphologischen Zustand und den Nährstoffeintrag gefährdet, beim Grundwasser eher durch den chemischen Zustand. Ein weiteres Ergebnis der Bestandsaufnahme ist, dass es unerwartet viele Unsicherheiten und Unklarheiten gibt. Dies betrifft sowohl die Datenlage als auch in Teilen die Wissensbasis und Handlungskonzepte.

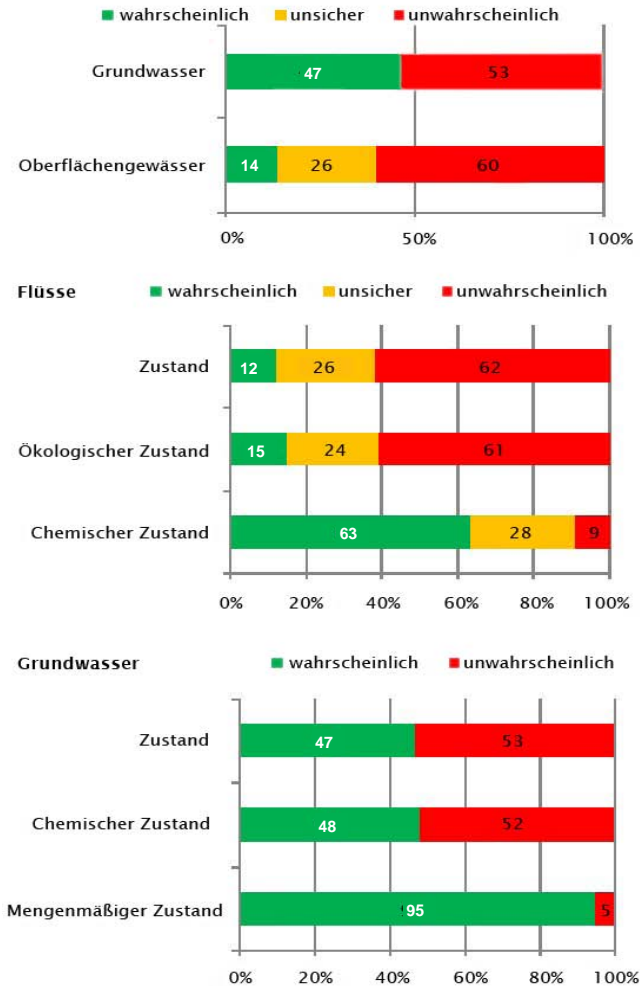


Abbildung 2: Zielerreichung der Kriterien der EG-WRRL für Grund- und Oberflächengewässer in Deutschland sowie Kriterien, die eine Zielerreichung unwahrscheinlich machen (Quelle: IRMER u. MOHAUPT 2005)

Bei dem Ansatz, der mit der EG-WRRL verfolgt wird, bezieht sich der Betrachtungsraum, für den ein Bewirtschaftungsplan aufgestellt werden muss, auf das gesamte Einzugsgebiet eines Gewässers von der Quelle bis zur Mündung. Der dabei gewählte fachlich integrative Ansatz ist sehr aufwändig, stellt aber durch das einheitliche Vorgehen eine Vergleichbarkeit der Gewässersituation in Europa sicher.

Wälder gelten allgemein als wenig problematisch für den Gewässerschutz, weshalb der Schwerpunkt bei der Erstellung von Gewässerbewirtschaftungsplänen

bisher auf den Landschaftsteilen mit anderen Nutzungsformen liegt. Waldgewässer stellen einen erheblichen Anteil der Gewässer in Niedersachsen und erfüllen wichtige Funktionen im Naturhaushalt der jeweiligen Einzugsgebiete:

- Waldgewässer sind vielfach als relativ naturnah einzustufen.
- Sie stellen kontinuierliche lineare Strukturen in den Landschaften dar, die nicht nur für den Wasser- und Stoffhaushalt bedeutsam sind, sondern auch Transferwege für Organismen darstellen.
- Sie sind Lebensräume und Refugien für gefährdete Tier- und Pflanzenarten.
- Zusammen mit ihren terrestrischen Nachbarsystemen bilden sie standörtliche Einheiten, die eng miteinander vernetzt sind und im intensiven Austausch miteinander stehen. Besonders die Auen sind dabei von Bedeutung.
- Waldeinzugsgebiete wirken sich dämpfend auf das Abflussverhalten aus und dienen dem dezentralen Hochwasserschutz.
- Einträge aus der Luft, die Wirkungen des Klimawandels sowie Veränderungen des Waldaufbaus und der Waldnutzung können sich auf den Zustand der Gewässer im Wald auswirken, indem sie Qualität, Menge und Dynamik des Wasserabflusses beeinflussen.

Mit Blick auf die EG-WRRL können als Problembereiche der forstlichen Landnutzung insbesondere folgende Aspekte genannt werden:

- Abflussdynamik: Die ausgleichende Wirkung der Wälder auf die Abflussdynamik ist grundsätzlich positiv zu beurteilen (SUTMÖLLER et al. 2007). Niedrigwasserperioden können jedoch durch den erhöhten Wasserverbrauch von Wäldern gegenüber anderen Landnutzungsformen verschärft werden. Abflussspitzen können verstärkt werden, wenn durch Baumartenwechsel vom Nadel- zum Laubwald der Ablauf der Schneeschmelze beeinflusst wird oder durch Walderschließungsmaßnahmen der Oberflächenabfluss erhöht wird (MEESENBURG et al. 2010).
- Versauerung: Die depositionsbedingte Versauerung der Sickerwasserleiter schreitet trotz abnehmender Säureinträge fort, da die Critical Loads für Säure in weiten Bereichen (insb. im Harz) weiter überschritten werden (BAUMANN et al. 2006, MEIWES u. MEESENBURG 2007). Als direkte Kompensationsmaßnahme kommt insbesondere die Bodenschutzkalkung der Wälder in Betracht (AHRENDTS et al. 2008, JANSEN et al. 2007).
- Schwermetallmobilisierung: Die geogene Hintergrundbelastung für Schwermetalle ist insbesondere im Harz sehr hoch. Durch frühere Bergbauaktivitäten wurden zusätzlich Schwermetalle freigesetzt und in bestimmten Bereichen akkumuliert (z. B. Okeraue, Halden). Wenn versauerte Gewässer diese Bereiche durchfließen, ist das Risiko der Schwermetallmobilisierung zusätzlich erhöht (ERNST et al. 2004).

- Stickstoffsättigung der Wälder: Die Stickstoffeinträge der Wälder liegen in ganz Niedersachsen deutlich über dem Bedarf, d. h. die Critical Loads für eutrophierenden Stickstoff sind überschritten (ALTENHOFEN et al. 2006, MEIWES u. MEESENBURG 2007). Dies induziert eine zunehmende Sättigung der Wälder mit dem Risiko erhöhter Nitratausträge ins Grundwasser (AHRENDTS et al. 2010).
- Schwebstoffmobilisierung: Das Risiko erhöhter Schwebstoffeinträge in Gewässer ist in bewaldeten Einzugsgebieten generell gering. Der Bodenschutz und der vermehrte Einsatz schwerer Holzerntemaschinen erfordert die Anlage permanenter Rückegassen, die die Bodenerosion im Bergland ggf. fördern können. Auch das relativ dichte Wegenetz im Wald kann Abflussbahnen erzeugen, die die Sedimentfracht erhöhen können.
- Organische Schadstoffe: Über das Risiko des Austrags organischer Schadstoffe gibt es relativ wenige Daten. Dokumentierte Belastungsschwerpunkte im Harz und potenzielle Punktquellen (z. B. Nasslagerplätze für Holz in Gewässernähe) sowie ihre Bedeutung für die Beurteilung des Gewässerzustandes für die EG-WRRL lassen es jedoch notwendig erscheinen, auch diese Stoffgruppe zu betrachten (FORTMANN u. MEESENBURG 2007).
- Gewässerstruktur: In der Vergangenheit sind die Gewässerstrukturen und die Auenvvegetation verändert worden. Der Wirtschaftswald mit z. T. standortfremden Baumarten grenzt häufig direkt an die Gewässer. Durch eine gezielte Gewässerrandgestaltung lassen sich strukturverbessernde Effekte im Sinne der EG-WRRL erreichen.

Die genannten Aspekte erfordern es, die Wirkungen des Waldes und der Waldbewirtschaftung aus der Sicht des Gewässerschutzes zu hinterfragen und in die Maßnahmenplanung zur Sicherung der Umweltziele der EG-WRRL einzu beziehen. Als Qualitätskriterien für Waldgewässer stehen dabei im Vordergrund:

- der Schutz des guten chemischen Zustands des Grundwassers unter Wald,
- der Schutz, Erhalt und die Förderung des guten mengenmäßigen Zustands des Grundwassers unter Wald,
- der Schutz, Erhalt und die Förderung des guten ökologischen Zustands oberirdischer Fließgewässer im Wald und
- der Schutz, Erhalt und die Förderung des guten ökologischen Zustands wasserabhängiger Land-Ökosysteme.

Als mögliche forstliche Handlungsoptionen zur Erreichung der Ziele der EG-WRRL kommen folgende Maßnahmen in Betracht (SCHÜLER 2004, 2005, MEESENBURG et al. 2005, RÜPING 2009):

- Baumartenwahl
- Bestandesbegründung (Naturverjüngung, Pflanzung, Saat)
- Bestandesbehandlung und Hiebssystem
- Umtriebszeiten

- Nutzungsintensität
- Walderschließung (Wegebau, Holzlagerung etc.)
- Bodenschutzkalkung
- Bodenbearbeitung
- Verzicht auf Pflanzenschutzmittel
- Verwendung spezieller Schmierstoffe/Bioöle/Kraftstoffe
- spezielle Maßnahmen zum Gewässerschutz (Verbesserung der Gewässerstruktur, Anlage von Flutmulden etc.)

Quantitative Erkenntnisse zu den Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen und Kombinationen von Maßnahmen liegen nur punktuell vor (BOSCH u. HEWLETT 1982, BREDÁ et al. 1995, BÄUMLER u. ZECH 1997). Aufgrund der langfristigen Wirksamkeit ist es zudem aufwändig, Effekte von forstlichen Maßnahmen zu messen. Der Einsatz von Bewirtschaftungsszenarien in Verbindung mit Modellsystemen, welche den Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und das Bestandeswachstum abbilden, erlaubt die Abschätzung der Auswirkungen von forstlichen Maßnahmen auf die Gewässerqualität in größeren Einzugsgebieten. Zusätzliche Einflussgrößen (z. B. Klimawandel) lassen sich bei einem solchen Bearbeitungsansatz relativ problemlos einbeziehen (MEESENBURG et al. 2010).

Mit den Pilotprojekten SILVAQUA und SILVAQUAplus wird ein Instrumentarium geschaffen, mit dessen Hilfe Auswirkungen forstlicher Bewirtschaftung auf die Qualität und Quantität von Gewässern in bewaldeten Einzugsgebieten beschrieben und bewertet werden können. Dazu wurde ein flächendetaillierter Ansatz gewählt, in dem die Effekte von verschiedenen forstlichen Handlungsoptionen auf den mengenmäßigen und chemischen Gewässerzustand in Wäldern modellhaft beschrieben werden.

2 Ziele

Ziel des Verbundprojektes SILVAQUA ist der Aufbau eines Modellsystems, mit dem die Auswirkungen von forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Qualität und Quantität der Oberflächen- und Grundwässer unter Wald beschrieben und bewertet werden können. Das Instrument soll als raumbezogenes Wissens- und Modellierungssystem Konsequenzen von Handlungsalternativen aufzeigen, die in die Entwicklung von Maßnahmenprogrammen und Bewirtschaftungsplänen zur Erfüllung der EG-WRRL einbezogen werden können. Dabei werden forstliche Maßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung zur Erreichung des Umweltziels „guter Zustand“ der Gewässer beurteilt. Als Ergebnis wird ein Maßnahmenbündel für bewaldete Einzugsgebiete vorgeschlagen, um den Gewässerzustand zu verbessern oder zu erhalten. Zudem werden die forstlichen Gewässerschutzmaßnahmen ökonomisch bewertet. Im Rahmen des Zusatzprojektes SILVAQUAplus werden die institutionellen Regelungen untersucht, die eine Umsetzung von Gewässerschutzmaßnahmen im Wald ermöglichen bzw. unterstützen.

SILVAQUA ist ein niedersächsisches Pilotprojekt zur Umsetzung der EG-Wasser-rahmenrichtlinie. In dem Pilotprojekt wurde exemplarisch der bewaldete Teil des Einzugsgebiets der Oker bearbeitet. Die Entwicklung erfolgte unter dem Anspruch der größtmöglichen Übertragbarkeit der Modellansätze auf andere bewaldete Einzugsgebiete im Bergland sowie der Anpassungsfähigkeit an die Verhältnisse im Tiefland. Qualitätsbeschreibende Zielgrößen in SILVAQUA sind zum einen die Stickstoffbelastung und der Säure-/Basezustand der Waldökosysteme. Zum anderen werden strukturelle Probleme im Einzugsgebiet beschrieben und Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur vorgeschlagen.

Das SILVAQUA-Projekt bezieht sich:

- Auf den Anhang II der EG-WRRL, in dem die Bestandsaufnahme der signifikanten Belastungen und ihren Auswirkungen auf die Gewässerqualität angesprochen werden. Im Vordergrund steht bei der forstlichen Landnutzung der Stoffeintrag aus diffusen Quellen. In einem ersten Schritt wurde die Lokalisierung und Einschätzung der Belastungssituation durch Stickstoff und Säureeinträge (Anhang II, 1.4 EG-WRRL) mit einer verbesserten räumlichen Differenzierung ermöglicht und zudem eine Abschätzung der Auswirkungen forstlicher Maßnahmen auf die Grundwasserqualität vorgenommen.
- Auf der Basis der Analyse wurden forstliche Maßnahmen abgeleitet, die zu einer Verbesserung des Zustandes der Gewässer beitragen und somit in das Maßnahmenprogramm (Art. 11 EG-WRRL) aufgenommen werden können.
- In Artikel 11 und Anhang III der EG-WRRL werden Maßnahmenprogramme zur Verwirklichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie und die wirtschaftliche Analyse angesprochen. Das ökonomische Teilprojekt lieferte Datengrundlagen, mit deren Hilfe Kosten von forstlichen Maßnahmen und kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen abgeleitet werden können.
- In Artikel 4 der EG-WRRL wird eine Verschlechterung des Zustands aller Oberflächengewässer und Grundwasserkörper untersagt („Verschlechterungsverbot“). Für den mengenmäßigen Zustand der Gewässer bedeutet dies, dass Extremereignisse (Hoch- und Niedrigwasser) durch forstliche Maßnahmen in ihren Auswirkungen nicht verschärft werden dürfen. Ebenso ist darauf zu achten, dass durch eine veränderte Waldbewirtschaftung die Grundwasserneubildung nicht nachhaltig vermindert wird.

3 Bearbeitungskonzept

Für das Pilotprojekt SILVAQUA wurde ein vorwiegend modellorientiertes Bearbeitungskonzept verfolgt. Für die Teilbereiche Waldentwicklung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, Wissensmanagement und Ökonomie werden jeweils eigenständige Modelle eingesetzt, die über eine GIS-Datenbasis verknüpft werden (s. Abb. 3).

Zentraler Bestandteil des Modellierungssystems ist ein Waldwachstumssimulator (HANSEN 2006). Aufbauend auf Daten der Forsteinrichtung werden die Entwicklungen der Waldbestände für verschiedene forstliche Bewirtschaftungsszenarien simuliert. Die Ergebnisse der Waldwachstumssimulationen werden als Eingabeparameter in anderen Teilmodellen weiterverarbeitet. Der Bestandessimulator nutzt die GIS-Datenbasis, in der die Eingabe- und Ausgabeparameter verwaltet werden.

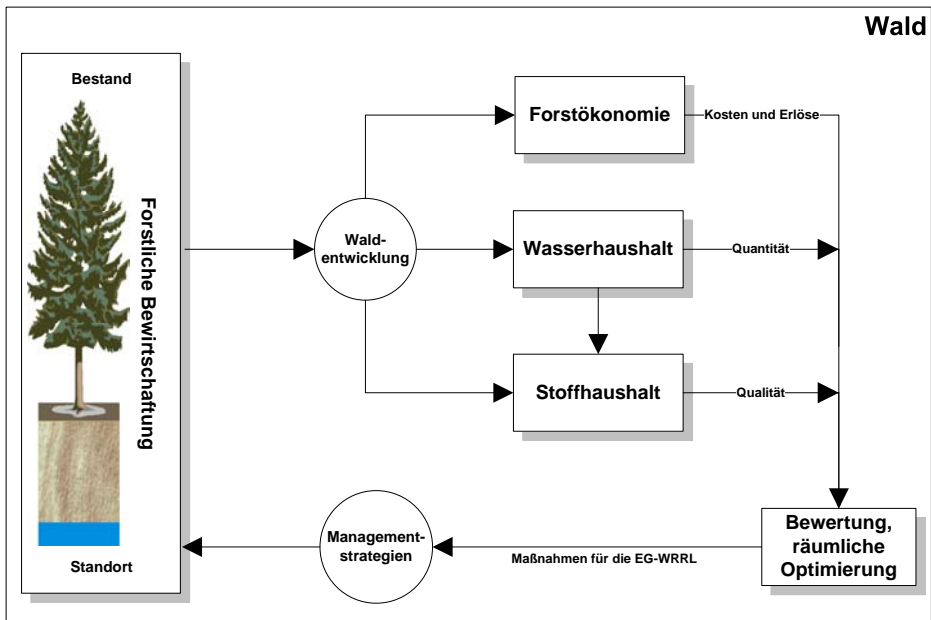


Abbildung 3: Untersuchungsansatz des Projektes SILVAQUA

Im Wasserhaushaltsmodell werden die wesentlichen Komponenten des Wasserhaushalts räumlich differenziert auf physikalischer Grundlage abgebildet. Mit Hilfe der Wasserhaushaltssimulation werden Unterschiede der Auswirkungen forstlicher Szenarien sowohl für mittlere Bilanzgrößen als auch für Extremereignisse wie Hochwässer abgeschätzt. Neben meteorologischen Antriebskräften (z. B. Niederschlag, Strahlung, Temperatur, Feuchte) und Standortdaten werden vom Waldwachstumssimulator Informationen zur Bestandesstruktur übernommen, um Prozesse wie Interzeption und Bestandestranspiration zu beschreiben. Zeitreihen des

Bestandesniederschlags und der Sickerwasserbildung können an das Stoffhaushaltsmodell übergeben werden (s. Abb. 3).

Das Stoffhaushaltsmodell setzt sich aus verschiedenen Teilmodellen zusammen, in denen Prozesse wie Deposition, Verwitterung, Stoffaufnahme des Bestandes, Denitrifikation, Stickstoffimmobilisation und Stoffaustrag flächenbezogen modelliert werden. Dazu wurden bestehende Modelle angepasst und zusätzlich einzelne Module neu entwickelt. Das Stoffhaushaltsmodell kann auf Daten zur Bestandesentwicklung (Baumarten, Bestandeshöhe, Holzmassen etc.) aus dem Waldwachstumsmodell sowie auf Daten zum Bestandesniederschlag und zur Sickerwasserbildung aus dem Wasserhaushaltsmodell zurückgreifen (s. Abb. 3). Zusätzlich werden Informationen zur Deposition, dem Klima, der Geologie und des Standorts benötigt.

Zur Ableitung von Eingangsgrößen für die Teilmodelle und zur Bewertung der Ergebnisse der Szenarienberechnungen wurde eine Wissensbasis „Forstliches Management“ erarbeitet, in der mit Hilfe von Literaturlauswertung und Evaluierung bestehender Datenbestände die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeschätzt wurden. Dazu gehören die Bereiche Waldbau, Melioration, Walderschließung und Naturschutz. Hier wurden auch die umfangreichen Forschungs- und Monitoringergebnisse der Modellstudie „Lange Bramke“ ausgewertet und für die Untersuchung nutzbar gemacht.

Die alternativen Waldentwicklungsszenarien wurden im ökonomischen Modell auf der Basis der dynamischen Investitionsrechnung mit Hilfe der Annuitätenmethode bewertet. Eingangsdaten waren dabei Informationen zur Bestandesentwicklung (s. Abb. 3) wie u. a. Baumarten, Durchmesser, Vorräte, Biomassevolumen etc. jeweils des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes. Als Referenz für die Bewertung der veränderten waldbaulichen Behandlungsmethoden wurde jeweils die konventionelle forstliche Bewirtschaftung verwendet.

Die Validierung der Modelle erfolgte auf Grundlage von Daten aus verschiedenen Monitoringprogrammen der Wasserwirtschaft, Umwelt- und Forstverwaltung. Hier konnte insbesondere auf Daten aus dem Teileinzugsgebiet „Lange Bramke“ zurückgegriffen werden.

Zudem wurden im Rahmen eines Zusatzprojektes SILVAQUAplus die institutionellen Regelungen und deren Instrumente zur effizienten Umsetzung nachhaltiger Wasserschutzleistungen der Forstwirtschaft untersucht (s. RÜPING et al., in diesem Band S. 189 ff.).

Literatur

- AHRENDTS, B.; DÖRING, C.; JANSEN, M. u. MEESENBERG, H. (2008): Unterschiedliche Nutzungsszenarien und ihre Auswirkungen auf die Basensättigung im Wurzelraum - Ergebnisse von Szenarienvergleichen in Teileinzugsgebieten der Großen Bramke. *Forst u. Holz*, 63, 32-36
- AHRENDTS, B.; MEESENBERG, H.; DÖRING, C. u. JANSEN, M. (2010): A spatio-temporal modelling approach for assessment of management effects in forest catchments. *IAHS Publ.* 336, 32-37
- ALTENHOFEN, D.; HÖPER, H.; MEESENBERG, H.; SCHÄFER, W. u. THIERMANN, A. (2006): Eutrophierung. In: NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.): *Umweltbericht 2006 Niedersachsen*, 144-152
- BAUMANN, J.; JANKOWSKI, A. u. MEESENBERG, H. (2006): Versauerung. In: NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (Hrsg.): *Umweltbericht 2006 Niedersachsen*, 154-159
- BÄUMLER, R. u. ZECH, W. (1997): Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. *Forest Ecol. Managem.* 95, 243-251
- BOSCH, J.M. u. HEWLETT, J.D. (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.* 55, 3-23
- BRÉDA, N.; GRANIER, A. u. AUSSENAC, G. (1995): Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt. Liebl.). *Tree Physiol.* 15, 295-306
- ERNST, W.H.O.; KNOLLE, F.; KRATZ, S. u. SCHNUG, E. (2004): Aspects of ecotoxicology of heavy metals in the Harz region – a guided excursion. *Landbauforschung Völkenrode* 54, 53-71
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, ABl. L 327 der Europäischen Gemeinschaften vom 22.12.2000
- FORTMANN, H. u. MEESENBERG, H. (2007): Organische Schadstoffe in Waldböden Niedersachsens. *GeoBerichte* 4, 91 S.
- FRISKE, V. (2004): Wasserrahmenrichtlinie und Entwicklungsziele für kleinere Fließgewässer. In: FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG 2004: *Fließgewässer im Wald: Beiträge und Untersuchungsergebnisse zu ökologischen Funktionen, zur Gewässerstruktur und Gewässerfauna von Waldbächen*, 31-39
- HANSEN, J. (2006): Der WaldPlaner – Ein System zur Entscheidungsunterstützung in einer nachhaltigen Forstwirtschaft. In: DEGENHARDT, A. u. U. WUNN (Hrsg.): *Sammlung der Beiträge von der 18. Jahrestagung der Sektion Biometrie und Informatik im DVFFA vom 25. bis 27.09.2006 in Trippstadt. Die Grüne Reihe*, 112-119
- IRMER, U. u. MOHAUPT, V. (2005): Bestandsaufnahme nach EG-Wasserrahmenrichtlinie - Erster Blick in die Ergebnisse und Konsequenzen. www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/downloads/wrrrl-bestand.ppt
- JANSEN, M.; DÖRING, C.; AHRENDTS, B.; MEESENBERG, H.; MEIWES, K.J. u. BEESE, F. (2007): Kopplung dynamischer Modelle für die Bodenschutzkalkung im Wald. *Mitt. Deutsche Bodenkundl. Ges.* 110 (2), 483-484
- KEITZ, S. VON u. SCHMALHOLZ, M. (2002): *Handbuch der EU-Wasserrahmenrichtlinie: Inhalte, Neuerungen und Anregungen für die nationale Umsetzung*. Berlin: Schmidt
- MEESENBERG, H.; JANSEN, M.; DÖRING, C.; BEESE, F.; RÜPING, U.; MÖHRING, B.; HENTSCHEL, S.; MEIWES, K.J. u. SPELLMANN, H. (2005): Konzept zur Beurteilung der Auswirkungen forstlicher Maßnahmen auf den Gewässerzustand nach den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie. *Ber. Freiburger Forstl. Forschung* 62, 171-180

- MEESEBURG, H.; SUTMÖLLER, J. u. HENTSCHEL, S. (2010): Retrospective and prospective evaluation of water budgets at Lange Bramke, Harz Mountains, Germany: Effects of plant cover and climate change. IAHS Publ. 336, 239-244
- MEIWES, K.J. u. MEESEBURG, H. (2007): Säurebildner. GeoBerichte 7 Bodenqualitätszielkonzept Niedersachsen, Teil 2: Schwermetalle, organische Belastungen und Säurebildner, 34-48
- RÜPING, U. (2009): Wasserschutz im Wald: Betriebswirtschaftliches Bewertungskonzept und institutionelle Umsetzungsinstrumente. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main
- SCHÜLER, G. (2004): Kopplung von Prozessuntersuchungen, Modellierung und Handlungsempfehlungen. Das EU-Projekt „Water Retention by Land-Use“. In: Seminarreihe „Regionale Wasserwirtschaft in Theorie und Praxis“, 67-75
- SCHÜLER, G. (2005): Auswirkungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie auf den Wald und die Waldbewirtschaftung. Forst u. Holz 60, 316-320
- SUTMÖLLER, J.; HENTSCHEL, S.; MEESEBURG, H. u. SPELLMANN, H. (2007): Auswirkungen forstlicher Maßnahmen auf den Wasserhaushalt in bewaldeten Einzugsgebieten. In: MIEGEL, K., TRÜBNER, E.-R. u. KLEEBERG, H.-B. (Hrsg.): Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 20.07 (1), 235-246

Korrespondierende Autorin:

Dr. Ursula Rüping

Vormals:

Georg-August-Universität Göttingen

Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie

Abteilung Forstökonomie und Forsteinrichtung

Aktuell:

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern

Abteilung 2 - Nachhaltige Entwicklung, Forsten und Naturschutz

Paulshöher Weg 1,

D-19061 Schwerin

E-Mail: u.rueping@lu.mv-regierung.de

URL: www.regierung-mv.de