HYDREG – ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie

Teil 2: Methodik und Ergebnisse

Tim G. Hoffmann, Dietmar Mehl (Bützow), Matthias Weiland und Christiana Mühlner (Halle)

Zusammenfassung

Der Beitrag folgt auf den bereits publizierten Grundlagenteil, der Hintergründe, Zielstellung und Grundlagen der „Bewertungsmethodik zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des Wasserhaushalts der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß Wasserrahmenrichtlinie im Land Sachsen-Anhalt“ beschrieb. Das für die relevante Fragestellung der hydromorphologischen Bewertung nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie entwickelte HYDREG-Verfahren wird nun methodisch näher erläutert. Zudem werden die landesweiten Ergebnisse für Sachsen-Anhalt vorgestellt.

Schlagwörter: Wasserwirtschaft, Gütewirtschaft, Europäische Wasserrahmenrichtlinie, Bewertung, Hydromorphologie, Wasserhaushalt, Fließgewässer, Seen, Wasserkörper, Sachsen-Anhalt, HYDREG-Verfahren

DOI: 10.3243/kwe2010.09.003

Abstract

HYDREG – A Method for Assessing the Naturalness of the Hydrological Regime of Surface Waters according to the European Water Framework Directive
Part 2: Methodology and Results

The paper is a follow up to the first part, which was published already and concentrated on the background, objectives and fundamental principles of an ”assessment methodology for determining the degree of naturalness of the hydrology of surface waters (flowing waters and lakes) in the State of Saxony-Anhalt” according to the European Water Framework Directive. This part now describes the HYDREG methodology, which was developed for hydro-morphological assessment according to the European Water Framework Directive. It also presents the results for the State of Saxony-Anhalt.

Key words: water management, quality management, European Water Framework Directive, assessment, hydro-morphology, hydrology, flowing waters, lakes, water bodies, Saxony-Anhalt, HYDREG method

1 Einleitung

Im ersten Beitrag [1] wurde der Begriff des „hydrologischen Regimes“ (HYDREG) eingeführt. Das hydrologische Regime eines Oberflächenwasserkörpers beschreibt danach Prozess- und Zustandsgrößen des Abflusses (Fließgewässer), des Wasserstandes bzw. Volumens (Seen) und der hydrologischen Konnektivität der Oberflächengewässer zu Auen und Grundwasser. Die Natürlichkeit des hydrologischen Regimes wird gemessen an der Intensität anthropogen verursachter Veränderungen der Prozess- und Zustandsgrößen bezüglich ihrer natürlichen Referenzbedingungen.

Als anthropogene Einflussfaktoren mit relevanten Auswirkungen werden mit dem HYDREG-Ansatz (1) Landnutzung, (2) Grundwasserverbindung, (3) Gewässerausbau, (4) Auenveränderung, (5) Bau künstlicher Seen und (6) Wassernutzung bei

Fließgewässern sowie (1) Zuflussveränderung und (2) Abflusssteuerung bei Seen analysiert und bewertet. Die Verfahren für natürliche sowie künstliche und stark veränderte Wasserkörper sind grundsätzlich identisch. Unterschiede ergeben sich nur bei der zugrundeliegenden, mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) konformen Bewertungsskala (fünfstufig = natürliche OWK, vierstufig = künstliche und erheblich veränderte OWK, vgl. [2]).

2 Methodik

2.1 Datengrundlagen und Vorarbeiten

Bei der Entwicklung der Methodik des HYDREG-Verfahrens wurde stringent darauf geachtet, dass landesweit verfügbare, überwiegend mesoskale Daten verwendet werden können (Tabelle 1). In der Regel sind deshalb die zugrundeliegenden Daten in ähnlicher räumlicher und sachlicher Auflösung auch in den meisten anderen deutschen Bundesländern verfügbar. Damit ist eine räumliche Übertragung der Bewertungsmethodik für dieses Bundesland auf alle deutschen Flusseinzugsgebiete denkbar.

Bevor das eigentliche Bewertungsverfahren durchgeführt werden kann, musste die Struktur des Gewässersystems und damit die Hierarchie der Einzugsgebiete adäquat erfasst werden. So waren landesexterne, oberliegende Einzugsgebiete der zu betrachtenden Gewässer nach der Systematik der LAWA-Gebietsverschlüsselung [3] zu bestimmen, teilweise musste auch ein geeigneter Vektor-Raster-Abgrenzungsalgorithmus [4] angewandt werden. Des Weiteren musste eine Hierarchie aller zu untersuchenden Wasserkörper nach WRRL entsprechend der Gewässersystemstruktur im Land erstellt werden, um hieraus landesinterne Einzugsgebietsabgrenzungen und letztlich die notwendige Kumulation der Einflussfaktoren ableiten zu können. Im Übrigen wird auf den ausführlichen Projektbericht [5] verwiesen.

2.2 Bewertungskomponenten

Im HYDREG-Verfahren werden die oben genannten anthropogenen Einflussfaktoren der hydrologischen Regime als einzelne Bewertungskomponenten behandelt. Auf dem Weg von den Ausgangsdaten (Tabelle 1) bis hin zur jeweiligen Bewertungskomponente stehen die Arbeitsschritte:

1. Auswahl und Homogenisierung der Ausgangsgrößen (Geo- und Sachdaten),
2. Berechnung von mengen- und größenunabhängigen Vergleichsindikatoren (Normierung),
3. Festlegung von Bewertungstabellen mit Bewertungszahlen von 1 bis 5 für die normierten Indikatorwerte entsprechend der WRRL-Bewertungsskala anhand von Literaturangaben, Expertenmeinung und Verteilungsanalysen,
4. Bestimmung der sachlich trennbaren Teilbewertungskomponenten einer Einflussgröße,
5. rechnerische Zusammenfassung zur Bewertungskomponente als Mittelwert oder Maximum der Teilbewertungskomponenten.

Die Bewertungskomponenten der Fließgewässer und Seen werden abschließend jeweils zu einer Gesamtbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper in der fünfstufigen Bewertungsskala gemäß WRRL herangezogen (Abbildung 1).

Entscheidend für die Aussagekraft des Verfahrens ist die im Punkt 3 erwähnte Festlegung der Bewertungsklassen. Die Klassengrenzen sollen in möglichst feinen Abstufungen den Grad der Entfernung vom natürlichen Zustand wiedergeben, um ei-

Thema	geeignete Datensätze
Gewässernetz	DGN25 als berichtspflichtiges Gewässernetz zur WRRL; digitales Landschaftsmodell (DLM25W); Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS-DLM)
Einzugsgebiete	Einzugsgebiete (EZG) der Oberflächenwasserkörper (OWK); WRRL-Einzugsgebiete (WEG); EZG25
Pegeldaten	Abfluss-, Wasserstands- und Lagedaten von Oberflächen- und Grundwasserpegeln
Wassernutzung	FIS Wasser – Fachinformationssystem Wasser, Segment Wassernutzungsverwaltung mit Angaben zu Entnahme-, Einleitungs-, Stau- und Veränderungsrechten für Oberflächen- und Grundwasser
Talsperrendaten	Talsperrenkennlinien, Bewirtschaftungsdaten
Hydrogeologie	Hydrogeologische Übersichtskarte
Abflussregionalisierung und -komponenten	Modellierte Abflüsse und Abflusskomponenten für Sachsen-Anhalt, vgl. [6]
Gewässerstrukturkartierung	Daten der Gewässerstrukturkartierung
Überschwemmungsgebiete	Karte der Überschwemmungsgebiete
Grundwasserkörper	Abgrenzung und Zustand der Quantität der Grundwasserkörper
Landnutzung	Biotop- und Nutzungstypen (BTNT) der Color Infrarot (CIR)-luftbildgestützten Biotop- und Nutzungstypenkartierung; Daten des europäischen Landnutzungsprojekts Corine Landcover [7]
Höheninformationen	Daten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 3) [8]; Digitales Geländemodell (DGM 25)
Auen	Karte der morphologischen Auen Sachsen-Anhalts [9]; Ergebnisse der Auenbilanzierung an großen Flüssen und Strömen [10]

Tabelle 1: Notwendige Ausgangsdaten und entsprechende Datensätze für Sachsen-Anhalt

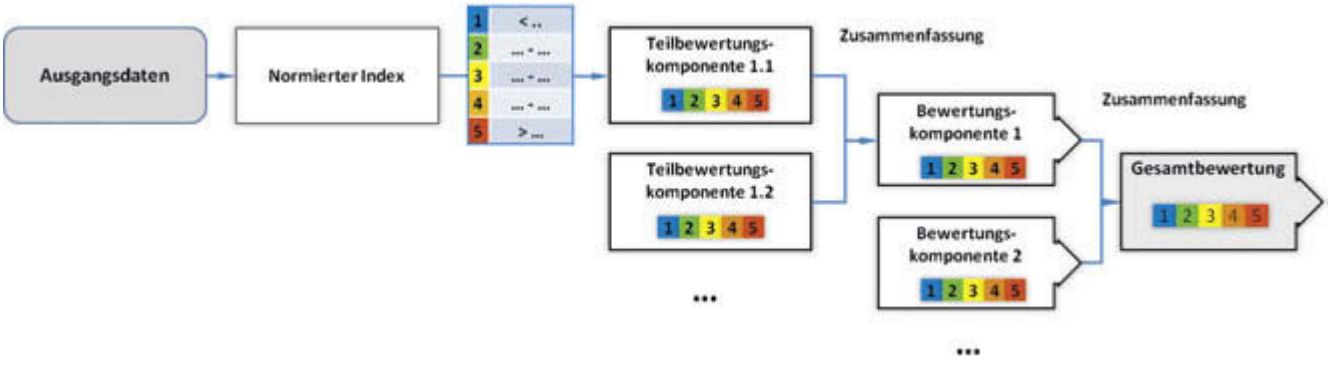

Abb. 1: Struktur des Bewertungsverfahrens

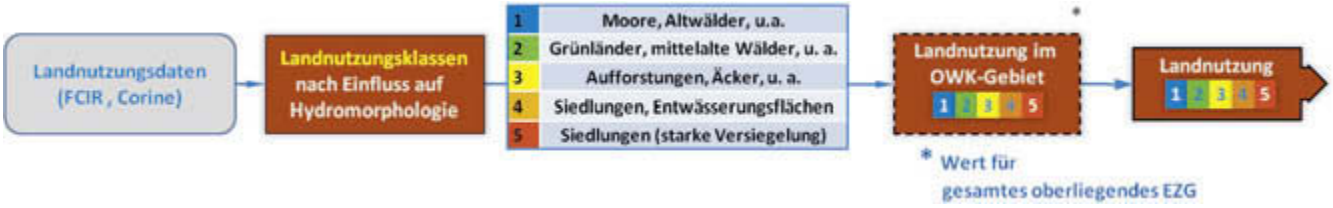

Abb. 2: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Landnutzung

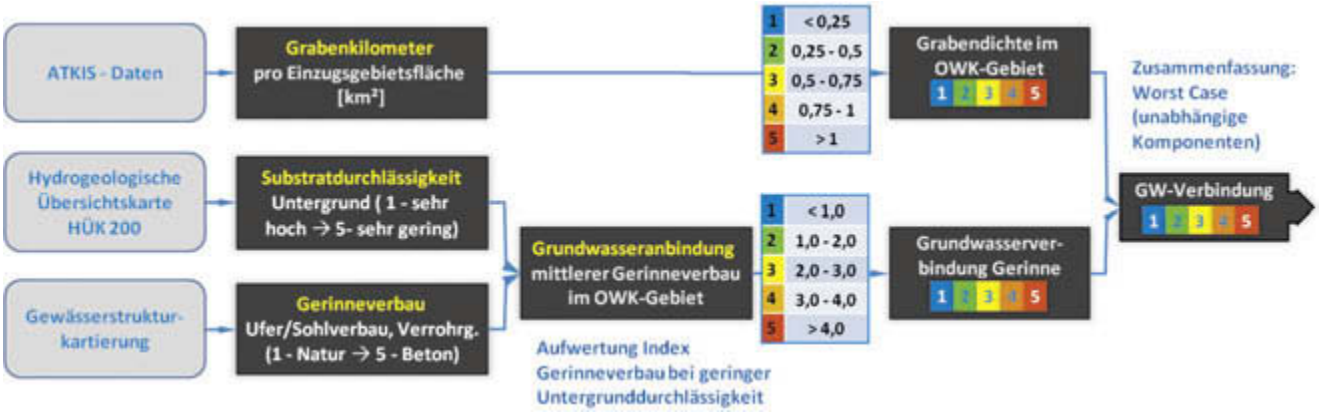

Abb. 3: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Grundwasserverbindung

ne deutliche Differenzierung der Bewertungsobjekte zu gewährleisten. Grundsätzlich hängt die festgelegte Klasseneinteilung von der Verteilung der normierten Indexwerte in Sachsen-Anhalt ab. Da in Sachsen-Anhalt wegen des hohen landschaftlichen Kontrastes zwischen Mittelgebirge und Tiefland jedoch immerhin zwei Drittel aller LAWA-Gewässertypen vorkommen, können die Bewertungsgrenzen für einen großen Teil der Landschaften in Deutschland als repräsentativ betrachtet werden. Im Fall einer Übertragung auf einen anderen Naturraum sollten jedoch die Klassengrenzen überprüft und wenn nötig angepasst werden.

2.3 HYDREG-Verfahren für Fließgewässer

I) Bewertungskomponente Landnutzung

Die Art der Landnutzung im Einzugsgebiet eines Fließgewässers hat einen direkten Einfluss auf die Prozesse von Abflussbildung und -konzentration. Dabei gilt im Grundsatz: Je naturnäher die Nutzungsform eines Areals, umso ursprünglicher bzw. unbeeinflusster ist sein Wasserhaushalt. Grundlage der Bewertungskomponente ist mithin die Bewertung von Landnutzungs- und Biotopformen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Landschaftswasserhaushalt und die Aggregation der einzelnen Flächenbewertungen im (kumulativen) Einzugsgebiet des Wasserkörpers (Abbildung 2).

II) Bewertungskomponente Grundwasserverbindung

Die Konnektivität eines Fließgewässers mit dem Grundwasser kann durch in unterschiedliche Richtungen wirkende anthropogene Prozesse beeinflusst werden. Eine starke Wirkung ruft zum Beispiel eine teilweise oder vollständige Versiegelung der Sohle oder des Ufers hervor. Eine Veränderung der Konnektivität wird andererseits durch Entwässerungsgräben zur flächenhaften Grundwasserabsenkung verursacht. Deshalb werden hier zwei Teilbewertungskomponenten eingesetzt und über das schlechtere Bewertungsergebnis (worst case) zusammengefasst (Abbildung 3).

III) Bewertungskomponente Gewässerausbau

Der Ausbau von Fließgewässern spielt für das hydrologische Regime, insbesondere auch in Form von Eingriffen quer zur

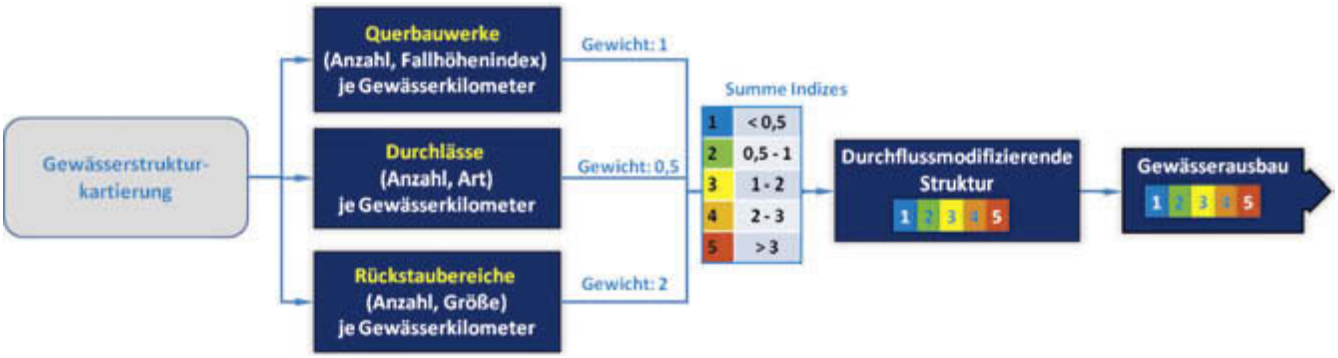

Abb. 4: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung des Gewässerausbaus

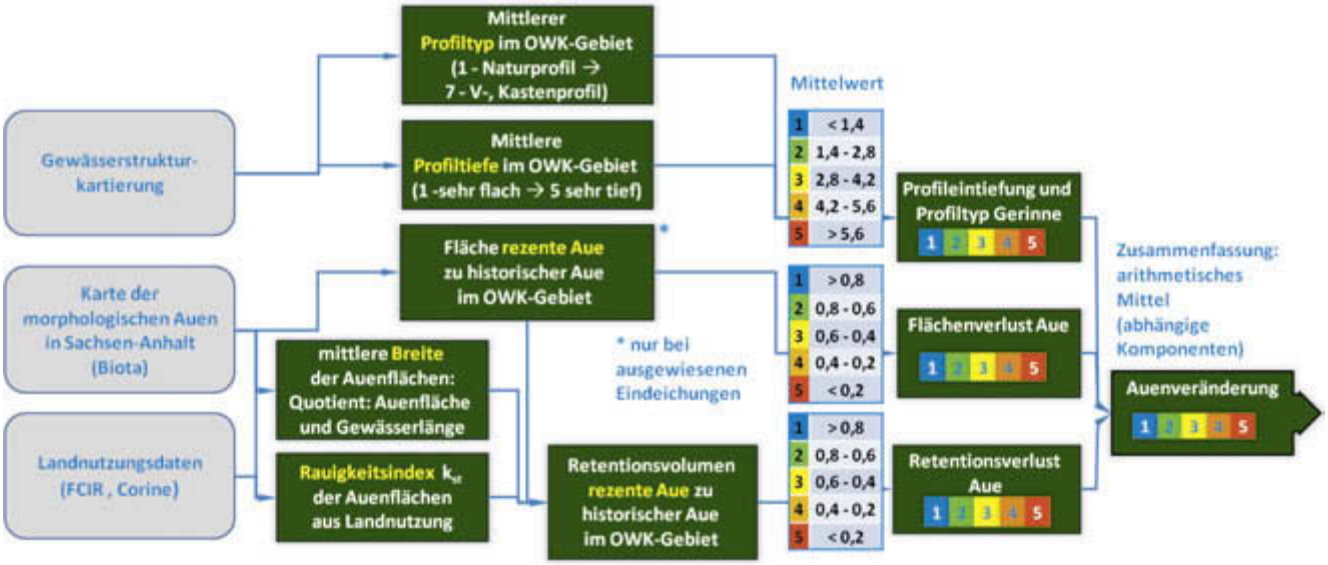

Abb. 5: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Auenveränderung

Fließrichtung, eine durchaus signifikante Rolle, indem der ursprüngliche Durchflussverlauf modifiziert wird. Laufverkürzungen, Längs- und Querprofilveränderungen oder auch veränderte hydraulische Rauigkeiten werden hier hingegen nicht bewertet. Zum einen sind hierfür teilweise keine regional und gewässertypisch zutreffenden Referenzdaten verfügbar, zum anderen soll eine „Doppelbewertung" (vgl. Fließgewässerstrukturbewertung) vermieden werden.

Mit den Daten über Querbauwerke, Durchlässe und Rückstaubereiche aus der Gewässerstrukturkartierung werden so letztlich bezüglich der Gewässerlänge normierte Vergleichsparameter berechnet, in ihrer Wirkung (pragmatisch) gewichtet und summarisch der fünfstufigen WRRL-Bewertungsskala zugeordnet (Abbildung 4).

IV) Bewertungskomponente Auenveränderung

Um den Wasserhaushalt der Auengebiete bewerten zu können, ist eine Abschätzung von Auenflächen- und Auenfunktionsverlust und somit der Vergleich der aktuellen mit ehemaligen Auenflächen notwendig. Als Grundlage für die Bewertung der Auenveränderung dient eine mit Fuzzy-Logik-Verfahren ermittelte Abgrenzung der wahrscheinlichen, morphologischen Aue [10]. Als zusätzliche Teilbewertungskomponente werden die anthropogenen Veränderungen der Gerinneprofile in der Aue anhand von Daten der Fließgewässerstruktur bestimmt, um diesen Einfluss auf die Überflutungshäufigkeit und den Grundwasserflurabstand in der Aue bewerten zu können [9] (Abbildung 5).

V) Bewertungskomponente Bau künstlicher Seen

Das Abflussverhalten und die Abflussdynamik von Fließgewässern kann auch durch die Schaffung von künstlichen Seen signifikant beeinflusst werden. Dies geschieht insbesondere durch den Bau von Talsperren und von großen Fischteichen sowie durch die Flutung von Tagesbaurestlöchern. Die Auswirkung auf das hydrologische Regime unterliegender Fließgewässer besteht zum einen aus der Verringerung der Abflussmengen wegen erhöhter Verdunstungsverluste und zum anderen aus der Veränderung der Abflussvariabilität und der innerjährlichen Verlagerung von Abflüssen durch anthropogen gesteuerte Wasserabgabe (künstliche Seeretention). Dementsprechend basiert diese Bewertungskomponente auf zwei Teilbewertungskomponenten (Abbildung 6).

VI) Bewertungskomponente Wassernutzung

Die anthropogene Beeinflussung des Gewässerabflusses durch Entnahmen oder durch Einleitungen kann mithilfe von Daten des Fachinformationssystem Wasser (FIS Wasser) abgeschätzt werden. FIS Wasser beinhaltet ein landesweites Verzeichnis von aktiven und zeitlich abgelaufenen Wasserrechten (Segment des FIS Wasser). Mithilfe der Mengenangaben in diesen

Wasserrechten und der Abschätzungen des mittleren Jahresdargebots kann die Intensität von Entnahme und Einleitung durch zwei Teilkomponenten bewertet werden (Abbildung 7).

Gesamtbewertung Fließgewässerwasserkörper

Als Ergebnis des HYDREG-Verfahrens steht eine einzelne Bewertungszahl als Maß für die Natürlichkeit des hydrologischen Regimes eines Oberflächenwasserkörpers. Gerade die Zusammenführung der Einzelkomponenten ist deshalb eine schwierige Frage, zumal die WRRL das „worst-case"-Prinzip favorisiert. Die vorteilhafteste Methode erscheint nach intensiver Diskussion unter den Projektbeteiligten eine quadratische Mittelwertbildung (Gleichung 1). Die Vorteile gegenüber anderer Methoden sind:

- höhere Gewichtung schlechter Teilbewertungen als beim arithmetischen Mittel,
- keine subjektiven Gewichtungsfaktoren wie beim gewichteten Mittel,
- vollständige Stetigkeit im Gegensatz zu Median und Modalwert,
- keine Vernachlässigung guter Teilbewertung wie beim Maximum,
- mathematisch eindeutige und unkomplizierte Berechnungsmethode.

$$GB_{hydReg} = \sqrt{\frac{BK_{LN}^{\ 2} + BK_{WN}^{\ 2} + BK_{kS}^{\ 2} + BK_{GA}^{\ 2} + BK_{AV}^{\ 2} + BK_{GWV}^{\ 2}}{6}} \quad (1)$$

mit:

GB_{Hydreg} = Gesamtbewertung hydrologisches Regime [–]
BK_{LN} = Bewertungskomponente Landnutzung [–]
BK_{WN} = Bewertungskomponente Wassernutzung [–]
BK_{kS} = Bewertungskomponente Bau künstlicher Seen [–]
BK_{GA} = Bewertungskomponente Gewässerausbau [–]
BK_{AV} = Bewertungskomponente Auenveränderung [–]
BK_{GWV} = Bewertungskomponente Grundwasserverbindung [–]

2.4 HYDREG-Verfahren für Seen

I) Bewertungskomponente Wasserstandsdynamik

Die Wasserstandsdynamik der Seen unterliegt potenziell einer zweiseitigen anthropogenen Einflussnahme. Zum einen kann die Schwankungsbreite und Intensität durch Ausflussbauwerke beeinflusst (gesteuert) sein; zum anderen kann das Einzugsgebiet einer anthropogenen Beeinflussung unterliegen. Letzteres wird in überwiegendem Maß durch Landnutzung und Retentionsveränderungen im Einzugsgebiet beeinflusst, sodass auf entsprechende Komponenten des Bewertungsverfahrens für Fließgewässer zurückgegriffen werden kann. Für die Teil-

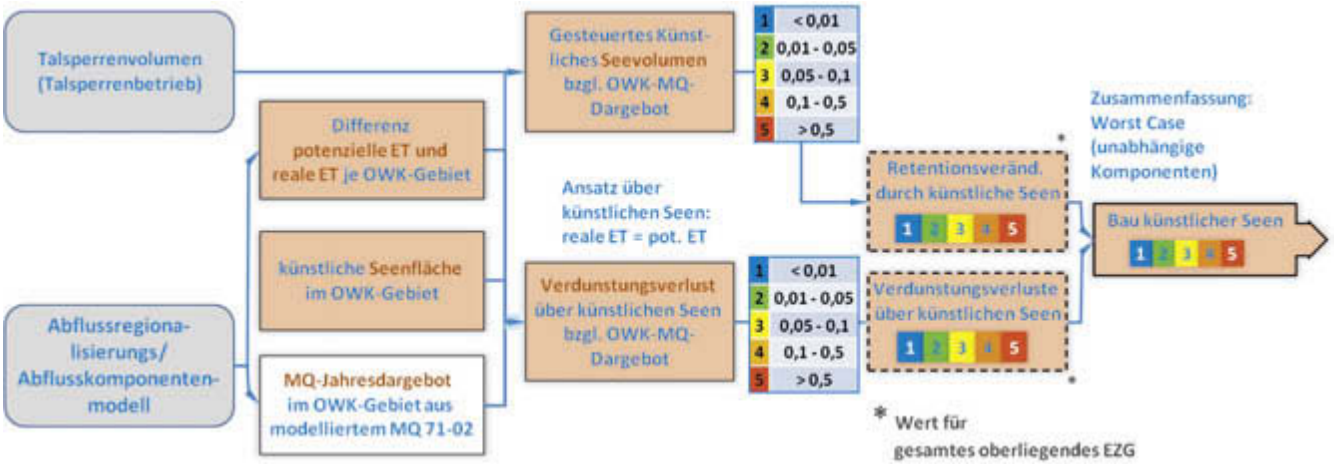

Abb. 6: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung des Baus künstlicher Seen

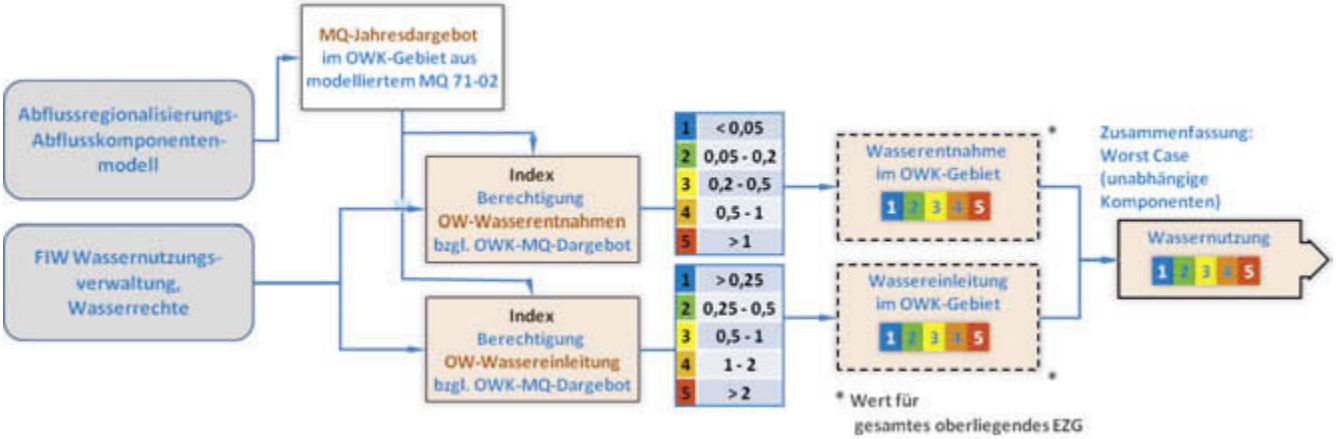

Abb. 7: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Wassernutzung

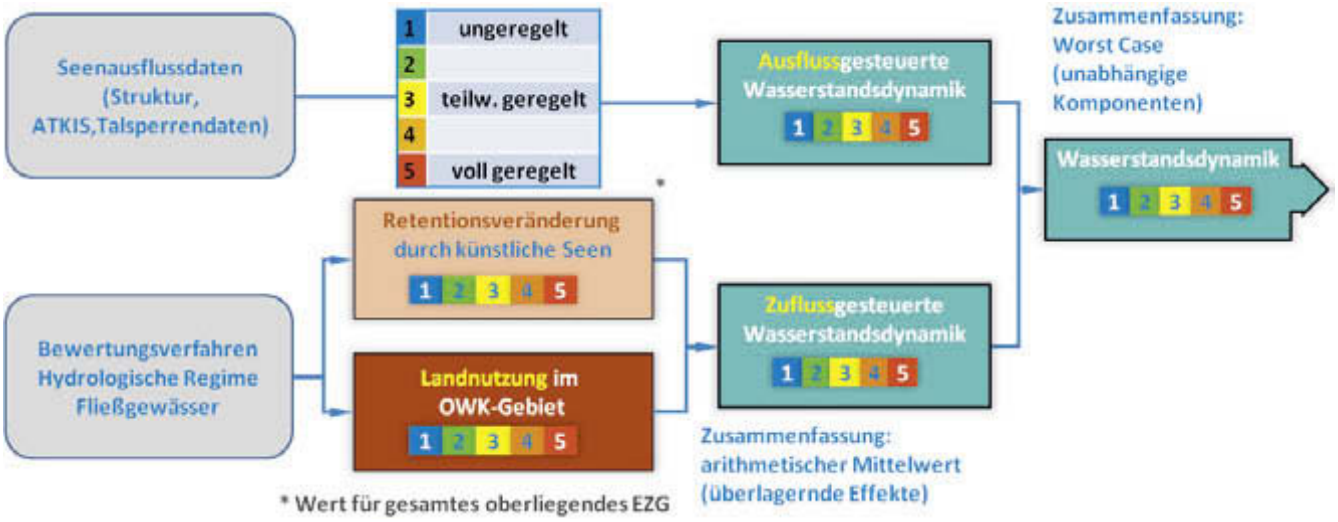

Abb. 8: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Wasserstandsdynamik

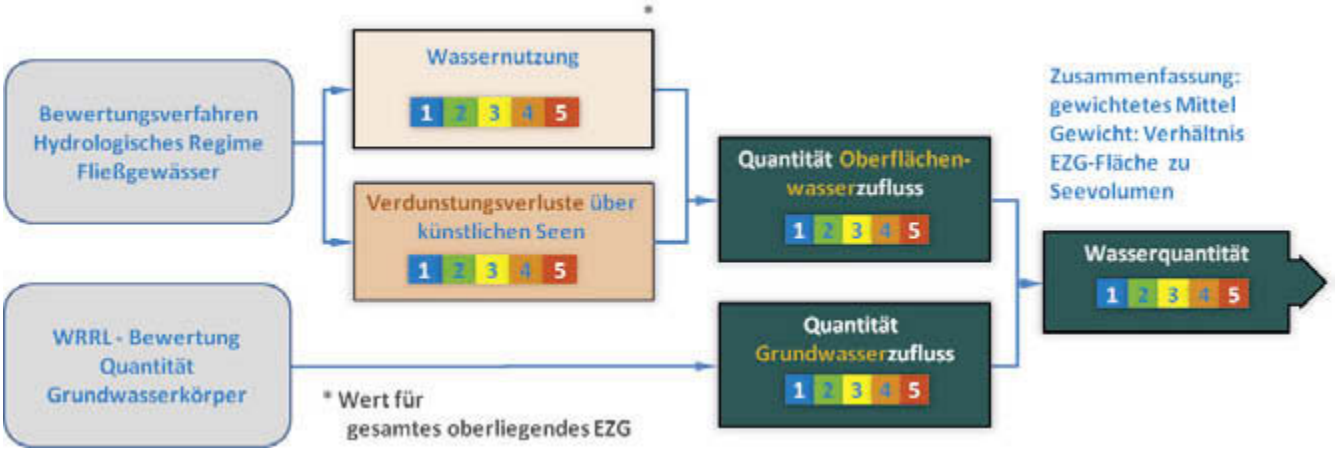

Abb. 9: Ausgangsdaten und Zwischenschritte zur Bewertung der Wasserquantität

bewertungskomponente „Ausflussgesteuerte Wasserstandsdynamik“ werden die Ausflussbauwerke der WRRL-relevanten Seen analysiert (Abbildung 8).

II) Bewertungskomponente Wasserquantität

Standgewässer werden in ihrem hydrologischen Regime durch Grund- und Oberflächenwasserzu- und -abstrom maßgeblich bestimmt. Um diese Verhältnisse bewerten zu können, wurde eine weitere Bewertungskomponente Wasserquantität gebildet. Diese greift in den Teilbewertungen auf vorhandene WRRL-Daten zurück (Bewertung Grundwasserkörper) bzw. nutzt zudem bereits vorliegende Teilbewertungen aus der Bewertung des hydrologischen Regimes der Fließgewässerwasserkörper (Abbildung 9).

Gesamtbewertung Seenwasserkörper

Die Gesamtbewertung wird adäquat zur Regimebewertung der Fließgewässer als quadratischer Mittelwert der Bewertungskomponenten bestimmt (Gleichung 2).

$$GB_{hydReg} = \sqrt{\frac{BK_{WD}^{\ 2} + BK_{WQ}^{\ 2}}{2}} \qquad (2)$$

GB_{Hydreg} = Gesamtbewertung hydrologisches Regime [–]
BK_{WD} = Bewertungskomponente Wasserstandsdynamik [–]
BK_{WQ} = Bewertungskomponente Wasserquantität [–]

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bewertung für die einzelnen Komponenten sind zunächst in Abbildung 10 dargestellt. Bewertungsergebnisse für die Fließgewässerwasserkörper gelten streng genommen erst für den Querschnitt des Gebietsauslasses (also den untersten Bereich in Fließrichtung betrachtet). Bei Wasserkörpern, die Nebengewässer mit umfassen, erfolgt die kartografische Darstellung der Bewertungsergebnisse damit auch nur am Hauptgewässer. Das Gesamtergebnis der Bewertung des hydrologischen Regimes ist in Abbildung 11 dargestellt. Dabei wird WRRL-konform zwischen Zustands- und Potenzialbewertung unterschieden. Die Verteilung auf die fünf Bewertungsklassen zeigt Abbildung 12.

Fließgewässer

Insgesamt lautet das Urteil für die Fließgewässer Sachsen-Anhalts zweimal „sehr gut“, 95-mal „gut“, 198-mal „mäßig“ und achtmal „unbefriedigend“. Die mit Abstand am häufigsten ermittelte „mäßige“ Bewertung betrifft alle großen Flüsse und Ströme, sowie Unter- und Mittelläufe der kleinen Gewässer. „Sehr gut“ oder „gut“ lautet das Urteil vorrangig an kleinen Gewässern und Oberläufen großer Gewässer. Das Gesamturteil „unbefriedigend“ ergeht an zum Teil erheblich

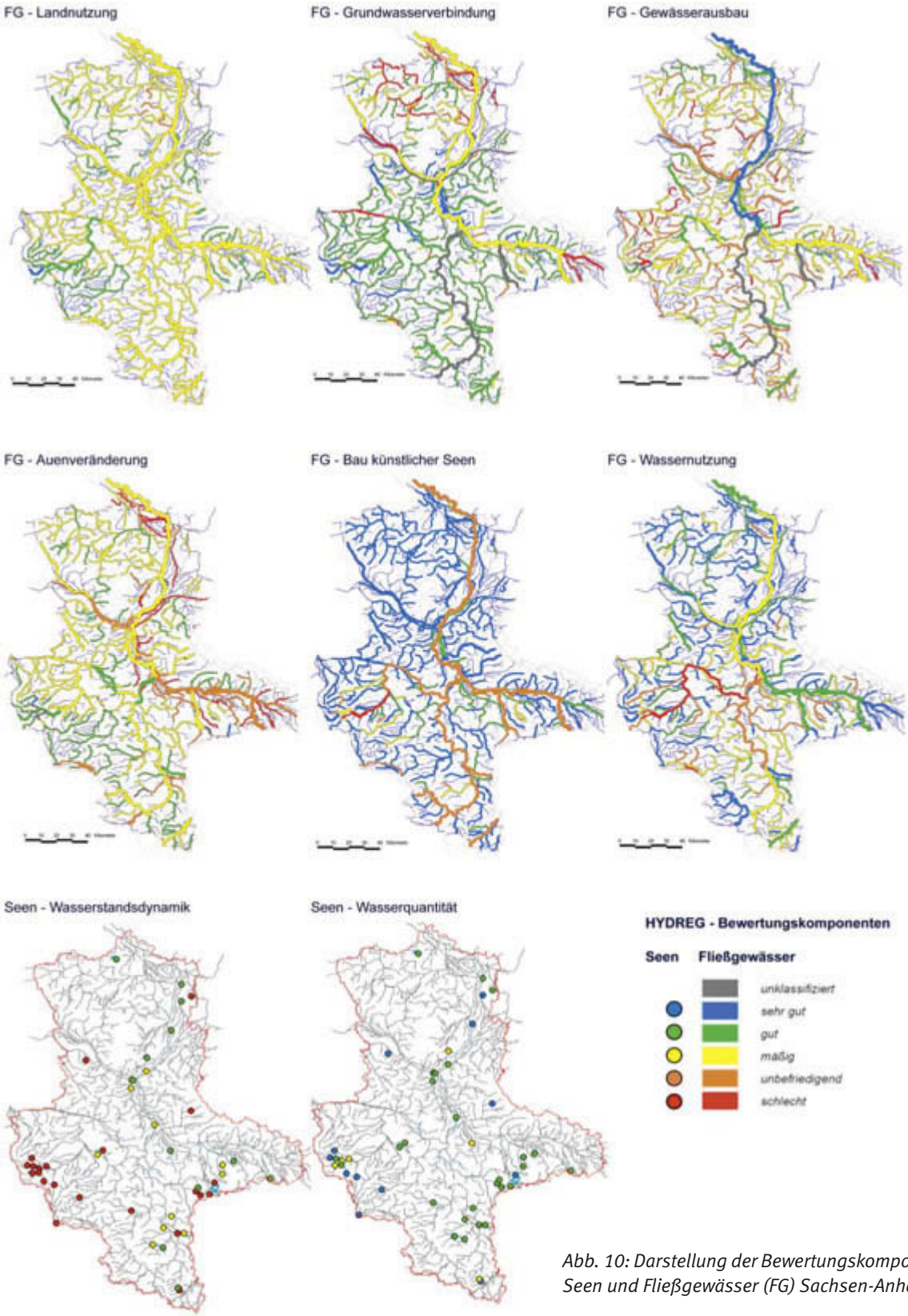

Abb. 10: Darstellung der Bewertungskomponenten für Seen und Fließgewässer (FG) Sachsen-Anhalts

veränderte Grabenwasserkörper und Abschnitte der Bode und Saale.

Seen

Für die 45 Seen-OWK wird 9-mal ein guter Zustand bzw. ein gutes Potenzial, 14-mal ein mäßiger Zustand bzw. ein mäßiges Potenzial und 22-mal ein unbefriedigendes Potenzial des hydrologischen Regimes festgestellt. Die Bewertung „unbefriedigend“ wird aufgrund der anthropogenen Wasserstandssteuerung und der damit verbundenen schlechten Einstufung der Wasserstandsdynamik vor allem für die WRRL-relevanten Talsperren vergeben. Die natürlichen Seen erreichen dagegen in der Regel die Bewertung „gut“, bei starker landwirtschaftlicher

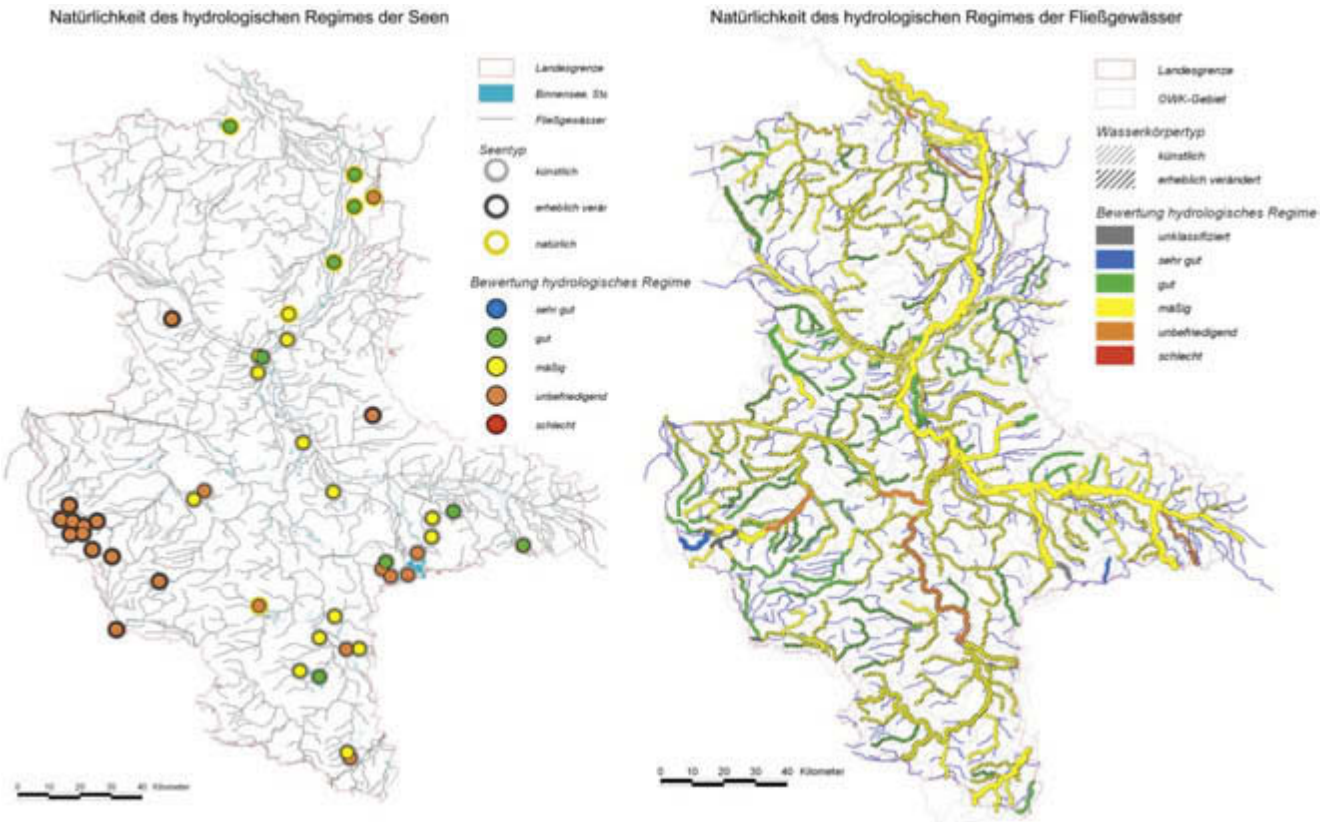

Abb. 11: Gesamtbewertung des hydrologischen Regimes für die Oberflächenwasserkörper der Fließgewässer und der Seen (OWK) von Sachsen-Anhalt

Nutzung im Einzugsgebiet oder künstlichen Auslassbauwerken auch „mäßig".

Beispiele

Die Bode weist als typisches Harzquellgewässer fast das gesamte Bewertungsspektrum auf. Die Gesamtbewertung „sehr gut" und „gut" wird in den Quellgewässern Warme und Kalte Bode erreicht. Unterhalb der Staukaskade der Bodetalsperren wird dagegen aufgrund sehr hoher Wassernutzung und sehr starker Regimeveränderungen durch die künstlichen Seen nur noch der Wert „mäßig", bei starkem Gewässerausbau sogar „unbefriedigend" erreicht.

Das Tieflandgewässer Aland gilt außer im Quellgebiet als erheblich verändert und erreicht über den gesamten unteren Gewässerverlauf eine Einstufung zum mäßigen Potenzial und im Quellgebiet zum mäßigen Zustand des hydrologischen Regimes. Während im Oberlauf vor allem die hohe Wassernutzung und der Gewässerausbau zu diesem Urteil führen, beruht dieses im Mittel- und Unterlauf auf starken Auenveränderungen, zum Teil hoher Beeinflussung der Grundwasserverbindung und starkem Gewässerausbau.

4 Validierung

Ziel einer Validierung war es, das entwickelte Bewertungsverfahren durch hydrologische Messwerte abzusichern. Als dafür geeignete Methode werden die Analyse langjähriger Abflusszeitreihen von Pegeln des Landes und ein Vergleich mit den Ergebnissen des Bewertungsverfahrens angesehen. Als Abflusszeitreihe wird hierbei die zeitabhängige Folge von an Pegeln

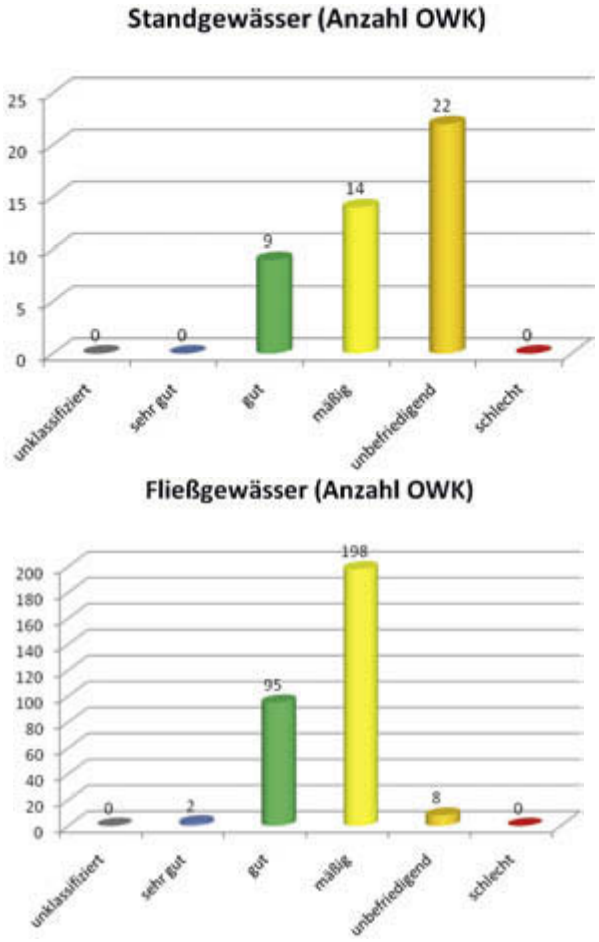

Abb. 12: Gesamtbewertung des hydrologischen Regimes für die Oberflächenwasserkörper der Fließgewässer und der Seen (OWK): Verteilung der OWK auf die fünf Bewertungsklassen

gemessenen oder aus Wasserstandswerten berechneten Abflusswerten verstanden. Bei ihrer Anwendung ist die Unabhängigkeit der Vergleichsgrößen als notwendige Bedingung einer Validierung sichergestellt, da die Abflusszeitreihen nicht Teil des Bewertungsverfahrens sind.

Grundlage des Validierungsansatzes ist die Annahme, dass ein Wasserkörper mit schlechterem Zustand bzw. Potenzial des hydrologischen Regimes tendenziell eine stärkere Veränderung der Abflusszeitreihe bezüglich eines Referenzzustandes aufweisen sollte als ein Wasserkörper mit guter oder sehr guter Zustandsbewertung. Als Referenzzustand können in der Regel Abflusswerte aus der Zeit vor 1950 angesehen werden [11]; bei noch früherem zeitlichem Bezug nimmt die Anzahl langjährig beobachteter Pegel sehr schnell ab. Insgesamt verfügen 23 Abflusspegel in Sachsen-Anhalt über entsprechend lange Zeitreihen.

Die Veränderungen von Zeitreihen lassen sich häufig nicht ohne Weiteres direkt an der Abfolge der Werte detektieren. Aus diesem Grund wurde ein festes Set von 33 IHA-Kenngrößen entwickelt (IHA = Indicators of Hydrological Alteration) [12], die aus der zugrundeliegenden Zeitreihe abgeleitet werden. Mithilfe dieser Kenngrößen lassen sich alle relevanten Veränderungen der Zeitreihe ermitteln. Für die 33 IHA-Parameter werden dabei Variabilitäts- und Mittelwertindizes berechnet. Diese geben für den jeweiligen Parameter innerhalb eines Untersuchungszeitraums den Grad der Veränderung von Jahresdynamik und -zentrum im Vergleich zum Referenzzeitraum wieder. Die Indizes haben für hydrologische Zeitreihen in der Regel einen Wertebereich von – 1 über 0 bis 1 und bewerten damit Erhöhung, Konstanz und Verringerung der Variabilität bzw. Verringerung, Konstanz und Erhöhung des Wertezentrums. Maßstab dieser Vergleichsindizes ist der RVA-Index (RVA = Range of Variability Approach) zur Beurteilung von Zeitreihenveränderungen an anthropogen beeinflussten Fließgewässern [12].

Abbildung 13 zeigt die schematische Vorgehensweise der Validierung am Beispiel der Zeitreihenkomponente „Abflusshöhe". Als Kern des Verfahrens fungiert eine Korrelationsanalyse mit Signifikanztest zwischen den Bewertungskomponenten der Fließgewässerregime und berechneten Variabilitäts- und Mittelwertsindizes aus 33 IHA-Jahreszeitreihen über die Menge der 23 Validierungspegel. Werden in ausreichendem Maß signifikante und erklärbare statistische Zusammenhänge zwischen den Vergleichsgrößen gefunden, so ist davon auszugehen, dass die entwickelten Bewertungskomponenten Veränderungen der hydrologischen Regime nachweislich wiedergeben.

Als großer Vorteil des gewählten Verfahrens kann gewertet werden, dass übergreifende Abflusszeitreihenveränderungen durch klimatische Veränderungen (sofern sie für alle Pegel gleichermaßen gelten) auf das Validierungsergebnis keinen Einfluss haben. Ursache dafür ist, dass nur die unterschiedlichen Reaktionen der Abflüsse auf Veränderungen mit den Regimebewertungskomponenten verglichen werden.

Insgesamt wurden 66 × 6 = 396 Parameterpaare (33 Mittelwerts-, 33 Variabilitätsindizes und sechs HYDREG-Fließgewässerbewertungskomponenten) auf Korrelation überprüft. Für 48 der 396 Vergleiche, also für 12,1% der Fälle, wurde ein signifikanter linearer Zusammenhang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 5 % festgestellt (Abbildung 14). Für al-

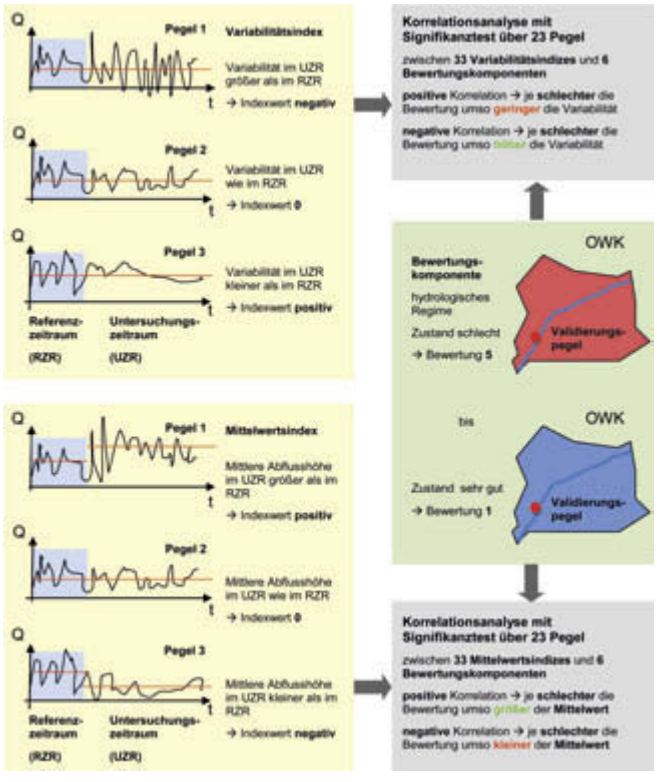

Abb. 13: Validierungsmethode zur Absicherung des Bewertungsverfahrens für die hydrologischen Regime der Fließgewässer

	IHA-Zeitreihenparameter	absolute Korrelation / Signifikanz	HYDREG-Bewertungskomponente
Mittelwert	mittlere Abflüsse des August	0,451	Auenveränderung
	mittlere Abflüsse des Januar	0,605	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse des März	0,598	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse des Mai	0,615	Bau künstlicher Seen
	1,3 und 7- Tagesminima	0,45	Bau künstlicher Seen
	Basisabflusshöhe nach Index Basisabfluss	0,582	Bau künstlicher Seen
	Anzahl der Hochwasserereignisse	0,451	Bau künstlicher Seen
	mittlerer Rückgang	0,517	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse des August	0,521	Grundwasserverbindung
	mittlere Abflüsse des August	0,58	Landnutzung
	Jahreszeitpunkt des Höchstabflusses	0,527	Landnutzung
	Anzahl der Niedrigwasserereignisse	0,466	Landnutzung
Variabilität	mittlere Abflüsse des Januar	0,617	Auenveränderung
	mittlere Abflüsse im Mai	0,489	Auenveränderung
	1,3 und 7-Tagesmaxima	0,45	Auenveränderung
	Höchstabflusszeitpunkt	0,526	Auenveränderung
	mittlere Abflüsse im August	0,449	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse im September	0,625	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse im Dezember	0,559	Bau künstlicher Seen
	1,3,7 und 30-Tagesminima	0,45	Bau künstlicher Seen
	mittleren Anstiege und Rückgänge	0,641	Bau künstlicher Seen
	mittlere Abflüsse im September	0,78	Gewässerausbau
	mittlere Abflüsse im Mai	0,712	Grundwasserverbindung
	mittlere Abflüsse des Januar	0,716	Landnutzung
	mittlere Abflüsse im Mai	0,542	Landnutzung
	mittlere Abflüsse des April	0,538	Wassernutzung
	mittlere Abflüsse im Mai	0,485	Wassernutzung
	Zeitpunkt des Niedrigstabflusses	0,474	Wassernutzung
	Anzahl der Hochwasserereignisse	0,527	Wassernutzung
	mittleren Anstiege und Rückgänge	0,642	Wassernutzung
		nicht sig. / signifikant* / sig.** / sig.***	

* Signifkanzniveau 0,05
** Signifkanzniveau 0,01
*** Signifkanzniveau 0,001

Verringerung
Erhöhung
von Mittelwert/Variabilität im UZR gegenüber RZR bei Verschlechterung der HYDREG-Bewertung

Abb. 14: Signifikante Zusammenhänge zwischen Veränderungen der Abflusszeitreihenparameter der Validierungspegel im Untersuchungs- gegenüber dem Referenzzeitraum und den zugeordneten HYDREG-Bewertungskomponenten

le sechs Bewertungskomponenten konnte mindestens ein korrelierender Zeitreihenindex gefunden werden: Das heißt, alle in den Bewertungskomponenten beurteilten menschlichen Eingriffe werden in den untersuchten Zeitreihen durch Veränderungen abgebildet. Da davon auszugehen ist, dass anthropogene Veränderungen nie alle Zeitreihenindizes (zum Beispiel mittlerer Januar- und Augustabfluss, innerjährliches Schwankungsverhalten, Niedrigwasserdauer, usw.) gleichzeitig beeinflussen, sind die 348 nicht korrelierenden Parameterpaarungen kein Indiz für Verfahrensunschärfen. Vielmehr ist durch die signifikante Korrelation jeder Bewertungskomponente mit mindestens einem Zeitreihenindex ein starker Zusammenhang zwischen dem Bewertungsverfahren des hydrologischen Regimes und Veränderungen der Zeitreihen statistisch nachgewiesen. Außerdem können dank des Validierungsverfahrens messbare Veränderungen im hydrologischen Regime in Folge eines Eingriffes konkret benannt werden.

5 Fazit und Diskussion

Für das Land Sachsen-Anhalt wurde ein Bewertungsverfahren für das hydrologische Regime der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) entwickelt. Damit wurde eine methodische Lücke geschlossen, in dem der Anforderung des An-

Beilagenhinweis!

Bitte beachten Sie die Beilagen der September-Ausgabe *KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft*

DWA, 53773 Hennef
– Flussgebietsmanagement
– Sanierungstage

hangs V WRRL für die hydromorphologischen Qualitätskomponenten Rechnung getragen wurde. Hierbei steht das hydrologische Regime der Oberflächenwasserkörper im Mittelpunkt der Betrachtungen. Es beschreibt die Prozess- und Zustandsgrößen (zum Beispiel Quantität und Schwankungsverhalten) des Abflusses (Fließgewässer), des Wasserstandes bzw. Volumens (Seen) und der hydrologischen Konnektivität der Oberflächengewässer zu Auen und Grundwasser. Das Verfahren wurde nicht nur exemplarisch entwickelt, sondern auch für alle Oberflächenwasserkörper von Sachsen-Anhalt angewandt. Die resultierenden Bewertungsergebnisse stehen somit für Gewässeranalysen und Entwicklungspläne zur Verfügung. Der Verfahrensansatz ist universell und damit räumlich übertragbar, muss aber gegebenenfalls im Hinblick auf vorhandene Grundlagendaten und damit Detailmethoden oder auch Teilkomponenten bezogen angepasst werden.

Untermauert wird das Bewertungsverfahren durch eine Validierung der Bewertungsergebnisse anhand von Veränderungen in den Abflusszeitreihen geeigneter hydrologischer Pegel. Im Sinne der WRRL-Zielerreichung „guter Zustand“ wurden zudem grundsätzliche Lösungsansätze in Form eines Katalogs zu hydrologisch wirksamen Maßnahmen entwickelt und im Projektbericht [5] festgehalten.

Anmerkung

Das der Veröffentlichung zugrunde liegende Vorhaben wurde aus Mitteln des Landes Sachsen-Anhalt finanziert [Auftraggeber: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW)].

Eine detaillierte Beschreibung des HYDREG-Verfahrens und die Ergebnisse für das Land Sachsen-Anhalt sind dem vollständigen Projektbericht [5] zu entnehmen, der auf der Internetseite des LHW heruntergeladen werden kann: *www.lhw.sachsen-anhalt.de*

Literatur

[1] D. Mehl, T. G. Hoffmann, M. Weiland, C. Mühlner: HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie, Teil 1: Hintergrund, Zielstellung und Grundlagen, *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2010, *3* (6) 300–304

[2] 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 (Wasserrahmenrichtlinie), *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, Nr. L 327 vom 22. Dezember 2000, 1–72

[3] LAWA: *Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser*, ausgearbeitet vom LAWA-Ad-hoc-Arbeitskreis „Verschlüsselung von Fließgewässern“, 19931

[4] T. G. Hoffmann: Entwicklung eines Geoinformationssystems zur Abflußzeitreihenanalyse und -modellierung in globalen, hydrologischen Netzwerken, Dissertation, Universität Greifswald, 2005

[5] *Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt*, Abschlussbericht Institut Biota, im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt, 2010

[6] B. Pfützner, B. Klöcking, F. Halbing: Modellgestützte Ermittlung von Abflusskomponenten für das Land Sachsen-Anhalt, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 2008, *52* (2), 48–55

[7] European Environment Agency: *Corine Land Cover 2000*, *http://etc-lusi.eionet.europa.eu/CLC2000*, Stand 3. April 2009

[8] US Geological Survey: Shuttle Radar Topography Mission, *www2.jpl.nasa.gov/srtm*, Stand 13. Mai 2009

[9] E. Brunotte, E. Dister, D. Günther-Diringer, U. Koenzen, D. Mehl (Hrsg.): *Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes*, Schriftenreihe „Naturschutz und biologische Vielfalt“, Heft 87, 2009

[10] D. Mehl, T. G. Hoffmann, H. Helbig: Bestimmung der morphologischen Auen in Sachsen-Anhalt mit Hilfe eines Fuzzylogik-Ansatzes, *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 2009, *2* (12), 659–665

[11] C. Leibundgut, M. Eisele: *Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens „Hydrologische Güte“ als Expertensystem zum operationellen Einsatz im Flussgebietsmanagement*, Abschlussbericht zum Projektvorhaben BWC 21013, Forschungszentrum Karlsruhe, 2005, *www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/hydgue/BW-Plus-Endbericht-2005-BWC-21013.pdf*

[12] B. D. Richter, J. V. Baumgartner, R. Wigington, D. P. Braun: How much water does a river need? – *Freshwater Biology* 1997, *37*, 231–249

Autoren

Dr. Tim G. Hoffmann, Dr. Dr. Dietmar Mehl
biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH
Nebelring 15, 18246 Bützow

Dipl.-Geogr. Mathias Weiland, Dipl.-Geogr. Christiana Mühlner
Landesbetrieb für Hochwasserschutz
und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
Postfach 4064, 39015 Magdeburg

E-Mail: postmaster@institut-biota.de

Bildungsveranstaltungen www.dwa.de
stets aktuell im Internet
Informieren Sie sich über Kurse, Seminare und Tagungen
DWA