

Dietmar Mehl, Tim G. Hoffmann, Verena Friske, Eckhard Kohlhas, Christoph Linnenweber, Christiana Mühlner und Katharina Pinz

Der Wasserhaushalt von Einzugsgebieten und Wasserkörpern als hydromorphologische Qualitätskomponentengruppe nach WRRL – der induktive und belastungsbasierte Ansatz des Entwurfs der LAWA-Empfehlung

The hydrological regime of river basins and water bodies as hydromorphological quality elements group under the WFD – the inductive and pressure-based approach of the draft LAWA Recommendation

Für eine WRRL-konforme Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern liegt eine Verfahrensempfehlung der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Entwurf vor. Der Beitrag erläutert die fachlichen Hintergründe und stellt die Methodik vor. Ausführungen zu nationalen und internationalen Arbeiten und entsprechenden Trends ergänzen die Darstellungen.

Schlagwörter: Einzugsgebiete, hydromorphologische Qualitätskomponenten, Klassifizierung des Wasserhaushalts, ökologisch notwendige Abflüsse, Wasserkörper, Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

A method recommendation by the German Working Group on water issues of the Federal States and the Federal Government (LAWA) exists as a draft for a WFD-compliant classification of the hydrological regime of river basins and water bodies.

The article explains the subject-specific backgrounds and presents the methodology. Comments on national and international work and corresponding trends complement the explanations.

Keywords: Environmental flows (eflows), hydrological regime alteration assessment, hydromorphological quality elements, river basins, water bodies, Water Framework Directive (WFD)

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Eine wesentliche Anforderung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zur Umsetzung der ambitionierten Gewässerschutzziele für die Oberflächenwasserkörper bildet die ökologische Zustandsbewertung. Als Qualitätskomponenten für die Einstufung des ökologischen Zustands (oder ggf. Potenzials) sind im Anhang V WRRL vorgegeben: (1) Biologische Komponenten; (2) Hydromorphologische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten; (3) Chemische und physikalisch-chemische Komponenten in Unterstützung der biologischen Komponenten.

Der ökologische Zustand wird grundsätzlich anhand biologischer Qualitätskomponenten bewertet, wobei hydromorphologische Komponenten unterstützend beteiligt sind (Tab. 1). Das bedeutet jedoch nicht, dass die Hydromorphologie eine geringe Rolle bei

der Umsetzung der WRRL spielt. Morphologie und hydrologische Verhältnisse in Gewässern bedingen die Habitatqualität und die Habitatvielfalt aquatischer Lebensräume in hohem Maße. Die hydromorphologischen Verhältnisse stellen somit eine Schlüsselfunktion für den Zustand der Biozöosen dar. Weitgehend intakte, dynamische Gewässerstrukturen auf der Basis möglichst natürlicher hydrologischer Verhältnisse sind eine Grundvoraussetzung für das Erreichen des guten ökologischen Zustands.

Für jede der hydromorphologischen Komponenten werden spezifische Klassifizierungsregeln benötigt. Für die Komponenten Morphologie und Durchgängigkeit wurden und werden länderübergreifend Bewertungsregeln entwickelt und angewendet. Für die Komponente Wasserhaushalt fehlen bislang einheitliche Regeln. Diese sind aber wichtige Grundlagen für Bestandsaufnahme, HMWB-Ausweisung (Heavily Modified Waterbodies, HMBW), Maßnahmenidentifikation und letztlich auch für das Reporting. Vor diesem Hintergrund hat sich der ständige Ausschuss „Oberir-

Tabelle 1

Qualitätskomponentengruppe „Wasserhaushalt“ der hydromorphologischen Qualitätskomponenten für Flüsse und Seen nach Anhang V WRRL bzw. Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011)
Quality component group “hydrological regime” of the hydromorphological quality components for rivers and lakes according to Annex V WFD and/or German Ordinance of Surface Waters (OGewV 2011)

Qualitätskomponentengruppe	Parameter	Flüsse	Seen
Wasserhaushalt	Abfluss und Abflussdynamik	x	
	Verbindung zu Grundwasserkörpern	x	x
	Wasserstandsdynamik		x
	Wassererneuerungszeit		x

dische Gewässer und Küstengewässer“ der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA AO) entschlossen, im Rahmen des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ ein Forschungsvorhaben „Bewertung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern“ (Projekt Nr. O 6.12.) durchzuführen. Die fachliche Bearbeitung erfolgte in enger, konsultativer Abstimmung zwischen dem Forschungsnehmer und der projektbegleitenden Arbeitsgruppe der LAWA. Zusätzlich wurden Zwischenstände in zahlreichen LAWA-Ausschüssen/-Expertenkreisen vorgestellt und diskutiert. Anfang 2014 fand ein Workshop „Bewertungsverfahren Wasserhaushalt“ in Hannover statt, an dem zahlreiche Vertreter der Länder und des Bundes teilnahmen und der dem Ziel diente, die Verfahrensansätze zu diskutieren und das vorhandene Expertenwissen mit einzubringen.

Die nunmehr im Entwurf vorliegende LAWA-Handlungsempfehlung zur Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern soll nachfolgend näher vorgestellt werden (Verfahrensempfehlung sowie separates Hintergrunddokument, MEHL et al. 2014a, b).

Grundsätzlich greift die LAWA-Handlungsempfehlung in Teilen auch auf Intention und Systematik einer „hydrologischen Güte“ entsprechend EISELE et al. (2002, 2003) sowie LEIBUNDGUT & EISELE (2005) zurück. Sie basiert zudem wesentlich auf Ergebnissen eines Vorhabens des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt (LHW) „Bewertungsmethodik zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des Wasserhaushalts der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß WRRL im Land Sachsen-Anhalt“ (BIOTA 2010, www.lhw.sachsen-anhalt.de); diese Projektergebnisse sind publiziert, u.a. in MEHL et al. (2010), HOFFMANN et al. (2010a, b), MÜHLNER et al. (2011), HOFFMANN & MEHL (2010), MEHL (2011).

1.2 Stand des Wissens

Historische und rezente hydrologische Bedingungen setzen den Rahmen für aktuelle geo- bzw. hydromorphologische Prozesse (Bildungsprozesse der Gewässernetze in den Flussgebieten, Prozesse der Talformung, der Gewässerbettentwicklung usw., z.B. MANGELSDORF & SCHEURMANN 1980). Häufigkeit und Dauer hydrologischer Extreme bestimmen dabei über Konstanz bzw. relative ökologische Stabilität (Eustasie) oder Extremität (Astasie) der Bedingungen für die Lebensgemeinschaften im Wasserkörper, an der Gewässersohle und in der Aue. Für eustatische Gewässer sind lebensoptimale Bedingungen typisch, für astatische Gewässer gelten die ökologischen Regeln für die Besiedlung extremer Lebensräume (THIENEMANN 1939). Aus einer integrierenden ökologischen Betrachtung heraus wirken hydrologische Prozesse mehrheitlich aber vor allem durch die Überlagerung mit parallelen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen auf die Lebensgemeinschaften ein.

Unter natürlichen Bedingungen sind die hydroklimatischen Größen für die Abflussverhältnisse bestimmend. Vor allem gilt der Niederschlag als prozessauslösend; er ist das klassische Eingangssignal in hydrologischen Systemen. Die verdunstungsrelevanten hydroklimatischen Größen bestimmen die Prozesskonstellationen und nehmen in ihrer Bedeutung für den Wasserhaushalt zu, je größer der atmosphärische Verdunstungsanspruch (potenzielle Evapotranspiration) im Verhältnis zum Niederschlag zu bewerten ist. Dieser Einfluss wächst mit der Zeitspanne einer

Betrachtung; demzufolge sind verdunstungsbestimmende Größen wie insbesondere Strahlungsintensität und -dauer, Lufttemperatur und -feuchte und Wind potenzialbestimmend. Die reale Evapotranspiration wird durch die tatsächliche Verfügbarkeit von Wasser in der Landschaft begrenzt: Die hydroklimatischen Veränderungen infolge des globalen Klimawandels (IPCC 2014) sind deshalb als zusätzliche analytische Erschwernis bei der Suche nach dem anthropogenen Beitrag, im Sinne einer Belastung, im Wasserhaushalt zu sehen, gerade im Hinblick auf Zeitreihen hydrologischer Größen.

Der Abflussprozess wird in der Hydrologie gemeinhin als stochastischer Prozess (Zufallsprozess) mit einem deterministischen und einem zufälligen Anteil aufgefasst (DYCK & PESCHKE 1983); auch chaotische Prozesskennzeichen können eine große Rolle spielen (REGONDA et al. 2004). Die Nichtlinearität des Abflussprozesses führt zu großen analytischen Schwierigkeiten (PORPORATO & RIDOLFI 2003).

Das Wirken des Menschen beeinflusst in den Kulturlandschaften in hohem Maße den Landschaftswasserhaushalt, was zu modifiziertem Abflussverhalten der Fließgewässer bzw. zu veränderten Zuflüssen für Seen führt. Gerade aber in komplexen Einzugsgebieten ist es sehr schwer, hydrologische Veränderungen infolge anthropogenen Einflusses aus hydrologischen Beobachtungsdaten eindeutig und zweifelsfrei abzuleiten; hier bestehen hohe Unsicherheiten einer Bewertung, vor allem bei höher aufgelösten Raum-/Zeitskalen (MERZ et al. 2012). Trotzdem gibt es teilweise Versuche einer expliziten hydrologischen Regionalisierung des anthropogenen Einflusses, z.B. PETERSON et al. (2011).

Wichtige Aspekte, die in die Betrachtung bzw. Bewertung anthropogenen hydrologischen Einflusses einzubeziehen sind, lassen sich wie folgt umreißen:

- die Variabilität bzw. Instationarität (physikalisch, chemisch, ökologisch), besonders in Fluss-Ökosystemen, und folglich die hohe Bedeutung von Raum und Zeit sowie entsprechender Prozessdimensionen (RICHTER et al. 1997, THOMS 2006, WARD 1989)
- die Rolle des Wassers als das wichtigste Transport- und Lösungsmedium während des Abflussprozesses; in den Gewässern hängen Transport und Akkumulation von Stoffen entscheidend von der Wasserführung und ihrer zeitlichen Dynamik ab; der Beitrag der Auen zu Retention bzw. Verringerung von Stofffrachten gerät zunehmend in den Fokus (CRAFT & CASEY 2000, JOHNSTON 1991, NAIMAN & DECAMPS 1997, PINAY et al. 1994); Umsatz und Rückhalt gelöster und partikulär gebundener Stoffe in Auen werden maßgeblich durch das hydrologische Regime bestimmt (SCHOLZ et al. 2012)
- die hydrologische Konnektivität als Ausdruck lateraler und vertikaler Beziehungen zum Einzugsgebiet (z.B. LANE et al. 2009), zu den Auen (z.B. BARETT et al. 2010, SCHOLZ et al. 2012, TOCKNER et al. 1999) und dem Grundwasser (z.B. JENSCO et al. 2009); dies hat u.a. hohen Einfluss auf standörtliche Verhältnisse (BARETT et al. 2010) sowie die Nahrungsketten und somit auf die trophische Stellung der Arten, z.B. für die Fischfauna (ROACH et al. 2009)
- die Wirkungskomplexitäten und die Prozessüberlagerung; insbesondere kombinierte bzw. synergistische Effekte von Belastungen, die Ökosysteme anfälliger für Änderungen machen, welche zuvor noch absorbiert werden konnten (FOLKE et al. 2004)

- natürliche, bzw. zumindest naturnahe, hydrologische, geohydrologische und hydrodynamische Prozesse bilden die Grundlage funktionsfähiger geoökologischer Prozesse und Strukturen in den Fließgewässern und deren Auen, welche den abiotischen Rahmen für die Lebensgemeinschaften setzen; sie sind notwendig zur Erhaltung einer selbsttragenden Biokomplexität in den Fließgewässersystemen (THORP et al. 2006); eine Wiederherstellung natürlicher Abflussdynamik bzw. -variabilität in anthropogen veränderten Gewässersystemen bildet eine essentielle Grundlage für die natürliche Gewässer- und Auenbesiedelung (MEROT et al. 2006)

1.3 Wesentliche Trends und Entwicklungen im Hinblick auf eine Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern

Im Hintergrunddokument der LAWA-Verfahrensempfehlung (MEHL et al. 2014b) ist eine vergleichsweise umfangreiche Analyse der internationalen und nationalen Literatur angeführt. Die Literaturanalyse zeigt im Ergebnis eindrucksvoll, dass die Thematik „Wasserhaushalt“ im Kontext der ökologischen Bewertung von Gewässern offenkundig in immer stärkerem Maße Gegenstand der internationalen Forschung ist. Die regionale Zuordnung verdeutlicht, dass das Gros der Arbeiten aus Europa und hier nahezu komplett aus den EU-Ländern stammt. Zusammen mit dem zeitlichen Trend zeigt dies, dass die Notwendigkeit der WRRL-Umsetzung hier eindeutige Spuren hinterlässt.

In den USA hat eine große Zahl von Experten aus Institutionen, Behörden und Hochschulen der Bundesstaaten sowie von Bundesbehörden (z.B. EPA, USGS) vor wenigen Jahren ein deskriptives, konzeptionelles Modell für die Interpretation von Veränderungen in aquatischen Ökosystemen auf der Basis eines Gradienten der biologischen Bedingungen ausgearbeitet („Biological Condition Gradient“, DAVIES & JACKSON 2006). Kern des Modells ist eine Abstufung in sechs Schritten. Bei der Zusammenfassung der Stufen 1 und 2, natürlich bzw. nur geringfügig verändert, wäre eine der WRRL-Systematik vergleichbare 5-stufige Bewertungsstruktur gegeben.

Insgesamt lassen sich in der Fachliteratur und auch in den Dokumenten der EU-Mitgliedstaaten einige grundsätzliche Tendenzen bezüglich der Herangehensweise erkennen. Dies erlaubt, die verschiedenen Methoden in insgesamt sechs grundsätzliche methodische Ansätze zu gruppieren (Abb. 1).

2 LAWA-Klassifizierungsverfahren

2.1 Methodik

2.1.1 Für den Wasserhaushalt relevante Eingriffs- bzw. Belastungstypen

Der vorgenommene Vergleich der methodischen Ansätze zeigte, dass der Vorzugsweg für ein LAWA-Verfahren im Bereich der Bewertung der Belastungsfaktoren für Einzugsgebiete und Wasserkörper zu suchen ist. Die Vorteile liegen auf der Hand:

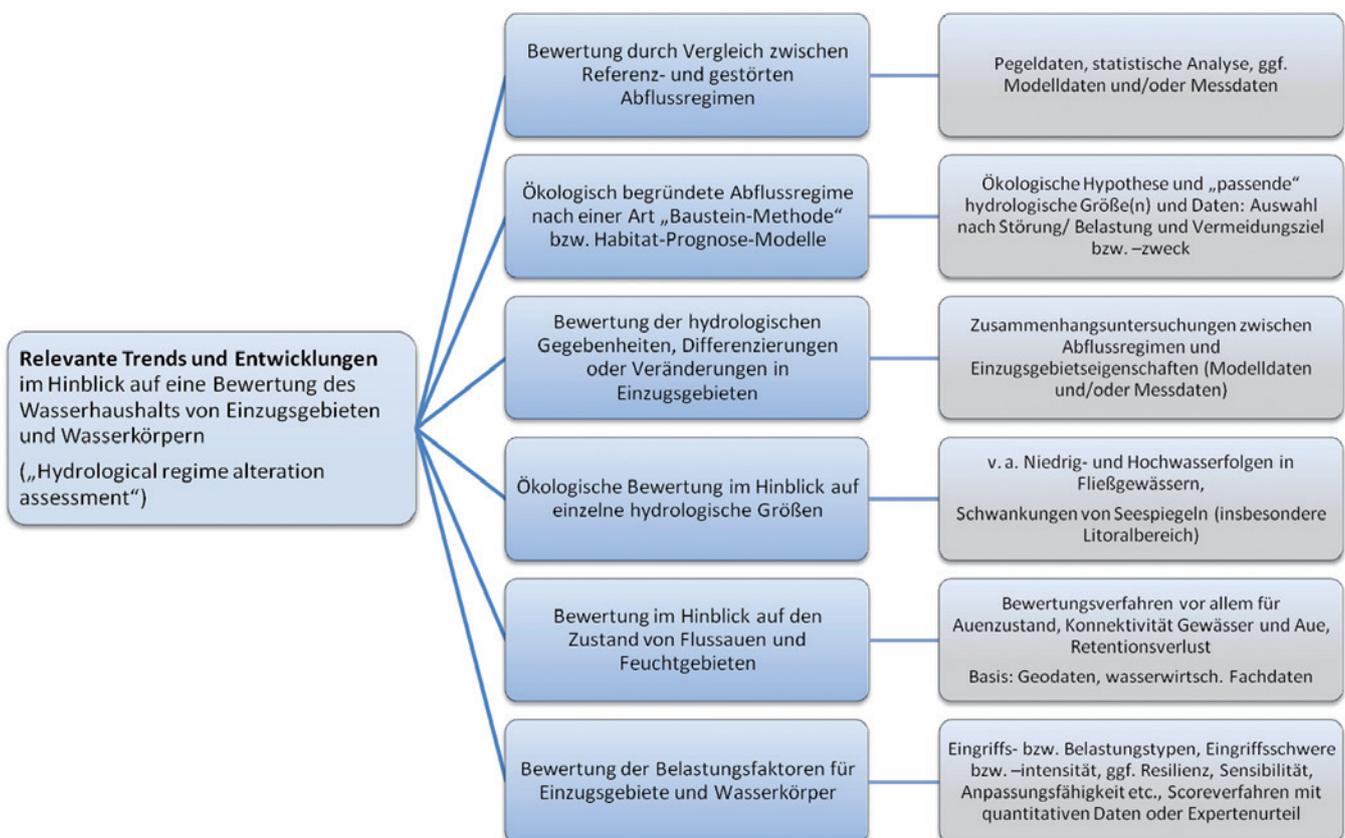


Abbildung 1 Wichtigste Trends und Entwicklungen im Hinblick auf eine Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern (hydrological regime alteration assessment)
 Major trends and developments in view of a classification of the hydrological regime of catchments and water bodies (hydrological regime alteration assessment)

- keine Schwierigkeiten mit der Festlegung der Referenzbedingungen, da die Referenz eingriffs-/belastungsbezogen grundsätzlich die fehlende oder nur sehr geringfügige Belastung ist,
- Eindeutigkeit einer Belastungsindikation bzw. Möglichkeit kausaler Schlüsse,
- vergleichsweise gute Datenverfügbarkeit bzw. noch beherrschbarer Aufwand für eine Datenbeschaffung,
- grundsätzlich vollständige räumliche Abdeckung mit notwendigen Daten (Geodaten, wasserwirtschaftliche Daten), ggf. alternative Ermöglichung von Expertenbewertungen,
- Vollständigkeit des Bewertungsansatzes im Hinblick auf Anhang V WRRL bzw. OGewV sowie Ermöglichung einer hohen Konformität mit EU-weit abgestimmten WRRL-Vorgehensweisen hinsichtlich Belastungsfaktoren (insbesondere Pressure Types nach WFD-Codelist, s.u.).

Im Zuge der Umsetzung der WRRL werden einheitliche Datenstandards verwendet, die zugleich auch Kategorisierungen/Typisierungen der wesentlichen Aspekte repräsentieren. Insofern kann auf die sogenannte „WFD-Codelist“ (WFD Template Definition Annex) zurückgegriffen werden, welche auch für den Wasserhaushalt relevante Eingriffs-/Belastungstypen enthält. Dieses Vorgehen sichert einheitliche Bezüge und Begriffskategorien (PressureTypeCode) ab. Die entsprechende WFD-Codelist als Liste potenzieller Belastungen wurde deshalb für die Wasserkörper-Typen Oberflächenwasser (OW) und Grundwasser (GW) konsequent nach den Parametern des Wasserhaushalts (Anhang V WRRL bzw. OGewV) analysiert, um einfache Regeln im Sinne der Abbildung von Einfluss und Wirkung abzubilden, Beispiel in Tabelle 2.

2.1.2 Referenzbedingungen

Die Referenzbedingungen für Oberflächenwasserkörper werden durch den sehr guten Zustand nach WRRL wiedergegeben. Die bisherigen bundesweit orientierten Arbeiten im Hinblick auf Referenzen für Fließgewässer enthalten keine oder nur unkonkrete hy-

drologische Kennzeichnungen (POTTGIEßER & SOMMERHÄUSER 2008). Bei der Ausweisung morphologischer Typen und/oder der Spezifizierung der bundesdeutschen Fließgewässertypen in den Bundesländern erfolgte teilweise eine etwas stärkere Ausweisung hydrologischer Merkmale, z.B. in Nordrhein-Westfalen bezüglich Abfluss, Abflussspende und Abflussdynamik (EHLERT et al. 2001) und in Brandenburg über gewässertypabhängige hydrologische Zustandsklassen (LUGV 2011). Etwas weiter geht auch die hydrologische Kennzeichnung bei den deutschen Seentypen (MATHES et al. 2002). Die Seentypen weisen die hydrologischen Merkmale (1) relative Größe des Einzugsgebietes (klein oder groß) sowie (2) Einfluss des Einzugsgebiets auf Wasser- und Stoffhaushalt über den Parameter Volumenquotient (VQ in km²/106 m³; Verhältnis der Fläche des oberirdischen Einzugsgebiets einschließlich Seefläche zum Seevolumen) auf.

Grundsätzlich lassen sich hydrologische Merkmale der Gewässertypen deutschlandweit nur in sehr großen Spannbreiten beschreiben, da die hydrologischen Regime starken regionalen Ausprägungen unterliegen. Grundlagenarbeiten wie z.B. der Hydrologische Atlas von Deutschland (HAD 2000, 2001, 2003) sind demzufolge als makroskalige Bewertungsebene aufzufassen. In vielen Bundesländern sind räumlich höher aufgelöste Daten zwar vorhanden, untereinander und damit deutschlandweit vergleichbar sind sie hingegen nur eingeschränkt (unterschiedliche Ansätze, Zeitreihen, Kriterien etc.).

Angesichts dieses Hintergrundes und auf Grund der Wahl eines belastungsorientierten Ansatzes kann und muss auf eine typbezogene Klassifizierung des Wasserhaushaltes vorerst verzichtet werden. Die Belastungsindikation als Grundlage der Klassifizierung erfolgt von daher mit einem generell gleichartigen Ansatz. Letztlich wird den Standardkriterien zur Ableitung von Referenzbedingungen im Sinne eines sehr guten ökologischen Zustands nach LAWA (2013c) gefolgt.

Tabelle 2	
Beispiel für einen relevanten Eingriffs-/Belastungstyp (Pressure Type) der Wasserkörper-Typen (WK-Typ) Oberflächenwasser (OW) und Grundwasser (GW) nach WFD-Codelist (WFD Template Definition Annex: WFD-Codelist, Bundesanstalt für Gewässerkunde: Stand: 10.9.2012, leicht ergänzt/überarbeitet) und potenzielle Wirkungen auf den Wasserhaushalt der Flüsse (F) und der Seen (S)	
<i>Example of a relevant pressure type belonging to the group of water body types (WK type) surface water (OW) and groundwater (GW) according to the WFD-Code list (WFD Template Definition Annex: WFD-Code list, Federal Institute of Hydrology: as of 10.9.2012, slightly amended/revised) and potential impacts on the water regime of rivers (F) and lakes (S)</i>	
Primäre Betroffenheit: WK-Typ	GW (Grundwasser)
Value: Signifikante Belastung	P29: Städtische Bebauung
Wirkung auf Abfluss und Abflussdynamik (F)	Verminderung von Bodeninfiltration und Grundwasserneubildung durch Flächenversiegelung (ggf. technische Kompensationsmöglichkeiten über Versickerungsanlagen), daher Auswirkungen auf Abflusskomponenten (Höhe und Dynamik): Verschiebung von langsamen zu schnellen Komponenten und Erhöhung der Abflussdynamik, spezifische Auswirkungen von Regenkanalisationen (p9)
Wirkung auf die Verbindung zu Grundwasserkörpern (F, S)	Verminderung von Bodeninfiltration und Grundwasserneubildung durch Flächenversiegelung, Verringerung des Grundwasserabflusses und Senkung von Grundwasserständen: daher Verschlechterung der Verbindung zu Grundwasserkörpern, Absenkung von Grundwasserspiegeln mit möglichen Folgen für GW-abhängige Landökosysteme
Wirkung auf die Wasserstandsdynamik (S)	Vergrößerung der Wasserstandsdynamik infolge Verschiebung von langsamen zu schnellen Abflusskomponenten
Wirkung auf die Wassererneuerungszeit (S)	Im Regelfall Verringerung der Wassererneuerungszeit infolge Abflusserhöhung durch verminderte Verdunstungsverluste auf (ursprünglich) grundwassernahen Flächen sowie infolge verminderter Verdunstung von versiegelten Flächen
Quellen (Beispiele)	DYCK et al. (1980a, b), DVWK (1982, 1986, 1988, 1989, 1990), IMHOFF & IMHOFF (1990), EISELE et al. (2002, 2003), LEIBUNDGUT & EISELE (2005), WEYAND (2012)

2.1.3 Methodischer Ansatz

Aus der Definition in der WRRL und dem fachlichen Gebot einer Überschneidungsfreiheit von Bewertungsansätzen heraus ist die Klassifizierung des Wasserhaushalts generell als ein hydrologisches Problem anzusehen. Somit sollte auch diese Dimensions-/ Maßstabebene bezüglich der Kriterien nicht verlassen werden; höher aufzulösende hydraulische (hydrodynamische) Kriterien bedürfen sehr detaillierter Ansätze und vor allem fundierter Daten. Strukturelle hydromorphologische Kriterien werden bereits über die Gewässerstruktur der Fließgewässer und die Strukturen der Seeufer klassifiziert, so dass sie nicht doppelt bewertet werden sollten.

Bei einer Bewertung hydrologischer Zusammenhänge ist grundsätzlich zwischen induktivem und deduktivem Herangehen zu unterscheiden (Abb. 2). Die induktive (genetische) Methode zielt auf eine Bestimmung der für die hydrologischen Prozesse maßgebenden Systemeigenschaften und damit der Einzugsgebietscharakteristika. Sie baut maßgeblich auf der regionalen Verteilung der Einflussfaktoren (DYCK et al. 1980b) auf. Im Gegensatz dazu fußen deduktive (empirische) Methoden auf ermittelten hydrologischen Kenngrößen, vor allem auf Abflussdaten. Bei derartigen Verfahren muss aus der Gebietsreaktion auf die hydrologischen Prozesse und ihre Kennzeichen geschlossen werden.

MERZ et al. (2012) verweisen explizit auf die hohen Unsicherheiten der Bewertung hydrologischer Veränderungen in komplexen Einzugsgebieten (vor allem bei höher aufgelösten Raum-/ Zeitskalen) und fordern die Benennung von Grenzen und Unsicherheiten, eine entsprechend sachgerechte Kommunikation sowie die Berücksichtigung dieses Aspektes bei Entscheidungsfindungsprozessen. Bei einer Bewertung der anthropogen verursachten Störungen hydrologischer Prozesse und deren ökologischen Folgen trifft man insgesamt auf zahlreiche Schwierigkeiten (s. umfangreiche Diskussion bei MEHL et al. 2014b), was letztlich gegen eine deduktive Vorgehensweise spricht. Hierzu zählen insbesondere:

- die hohe zeitliche und räumliche Variabilität der Wasserhaushaltsgrößen bzw. ihrer bestimmenden physikalischen Größen und damit die mangelnde Verfügbarkeit von entsprechend hochaufgelösten Daten, einschließlich der Schwierigkeiten einer Nachbildung mit hydrologischen Modellansätzen zur Berechnung und Simulation des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsmodelle, komplexe hydrologische Einzugsgebietsmodelle etc.),
- die unvollständige räumliche und zeitliche Abdeckung durch die gewässerkundlichen Messnetze,
- die in Beobachtungsdaten enthaltenen und schwer identifizierbaren anthropogenen Störungen und hydroklimatischen Trends,
- die nur in sehr geringem Umfang vorhandenen Referenz-Einzugsgebiete als Maßstab für ungestörte, anthropogen unbeeinflusste hydrologische Verhältnisse,
- die räumliche und zeitliche Verschiebung bezüglich Ursache/Eingriff und Wirkung/ Reaktion,
- die Problematik kumulativer (summarischer) bzw. synergistischer (überlagernder) Wirkungen (wirkungssteigernde Prozessüberlagerung),
- die Problematik von rückkoppelnden Wirkungen (wirkungsdämpfende Prozessüberlagerung) sowie
- die Problematik, dass sich viele hydrologische Faktoren als physikalische und biomechanische Wirkungen auf die Organismen erst auf der topischen und subtopischen Ebene zeigen.

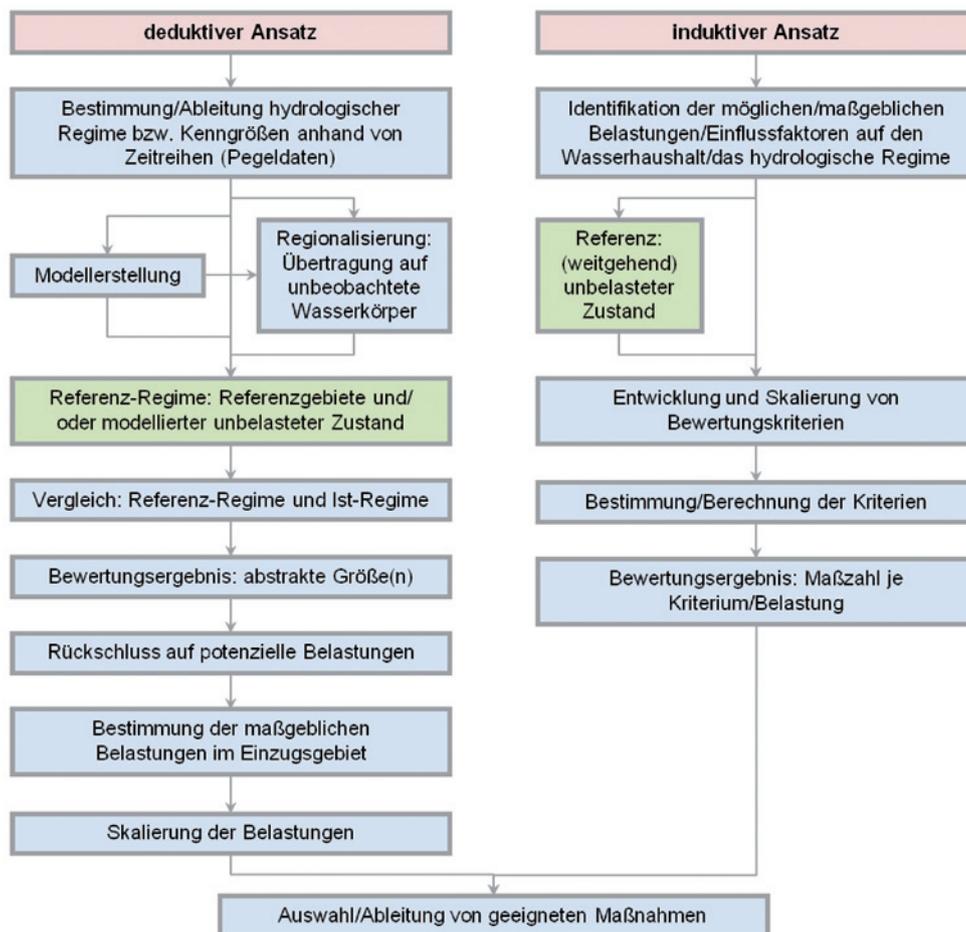


Abbildung 2
Gegenüberstellung von deduktivem und induktivem Herangehen an die Klassifizierung des Wasserhaushalts
Comparison of deductive and inductive approach to the water regime classification

Für die Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern in Deutschland erscheint daher derzeit ein induktiver, zwar insgesamt heuristischer, aber auf Erfahrungen und Wissen über Kausalitäten basierender Ansatz als am besten geeignet. Er ermöglicht vor allem:

- eine Klassifizierung nach der durch die in Anhang V WRRL bzw. OGewV vorgegebenen Parameterstruktur der Qualitätskomponentengruppe Wasserhaushalt,
- einen heuristisch-pragmatischen, auf die Datensituation angepassten Klassifizierungsansatz für anthropogene Belastungen,
- ein qualitativ orientiertes, aber quantitativ oder semiquantitativ unterstütztes Vorgehen,
- eine vergleichsweise hohe Kausalität und damit Nachvollziehbarkeit der Einzelbewertungen und auch
- entsprechende Validierungen mit empirischen Daten (Pegeldaten).

Die vorgeschlagene Verfahrensstruktur entspricht den rechtlichen Vorgaben von WRRL bzw. OGewV und ist wie folgt abgestuft:

- Komponente (Komponentengruppe): Gruppe von Qualitätskennzeichen, die eine Reihe von einzelnen Parametern enthält; hier: Qualitätskomponentengruppe: Wasserhaushalt
- Parameter: Qualitätskennzeichen im Sinne eines Einflussfaktors/einer Steuergröße (F = Fließgewässer, S = Seen); hier: Abfluss und Abflussdynamik (F), Verbindung zu Grundwasserkörpern (F), Wasserstandsdynamik (S), Verweildauer/ Wassererneuerungszeit (S), Verbindung zu Grundwasserkörpern (S)
- Kriterium: (konkretes) qualitäts- bzw. klassifizierungsrelevantes Merkmal für einen oder ggf. mehrere Parameter
- Methode: Verfahren zur Bestimmung des Kriteriums bzw. eines qualitäts- bzw. klassifizierungsrelevanten Merkmals

Der Klassifizierungsansatz folgt der Struktur der hydrologisch relevanten Eingriffs- bzw. Belastungstypen (Pressure Type) nach WFD-Codelist (s.o.). Diese wurden nach folgenden sechs übergreifenden Belastungsgruppen im Sinne von Hauptmerkmalen der anthropogenen Beeinflussung des Wasserhaushalts gruppiert (Abb. 3, Tab. 3): (1) A: Veränderungen/Nutzungen im Einzugsgebiet, (2) B: Wasserentnahmen, (3) C: Wassereinleitungen, (4) D: Gewässerausbau und Bauwerke im Gewässer, (5) E: Auenveränderungen, (5) F: Sonstige Belastungen.

Grundsätzlich sollen alle Belastungen klassifiziert werden, die auf einen Wasserkörper wirken können. Dies betrifft sowohl diejenigen auf der Einzugsgebietsebene des Oberflächenwasserkörpers als auch die, die sich ggf. nur weitgehend direkt auf den konkreten Oberflächenwasserkörper erstrecken.

Die entsprechend der Gewässernetzstruktur kumulativ wirksamen Eingriffe werden klassifiziert, indem über die Hierarchie und Struktur der Einzugsgebiete

eine nach Abfluss- oder ggf. Einzugsgebietsanteilen gewichtete Berücksichtigung von Belastungen aus Zuflussgebieten erfolgt.

2.2 Klassifizierungsregeln

Die Klassifizierung erfolgt äquivalent zur bekannten 5-stufigen Skala (Quality Status Code) entsprechend Anhang V WRRL, die für die AWB- und HMWB-Gewässer (Artificial Waterbodies, AWB) und damit bei der Potenzialbewertung ohne die Klasse 1 (sehr gut) angewandt wird: 1 – unverändert bis sehr gering verändert, 2 – gering verändert, 3 – mäßig verändert, 4 – stark verändert, 5 – sehr stark bis vollständig verändert.

Damit wird die Vorgabe der WFD-Codelist, nach welcher hydro-morphologische und physikalisch-chemische Qualitätskomponenten 3-stufig zu bewerten sind, zunächst bewusst ignoriert. Eine Umwandlung in die 3-stufige Skala der WFD-Codelist ist einfach und jederzeit möglich. Fünf Klassen gewährleisten aber eine größere Nachvollziehbarkeit der Klassifizierung und vor allem eine differenziertere Abbildung von Maßnahmenwirkungen im Hinblick auf die Bewertung des Zustandes, was die Nachvollziehbarkeit wasserwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen verbessert. Dies ist ein Gesichtspunkt, der gerade im Hinblick auf politische und administrative Entscheidungen als fundamental erachtet wird.

Die Klassifizierung erfolgt einzeln für jeden WRRL-Wasserkörper. Entsprechend der Verfahrensstruktur wird für die sechs einzelnen Belastungsgruppen (Hauptmerkmale) jeder Parameter nach Anhang V WRRL bzw. OGewV mit mindestens einem Kriterium 5-stufig klassifiziert. Die Klassifizierung erfolgt vorzugsweise mittels

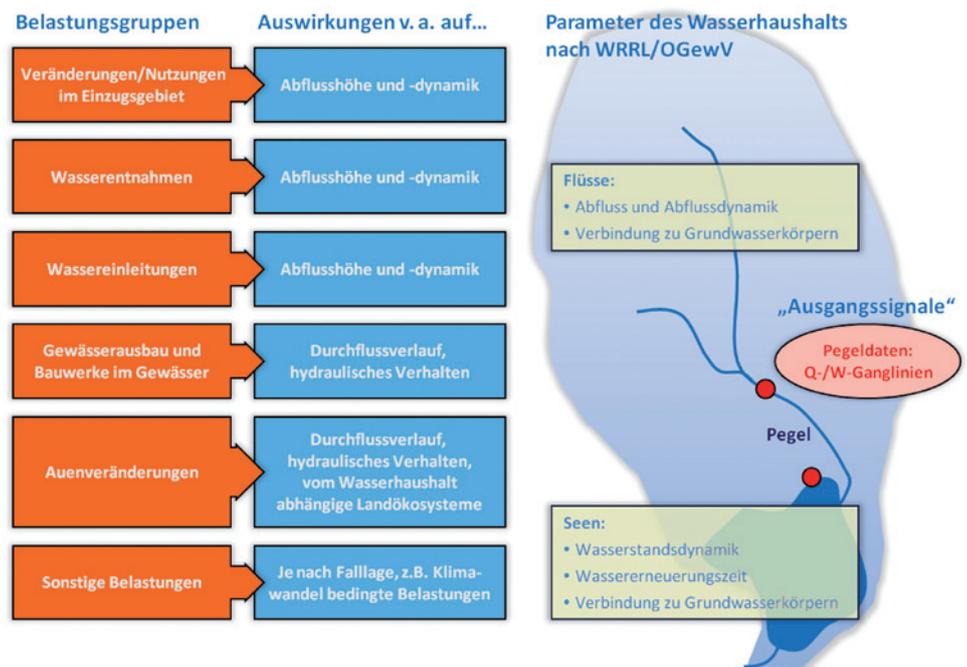


Abbildung 3

Gebildete Belastungsgruppen, die wichtigsten hydrologischen Auswirkungen der Belastungen und Zusammenhang mit den Parametern des Wasserhaushalts nach Anhang V WRRL bzw. OGewV
Pressure groups, major hydrological impacts of pressures and correlation with the parameters of the hydrological regime according to Annex V WFD and/or German Ordinance of Surface Waters (OGewV)

Tabelle 3

Belastungsgruppen und deren Kriterien für eine Bewertung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern nach den Parametern der WRRL bzw. der OGewV (*primäre Betroffenheit)

*Pressure groups and their criteria for the assessment of the hydrological regime of catchments and water bodies in line with the parameters of the WFD and/or OGewV (*primary involvement)*

WK-Typ*	Value	Belastung	Kriterium
Belastungsgruppe A Veränderungen/Nutzungen im Einzugsgebiet			
OW	p60	Intensität/Umfang landwirtschaftlicher Flächennutzung	A1 Hydrologisch relevante Landnutzung
OW	p71	andere hydromorphologische Veränderungen: Intensität/Umfang sonstiger Flächennutzung im Hinblick auf Abflussbildung/-konzentration	
GW	p29	Städtische Bebauung	
OW	p88	Landentwässerung	A2 Flächenanteil der Landentwässerung (Wirkraum)
Belastungsgruppe B Wasserentnahmen			
OW	p31...p41	Wasserentnahmen	B1 Entnahmemenge im Verhältnis zum mittleren Abfluss oder ggf. saisonaler/temporärer Bezug
OW	p54	Umleitungen (im Sinne einer „Entnahme“)	B2 Umfang an Einstaubewässerung in den Oberflächengewässern
GW	p42...p48	Wasserentnahmen	B3 Entnahmemenge im Verhältnis zum mittleren Abfluss oder ggf. saisonaler/temporärer Bezug
Belastungsgruppe C Wassereinleitungen			
OW	p8	Belastung durch kommunale Kläranlagen	C1 Einleitmenge im Verhältnis zum mittleren Abfluss oder ggf. saisonaler/temporärer Bezug
OW	p9	Belastung durch Regenwasserentlastungen	
OW	p89	sonstige Belastungen (spezifizieren): Sonstige Einleitungen in Oberflächengewässer	
OW	p54	Umleitungen (im Sinne einer „Einleitung“)	
OW	p50	Grundwasseranreicherung	C2 Einleitmenge im Verhältnis zum mittleren Abfluss oder ggf. saisonaler/temporärer Bezug
GW	p74	künstliche Grundwasseranreicherung	
GW	p75	Wiedereinleitung entnommenen Grundwassers (z.B. für Sand- und Kieswaschung)	
GW	p76	Grubenwassereinleitung	
GW	p77	sonstige bedeutende Anreicherungen (spezifizieren)	
Belastungsgruppe D Gewässerausbau und Bauwerke im Gewässer			
OW	p57	Gewässerausbau (nicht naturnah)	D1 Hydraulische Wirkung des Ausbaus bzw. der sonstigen Randbedingungen Konnektivität/Geohydraulische Wirksamkeit von Sohlen-/Uferstruktur: Laufkrümmung, Verrohrung, künstlicher Sohlen- und/oder Uferverbau für den Wasserkörper (FGSK-Daten); Berücksichtigung des Vorhandenseins von GWL
OW	p51	Dämme für Wasserkraftwerke	D3 Retentionswirkung (Verhältnis Volumen zu mittlerem Jahresabfluss); künstlich: für das durch Dämme/Talsperren gestaute Gewässer, für unterhalb liegende Seen: entsprechend Retentionswirkung
OW	p52	Talsperren für die Wasserversorgung	D4 Rückstauwirkung (FGSK), ggf. ins Grundwasser, und Kolmation
OW	p55	Wehre	
OW	p72	Staubauwerke	
Belastungsgruppe E Auenveränderungen			
OW	p58	Veränderung/Verlust von Ufer- und Auenflächen	E1 Flächenverlust an natürlichem Auenraum: Verhältnis rezenter/morphologischer Aue
OW	p53	Hochwasserschutzdeiche und ggf. weitere Hochwasserschutzbauwerke	E2 Ausuferungsvermögen/Einschnitttiefe (Querprofil, Gewässerumfeld aus FGSK)
			E3 Alternative Kenngrößen zur Beschreibung des Verlustes von wasserhaushaltsbezogenen Auenfunktionen (z.B. Auenretentionsverlust, Laufentwicklung/Laufverkürzung)
Belastungsgruppe F Sonstige Belastungen			
OW	p49	Abflussregulierung	Fx je nach Falllage
OW	p59	technische Aktivitäten	
OW	p56	Fließgewässerbewirtschaftung	
OW	p71	andere hydromorphologische Veränderungen	
OW	p89	sonstige Belastungen (spezifizieren)	
OW	p87	Klimawandel	derzeit ohne Berücksichtigung

- (1) Berechnungsverfahren: bei Vorliegen quantifizierbarer Datensätze quantitativ mit festgelegten Klassengrenzen oder ggf. mittels
- (2) Expertenbewertung: alternativ semiquantitativ bzw. durch Expertenurteil (verbal-argumentativ bzw. durch Wertstufen untersetzt), s. Beispiel in Tabelle 4.

Die Variante (2) berücksichtigt, dass die Verfügbarkeit von Daten und Informationen vor dem Hintergrund der grundlegenden Voraussetzungen in den Bundesländern sehr unterschiedlich ist. Insofern wird auch eine zunächst abschätzende Klassifizierung ermöglicht. Generell sollte aber der Klassifizierung auf Basis quantifizierbarer Größen der Vorzug gegeben werden, da nur diese ein Höchstmaß an Objektivität und Nachvollziehbarkeit sichern.

Alle Einzelbewertungen werden nach dem „worst-case-Prinzip“ jeweils zu einer Teilbewertung der Belastungsgruppe zusammengeführt. Nur die schlechteste Bewertung je Belastungsgruppe wird damit gewertet.

Am Ende des Klassifizierungsalgorithmus werden die für jede Belastungsgruppe vorliegenden Teilbewertungen durch arithmetische Mittelwertbildung zu einer Gesamtklassifizierung zusammengeführt. Je nachdem, ob auch „Sonstige Belastungen“ relevant sind, ist die Mittelwertbildung über 5 oder über 6 Teilbewertungen durchzuführen.

3 Sonstige Regeln und Hinweise

3.1 Empfehlungen zur Vorgehensweise

In Abbildung 4 wird die empfohlene Vorgehensweise zur Klassifizierung des Wasserhaushaltes der Oberflächenwasserkörper schematisch aufgezeigt. Dabei sind insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Bei der Durchführung der Klassifizierung auf Basis von statistischen Werten (z.B. Daten aus wasserwirtschaftlichen In-

Tabelle 4 Beispiel für eine Kriteriendefinition und -klassifizierung (Belastungsgruppe B/Kriterium B 1 „Entnahme Oberflächenwasser“) Example of criteria definition and classification (pressure group B/criterion B 1 "Withdrawal of surface water")					
Belastungsgruppe	B	Wasserentnahmen			
Kriterium	B1	Entnahme Oberflächenwasser		Beschreibung	
Formelzeichen	BK_{Ent_OW}	Raumbezug	Gesamteinzugsgebiet	Mittlere Entnahmemenge aus Oberflächenwasserkörpern im Verhältnis zum mittleren jährlichen Abfluss, bei Expertenbewertung sinnvoll: Prüfung im Hinblick auf ökologischen Mindestabfluss (Niedrigwasser, ökologische Durchgängigkeit, bettbildende Abflüsse)	
Wasserkörpertyp	Fließgewässer, See		OW		
Belastungen	p31...p41 p54	Wasserentnahmen Umleitungen (im Sinne einer Entnahme)			
Datengrundlage			Formelz.	Einheit	
Zeitlicher Bezug	Hauptbelastungszeitraum, wenn nicht bekannt, Jahresmittelwert		<i>t</i>	a	Wasserbuch/Wasserrechtliche Genehmigungen, Messungen, Schätzung
Räumlicher Bezug	Gesamteinzugsgebiet des Wasserkörpers (Gewässersystem)		<i>EZ_{GWK}</i>	km ²	WRRL-Datensatz
Bewertungsgröße	Genehmigte Gesamtentnahmemenge aus dem Oberflächenwasser (ohne direkte Wiedereinleitung innerhalb 500 m Fließstrecke)		$\Delta Q_{Ent,t}$	1000 m ³ /a	Wasserbuch/Wasserrechtliche Genehmigungen, Schätzung,
Bezugsgröße	Mittlerer Abfluss		<i>MQ_t</i>	1000 m ³ /a	Pegelmessung, Abflussregionalisierung, Schätzung
Bewertungsmaßstab					
Berechnungsverfahren			Expertenbewertung		
Berechnung des Verhältnisses der Wasserentnahmen im Einzugsgebiet zum Abfluss des Wasserkörpers: $Ind_{Ent_OW} = \frac{\sum \Delta Q_{Ent,t}}{MQ_t}$			Abschätzung des Einflusses von Wasserentnahmen aus dem Oberflächenwasser im Einzugsgebiet auf den Wasserhaushalt des zu bewertenden Wasserkörpers; Beurteilungskriterien: <ul style="list-style-type: none"> • Liegt eine Beeinträchtigung des natürlichen Abflussverhaltens durch die Wasserentnahme vor und wie intensiv ist diese? • Wird der ökologische Mindestabfluss (ersatzweise MQ/3) in einem Gewässer durch die Entnahme unterschritten? • Das Gesamteinzugsgebiet des Wasserkörpers ist zu berücksichtigen. 		
Ind_{Ent_OW}		BK_{Ent_OW}	Qualitative Beurteilung		
0% - < 5%		1	Keine oder nur sehr geringfügige Beeinträchtigung des Abflussverhaltens Ökologischer Mindestabfluss wird durch Entnahme nicht unterschritten		
5% - < 20%		2	Geringe Beeinträchtigung des Abflussverhaltens Ökologischer Mindestabfluss wird durch Entnahme nicht oder nur sehr vereinzelt unterschritten		
20% - < 50%		3	Mäßige Beeinträchtigung des Abflussverhaltens Ökologischer Mindestabfluss wird durch Entnahme selten oder dauerhaft gering unterschritten		
50% - < 100%		4	Hohe Beeinträchtigung des Abflussverhaltens Ökologischer Mindestabfluss wird durch Entnahme häufig oder dauerhaft deutlich unterschritten		
≥ 100%		5	Gravierende Beeinträchtigung des Abflussverhaltens Ökologischer Mindestabfluss wird durch Entnahme sehr häufig oder dauerhaft gravierend unterschritten		

formationssystemen) ist damit zu rechnen, dass im Einzelfall vorhandene inkonsistente Daten zu Fehlklassifizierungen führen. Jedes Ergebnis zu Klassifizierungskriterien sollte daher fachlich plausibilisiert werden. Im Zweifel ist eine Expertenbewertung durchzuführen.

- Innerhalb jeder Belastungsgruppe ist mindestens ein Kriterium heranzuziehen und mit einer Bewertung zu versehen. In jedem Fall sind folgende Kriterien zu bewerten: A1 hydrologisch relevante Landnutzung, B1 Entnahme Oberflächenwas-

ser, C1 Einleitung in Oberflächenwasser, D1 Hydraulische Wirkung des Gewässerausbaus für Fließgewässer-Wasserkörper und E2 Ausuferungsvermögen der Gewässer.

- Nicht relevante Klassifizierungskriterien, z.B. Einstaubbewässerung oder Landentwässerung im Mittelgebirgsraum, können unbewertet bleiben, sofern mindestens ein Kriterium in der Belastungsgruppe verwendet wird.
- Innerhalb der Belastungsgruppe „Sonstige Belastungen“ sind ggf. regionalspezifisch relevante und bisher nicht berücksichtigte Belastungen des Wasserhaushalts eines Wasserkörpers

mittels eines oder mehrerer geeigneter, eigenständig festzulegender und zu dokumentierender Kriterien zusätzlich zu berücksichtigen.

- Für jedes Kriterium ist die Bewertung anhand eines in der Regel GIS-gestützten und quantitativen Berechnungsverfahrens oder alternativ mittels qualitativer Expertenbewertung möglich.

- Wenn es angesichts der Datengrundlage zulässig ist, sollte bevorzugt das Berechnungsverfahren angewendet werden. Nur für die einzelnen Kriterien, für die nicht ausreichend GIS-Daten zur Verfügung stehen, sollte auf die alternative Expertenbewertung zurückgegriffen werden.

- Bei der Expertenbewertung können neben einer generellen qualitativen Einschätzung des Wasserhaushaltszustandes eines Wasserkörpers auch die Bewertungsgrenzen aus dem entsprechenden Berechnungsverfahren als Richtwert genutzt werden.

- Je nach Kriterium (z.B. Entnahme Oberflächenwasser) kann bei der Expertenbewertung der Einfluss oberliegender Wasserkörper zu berücksichtigen sein (Raumbezug: Gesamteinzugsgebiet). Hierfür ist ein gewichteter Mittelwert aus den einfachen Bewertungen des Wasserkörpers und der nicht gerundeten Bewertung der direkt oberhalb liegenden (und direkt in den zu betrachtenden Wasserkörper entwässernden) Wasserkörper zu berechnen. Gewichtungskoeffizient ist, wenn bekannt, der jeweilige Teilabfluss aus dem Teilgebiet oder alternativ die entsprechende Flächengröße.

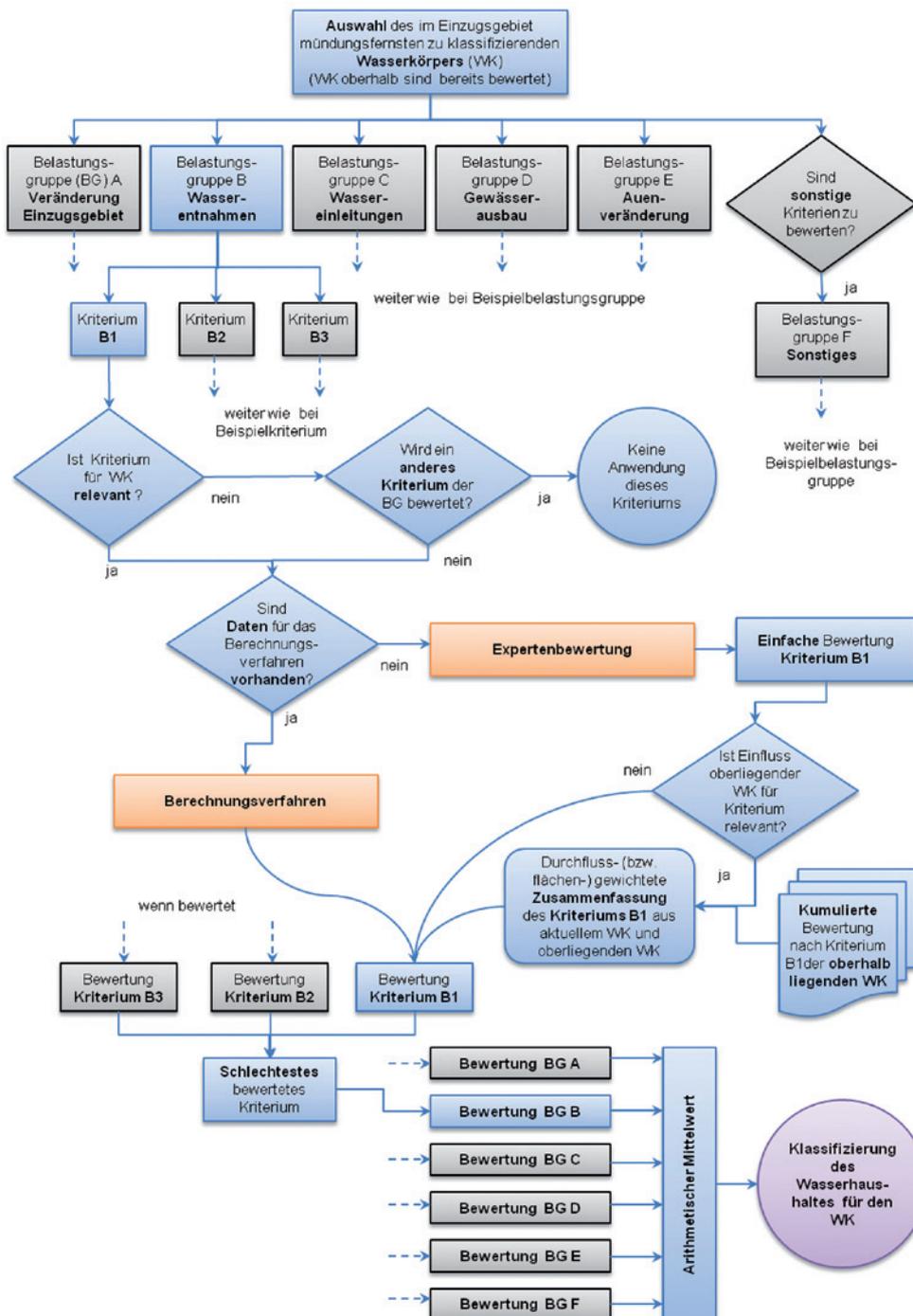


Abbildung 4
Empfohlene Vorgehensweise zur Klassifizierung des Wasserhaushaltes der Wasserkörper (WK), BG = Belastungsgruppe
Recommended approach for the classification of the hydrological regime of water bodies (WK), BG (pressure group)

3.2 Ableitung von Maßnahmen bezüglich des Wasserhaushalts

Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushaltes bzw. seiner Parameter nach Anhang V WRRL bzw. OGeWV sind wesentliche Voraussetzung hoher ökologischer Funktionsfähigkeit in Gewässern und Auen und damit eine essentielle Grundlage des guten Zustandes bzw. Potenzials der Wasserkörper. Insbesondere Maßnahmen der Gewässer- und Auenentwicklung, zur Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts sowie zur Erhaltung oder Wiederherstellung einer typspezifischen Abflusssdynamik in Gewässern und Aue müssen damit im Vordergrund wasserwirtschaftlichen Handelns stehen.

Wasserhaushaltsbezogene WRRL-Maßnahmen und auch solche des Hochwasserrisikomanagements (HWRM-RL) können im Regelfall eindeutig den einzelnen Belastungsgruppen und deren Kriterien zugeordnet werden. Im Hintergrunddokument der LAWA-Verfahrensanleitung (MEHL et al. 2014b) sind demgemäß die WRRL-/HWRM-RL-Maßnahmentypen entsprechend LAWA (2013a) den Belastungsgruppen zur Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern zugeordnet. Zudem werden Hinweise zur Maßnahmenumsetzung aus der Perspektive des Wasserhaushalts gegeben. Möglicherweise bedürfen die genannten Maßnahmentypen der Ergänzung, falls sich bei praktischer Testung des Klassifizierungsverfahrens und der Maßnahmenableitung entsprechender Bedarf zeigen sollte. Auch die bei LAWA (2013b) vorgeschlagenen potenziellen wasserhaushaltsbezogenen Maßnahmen zur Erreichung des guten ökologischen Potenzials müssten ergänzt werden. Maßnahmen zur Verbesserung des Wasserhaushalts können kurz-, mittel- und langfristig wirken, was bei der Maßnahmenauswahl und -begründung sowie deren ökologischer Bedeutung zu beachten ist.

4 Zusammenfassung und Fazit

Als allgemeines Forschungsziel der Hydrologie gilt die Entwicklung systembeschreibender Modelle zur Analyse und Simulation des Wasserhaushalts hydrologischer Einheiten unterschiedlicher Dimension (DYCK & PESCHKE 1983). Angesichts der stetig wachsenden Anforderungen an die Erfassung und Überwachung der Wasserressourcen und die gesetzlichen Anforderungen des Gewässerschutzes besteht die grundlegende Aufgabe, die Voraussetzungen bezüglich aller zu einer fachlichen Beurteilung der anthropogenen Einflüsse auf den Wasserhaushalt notwendigen Daten und Methoden kontinuierlich zu verbessern.

Das vorgestellte Verfahren einer Klassifizierung des Wasserhaushalts entsprechend Anhang V WRRL bzw. OGeWV basiert auf einer Indikation entsprechender anthropogener Belastungen, die direkt auf den Wasserkörper und/oder auf die hydrologischen Verhältnisse des Einzugsgebiets wirken und mit denen entsprechende ökologische Wirkungen verbunden sind.

Genereller Bedarf für Praxis und Forschung besteht insbesondere in folgenden Themenbereichen:

1. Optimierung der hydrologischen Messnetze (Grund- und Oberflächenwasserpegel) im Hinblick auf eine ausreichende und repräsentative Erfassung hydrologischer Größen,
2. weiterer Erkenntniszuwachs im Hinblick auf die Skalenabhängigkeit erforderlicher Daten und Modelle im Rahmen hydrologischer Regionalisierung,
3. Untersuchung der kausalen Zusammenhänge zwischen Faktoren bzw. Parametern des Wasserhaushaltes und den biologischen Qualitätskomponenten nach WRRL auf den verschiedenen Skalenebenen, d.h. Wasserhaushaltsgrößen, also raum- und zeitbezogenen Wasserbilanzen, über dynamische, Abflussregime beschreibende Größen, bis hin zu hydrostatischen und -dynamischen (hydraulischen) Parametern),
4. Untersuchung ungestörter/weitgehend ungestörter und gestörter Verhältnisse für verschiedene Gewässertypen und Belastungskonstellationen,
5. Begründung von Signifikanzschwellen ökologischer Beeinträchtigung durch Faktoren bzw. Parameter des Wasserhaushaltes,
6. Prüfung aller Aspekte im Hinblick auf eine mögliche Zunahme von Belastungen für den Wasserhaushalt aufgrund des projizierten Klimawandels.

In Bezug auf die hier vorgestellte Methodik besteht Validierungs- und Weiterentwicklungsbedarf vor allem hinsichtlich folgender Aspekte:

- Schaffung und stete Verbesserung der Datengrundlagen, insbesondere im Hinblick auf solide Daten zu den Belastungen, z.B. Entnahme- und Einleitmengen in geeigneter räumlicher und zeitlicher Auflösung,
- Validierung der Klassengrenzen des Verfahrens vornehmlich im Hinblick auf die morphologischen und bioökologischen Wirkungen in den Gewässern,
- komplexe Untersuchungen von repräsentativen Belastungskonstellationen in verschiedenen Naturräumen und Gewässertypen,
- Überprüfung der WRRL-Wasserkörper-Einteilung im Hinblick auf eine sachgerechte Widerspiegelung hydrologischer Strukturen (Einzugsgebiete, Systemfolgen) und ggf. Wahl praktikablerer „Zuschnitte“,
- Überprüfung der bei LAWA (2013b) vorgeschlagenen potenziellen wasserhaushaltsbezogenen Maßnahmen zur Erreichung des guten ökologischen Potenzials,
- Berücksichtigung von klimawandelinduzierten oder landes-/regionsspezifischen Belastungen unter Fallgruppe F.

Summary and conclusions

The development of system-describing models for analysis and simulation of the water balance of hydrological units of different dimension is considered as a general research objective of hydrology (DYCK & PESCHKE 1983). Given the ever-increasing demands on the detection and monitoring of water resources and the legal requirements of water protection, there is an essential requirement of steadily improving the conditions in respect of all necessary data and methods in order to professionally assess anthropogenic influences on the hydrological regime.

The method explained here presents a classification of the hydrological regime in accordance with Annex V WFD and the German Ordinance of surface waters (OGeWV) based on an appropriate indication of anthropogenic pressures that act directly on the body and/or on the hydrological conditions of the river basin and that are linked to associated environmental effects.

General practical and research needs particularly exist in the following fields:

1. Optimization of hydrological monitoring networks (surface and ground water level) in order to ensure sufficient and representative collection of hydrological variables
2. Increase in knowledge concerning the scale dependence of necessary data and models in the context of hydrological regionalization
3. Investigation of the causal relationships between factors, respectively parameters of the hydrological regime and the biological quality elements under the WFD at different levels of scale (of water balance, i.e. spatial and temporal water balances, also dynamic, flow regime descriptive variables up to hydrostatic and -dynamic (hydraulic) parameters)
4. Investigation of undisturbed/largely undisturbed and disturbed conditions for different water types and combinations of pressures
5. Justification of thresholds of significance regarding ecological interferences by factors or parameters of the water balance
6. Consideration of all aspects relating to the possibility of increased stress on water resources due to climate change.

With respect to the presented methods, validation and further development is particularly needed in terms of:

- Creation and continual improvement of data bases, in particular with regard to reliable data on pressures, e.g. water abstraction and discharge with suitable spatial and temporal resolution
- Validation of class boundaries of the process mainly in terms of the morphological and ecological effects in the waters
- Complex studies of representative pressure combinations in different landscapes and types of waters
- Review of the WFD water body classification with regard to a proper reflection of hydrological structures (basins, river-systems) and consideration of practicability
- Review of the proposed requirements for LAWA (2013b) potential water regime-related measures to achieve good ecological potential
- Consideration of climate change-induced or region-specific pressures under case group F.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Dr. D. Mehl

Dr. T.G. Hoffmann

biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH
Nebelring 15, 18246 Bützow
dietmar.mehl@institut-biota.de, tim.hoffmann@institut-biota.de

Dipl.-Geogr. V. Friske

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Griesbachstraße 1, 76185 Karlsruhe

Dipl.-Geogr. E. Kohlhas

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern
Abteilung Wasser
Goldberger Straße 12, 18273 Güstrow

Dipl.-Ing. C. Linnenweber

Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht
Kaiser-Friedrich-Straße 7, 55116 Mainz

Dipl.-Geogr. C. Mühlner

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft
Sachsen-Anhalt
Willi-Brundert-Straße 14, 06132 Halle

Dr. K. Pinz

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Adolph-Kolping-Straße 6, 21337 Lüneburg

Literaturverzeichnis

BARETT, R., D.L. NIELSEN & R. CROOME (2010): Associations between the plant communities of floodplain wetlands, water regime and wetland type. – *River Research and Applications* 26 (7), 866–876; DOI: 10.1002/rra.1299

BIOTA (2010): Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt, 250 S.

CRAFT, C.B. & W.P. CASEY (2000): Sediment and nutrient accumulation in floodplain and depressional freshwater wetlands of Georgia, USA. – *Wetlands* 20 (2), 323–332

DAVIES, S.P. & S.K. JACKSON (2006): The biological condition gradient: a descriptive model for interpreting change in aquatic ecosystems. – *Ecological Applications* 16, 1251–1266

DVWK (1982): Katalog von Übertragungsfunktionen. Materialien für die „Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten“. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Merkblätter zur Wasserwirtschaft. – Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

DVWK (1986): Auswirkungen der Urbanisierung auf den Hochwasserabfluß kleiner Einzugsgebiete. Verfahren zur quantitativen Abschätzung. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), DVWK-Schriften 75. – Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

DVWK (1988): Katalog von Übertragungsfunktionen. Materialien für die „Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten“. Ergänzungsband zum Katalog 1982. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Merkblätter zur Wasserwirtschaft. – Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

DVWK (1989): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil II: Synthese. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Regeln zur Wasserwirtschaft 113. – Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

DVWK (1990): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil I: Analyse. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Regeln zur Wasserwirtschaft 112. 2. durchges. Aufl. – Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin

DYCK, S. & G. PESCHKE (1983): Grundlagen der Hydrologie. – Verlag für Bauwesen, Berlin, 388 S.

- DYCK, S. et al. (1980a): Angewandte Hydrologie. Teil 1. – VEB Verlag für das Bauwesen, Berlin, 2. völlig überarb. Aufl., 528 S.
- DYCK, S. et al. (1980b): Angewandte Hydrologie. Teil 2. – VEB Verlag für das Bauwesen, Berlin, 2. überarb. Aufl., 544 S.
- EHLERT, T., T. POTTGIEßER & U. KOENZEN (2001): Leitbilder für die mittelgroßen bis großen Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen. – Hrsg. Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen. – Merkblätter Nr. 34, 130 S.
- EISELE, M., A. STEINBRICH, A. HILDEBRAND & C. LEIBUNDGUT (2003): The significance of hydrological criteria for the assessment of the ecological quality in river basins. – *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 28 (12–13), 529–536
- EISELE, M., A. STEINBRICH & C. LEIBUNDGUT (2002): Anwendung des einzugsgebietsbezogenen Bewertungsverfahrens „Hydrologische Güte“. – In: Geller, W., P. Puncochar, H. Guhr, W. V. Tümping, J. Medek, J. Smrťák & H. Feldmann: Die Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements. 10. Magdeburger Gewässerschutzseminar, 243–246
- FOLKE, C., S. CARPENTER, B. WALKER, M. SCHEFFER, T. ELM-QVIST, L. GUNDERSON & C.S. HOLLING (2004): Regime Shifts, Resilience and Biodiversity in Ecosystem Management. – *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 35 (1), 557–581
- HAD (2000, 2001, 2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Hrsg. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn-Berlin, 2000 (1. Lieferung), 2001 (2. Lieferung), 2003 (3. Lieferung)
- HOFFMANN, T.G. & D. MEHL (2010): Entwicklung und Bereitstellung einer Bewertungsmethodik zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper (Fließgewässer und Seen) gemäß EU-WRRL im Land Sachsen-Anhalt. – *Scientific Technical Report 10/10* des DeutschenGeoForschungszentrums (GFZ), 68–76
- HOFFMANN, T.G., D. MEHL & C. MÜHLNER (2010a): Methode und Ergebnis einer Gliederung des Landes Sachsen-Anhalt in hydrologische Regionen. – *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften* 32, 143–158
- HOFFMANN, T.G., D. MEHL, M. WEILAND & C. MÜHLNER (2010b): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 2. Methoden und Ergebnisse. – *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 3 (9), 474–484
- IMHOFF, K. & K. IMHOFF (1990): Taschenbuch der Stadtentwässerung. – R. Oldenbourg Verlag, München-Wien, 422 S.
- IPCC (2014): 5. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) über Klimaänderungen. Synthesebereicht. – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit; www.bmub.bund.de
- JENCISO, K.G., B.L. MCGLYNN, M.N. GOOSEFF, S.M. WONDZELL, K.E. BENCALA & L.A. MARSHALL (2009): Hydrologic connectivity between landscapes and streams: Transferring reach- and plot-scale understanding to the catchment scale. – *Water Resources Research* 45 (4); DOI: 10.1029/2008WR007225
- JOHNSTON, C.A. (1991): Sediment and nutrient retention by fresh-water wetlands – Effects on surface-water quality. – *Critical reviews in environmental control* 21 (5–6), 491–565
- LANE, S.N., S.M. REANEY & A.L. HEATHWAITE (2009): Representation of landscape hydrological connectivity using a topographically driven surface flow index. – *Water Resources Research* 45, W08423; DOI: 10.1029/2008WR007336
- LAWA (2013a): Fortschreibung LAWA-Maßnahmenkatalog (WRRL, HWRMRL), beschlossen auf der 146. LAWA-VV am 26./27. September 2013 in Tangermünde. – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), LAWA-Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung, Kleingruppe „Fortschreibung LAWA-Maßnahmenkatalog“
- LAWA (2013b): Handbuch zur Bewertung und planerischen Bearbeitung von erheblich veränderten (HMWB) und künstlichen Wasserkörpern (AWB). Version 2.0, erstellt im Rahmen des Projektes „Bewertung von HMWB/AWB-Fließgewässern und Ableitung des HÖP/GÖP (LFP O 3.10)“, finanziert durch das Länderfinanzierungsprogramm "Wasser, Boden und Abfall". – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- LAWA (2013c): LAWA AO, RaKon Monitoring Teil B, Arbeitspapier I „Gewässertypen und Referenzbedingungen“ (Stand: 12.9.2013). – Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- LEIBUNDGUT, C. & M. EISELE (2005): Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens „Hydrologische Güte“ als Expertensystem zum operationellen Einsatz im Flussgebietsmanagement. Abschlussbericht zum Projektvorhaben BWC 21013. – Forschungszentrum Karlsruhe; www.hydrology.uni-freiburg.de/forsch/hydgue/BW-Plus-Endbericht-2005-BWC-21013.pdf
- LUGV (2011): Leistungsbeschreibung zur Aufstellung von Gewässerentwicklungskonzepten (GEK) nach WRRL im Land Brandenburg. Anlage 7_1: Brandenburger Methodik zur Ermittlung der hydrologischen Zustandsklassen. Stand: 10.6.2011. – Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, Potsdam
- MANGELSDORF, J. & K. SCHEURMANN (1980): Flußmorphologie. Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. – Verlag Oldenbourg, München-Wien, 262 S.
- MATHES, J., G. PLAMBECK & J. SCHAUMBURG (2002): Der Entwurf zur Seetypisierung in Deutschland im Hinblick auf die Anwendung der Wasserrahmenrichtlinie der EU. – Deutsche Gesellschaft für Limnologie, Tagungsbericht 2002 (Braunschweig), 1–6
- MEHL, D. (2011): Natürlichkeitsgrad des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper nach WRRL in Sachsen-Anhalt. – Tagungsband Landesverbandstagung Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Landesverband Nord-Ost, 26./27. Mai in Bad Suderode, 19 S.
- MEHL, D., T.G. HOFFMANN & K. MIEGEL (2014a): Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung. a) Handlungsanleitung. – Hrsg. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO), Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 72 S.
- MEHL, D., T.G. HOFFMANN & K. MIEGEL (2014b): Klassifizierung des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten und Wasserkörpern – Verfahrensempfehlung. b) Hintergrunddokument.

- Hrsg. Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Ständiger Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer (LAWA-AO), Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 161 S.
- MEHL, D., T.G. HOFFMANN, M. WEILAND & C. MÜHLNER (2010): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß EU-WRRL. 1. Hintergrund, Zielstellung und Grundlagen. – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 3 (6), 300–304
- MEROT, P., L. HUBERT-MOY, C. GASCUEL-ODOUX, B. CLEMENT, P. DURAND, J. BAUDRY & C. THENAIL (2006): Environmental Assessment. A method for improving the management of controversial wetland. – *Environmental Management* 37 (2), 258–270
- MERZ, B., T. MAURER & K. KAISER (2012): Wir gut können wir vergangene und zukünftige Veränderungen des Wasserhaushalts quantifizieren? – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 56 (5), 244–256; DOI: 10.5675/HyWa_2012,5_1
- MÜHLNER, C., T.G. HOFFMANN & D. MEHL (2011): HYDREG – Ein Verfahren zur Natürlichkeitsbewertung des hydrologischen Regimes der Oberflächenwasserkörper gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie in Sachsen-Anhalt. – Hrsg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz. – BfG-Veranstaltungen 1/2011, 42–63
- NAIMAN, R.J. & H. DECAMPS (1997): The ecology of interfaces: Riparian zones. – *Annual review of ecology and systematics* 28, 621–658
- OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung – OGewV) vom 20. Juli 2011 (BGBl. I S. 1429)
- PETERSON, H.M., J.L. NIEBER & R. KANIVETSKY (2011): Hydrologic regionalization to assess anthropogenic changes. – *Journal of Hydrology* 408 (3–4), 212–225
- PINAY, G., N.E. HAYCOCK, C. RUFFINONI & R.M. HOLMES (1994): The role of denitrification in nitrogen removal in river corridors. – In: Mitsch, W.J. (Ed.): *Global wetlands: old world and new*. – Elsevier, Amsterdam, 107–117
- POFF, N.L., J.D. ALLAN, M.B. BAIN, J.R. KARR, K.L. PRESTEGAARD, B.D. RICHTER, R.E. SPARKS & J.C. STROMBERG (1997): The natural flow regime. – *BioScience* 47, 769–784
- PORPORATO, A. & L. RIDOLFI (2003): Detecting determinism and nonlinearity in river-flow time series. – *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques* 48 (5), 763–780
- POTTGIEßER, T. & M. SOMMERHÄUSER (2008): Begleittext. Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B). – www.umweltbundesamt.de
- REGONDA, S.K., B. SIVAKUMAR & A. JAIN (2004): Temporal scaling in river flow: can it be chaotic? – *Hydrological Sciences – Journal des Sciences Hydrologiques* 49 (3), 373–385
- RICHTER, B.D., J.V. BAUMGARTNER, R. WIGINGTON & D.P. BRAUN (1997): How much water does a river need? – *Freshwater Biology* 37, 231–249
- ROACH, K.A., J.H. THORP & M.D. DELONG (2009): Influence of lateral gradients of hydrologic connectivity on trophic positions of fishes in the Upper Mississippi River. – *Freshwater Biology* 54, 607–620
- SCHOLZ, M., D. MEHL, C. SCHULZ-ZUNKEL, H.D. KASPERIDUS, W. BORN & K. HENLE (Hrsg.) (2012): Ökosystemfunktionen in Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Treibhausgas-Senken-/Quellenfunktion und Habitatfunktion. – *Schriftenr. Naturschutz und biologische Vielfalt* 124, 257 S.
- THARME, R.E. (2003): A global perspective on environmental flow assessment: Emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. – *River Research and Applications* 19, 397–441
- THIENEMANN, A. (1939): Grundzüge einer allgemeinen Ökologie. – *Archiv für Hydrobiologie* 35, 267–285
- THOMS, M.C. (2006): Variability in riverine ecosystems. – *River Research and Applications* 22, 115–121
- THORP, J.H., M.C. THOMS & M.D. DELONG (2006): The riverine ecosystem synthesis: biocomplexity in river networks across space and time. – *River Research and Applications* 22 (2), 123–147
- TOCKNER, K., D. PENNETZDORFER, N. REINER, F. SCHIEMER & J.V. WARD (1999): Hydrological connectivity, and the exchange of organic matter and nutrients in a dynamic river-floodplain system (Danube, Austria). – *Freshwater Biology* 41 (3), 521–535
- WARD, J.V. (1989): The four-dimensional nature of lotic ecosystems. – *Journal of the North American Benthological Society* 8, 2–8
- WEYAND, M. (2012): Zusammenspiel zwischen hydromorphologischem Gewässerzustand und Einleitungen aus der Siedlungsentwässerung. Drittes DWA-Wasserrahmenrichtlinienforum. – *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 5 (12), 649–652
- WFD Template Definition Annex: (2012): WFD-Codelist, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Stand: 10.9.2012
- WRRL (Europäische Wasserrahmenrichtlinie) (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. – *Amtsblatt der EG Nr. L 327/1* vom 22.12.2000