

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 103 (2011)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Einbettung von Verfahren zur Fliessgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept : Vorschläge am Beispiel des Modulstufenkonzepts  
**Autor:** Langhans, Simone D. / Reichert, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941812>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Einbettung von Verfahren zur Fliessgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept

## Vorschläge am Beispiel des Modulstufenkonzepts

Simone D. Langhans, Peter Reichert

### 1. Einleitung

Bewertungsverfahren für Fliessgewässer sind ein wichtiges Element des Flussmanagements. Durch die Bewertung spezifischer Indikatoren wird der Zustand sowie die Dynamik eines Flussabschnitts ermittelt, Defizite aufgedeckt und möglicher Handlungsbedarf abgeleitet. Bewertungen können Aufschluss geben über die Veränderung eines Fliessgewässerzustands vor und nach der Realisierung einer Massnahme und ermöglichen es, die Entwicklung dieser Veränderungen zu verfolgen. In der Schweiz wurde bereits in den 90er-Jahren das Modulstufenkonzept (MSK) initiiert, welches zum Ziel hat, Vollzugshilfen für die Überprüfung gesetzlicher Vorgaben im Gewässerschutz zur Verfügung zu stellen (Bundi et al., 2000). Seither entwickelt das Bundesamt für Umwelt BAFU, zusammen mit der Eawag und kantonalen Fachstellen, Bewertungsmethoden, die eine einheitliche Beurteilung des Zustands der Schweizer Flüsse ermöglichen. Die Methoden umfassen hydrologische, morphologische, chemisch-physikalische, ökotoxikologische und biologische Elemente der Gewässerqualität und wurden ursprünglich für jeweils zwei Stufen geplant. Die Stufe F ist durch ihren geringen Bearbeitungsaufwand für eine flächendeckende Untersuchung geeignet. Die Stufe S soll eine detailliertere und daher aufwändigere Beurteilung ausgewählter Gewässersysteme unter Einbezug einer Referenz ermöglichen sowie die Ableitung eines Massnahmenplans unterstützen (Bild 1). Bereits publizierte MSK-Methoden (sog. Module) bewerten den «Äusseren Aspekt» (Binderheim und Göggel, 2007), die Ökomorphologie (Hütte und Niederhauser, 1998), die Hydrologie (Pfaundler et al., 2011), die Nährstoffe (Liechti, 2010), die Fische (Schager und Peter, 2004), die

Kieselalgen (Hürlimann und Niederhauser, 2007) und das Makrozoobenthos (Stucki, 2010) auf Stufe F. Für die Ökomorphologie liegt ebenfalls eine Bewertungsmethode für Stufe S vor (BAFU, 2010), für die Fische soll diese nächstens folgen. Für die Probenahme der Makrophyten wurde eine Anleitung publiziert (Känel et al., 2009), Bewertungen zur Temperatur und Ökotoxikologie stehen noch in der Konzeptionsphase. Weitere Informationen zu den einzelnen MSK-Modulen sowie deren (online) Publikation gibt es im Internet unter <http://www.modul-stufen-konzept.ch>.

Die zahlreich publizierten MSK-Module sowie die Akzeptanz derselben in der Praxis unterstreichen den Erfolg dieser Methoden. Die AutorInnen dieses Artikels schlagen daher vor, die MSK-Module sowie die damit erhobenen Umweltdaten in Zukunft auch als Basis für

ein umfassendes Flussmanagement zu nutzen, da durch den expliziten Einbezug ökologischer Bewertungsverfahren als zentrales Element noch mehr von diesen Verfahren profitiert werden kann. Um dies zu erleichtern, ist es vorteilhaft, die ökologische Zustandsbewertung als Wertfunktionen im Sinn der Entscheidungstheorie zu formulieren (Reichert et al., 2011). Entscheidungstheorie ist ein Instrument das eingesetzt wird, um bei komplexen Entscheidungen, welche oft widersprüchliche Ziele haben, eine optimale Lösung zu finden (Keeney, 1982, Eisenführ et al., 2010). Sie wird verbreitet bei umweltbezogenen Entscheidungssituationen, auch in den Bereichen Gewässermanagement (Joubert et al., 2003, Linkov et al. 2006) oder Flussmanagement (Reichert et al., 2007, Corsair et al., 2009), angewendet. Durch die Formulierung der ökologischen Bewertung in

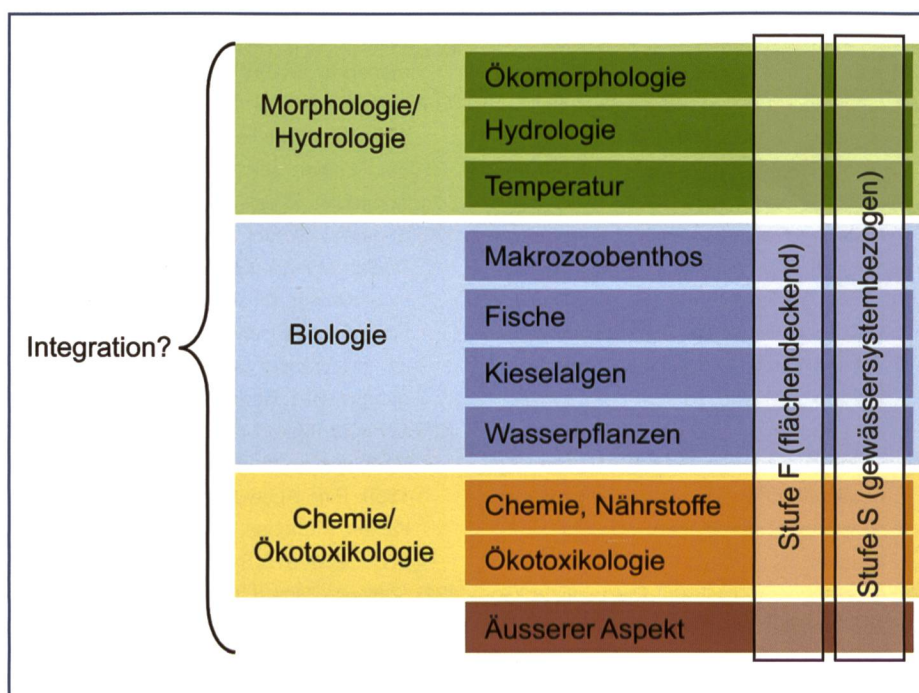
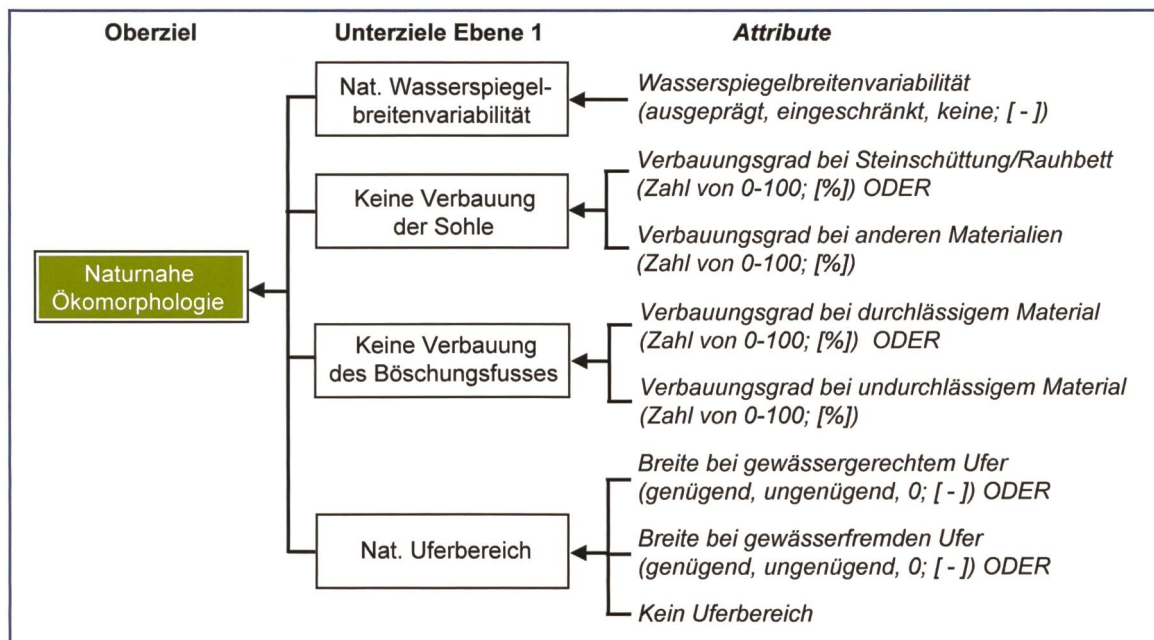


Bild 1. Aufbau des MSK mit verschiedenen Modulen und Stufen.





**Bild 2. Zielhierarchie mit Oberziel, vier Unterzielen und zugehörigen Attributen abgeleitet aus dem Modul Ökomorphologie auf Stufe F. Der Attributbereich ist jeweils in runden Klammern und die Messeinheit in eckigen Klammern angegeben.**

Form einer Wertfunktion, kann diese leicht in das umfassende Konzept zur multikriteriellen Entscheidungsunterstützung im Wassermanagement (MCWM), welches im Artikel Reichert et al. (2011) eingeführt wurde, eingebunden werden. Die aus dem MCWM resultierenden Vorteile sind: i) die Möglichkeit einer integrativen Fließgewässerbewertung auf verschiedenen Ebenen bei gleichzeitiger Offenlegung der Einzelbewertungen, ii) eine daraus abgeleitete integrative Massnahmenplanung iii) sowie eine unterstützte Entscheidungsfindung über vorgeschlagene Massnahmen, beispielsweise bei Flussrevitalisierungen.

Im Entwurf der MSK-Synthese (Baumann und Langhans, 2010) wurde bereits ein Vorschlag zur integrativen grafischen Darstellung und Beurteilung des Gewässerzustands gemacht. Im Gegensatz zu dem von uns vorgeschlagenen Konzept, werden die Module mit der MSK-Synthese jedoch nur partiell zu einer abiotischen sowie einer biologischen Bewertung des Gewässerzustands integriert. Die Einzelwerte der Bewertungen werden dabei mittels Worst-case-Aggregation zusammengefasst. Bei einer Worst-case-Aggregation wird die schlechteste der Einzelbewertungen als integrative Bewertung auf der höheren Stufe übernommen. Bei Anwendung der Worst-case-Aggregation kann also nur eine Verbesserung im Gesamtwert auftreten, falls sich der schlechteste Einzelwert verbessert. Eine Qualitätsverbesserung einer der anderen Einzelwerte wird im Gesamtwert nicht ersichtlich. Das kann dazu führen, dass relevante Verbesserungen im Gesamtwert nicht sichtbar werden, was nicht zielführend ist. Schliesslich gibt es momentan

keine Pläne, wie die Resultate aus der MSK-Synthese in ein integratives Flussmanagement eingebettet werden könnten. In dem von uns vorgeschlagenen Konzept werden Ideen aus der MSK-Synthese übernommen und, falls eine Worst-case-Aggregation implementiert würde, könnten deren Resultate reproduziert werden.

In diesem Artikel wird am Beispiel des MSK erläutert, wie ein konventionelles ökologisches Bewertungsverfahren angepasst werden kann, um es im Rahmen des Konzepts für multikriterielle Entscheidungsunterstützung im Wassermanagement (MCWM, Reichert et al., 2011) zur Zustandsbewertung und Entscheidungsfindung zu nutzen. Dieser Artikel konkretisiert damit das in Reichert et al. (2011) skizzierte Konzept. In Kapitel 2 wird dargestellt, wie die Ziele der einzelnen MSK-Module in einer Zielhierarchie dargestellt werden könnten. Kapitel 3 erklärt wie die Einzelbewertungen aus den MSK-Modulen in Wertfunktionen umformuliert werden können, und in Kapitel 4 wird die Integration dieser Wertfunktionen durch passende Aggregationstechniken aufgezeigt. Kapitel 5 beschreibt anhand eines konkreten Beispiels wie die Erstellung, Verarbeitung und Visualisierung der Bewertungen von einer Software unterstützt werden können. In Kapitel 6 werden konkrete Ergänzungen des MSK vorgeschlagen, bevor Kapitel 7 die wichtigsten Punkte nochmals zusammenfasst.

## 2. Einbettung der MSK-Module in eine Zielhierarchie

Um eine integrative Bewertung mittels einer Wertfunktion zu erleichtern ist es empfehlenswert, zuerst die Ziele aus den

MSK-Modulen in Form einer Zielhierarchie darzustellen. Eine Zielhierarchie ist eine Ansammlung von Zielen, welche hierarchisch angeordnet sind. Oberziele sind in spezifischere und möglichst komplementäre Unterziele aufgelöst, die zusammen alle wesentlichen Aspekte des Oberziels beinhalten (Eisenführ et al., 2010). Zielhierarchien werden benutzt, um die Vollständigkeit und Komplementarität der Zielsetzung eines Projektes, in unserem Fall die Bewertung des naturnahen ökologischen Zustands, besser überprüfen zu können. Um die Ziele aus dem MSK in eine Zielhierarchie zusammenzuführen, werden die Ziele aus den verschiedenen Modulen separat in Zielhierarchien übersetzt. In Bild 2 ist exemplarisch die Zielhierarchie für das Modul «Ökomorphologie Stufe F» dargestellt. Die Zielhierarchien der verschiedenen Module werden dann zu einer Zielhierarchie für den naturnahen ökologischen Zustand zusammengeführt (Bild 3).

Die Kombination der Ziele aus den Modulen in einer Zielhierarchie (Bild 3) erfordert, im Vergleich zum MSK, zusätzliche Strukturen: um eine integrative Bewertung zu ermöglichen, werden die Unterziele auf Ebene 4 betreffend «Nährstoffe und Äusserer Aspekt» in den übergeordneten Zielen «Naturnahe Nährstoffkonzentrationen» und «Naturnaher Äusserer Aspekt» zusammengefasst, wohingegen diese Unterziele in den entsprechenden Modulen nur separat behandelt werden. Im Gegensatz zur MSK-Synthese (Baumann und Langhans, 2010), wo die Bewertungen der Ökomorphologie, Hydrologie und Nährstoffe in einen abiotischen Wert aggregiert werden, wird in der hier vorgeschlagenen



Zielhierarchie ein Zwischenschritt eingeschoben: Die Ökomorphologie, Hydrologie und Temperatur werden im Ziel «Naturnaher hydromorphologischer Zustand» zusammengefasst, die Nährstoffe und die

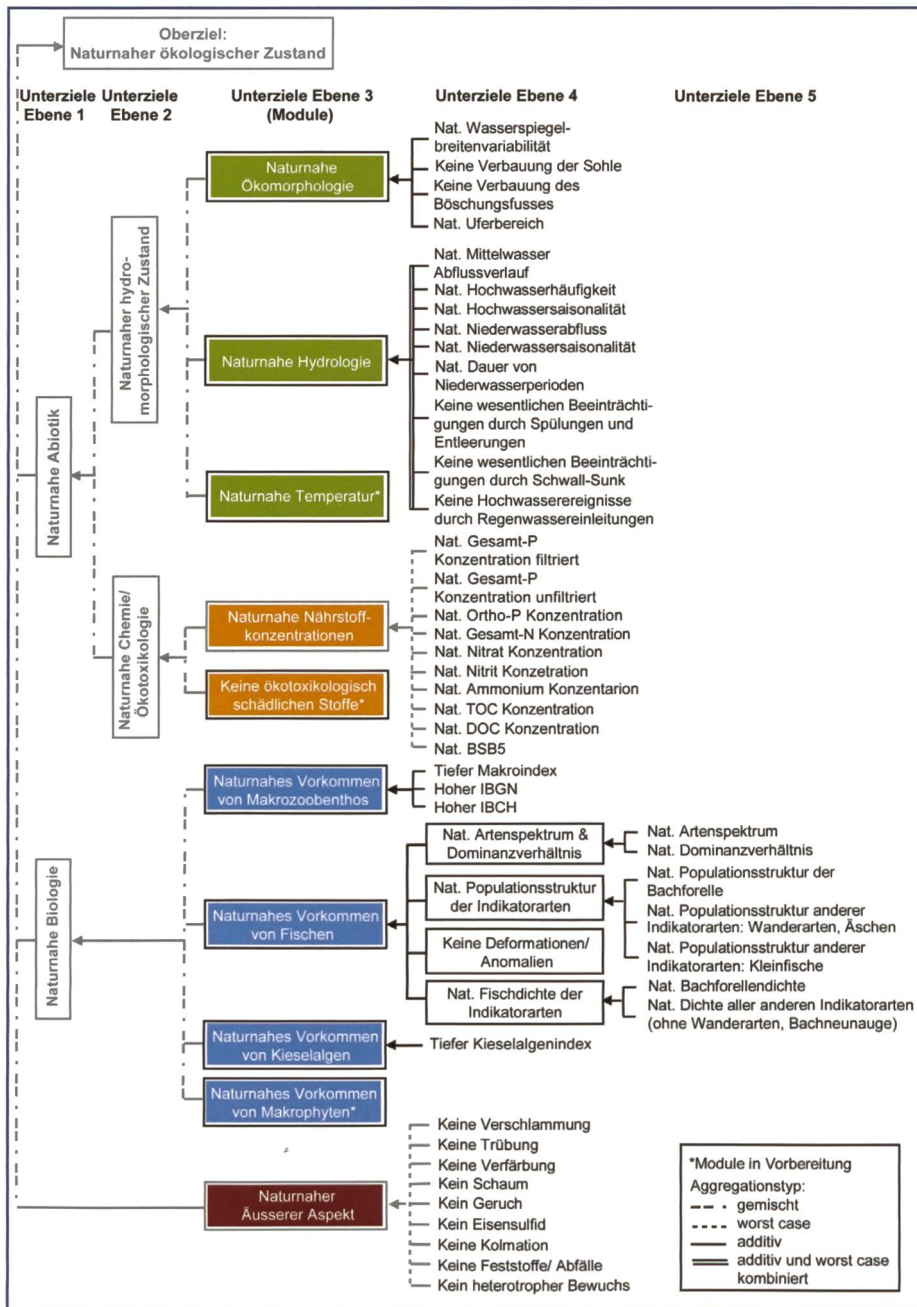
ökotoxikologisch schädlichen Stoffe im Ziel «Naturnahe Chemie/Ökotoxikologie». Zusätzlich schlagen wir vor, die beiden Ziele mit der «Biologie» und dem «Äusseren Aspekt» zu einem einzigen Oberziel «Na-

turnaher ökologischer Zustand» zu aggregieren.

Um den Erreichungsgrad eines Ziels messbar zu machen, werden den Unterzielen auf der jeweils untersten hierarchischen Ebene objektiv messbare Grössen, die Attribute zugeordnet (Eisenführ et al., 2010). Ausprägungen von MSK-Attributen werden im Feld kontinuierlich (beliebiger Wert innerhalb eines Bereichs; z.B. Messung der organischen Kohlenstoff-Konzentration (TOC)) oder diskret (endliche Zahl von Werten; z.B. keine, vereinzelte, viele Feststoffe/Abfälle) bestimmt. Bild 2 zeigt exemplarisch die Attribute des Moduls «Ökomorphologie F», welche für die Bewertung der jeweiligen Unterziele verwendet werden.

### 3. Darstellung der MSK-Bewertungen in Wertfunktionen

Zustandsbewertungen werden in der Entscheidungstheorie mittels sogenannten Wertfunktionen quantifiziert. Die Wertfunktion drückt den Erreichungsgrad eines Ziels (z.B. «Naturnaher Uferbereich») als Funktion der messbaren Attribute des Systems aus (z.B. «Uferbreite» oder «Uferbeschaffenheit», Eisenführ et al., 2010, Reichert et al., 2011). Eine Wertfunktion kann nur Werte zwischen 0 (für einen sehr schlechten) und 1 (für den naturnahen Zustand) annehmen. Da es wegen der grossen Zahl von Attributen sehr schwierig ist, den Wert des Oberziels direkt in Funktion aller Attribute zu formulieren, wird die Wertfunktion gemäss den Zielen hierarchisch konstruiert. Dabei werden Wertfunktionen pro Unterziel der tiefsten hierarchischen Ebene formuliert, welche zur Quantifizierung der Erfüllung der höheren Ziele (und schliesslich des Oberziels) in weiteren Schritten aggregiert werden (Kapitel 4). Der grosse Vorteil von Bewertungen mittels Wertfunktionen ist, dass sie untereinander vergleichbar sind, auch wenn die gemessenen Attribute unterschiedliche Messeinheiten oder Bereiche haben. Um diesen Vorteil nutzen zu können, müssen die bereits bestehenden



**Bild 3. Vorgeschlagene Zielhierarchie für das Oberziel «Naturnaher ökologischer Zustand».** Strukturen in schwarz wurden direkt aus den MSK-Modulen übernommen, Strukturen in grau neu hinzugefügt.



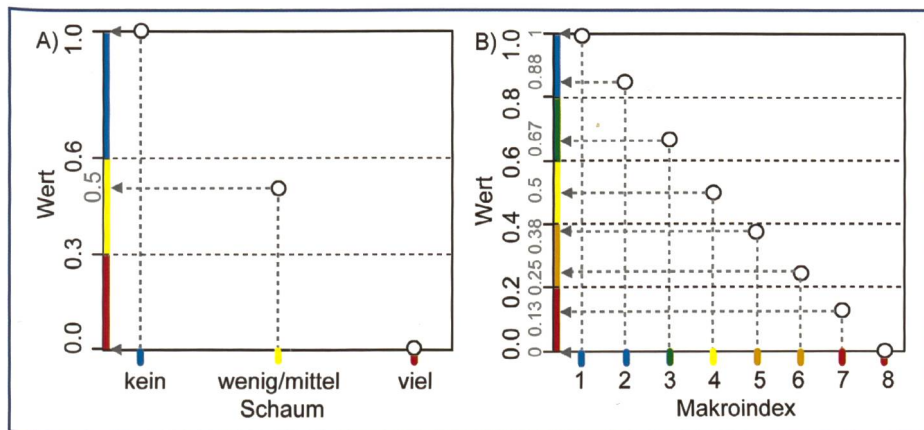
**Bild 4. Abbildung der MSK-Qualitätsklassen auf die Wertskala bei A) fünf, B) vier und C) drei Klassen.**



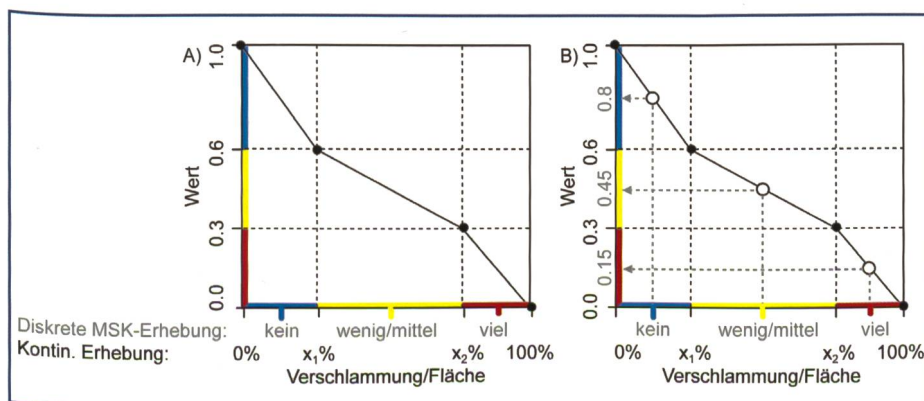
Bewertungen der MSK-Module in Wertfunktionen dargestellt, d.h. umformuliert werden. Je nach Bewertungsart werden dabei drei Fälle unterschieden: Umformulierungen von diskret (Kapitel 3.1), nicht zwingend diskret (Kapitel 3.2), und kontinuierlichen Bewertungen (Kapitel 3.3). Diskrete Bewertungen basieren auf Attributdaten, welche nur diskret erhoben werden können. Nicht zwingend diskrete Bewertungen basieren im MSK ebenfalls auf diskreten Attributdaten, könnten jedoch auch kontinuierlich erhoben werden. Kontinuierliche Bewertungen basieren auf kontinuierlich erhobenen Daten. Wo immer möglich und vom Aufwand her gerechtfertigt, sind kontinuierliche Attributdaten vorzuziehen (Begründung siehe Kapitel 6). Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Umformulierung erläutert.

Für alle drei Fälle muss zuerst definiert werden, wie die Qualitätsklassen aus dem MSK auf die Wertskala (Bild 4, y-Achse) abgebildet werden. Dies ist nötig, da das MSK keine kontinuierliche Wertskala, sondern nur diskrete Qualitätsklassen kennt. Auf der Wertskala entspricht die Länge eines Intervalls dem entsprechenden Wertverlust oder Wertgewinn. Bei der Bewertung mit fünf Qualitätsklassen (z.B. Hydrologie, Bild 4A) werden die Klassen von uns so gewählt, dass sie je-

weils einem gleich langen Wertintervall entsprechen. Das ist eine naheliegende Interpretation, die aber im MSK nicht explizit diskutiert wird. Bei dieser Interpretation entspricht jede Klasse einem Wertintervall der Länge 0.2 (siehe Reichert et al., 2011). Im MSK wird ein ausreichend guter Zustand gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG) bzw. Gewässerschutzverordnung (GSchV) einer der obersten beiden Klassen zugeordnet (grün, blau), während ein ungenügender Zustand zu einer Bewertung in einer der unteren drei Klassen führt (gelb, orange, rot). Auf der Wertskala bedeutet das, dass der Wert bei einem ausreichend guten Zustand mindestens 0.6 beträgt. Beim Modul «Ökomorphologie F» werden nur vier Klassen verwendet (Bild 4B). Da hier ebenfalls die obersten zwei Klassen zu einem gesetzlich ausreichend guten Zustand führen, muss der Wert, der die zweite von der dritten Klasse trennt, ebenfalls 0.6 sein. Bei einer Zuordnung gleich breiter Klassen jeweils für den Bereich oberhalb und unterhalb von 0.6 ergeben sich für die besten beiden Klassen eine Breite von 0.2 und für die beiden schlechten Klassen eine Breite von 0.3. Analog dazu kommen die Grenzen bei drei Zustandsklassen (Bild 4C), wie sie im Modul «Äusserer Aspekt» verwendet werden, bei den Werten 0.3 und 0.6 zu liegen.



**Bild 5. Umformulierung von diskret erhobenen Attributdaten in Werte. Bewertung der Ausprägungen A) des Attributs Schaum und B) des Attributs Makroindex.**



**Bild 6. Umformulierung von nicht zwingend diskreten Bewertungen.**

### 3.1 Umformulierung von diskreten Bewertungen

**Ansatz:** Diskreten Attributen werden diskrete Werte der Wertfunktion zugewiesen, die äquidistant auf das Intervall von 0 bis 1 verteilt werden. Dies gilt nur, wenn keine Begründung für eine andere Wahl vorliegt und/oder die resultierenden Werte mit den vorgegebenen MSK-Qualitätsklassen kompatibel sind. Andernfalls werden Teilbereiche äquidistant eingeteilt.

**Beispiele:** Das Attribut «Schaum» aus dem Modul «Äusserer Aspekt» wird in drei Ausprägungen (kein, wenig/mittel, viel) gemessen. Die beste (kein Schaum) bzw. schlechteste (viel Schaum) Ausprägung erhält die Werte 1 bzw. 0. Der mittleren Ausprägung (wenig/mittel) wird der Wert 0.5 zugewiesen, welcher durch eine äquidistante Teilung der Werte zwischen 0 und 1 entsteht (Bild 5A). 0.5 liegt im gelben Bereich der Wertskala, was mit der MSK-Qualitätsklasse für diese Attributausprägung übereinstimmt. Beim Attribut Makroindex (MI) aus dem Modul «Entwurf Makrozoobenthos F» (Frutiger und Sieber, 2005) können die Werte nicht äquidistant zwischen 0 und 1 verteilt werden, da sonst der Wert für die Attributausprägung MI = 5 in die falsche Qualitätsklasse zu liegen kommt (gelb anstatt orange wie im MSK vorgegeben). Daher wird hier der Attributausprägung MI = 4 der Wert 0.5 zugeordnet, und die beiden Teilbereiche (MI 1–4 und 4–8) äquidistant eingeteilt. Dies führt zu den Werten 1, 0.833, 0.667, 0.5, 0.375, 0.25, 0.125 und 0 für die Attributausprägungen des MI von 1–8 (Bild 5B).

### 3.2 Umformulierung von nicht zwingend diskreten Bewertungen

**Ansatz:** Es wird eine kontinuierliche (stetige) Wertfunktion konstruiert. Da in der aktuellen Datenbasis nur die Zugehörigkeit der erhobenen Attributausprägung zum Attributbereich bekannt ist (nicht aber zu einem bestimmten Wert), werden die Werte der Attributausprägungen so konstruiert, dass sie den Bewertungen der Mittelpunkte der Attributbereiche entsprechen. Dies führt dann wegen der stückweisen Linearität der Wertfunktion zu Werten in der Mitte der zugehörigen Qualitätsklassen. Dies wurde so festgelegt, dass bei einer späteren, kontinuierlichen Erhebung kontinuierliche Bewertungen resultieren, die mit den aktuellen Klassen kompatibel sind.

**Beispiel:** Die diskret erhobenen Daten für das Attribut «Verschlammung» aus dem Modul «Äusserer Aspekt» könnten als kontinuierliche Wertfunktion mit %-



a) Farbe	Klasse	TOC (mg/l C)	b) TOC erweitert (mg/l C)	c) Wertskala
blau	sehr gut	<2.5	$0.5 \leq \text{TOC} < 2.5$	$0.8 < \text{Wert} \leq 1.0$
grün	gut	$2.5 - < 5.0$	$2.5 \leq \text{TOC} < 5.0$	$0.6 < \text{Wert} \leq 0.8$
gelb	mässig	$5.0 - < 7.5$	$5.0 \leq \text{TOC} < 7.5$	$0.4 < \text{Wert} \leq 0.6$
orange	unbefriedigend	$7.5 - < 10.0$	$7.5 \leq \text{TOC} < 10.0$	$0.2 < \text{Wert} \leq 0.4$
rot	schlecht	$> 10.0$	$10.0 \leq \text{TOC} \leq 15.0$	$0.0 \leq \text{Wert} \leq 0.2$

**Tabelle 1. Übersicht der notwendigen Informationen zur Umformulierung von eindimensionalen Bewertungen in Wertfunktionen: a) MSK-Bewertung, b) Anpassung und Ergänzung der MSK-Bewertung, c) Abbildung der MSK-Qualitätsklassen auf der Wertskala.**

Verschlammung der Flusssohlenfläche als Attributeinheit dargestellt werden (Bild 6A). Dazu werden drei Attributintervalle angenommen (0%,  $x_1\%$ ,  $x_2\%$ , 100%). Diese werden den drei Wertintervallen gegenübergestellt (schwarze Punkte). Die kontinuierliche Wertfunktion ergibt sich durch lineare Interpolation dieser Kombinationen (durchgezogene Linie). Die Werte für die diskret erhobenen Daten aus dem MSK (kein, wenig/mittel, viel) werden so konstruiert, dass sie den Mittelpunkten der Attributintervalle entsprechen (dies führt zu den Werten 0.15, 0.45, 0.8; Bild 6B). Um die Wertfunktion mit kontinuierlich erhobenen Attributen verwenden zu können, müssten noch die Klassengrenzen  $x_1\%$  und  $x_2\%$  von Experten festgelegt werden.

### 3.3 Umformulierung von kontinuierlichen Bewertungen

Ansatz: Es wird eine stetige Wertfunktion konstruiert. Die Funktion steigt im Attributbereich, welcher der jeweiligen Qualitätsklasse zugeordnet ist, linear vom tiefsten Wert der Klasse zum höchsten an. Dies führt zu einer Bewertung, die mit den MSK-Qualitätsklassen kompatibel ist, aber Zwischenbewertungen innerhalb der Klassen feiner auflöst. Im MSK werden ein- und zweidimensionale kontinuierliche Bewertungen verwendet.

Beispiel einer eindimensionalen Bewertung: Das Attribut «TOC» wird im

Modul «chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe mit fünf Zustandsklassen» gemäss Tabelle 1a bewertet. Um eine stetige Wertfunktion zwischen den Werten 0 und 1 erstellen zu können, müssen die Klassengrenzen der TOC-Bewertung um einen Minimal- und einen Maximalwert erweitert werden. Als Minimalwert wählen wir eine realistische, bestmögliche TOC-Konzentration (0.5 mg/l C), als Maximalwert eine schlechtestmögliche (15 mg/l C) (Tab. 1b). Die Einteilung der Qualitätsklassen auf der Wertskala folgt dem Schema für fünf Klassen (Tab. 1c). Zur Erstellung der Wertfunktion werden nun die erweiterten TOC-Konzentrationen auf der x-Achse den Werten der Wertskala auf der y-Achse gegenübergestellt. Dadurch wird eine stückweise lineare, stetige Wertfunktion konstruiert, wobei die MSK-Klassenzugehörigkeiten erhalten bleiben (Bild 7).

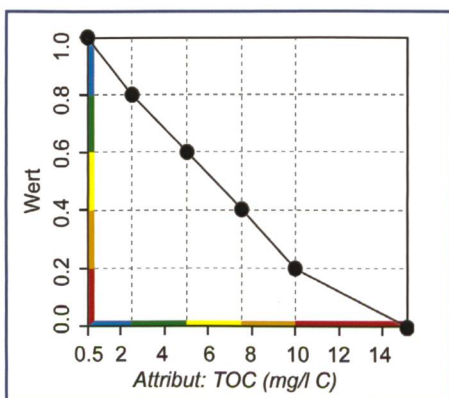
Beispiel einer zweidimensionalen Bewertung: Im Modul «Hydrologie» werden neben ein- auch zweidimensionale Ansätze verwendet, z.B. um das Unterziel «Keine wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk» oder «Keine Hochwasserereignisse durch Regenwassereinträge» zu bewerten. Dabei hängt die Bewertung jeweils vom Zusammenspiel zweier Attribute ab. Die Bewertung z.B. des Schwall-Sunk-Phänomens im MSK durch das zweidimensionale Klasseneinteilungsdiagramm in Bild 8A ist weniger

streng, wenn die Attributausprägung von «Schwallabfluss/mittlerem jährlichen Abfluss des Referenzzustands» im unteren Attributbereich liegt. Eine solche zweidimensionale Bewertung mit diskreten Klassenbereichen wird in eine kontinuierliche, zweidimensionale Wertfunktion umformuliert, indem für jede Attributausprägung des Attributs 1 die Klasseneinteilung analog zum eindimensionalen Fall durch eine stückweise lineare Funktion des Attributs 2 ersetzt wird. Dies heisst konkret, dass beispielsweise für die Ausprägung von Attribut 1 = 1.75 (Bild 8B) die jeweiligen Ausprägungen des Attributs 2 bei den Schnittstellen mit den Klassengrenzen abgelesen werden. Die Kombinationen der Ausprägungen von Attribut 2 mit der jeweiligen Klassengrenze bilden die Punkte, welche die Wertfunktion bilden (durchgezogene Linie; Bild 8C).

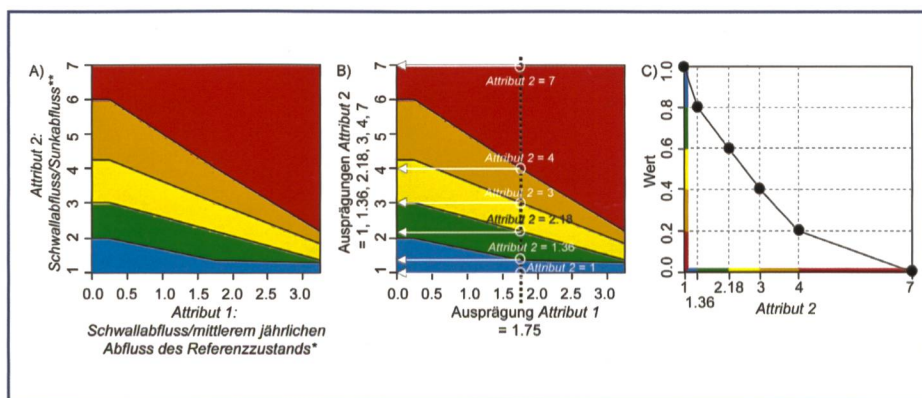
### 3.4 Andere Fälle

Schritt für Schritt werden alle Bewertungen aus den MSK-Modulen umformuliert. Dabei müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Modul «Ökomorphologie F»: Die Ökomorphologie wird auf Stufe F mit vier Klassen gemäss Bild 4B bewertet.
- Modul «Hydrologie»: Zusätzlich zum Ziel «Keine wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk» wird das Ziel «Keine wesentlichen Beeinträchtigungen durch Spülungen und Entleerungen» ebenfalls durch eine zweidimensionale Wertfunktionen abgebildet. Für das Attribut «Hochwasserereignisse durch Regenwassereinträge» ist im Modul keine Ausprägung für den schlechtesten Wert definiert und wird daher aus Rossi (2004) abgeleitet. Die Bewertungen aller neun Unterziele führen direkt zu je einer Qualitätsklasse, welche mit einer Technik, die additiv und worst-case kombiniert (siehe Ka-



**Bild 7. Wertfunktion einer kontinuierlichen Bewertung.**



**Bild 8. Umformulierung einer zweidimensionalen Bewertung. A) MSK-Bewertung von Schwall-Sunk, B) Ablesen der Werte, C) Wertfunktion bei einem Wert von 1.75 für Attribut 1. \*korrigiert für die Einzugsgebietsfläche, \*\*korrigiert für die Pegeländerungsrate.**



pitel 4), zu einer einzigen Qualitätsklasse aggregiert werden können.

- Modul «chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe»: Die Nährstoffe werden gemäss Kapitel 3.3 mit einer kontinuierlichen Skala bewertet, wobei im Modul keine Angabe zur besten, bzw. schlechtesten Ausprägung der Attribute gemacht wird. Der Wert 1 wird daher für die optimale Nährstoff-Konzentration je Attribut und der Wert 0 als Attributzustand im Abfluss einer nicht optimal funktionierenden Kläranlage definiert (schlechtest möglicher Zustand in einem Fliessgewässer).
- Modul «Makrozoobenthos F»: Bis anhin wurde das Makrozoobenthos in der Schweiz entweder mit dem französischen Index IBGN (Cabinet GAY Environnement 2000) oder dem Makroindex (Frutiger und Sieber, 2005) bewertet. Das im 2010 erschienene Modul «Makrozoobenthos F» (Stucki, 2010) empfiehlt nun neu, den Index IBCH zu verwenden. Das von uns vorgeschlagene Konzept erlaubt es, IBGN-, Makroindex- und IBCH-Daten in die Bewertung mit einzubeziehen (gemäss Zielhierarchie Bild 3).
- Modul «Kieselalgen»: Die Kieselalgen werden kontinuierlich durch einen Index bewertet.
- Modul «Fische F»: Auch im Modul «Fische F» fehlen z.T. Angaben zu besten resp. schlechtesten Attributausprägungen. Diese Lücken werden durch Expertenschätzungen gefüllt.
- Modul «Äusserer Aspekt»: Der «Äussere Aspekt» verwendet gemäss Bild 4C drei diskrete Zustandsklassen für die Bewertung. Alle neun Unterziele werden diskret bewertet, wobei die Einzelbewertungen direkt in Zustandsklassen münden (keine Aggregation). Eine Umformulierung der diskreten in kontinuierliche Bewertungen wäre, ausser bei den Unterzielen «Kein Schaum» und «Kein Geruch» möglich (nicht zwingend diskrete Bewertungen).

Trotz dieser offensichtlichen Vielfältigkeit an modulspezifischen Eigenheiten sind alle Bewertungen mit unserem Konzept kompatibel.

#### 4. Integration der Einzelbewertungen durch Aggregation

Nachdem die Wertfunktionen der Unterziele auf der jeweils untersten Ebene (Attribute) aus den Bewertungen der MSK-Module übersetzt sind, können diese Werte zur Quantifizierung der Erfüllung der Ziele auf jeder beliebigen Ebene, bis zum Ge-

samtwert für den naturnahen ökologischen Zustand, aggregiert werden. Werte der Ziele auf der untersten Ebene sind zum Beispiel wichtig für die Defizitanalyse. Integrale Qualitätswerte von Flussabschnitten können z.B. für die Priorisierung von Massnahmen oder für den Dialog mit Personen aus der Politik oder aus Interessengruppen eingesetzt werden.

Die Wahl der Aggregationsfunktion ist sehr entscheidend, denn sie bestimmt, zu welchem Grad sich eine schlechte Erfüllung eines Unterziels durch die gute Erfüllung eines anderen Unterziels kompensieren lässt. Die einfachste Aggregation, die von einer solchen Kompensierbarkeit ausgeht, besteht aus der Bildung eines gewichteten Mittelwertes (additive Aggregation, Eisenführ et al., 2010) der Erfüllungsgrade der Unterziele, wie sie zum Beispiel beim Modul «Fische F» oder der «Ökomorphologie F und S» vorkommt. Die additive Aggregation ist passend, wenn mit mehreren, ähnlichen Attributen ein Ziel bewertet werden soll. In diesem Fall ist eine gegenseitige Kompensation unterschiedlicher Ergebnisse sinnvoll, da durch die Mittelwertbildung die Zuverlässigkeit des Ergebnisses erhöht wird. Messen Unterziele hingegen wichtige, komplementäre Aspekte eines Ziels, ist eine solche vollständige Kompensierbarkeit unerwünscht. Für diesen Fall ist die Worst-case-Aggregation eine Alternative, welche dem übergeordneten Ziel die schlechteste der Bewertungen der Unterziele zuweist. Diese Bewertung findet dort Anwendung, wo eine schlechte Ausprägung eines bestimmten Attributs durch keine anderen Attribute kompensiert werden darf. Bei Aggregationen auf höheren Ebenen, um beispielsweise das Oberziel «Naturnaher ökologischer Zustand» zu bewerten, wurden beide Aggregationstechniken in der Praxis als unrealistisch beurteilt. Einerseits erlaubt die additive Aggregation eine zu weit gehende Kompensation von Defizitbereichen, andererseits hat die Worst-case-Aggregation den Nachteil, dass eine Verbesserung des Zustands nur dann erreicht werden kann, wenn die Erfüllung des Unterziels mit der schlechtesten Bewertung verbessert wird. Wir schlagen daher vor, für die Aggregationen auf höheren Ebenen, auf welchen vermehrt komplementäre Aspekte aggregiert werden, eine alternative Technik zu verwenden. Dafür kombinieren wir die Cobb-Douglas-Funktion aus der Mikroökonomie (Cobb and Douglas, 1928, Varian 2010) mit additiver und/oder Worst-case-Aggregation zu einer gemischten Technik. Diese ist so

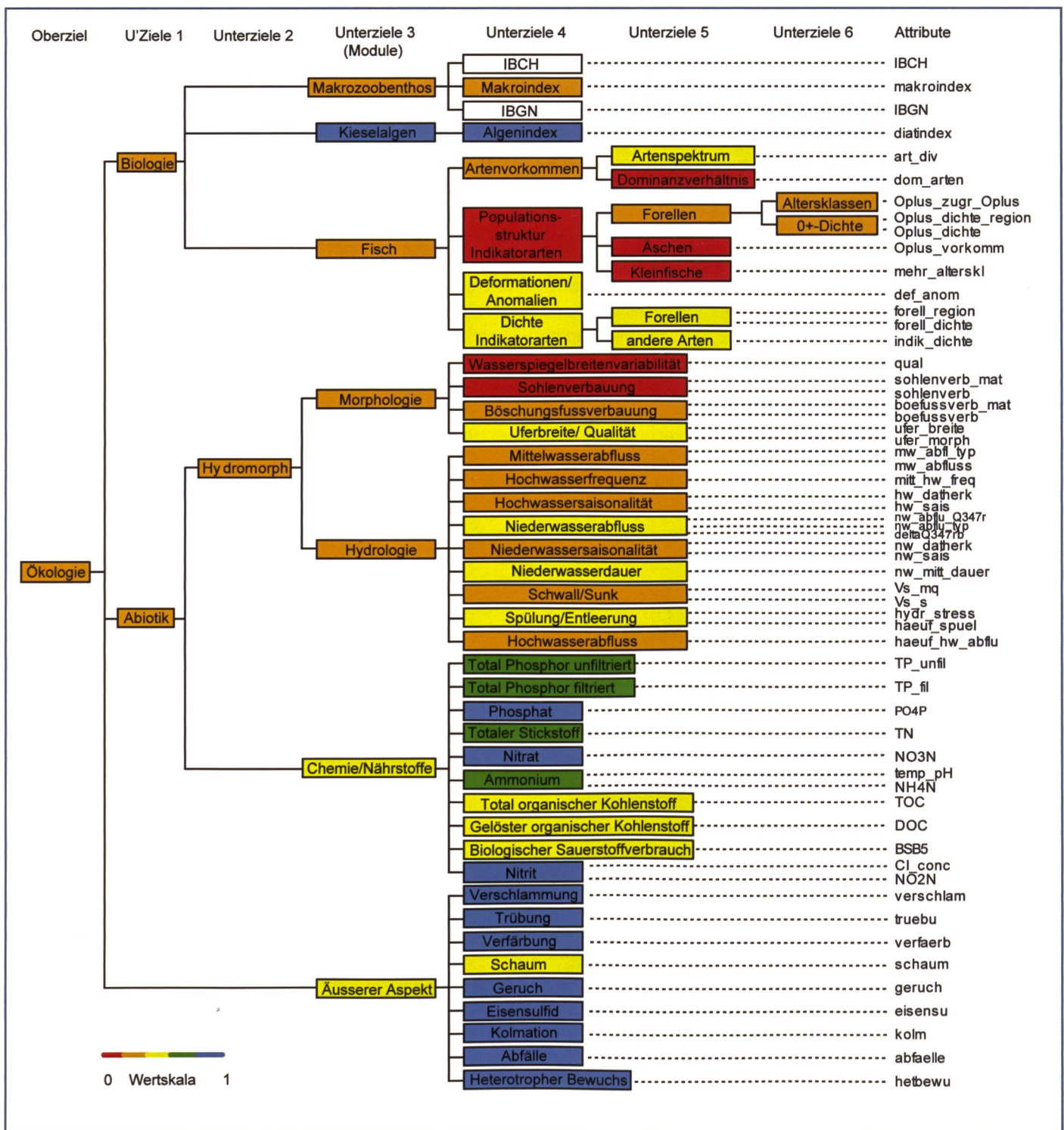
angelegt, dass eine Zustandsverbesserung des schlechtest erfüllten Unterziels zu einer maximalen Verbesserung des aggregierten Gesamtwerts führt; wird das Unterziel mit dem zweit schlechtesten Erfüllungsgrad um denselben Betrag verbessert, ergibt sich eine geringere Verbesserung des Gesamtwerts; und eine vergleichbare Verbesserung des am besten erfüllten Unterziels fällt am wenigsten ins Gewicht. Zudem kann bei dieser gemischten Technik freigewählt werden, wie stark die verschiedenen Komponenten das Resultat beeinflussen sollen. Erste Diskussionen mit Experten bestätigten, dass die gemischte Aggregation ihre Präferenzen besser abbildet als eine additive oder Worst-case-Aggregation. Im Rahmen von zukünftigen Studien müssen jedoch verschiedene Aspekte der gemischten Aggregation noch genauer untersucht werden. Bild 5 in Reichert et al., 2011 veranschaulicht die Aggregation am Beispiel von zwei Attributen. Eine ähnliche Technik wird bereits im Modul «Hydrologie» angewendet.

In unserer Zielhierarchie (Bild 3) wurden die bereits in den MSK-Modulen festgelegten Aggregationen übernommen. Will man nun zu einer integrativen Beurteilung kommen, müssen auch Zielwerte, welche im MSK nicht aggregiert wurden, zusammengefasst werden. Für die Nährstoffe sowie den Äusseren Aspekt schlagen wir dafür eine worst-case Aggregation vor, da die Qualitätsanforderungen gemäss GSchV Anhang 2 Ziffer 11 und 12 für die einzelnen Unterziele erfüllt sein müssen. Aus den bereits diskutierten Gründen empfehlen wir, für alle neu zu definierenden Aggregationen (auf hohen hierarchischen Ebenen) die gemischte Aggregation zu verwenden. Die Gewichte in diesen Aggregationen müssen noch mit einer entsprechenden Expertengruppe diskutiert und festgelegt werden.

#### 5. Anwendungsbeispiele mit Softwareunterstützung

Nach der Festlegung der einzelnen Aggregationstechniken ist das MSK vollständig umformuliert. Mit Hilfe der erstellten Wertfunktionen können nun aus Daten von gemessenen Attributen Qualitätszustände auf verschiedenen hierarchischen Ebenen – von Teilzielen innerhalb der Module, über die Modul-Ebene bis zur finalen Integrationsebene – berechnet werden. Als Grundlage dienen weiterhin Daten, welche MSK-Module erhoben. Für die Zustandsbewertung, z.B., können aus diesen Attributdaten die Zielerreichungsgrade der jeweils dazugehörigen Unter-





**Bild 9. Software-Output der Ziel-hierarchie des Ist-Zustands eines fiktiven Flussabschnitts x. Abkürzungen der Attribute könnten in der Wörterbuch-Datei nachgeschlagen werden.**

ziele mit den Wertfunktionen auf unterster Ebene berechnet werden. Diese Werte werden dann durch die definierten Aggregationen zu den jeweils nächst höheren Ebenen zusammengefasst. Die Aggregationen werden so lange fortgeführt, bis man den Qualitätswert des gewünschten Ziels erreicht hat. Diese Schritte können manuell durchgeführt werden. Um die Anwendung zu erleichtern, haben wir eine Software-Applikation entwickelt, die auf der frei verfügbaren Statistik und Grafiksoftware R (<http://www.r-project.org>) ba-

siert. Diese Software steht Interessierten zur freien Verfügung. Die Software benötigt als Input eine Textdatei, in welcher die Zeilen die Attributwerte für verschiedene Flussabschnitte oder verschiedene Managementoptionen enthalten. Eine solche Datei kann sehr einfach mit den gängigen Tabellenkalkulations- oder Datenbankprogrammen erstellt werden. Da nicht alle Kantone die gemessenen Attribute in ihren Datenbanken gleich benennen, steht eine Wörterbuch-Datei zur Verfügung, welche vor der Anwendung der Software mit den

kantonsspezifischen Attributnamen ergänzt werden kann. Damit wird vermieden, dass die Kantone ihre Namenskonventionen ändern müssen. Die Software erlaubt den Nutzern, die Definition der MSK-Bewertung und ihre Attributdaten einzulesen, Wertfunktionen zu berechnen und die Resultate grafisch darzustellen. Im Folgenden werden mögliche Anwendungen des in diesem Artikel vorgeschlagenen Konzepts sowie der Software anhand von zwei Beispielen illustriert.



	Oekologie	Biologie	Makrozoobenthos	IBCH	Makroindex	IGBN	Algenindex	Fisch	etc.
Flussabschnitt x	0.37	0.38	0.25	NA	0.25	NA	0.84	0.34	...
Flussabschnitt y	0.83	0.90	0.81	NA	0.81	NA	0.78	0.75	...
etc.	...	...	...	...	...	...	...	...	...

**Tabelle 2. Werte der Unterziele exportiert aus der Software. Bewertungen, welche wegen fehlender Daten nicht durchgeführt werden können, sind durch «NA» gekennzeichnet. Bewertungen können gleichzeitig für mehrere Flussabschnitte durchgeführt werden (x, y, usw.).**

Beispiel 1a: Grafische Darstellung der Qualität eines Flussabschnitts

Bild 9 zeigt den Software-Output einer Zielhierarchie für einen fiktiven Flussabschnitt, für welchen gemessene Daten für alle Attribute ausser für die Makrozoobenthos Indizes IBCH und IGBN (weisse Kästchen) vorhanden sind. Der Zielerreichungsgrad für das Modul «Makrozoobenthos» kann trotz der fehlenden Werte des IGBN und IBCH berechnet werden, da für dieses Modul nur eines der drei Unterziele als notwendig definiert wurde (siehe Kp. 6). Die aggregierte Qualitätsklasse für den «Äusseren Aspekt» und den chemischen Zustand zeigt, wie im Modul «Nährstoffe» beschrieben, die Worst-case-Klasse an. In dieser Darstellung können die Defizite z.B. auf Attribut-, Modul- oder auf höheren Ebenen direkt und sehr einfach abgelesen werden.

Beispiel 1b: Tabellarische Darstellung der Flussabschnittsqualität in Werten

Die exakten Werte für alle Unterziele einer Flussabschnittsbewertung, welche die Qualitätsklassen und damit die Farben in der Zielhierarchie definieren (Bild 9), können direkt in eine Textdatei exportiert werden (Tab. 2). Im Falle des Flussabschnitts x liegt z.B. der Wert des Oberziels «Naturnaher ökologischer Zustand» (Ökologie) bei 0.37, der Wert des

Unterziels «Naturnaher biologischer Zustand» (Biologie) bei 0.38 etc.

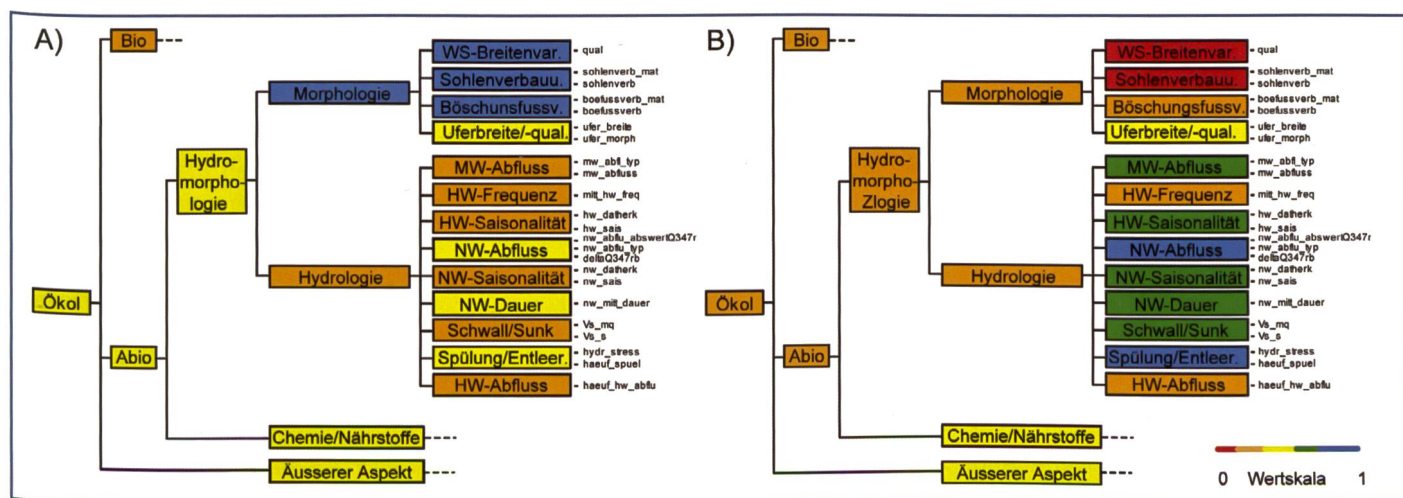
Beispiel 2: Vergleich der Flussabschnittsqualität vor und nach potenziellen Revitalisierungsmassnahmen

Plant ein Kanton eine Revitalisierungsmassnahme an einem Flussabschnitt, so können die potenziellen Qualitätsverbesserungen, welche durch verschiedene Massnahmen erwartet werden, berechnet, grafisch dargestellt und so miteinander verglichen werden. Dies bedingt teilweise eine Schätzung der erwarteten Auswirkungen der Massnahmen auf die MSK-Attribute. In Bild 10A wird die ökologische Qualität des fiktiven Flussabschnitts aus Bild 9 nach einer Gerinneaufweitung simuliert, bzw. abgeschätzt. Dafür werden für die morphologischen Attribute «Werte der geplanten, verbesserten Attributausprägungen» eingesetzt, alle anderen Attributausprägungen bleiben für dieses Beispiel gleich. Bild 10B zeigt die simulierte Qualitätsverbesserung nach einer möglichen Kombination von Massnahmen wie z.B. der Reduktion von Schwall-Sunk, höheren Restwassermengen oberhalb der Wasserrückgabe, oder ein verändertes Spülreglement im selben Flussabschnitt ohne morphologische Aufwertung. Gemäss dieser Darstellung der Zielhierarchie würde, in diesem fiktiven Beispiel,

der Flussabschnitt im abiotischen Bereich mehr von der morphologischen als von den hydrologischen Aufwertungen profitieren: der abiotische sowie der ökologische Zustand wechselt nur bei der morphologischen Aufwertung von einem unbefriedigenden (orange; Bild 9) zu einem mässigen Zustand (gelb; Bild 10B). Ein Vergleich der exakten Werte beider Massnahmen kann diesen Vergleich noch spezifizieren: das Oberziel «Naturnaher ökologischer Zustand» erreicht mit der Massnahme Aufweitung den Wert 0.42 und ist daher nur geringfügig besser als mit den Massnahmen zur Verbesserung des hydrologischen Regimes (Wert = 0.37). Will man einen Schritt weiter gehen, könnten die Daten zu Verbesserungen der Attributausprägungen im biologischen Bereich, welche durch die Massnahmen zu erwarten sind, ebenfalls für eine Zielhierarchiesimulation verwendet werden. Solche Effekte von Massnahmen auf Attribute können beispielsweise von Experten geschätzt oder durch mathematische Modelle prognostiziert werden (Borsuk et al., 2006, Schweizer et al., 2007).

## 6. Vorschläge zur Erweiterung des MSK

Die in den Kapiteln 1–5 erläuterte Implementation von Zielhierarchien und Wertfunktionen ebnet nun den Weg für verschiedene Erweiterungen des MSK, welche die Bewertung genauer und flexibler machen sowie seine Einbettung in das übergeordnete Konzept für multikriterielle



**Bild 10. Ausschnitt der Zielhierarchie des fiktiven Flussabschnitts x berechnet aus Attributdaten, welche nach potentiellen Revitalisierungsmassnahmen erwartet würden. A) nach einer Gerinneaufweitung und Verbesserung der Sohle- und Uferverhältnisse, B) nach verschiedenen Massnahmen zur Aufwertung des hydrologischen Regimes.**



Entscheidungsunterstützung im Wassermanagement (MCWM) wesentlich erleichtern würden.

- Um die integrative Aggregation der Zielwerte zu vereinfachen schlagen wir vor, die Unterziele «Naturnahe Hydromorphologie» und «Naturnahe Chemie/Ökotoxikologie» einzuführen (Bild 3). Dadurch müssen nur drei respektive zwei Unterziele (anstelle von fünf) zur nächst höheren Ebene aggregiert werden, was das Festlegen der Aggregationsparameter vereinfacht.
- Messung von Attributen und Bewertung von Zielen sollen immer strikt getrennt werden. Dadurch können Messdaten auch dann noch verwendet werden, wenn sich die Bewertungsskala in Zukunft ändern sollte. Zudem wird die Unsicherheit der Bewertungen, welche durch die Variabilität in der Datenaufnahme verschiedener Personen entsteht, minimiert. Diese Forderung ist beim MSK bereits weitgehend erfüllt.
- Nicht zwingend diskrete Attribute sollen in Zukunft, wo immer möglich und vom Aufwand her gerechtfertigt, kontinuierlich erhoben werden: z.B. könnte die Wasserspiegelbreitenvariabilität (aus dem Modul «Ökomorphologie F») anstatt diskret (ausgeprägt, eingeschränkt, keine) kontinuierlich mittels Variationskoeffizienten einiger Daten der Wasserspiegelbreite beurteilt werden. Attribute mit Schätzungen von wenig, mittel, viel (z.B. Modul «Äusserer Aspekt») könnten durch Schätzungen von Bedeckungsgraden, usw. ersetzt werden. Dadurch wird die Datenerhebung objektiver und deren Bewertung genauer, was den erhöhten Erhebungsaufwand rechtfertigen könnte. Zudem, wie wir im Anwendungsbeispiel (Kp. 5) gesehen haben, kann ein kleiner Wertunterschied bereits eine Änderung in der Zustandsklasse bewirken. Eine kontinuierliche Skala macht diese Fälle offenkundig. Wenn zusätzlich zu den Attributwerten auch deren Messfehler erhoben werden, würde die Genauigkeit der Messung noch besser dokumentiert und die Bewertungsqualität zusätzlich beurteilt werden können.
- Attribute und Ziele können als notwendig oder freiwillig eingestuft werden. Als notwendig definierte Attribute/Ziele müssen zwingend aufgenommen/bewertet werden, damit das darauf aufbauende Ziel auf der nächst höheren Ebene bewertet werden kann.

Die Standard-MSK-Bewertung kann dadurch mit zusätzlichen Attributen/Zielen ergänzt werden, ohne dass sich etwas an der Bewertung ändert, wenn diese zusätzlichen Daten nicht vorhanden sind. Dies hat zum Vorteil, dass Kantone, welche zusätzliche Daten erheben, diese auch verwenden können und dadurch eine breiter abgestützte Bewertung machen können. So können auch Module auf Stufe F durch Module auf Stufe S ersetzt oder Unterziele durch verschiedene Attribute bewertet werden (beispielsweise bei der Bewertung des Unterziels «Naturnahes Vorkommen von Makrozoobenthos» durch die drei Attribute IBGN, IBCH und Makroindex; Bild 3 und 9).

- Eine detailliertere Bewertung erfordert die Einführung einer Flusstypisierung. Die Bewertung oder zumindest einzelne Elemente davon hängen dann vom Flusstyp ab.
- Künftige oder zu überarbeitende Module sollten direkt als Wertfunktionen formuliert werden. Diese methodische Vereinheitlichung der verschiedenen MSK-Bewertungen erleichtert die Erarbeitung und Kommunikation des Bewertungsverfahrens, ohne die Entwicklung der Methoden zu erschweren.
- Künftige oder zu überarbeitende Module sollen vermehrt auf der wachsenden internationalen Literatur aufbauen. Die Begründung für die Wahl von Bewertungselementen und Gewichtungen sollen zusätzlich zur Methodenbeschreibung publiziert werden. Dies macht die Methoden einem grösseren Publikum bekannt, erhöht die Transparenz der Methoden und erleichtert deren Weiterentwicklung.

## 7. Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Artikel schlagen wir vor, bestehende MSK-Module mit Hilfe von Methoden aus der Entscheidungstheorie als Wertfunktionen darzustellen und neue Module in diesem Formalismus zu entwickeln. Dies erweitert den Anwendungsbereich des MSK: Fließgewässer können integrativ bewertet werden, und durch die Einbettung des MSK in ein übergeordnetes Konzept für multikriterielle Entscheidungsunterstützung im Wassermanagement können Entscheidungen über Flussmanagementoptionen unterstützt werden (Reichert et al., 2011). Dass eine solche Umformulierung relativ einfach möglich ist zeigt die grundsätzliche Kompatibilität

der bisher im MSK entwickelten Methoden mit den vorgeschlagenen übergeordneten Konzepten. Zusätzlich zum bisherigen Nutzen des MSK sehen wir durch diesen Vorschlag die folgenden Vorteile (siehe auch Kapitel 6):

- Flexibilität bzgl. Attributen und Zielen: Das Konzept der notwendigen und freiwilligen Unterziele/Attribute erlaubt es unter anderem, der vorgeschlagenen Zielhierarchie neue Unterziele/Attribute hinzuzufügen. Dies hat zum Vorteil, dass MSK-Module, welche in Bearbeitung sind, sowie zukünftige Module (z.B. zur Sedimentproblematik oder genetische Methoden in der Biologie) jederzeit integriert werden können, oder dass Ziele mittels unterschiedlicher Attribute bewertet werden können (Bsp. Makrozoobenthos). Zudem können die Kantone, je nach möglichem Erhebungsaufwand, ihre Standardattribute aus den MSK-Modulen mit zusätzlichen Daten ergänzen. Wird die Zielhierarchie durch zusätzliche Unterziele und assoziierte Attribute ergänzt, muss bei der Aggregation der erhobenen Werte darauf geachtet werden, dass die Gewichtung der einzelnen Attribute dementsprechend angepasst wird. Die MSK-Bewertungen basieren auf einer fixen Anzahl Attribute. Zusätzlich vorhandene Daten bleiben daher ungenutzt, was den Grundsätzen einer guten Beurteilungsmethodik widerspricht. Die Festlegung der fixen Attribute kann zudem die Entwicklung eines Moduls verzögern und hemmt die Verwendung (unterschiedlicher) historischer Daten.
- Flexibilität bzgl. Aggregation: Die Bewertungen einzelner Ziele aus den MSK-Modulen können interessenspezifisch auf verschiedenen Ebenen integriert und kommuniziert werden: das Interesse an stark integrierten Beurteilungen kann dadurch ebenso befriedigt werden wie das Bedürfnis, diese Integration aufzulösen und die Einzelbeurteilungen beispielsweise für die Defizitanalyse nutzen zu können. Die MSK-Synthese schlägt derzeit ein Vorgehen zur Aggregation von biologischen und abiotischen Modulen vor, jedoch keine Gesamtintegration zu einem integrativen Wert.
- Realitätsnahe Aggregation: Die Anwendung von verschiedenen Aggregationstechniken inklusive der gemischten Aggregation auf verschiedenen Ebenen der Zielhierarchie er-



laubt eine Integration der Ziele aus den einzelnen MSK-Modulen. Verschiedene Experten bevorzugen auf einer höheren hierarchischen Ebene die gemischte Aggregation, um ihre Präferenzen abzubilden.

In den meisten bisherigen MSK-Modulen sowie der MSK-Synthese wurde additiv oder mittels worst-case aggregiert. Eine Ausnahme bildet das Modul «Hydrologie», wo unter anderem eine Kombination der beiden in der Gesamt-aggregation angewendet wird.

- Kontinuierliche Werteskala von 0–1: Alle Bewertungen werden mit derselben, kontinuierlichen Werteskala zwischen 0 und 1 gemacht. Bewertungen auf allen Ebenen werden so vergleichbar und können einfacher aggregiert werden. Die Ableitung von Zustandsklassen ist trotzdem jederzeit möglich. Da aber jedes Ziel einen kontinuierlich berechneten Wert erhält kann unterschieden werden, ob ein Ziel gerade noch in der schlechteren Klasse oder knapp in der besseren Klasse ist. Die kontinuierliche Bewertung erleichtert auch die Unsicherheitsanalyse. Die Unsicherheit der Attributwerte kann mit konventionellen Methoden auf die Unsicherheit der Bewertung propagiert werden. Die Bewertungen im MSK beruhen alle auf verschiedenen Bewertungssystemen und sind daher zwischen den Modulen nicht direkt vergleichbar. Endbewertungen liegen nur in der Form von diskreten Qualitätsklassen vor. Durch die Aggregation solcher Klassenwerte können sich Unsicherheiten akkumulieren.
- Integrative Bewertung von Massnahmen: Die vorgeschlagene Verwendung der umformulierten MSK-Bewertungen in Wertfunktionen ermöglicht nicht nur eine integrative Flussbewertung, sondern erlaubt auch eine integrative Entscheidungsunterstützung über vorgeschlagene Massnahmen im Rahmen eines multikriteriellen Wassermanagements (MCWM, Reichert et al., 2011). Dazu wird der Nachher-Zustand der Attribute aus den MSK-Modulen für verschiedene vorgeschlagene Massnahmen von Experten prognostiziert oder durch mathematische Modelle simuliert. Der Vergleich der sich daraus ergebenden Bewertungen der Massnahmen ermöglicht deren Priorisierung. Es können sektorielle oder sektorübergreifende Massnahmen bewertet werden.

- Einheitliches Konzept für Bewertung und Management: Die Anwendung des MCWM bei Flussbewertungen sowie Revitalisierungsmassnahmen (oder anderen Managementoptionen) erleichtert die Kommunikation und fördert, bei guter Einführung des Konzepts, die Transparenz solcher Projekte.

MSK-Module sind wichtige Vollzugshilfen für die Fliessgewässerbewertung in den Kantonen. Unsere Vorschläge bauen auf diesen Modulen auf, vereinheitlichen deren Darstellung und erweitern sie um wesentliche Schritte, insbesondere um die integrative Bewertung und die verstärkte Verwendung im Flussmanagement.

- Begleitende wissenschaftliche Publikationen: Publikationen würden den internationalen Austausch im aktiven Gebiet der ökologischen Zustandsbewertung und die Transparenz über die gewählten Verfahren fördern sowie die Weiterentwicklung der Module erleichtern.

Im MSK wurden bisher kaum wissenschaftliche Artikel, begleitend zu den Modulen, publiziert. Die Begründungen zur Wahl der Verfahren sind daher nicht immer zugänglich.

Die hier vorgeschlagene Kombination des MSK mit Methoden aus der Entscheidungstheorie wird zurzeit in mehreren Projekten der Eawag angewendet und evaluiert sowie mit Vertretern des BAFU und der Kantone in verschiedenen Arbeitsgruppen diskutiert. Mit diesem Artikel möchten wir diese Diskussion über die Arbeitsgruppen hinaus stimulieren und Rückmeldungen in die Verbesserung der Konzepte sowie der Praxistauglichkeit einfließen lassen.

#### Verdankung

Wir bedanken uns herzlich bei Hansruedi Siegrist, Christian Stamm und Jörg Rieckermann für die Bereitstellung der Minimal- und Maximalwerte der für die Module «chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe». Die vorliegende Arbeit profitierte von vielen Diskussionen und Erfahrungen aus Projekten mit vielen Partnern aus Wissenschaft und Praxis und von Diskussionen über eine theoretische Fundierung der Entscheidungsunterstützung an der Eawag. Insbesondere möchten wir uns bei Susanne Haertel-Borer, Janet Hering, Bernd Klauer, Martin Pfandler, Jacqueline Schlosser, Nele Schuwirth, Steffen Schweizer, Ueli Sieber, Christian Stamm und Stefan Vollenweider für das Gegenlesen und Kommentieren früherer Entwürfe dieses Artikels bedanken.

#### Literaturverzeichnis

- Baumann, P. & Langhans, S.D. (2010): Entwurf. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Synthese der Beurteilungen auf Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. Bundesamt für Umwelt, Bern: 47 S.
- Binderheim, E. & Göggel, W. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Umwelt-Vollzug Nr. 0701. Bundesamt für Umwelt, Bern. 43 S.
- BAFU (2010). Entwurf. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Ökomorphologie Stufe S. Bundesamt für Umwelt, Bern. 73 S.
- Borsuk, M. E., Reichert, P., Peter, A., Schager, E., Burkhardt-Holm, P. (2006): Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. *Ecological Modelling* 192: 224–244.
- Bundi, U., Peter, A., Frutiger, A., Hütte, M., Liechti, P., Sieber, U. (2000): Scientific base and modular concept for comprehensive assessment of streams in Switzerland. *Hydrobiologia* 422–423: 477–487.
- Cabinet GAY Environnement (2000): Indice biologique global normalisé I.B.G.N. (Norme NF T 90-350). Guide technique. Agences de l'eau. 37 S.
- Cobb, C.W., & Douglas, P.H. (1928): A theory of production. *American Economic Review* 18: 139–165.
- Corsair, H.J., Ruch, J.B., Zheng, P.Q., Hobbs, B.F., Koonce, J.F. (2009): Multicriteria decision analysis of stream restoration: potential and examples. *Group Decision and Negotiation* 18: 387–417.
- Eisenführ, F., Weber, M., Langer, T. (2010): *Rational Decision Making*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Frutiger, A. & Sieber, U. (2005): Entwurf. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt, Bern. 51 S.
- Hürlimann, J. & Niederhauser, P. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 0740. Bundesamt für Umwelt, Bern. 130 S.
- Hütte, M. & Niederhauser, P. (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 27. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 49 S.
- Joubert, A., Stewart, T.J., Eberhard, R. (2003): Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the City of Cape Town. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 12: 17–25.
- Keeney, R.L. (1982): Decision analysis: An overview. *Operations Research* 30: 803–838.





Känel, B., Göggel, W., Weber, C. (2009): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Wasserpflanzen: Anleitung zur Probenahme. Bundesamt für Umwelt, Bern. 60 S.

Liechti, P. (2010): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Umwelt-Vollzug Nr. 1005. Bundesamt für Umwelt, Bern. 44 S.

Linkov, I., Satterstrom, F.K., Kiker, G., Seager, T.P., Bridges, T., Gardner, K.H., Rogers, S.H., Belluck, D.A., Meyer, A. (2006): Multicriteria decision analysis: A comprehensive decision approach for management of contaminated sediments. Risk Analysis 26: 61–78.

Pfaundler, M., Dübendorfer, C., Zysset, A. (2011): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Ab-

flussregime Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt, Bern. 114 S.

Reichert, P., Borsuk, M., Hostmann, M., Schweizer, S., Sporri, C., Tockner, K., Truffer, B. (2007): Concepts of decision support for river rehabilitation. Environmental Modelling & Software 22: 188–201.

Reichert, P., Schuwirth, N., Langhans, S.D. (2011): MCWM ein Konzept für multikriterielle Entscheidungsunterstützung im Wassermanagement. Wasser Energie Luft 2:139–48.

Rossi, L. (2004): Temperaturveränderungen im Gewässer bei Regenwetter. gwa 11: 49–59.

Schager, E. & Peter, A. (2004): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Fische Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 44. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern. 63 S.

Stucki, P. (2010): Methoden zur Untersuchung

und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 61 S.

Schweizer, S., Borsuk, M.E., Reichert, P. (2007): Predicting the morphological and hydraulic consequences of river rehabilitation. River Research and Applications 23: 303–322.

Varian, H. (2010): Intermediate Microeconomics: A modern approach. W.W. Norton & Company.

Wasser-Agenda 21 (2010): Einzugsgebietsmanagement: Leitbild für die integrale Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. Leitbild. 18 S.

Anschrift der Verfasser

Simone D. Langhans, Peter Reichert  
Eawag, das Wasserforschungsinstitut des  
ETH-Bereichs, CH-8600 Dübendorf



Wir sind ein Ingenieur- und Beratungsunternehmen mit 400 Mitarbeitenden in 30 Niederlassungen in der Schweiz und Europa. Für unsere Kunden entwickeln wir wirtschaftliche Lösungen, die zur Verbesserung der Lebens- und Umweltqualität führen.

Wir suchen zur Verstärkung unseres jungen und dynamischen Teams im Bereich Fluss- und Wasserbau einen/eine:

## PROJEKTLEITER/IN WASSERBAU

### Wir bieten Ihnen

- Anspruchsvolle und interessante Projekte in den Bereichen Einzugsgebietsmanagement, Fliessgewässermodellierung und Hydraulik.
- Planung und Realisierung von Hochwasserschutzprojekten bis hin zu Gewässerrenaturierung.
- Verantwortung, Selbständigkeit und Zusammenarbeit mit einem kompetenten und motivierten Team.
- Entwicklungsperspektiven innerhalb eines expandierenden Unternehmens.
- Attraktive Anstellungsbedingungen.
- Freie Wahl des Arbeitsortes Basel, Bern oder Zürich.

### Ihr Aufgabengebiet

- Leitung, Entwurf und Realisierung von komplexen Projekten im Fluss- und Wasserbau.
- Führung von interdisziplinären Projektteams.
- Kontakte zu Kunden, Behörden und Unternehmern.
- Unterstützung bei der Akquisition und Kundenbetreuung.
- Weiterentwicklung von Dienstleistungen.

### Ihr Profil

- Abgeschlossenes Ingenieurstudium FH/ETH.
- Mehrjährige Erfahrung als Projektleiter/in im Fluss- und Wasserbau.
- Wasserbauliche Fachkompetenz insbesondere in Hydraulik und Konzeption.
- Unternehmerische, engagierte und überzeugende Persönlichkeit.

### Interessiert?

Unser Leiter Geschäftsfeld Wasser, Herr Markus Knöpfli, beantwortet gerne Ihre Fragen: +41 (0)61 683 99 86.

Wir freuen uns auf Ihre Unterlagen:

Jobs@csd.ch oder

CSD MANAGEMENT SA

Chantermerle 37 – Granges-Paccot  
Case postale 384 | 1701 Fribourg

www.csd.ch

WWW.SWV.CH



## Für Informationsfluss in geordneten Bahnen. buag-Kommunikations-Full-Service

Für die Konzeption und Realisation von Dokumentationen, Publikationen, Berichten und Broschüren steht Ihnen ein Team von Fachleuten mit einer nahtlosen Netzwerkstruktur zur Verfügung, die sich flexibel auf Umfang und Art Ihres Informationsprojektes einstellen können. Sie halten so Ihren Informationsfluss, aber auch Ihre Budgets in geordneten Bahnen. Informieren Sie sich unter [www.buag.ch](http://www.buag.ch) und verlangen Sie die Broschüre «Die Kommunikation der Information» oder rufen Sie einfach Tel. 056 484 54 54 an.