

3 > Index für hydro-morphologische Diversität

Walter Gostner, Anton Schleiss

Strukturvielfalt ist eine Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit von Gewässerökosystemen. Das vorliegende Merkblatt stellt einen neuen Index vor – den sogenannten hydro-morphologischen Index der Diversität (HMID), mit dem sich die hydro-morphologische Diversität berechnen lässt. Als Hilfsmittel für den Wasserbau ermöglicht er es, flussbauliche Projekte in Bezug auf die Verbesserung der Strukturvielfalt quantitativ zu beurteilen.

Bedeutung der Strukturvielfalt

Die Funktionsfähigkeit von Gewässerökosystemen wird durch abiotische und biotische Faktoren bestimmt, die sich gegenseitig beeinflussen. Bei den abiotischen Faktoren sind Wasserqualität, Abflussdynamik und Gewässerstruktur besonders wichtig. Fließgewässer mit natürlicher und künstlicher Gerinnemorphologie unterscheiden sich in der Ausprägung ihrer Strömungen (Abb. 1). In naturnahen Abschnitten wechseln sich Bereiche mit hoher Abflussgeschwindigkeit und Bereiche mit geringer Abflussgeschwindigkeit und hoher Abflusstiefe ab. Zudem verfügen sie über Flachwasserbereiche mit geringer Strömung, Kiesbänke verschiedener Höhen mit unterschiedlicher Vegetation und diversen Sukzessionsstadien (MB 2, Bio-

diversität in Fließgewässern) sowie über Totholz und unterschiedliche Substrate. Zwischen dem Fließgewässer und dem Umland liegt ein breiter Ufergürtel. Kanalisierte Abschnitte hingegen sind monoton und haben gleichmässige Strömungen in Längs- und Querrichtung.

Die Homogenisierung der Gerinnemorphologie führt zu einer Verminderung von Artenreichtum und Biomasse aquatischer und uferbewohnender Organismen. Strukturvielfalt hingegen fördert die Entwicklung und Erhaltung artenreicher Lebensräume und Lebensgemeinschaften (Jungwirth *et al.* 2003). Das Ziel vieler Revitalisierungen ist es deshalb, die Strukturvielfalt wieder herzustellen und die Habitatvielfalt zu fördern. Viele aquatische, amphibische und terrestrische Orga-



Strukturreichtum führt zu erhöhter Vielfalt bei der Abflussgeschwindigkeit: Riffle an der Sense (FR/BE).

Foto: Walter Gostner

nismen von Fliessgewässern brauchen eine grosse Vielfalt an Habitattypen, um sich fortzupflanzen und zu entwickeln (MB 2, Biodiversität in Fliessgewässern). So brauchen Fische im Lauf ihres Lebenszyklus unterschiedliche Lebensräume: Laichplätze mit einem geeigneten Sohlsubstrat, schnellfließende Wasserbereiche mit hohem Nahrungsangebot für die Nahrungssuche und Bereiche mit hohen Abflusstiefen und geringer Abflussgeschwindigkeit als Ruheplätze. Lokale Fischpopulationen können sich also nur erhalten, wenn genügend Habitate und verschiedene Habitattypen vorhanden sind.

Der Hydro-morphologische Index der Diversität

Im Wasserbau müssen nicht nur Hochwasserschutzmassnahmen geplant und umgesetzt werden, sondern auch Massnahmen, welche die Funktionsfähigkeit der Gewässerökosysteme verbessern (Flussrevitalisierungen: eine Übersicht). Bei flussbaulichen Projekten konnte die Verbesserung der Strukturvielfalt bisher nur qualitativ aufgrund von Expertenbeurteilungen abgeschätzt werden. Der im vorliegenden Merkblatt beschriebene hydro-morphologische Index der Diversität (HMID) ermöglicht neu auch eine quantitative Beurteilung (Box 1). Anhand numerischer Abflussmodellierungen und statistischer Analysen hydraulischer Variablen, welche die Strukturvielfalt kennzeichnen, kann der HMID einfach berechnet werden. So lässt er sich für verschiedene Varianten von flussbaulichen Projekten berechnen, und die Varianten können anhand der HMID-Werte miteinander verglichen werden. Die Variante mit der besten ökologischen Wirkung kann auf diese Weise objektiv bestimmt werden. Zudem lässt sich abschätzen, wie weit sich diese dem gewünschten Referenzzustand nähert.

Der HMID füllt die Lücke zwischen der Bewertung des Ist-Zustandes eines Fliessgewässers vor Beginn eines flussbaulichen Projekts (BUWAL 1998) und der Erfolgskontrolle nach der Umsetzung des Projekts (Woolsey *et al.* 2005). Er ermöglicht es, eine A-priori-Bewertung von Projekten vorzunehmen und diese zu optimieren. Der HMID wurde für kiesführende Alpenflüsse entwickelt, die in ihrem Referenzzustand einen pendelnden, einen gewundenen oder einen verzweigten Verlauf aufweisen können. Dieser Gewässertyp war früher in den Alpen häufig anzutreffen, weshalb es eine breite Anwendung für den HMID gibt.

Herleitung und Entwicklung des HMID

Die Herleitung des HMID basiert auf folgenden Annahmen (Gostner und Schleiss 2011):

a. Die Strukturvielfalt eines Fliessgewässerabschnittes lässt sich mithilfe der hydraulischen Grössen Abflussgeschwindigkeit und Abflusstiefe sowie ihrer statistischen Parameter charakterisieren.

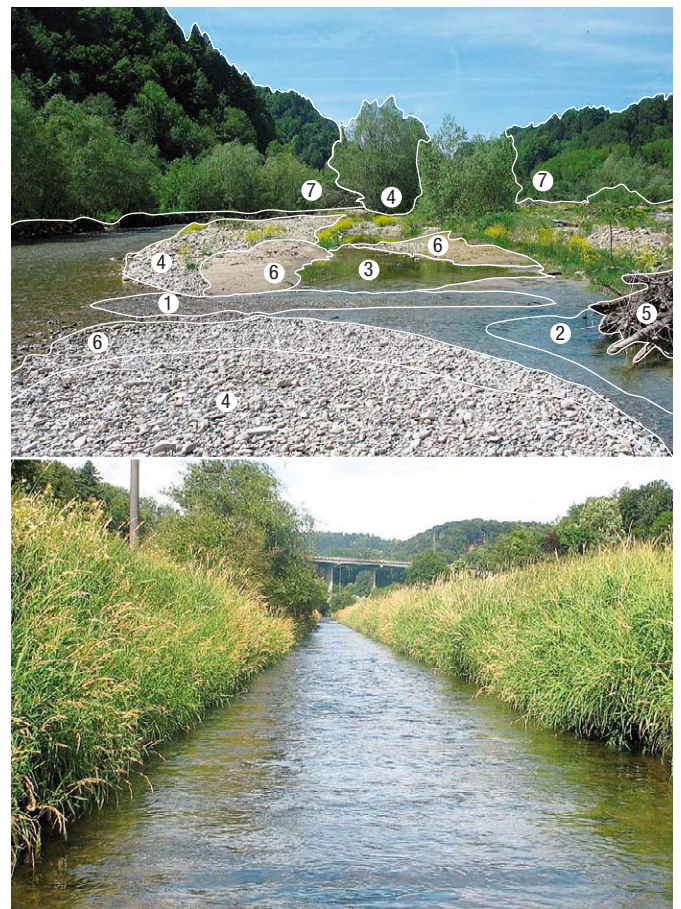


Abb. 1 Oben: Naturnaher Abschnitt der Sense (FR) mit Bereichen hoher Abflussgeschwindigkeit (1), hoher Abflusstiefe (2), mit Flachwasserbereichen (3), Kiesbänken (4), Totholz (5), unterschiedlichen Substraten (6) und einem breiten Ufergürtel (7). Unten: verbauter, kanalartiger Abschnitt der Bünz (AG) mit verminderter Habitatvielfalt. Fotos: Walter Gostner

b. Die statistischen Parameter der hydraulischen Grössen können anhand einer mathematischen Definition in einer Masszahl, dem HMID, kombiniert werden. Dieser vermag die Strukturvielfalt des aquatischen und semi-aquatischen Lebensraums eines Fliessgewässerabschnittes zu charakterisieren.

Zur Herleitung des HMID wurden umfangreiche Felduntersuchungen an verschiedenen Fliessgewässern in der Schweiz durchgeführt (Bünz, AG; Venoge, VD; Sense, FR/BE). An jedem Untersuchungsabschnitt wurden mehrere Querprofile definiert (Tab. 1). Entlang dieser Querprofile wurden in einem Abstand von 1–2 m die Abflusstiefe und die Abflussgeschwindigkeit erfasst. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse für die Sense (FR/BE) dargestellt. Untersucht wurden 5 Abschnitte mit unterschiedlichem Verbauungsgrad.

Abbildung 2 zeigt die hydraulischen Grössen Abflussgeschwindigkeit und Abflusstiefe. In den kanalisiertem Abschnit-

ten ist die Streuung der Variablen gering. Hier ist die durchschnittliche Abflussgeschwindigkeit hoch, und Ruhewasserzonen sind kaum vorhanden. An den naturbelassenen Abschnitten hingegen ist die Variabilität der hydraulischen Grössen ausgeprägter. Wie erwartet ist in den natürlichen Abschnitten die Variabilität der die Lebensräume prägenden Faktoren höher als in kanalisierten Strecken.

Zur Beschreibung der Vielfalt kann die Standardabweichung σ verwendet werden. Ihre Gewichtung hängt eng mit dem Mittelwert μ zusammen, was mit dem Variationskoeffizienten $c_v = \sigma/\mu$ ausgedrückt wird. Die Vielfalt $V(i)$ einer einzelnen hydraulischen Grösse lässt sich wie folgt berechnen (Schleiss 2005):

$$V(i) = (1 + c_{v,i})^2 = \left(1 + \frac{\sigma_i}{\mu_i}\right)^2$$

Der HMID für einen Abschnitt wird aus dem Produkt der Teilvielfältigkeitsindizes für Abflussgeschwindigkeit v und Abflusstiefe t berechnet:

$$\text{HMID}_{\text{Abschnitt}} = \prod_i V(i) = V(v) \cdot V(t) = \left(1 + \frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\sigma_t}{\mu_t}\right)^2$$

Die Definition des HMID beschreibt die räumliche Vielfalt der strukturell-morphologischen Eigenschaften eines Fließgewässers (konkrete Beispiele s. Tab. 2). Eine Modellierung der Untersuchungsabschnitte an der Sense mit der Software *BASEMENT* (MB 7, Numerische Fließgewässer-Modellierung) für verschiedene Abflüsse zeigte, dass Abschnitte unterschiedlicher Morphologie auch eine unterschiedliche zeitliche Variabilität haben. In natürlichen Abschnitten bleibt der HMID für fast alle im Jahresverlauf auftretenden Abflüsse annähernd konstant, mit Ausnahme derjenigen, die an ca. 5 Tagen pro Jahr überschritten werden. In verbauten Abschnitten hingegen wird der HMID mit grösser werdenden Abflüssen kleiner. In natürlichen Abschnitten ist die Strukturvielfalt generell höher als in verbauten Abschnitten. Zudem bleiben in den natürlichen Abschnitten die Lebensbedingungen für Organismen konstanter als in den verbauten Abschnitten.

Anwendungen des HMID

Der HMID ist ein Hilfsmittel zur Optimierung der morphologischen Strukturvielfalt in flussbaulichen Projekten. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel möglicher Projektvarianten einer Revitalisierung. Das Beispiel ist stark vereinfacht, um eine mögliche Anwendung zu illustrieren. Die Ausgangslage ist ein kanalisierte, trapezprofilförmiger, mit festem Uferschutz gesicherter Abschnitt. Angenommen wird, dass dieser Abschnitt in seinem Referenzzustand ein verzweigter kiesführender Alpenfluss war und dass eines der Ziele des Leitbildes ist, das Fließgewässer dem morphologischen Referenzzustand zu nähern.

Box1: Der hydro-morphologische Index (HMID)

Was ist neu am HMID?

Der HMID verwendet hydraulische Grössen, welche die aquatischen Habitate charakterisieren. Im Gegensatz zu Bewertungsmethoden (z. B. Ökomorphologie des Modul-Stufen-Konzepts), die teilweise auf subjektiven Einschätzungen der oder des Betrachtenden im Feld aufbauen, basiert der HMID auf objektiven Kriterien.

Was sind die Vorteile des HMID?

Die Verwendung von numerischen, zweidimensionalen Abflussmodellen zur Beurteilung des Hochwasserverhaltens von wasserbaulichen Projekten ist heutzutage Standard. Mit geringem Zusatzaufwand können diese Modelle dazu verwendet werden, auch die Mittelwasserabflüsse zu modellieren und aus den daraus resultierenden hydraulischen Kenngrössen den HMID zu berechnen.

Welche Lücke schliesst der HMID?

Durch die Anwendung des HMID in wasserbaulichen Projekten können Projektvarianten in Bezug auf die Verbesserung der Strukturvielfalt quantitativ verglichen werden. Der HMID ist kein Instrument zur Beurteilung des IST-Zustandes oder zur Erfolgskontrolle, sondern dient der Beurteilung verschiedener Varianten flussbaulicher Projekte.

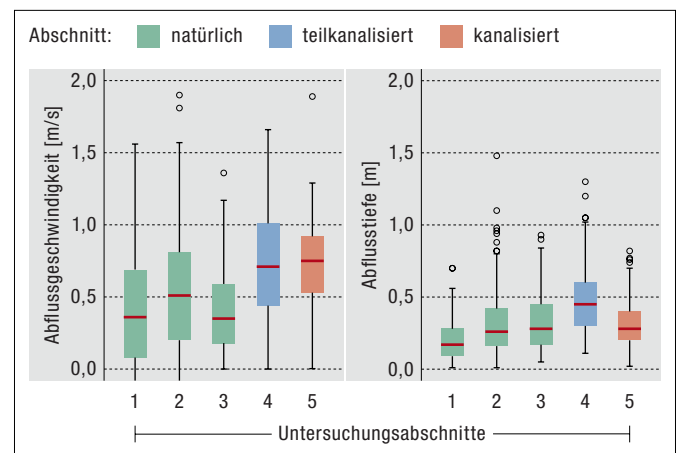


Abb. 2 Boxplots von Abflussgeschwindigkeit (links) und Abflusstiefe (rechts) für die untersuchten Abschnitte an der Sense (FR). Sie geben den Medianwert an (horizontale rote Linie). Innerhalb der unteren und oberen Begrenzung liegen 50% der Daten. Die vertikalen Linien entsprechen etwa 2 Standardabweichungen. Ausserhalb dieses Bereiches liegen die sogenannten Ausreisser, die als Einzelpunkte gekennzeichnet sind. Illustration nach Walter Gostner

Mögliche Massnahmen sind: kleinräumiger Eingriff durch die Platzierung von Störsteinen (Abb. 3: Variante 1), Auflösung einer der beiden Uferlinien zur Initiierung von alternierenden Kiesbänken mit verdecktem Uferschutz am Rande des zugelassenen Pufferstreifens (Abb. 3: Variante 2) oder Aufweitung mit Auflösung beider Uferlinien und Zulassen der vollständigen Dynamik ohne laterale Einschränkungen (Abb. 3: Variante 3).

Der HMID wird folgendermassen ermittelt:

- > Durchführung einer numerischen 2-D-Modellierung des Mittelwasserabflusses für den Zustand unmittelbar nach Projektumsetzung. Befindet sich das Fliessgewässer in einem dynamischen Gleichgewicht, werden bei bett-bildenden Abflüssen zwar lokal Habitate umgelagert, ihre Zusammensetzung bleibt aber konstant. Als Eingabedaten für die Modellierung dienen das digitale Höhenmodell der einzelnen Varianten (inkl. Rauigkeitsbeiwerte) und der Mittelwasserabfluss, der entweder berechnet werden muss oder aus einer für den entsprechenden Fliessgewässerabschnitt vorliegenden Abflussdauerkurve abgelesen werden kann. Das Höhenmodell liegt meistens bereits vor, weil es für die Berechnung des Hochwasserabflusses benötigt wird.
- > Wählen der Abflussgeschwindigkeiten und Abflusstiefen für die einzelnen Zellen des Gitternetzes des numerischen Abflussmodells aus den Ergebnissen der Modellierung.
- > Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die hydraulischen Grössen Abflussgeschwindigkeit und Abflusstiefe sowie Berechnung des HMID gemäss der oben dargestellten Formel.

Durch die Berechnung des HMID für den Ist-Zustand kann beurteilt werden, wie gross die Verbesserung der Strukturvielfalt für die verschiedenen Varianten ist. Im Vergleich mit der

> **Tabelle 1**

Kenndaten der Felduntersuchungen an der Sense (FR/BE).

Abschnitt		(1) ver- zweigt	(2) pen- delnd	(3) ver- zweigt	(4) teilver- baut	(5) kanali- siert
Länge	[m]	1850	770	620	685	940
Querprofile QP		19	17	19	14	14
Abstand QP	[m]	100	48	10,4	53	72
Punkte		310	202	249	135	216
Abfluss Q	[m ³ /s]	2,30	2,93	3,19	5,65	5,81
Spende q	[l/s, km ²]	19,5	19,5	18,2	17,6	16,3

Strukturvielfalt des Ist-Zustandes bedeutet Variante 1 (Abb. 3) nur eine leichte Verbesserung. Bei Variante 2 ist der HMID zwar wesentlich höher, aber aufgrund des noch vorhandenen Uferschutzes ist auch bei Variante 2 keine vollständige Entwicklung natürlicher Habitate zu erwarten. Variante 3 erreicht einen hohen Wert für den HMID und stellt für die Revitalisierung ein Optimum dar. Mit dieser Variante kann eine grosse Habitatvielfalt erreicht und damit die Biodiversität gefördert werden. Voraussetzung ist, dass sich aufgrund eines ausgeglichenen Geschiebehaltungs die Fliessgewässerdynamik wieder einstellt. Auf diese Weise ermöglicht es der HMID, die Auswirkungen verschiedener Varianten auf die Hydromorphologie eines Fliessgewässers abzuschätzen.

Einschränkungen der Anwendung

Bei der Anwendung des HMID sollten gewisse Grundsätze beachtet werden, damit die Umsetzung eines flussbaulichen Projekts auch langfristig erfolgreich ist. Zuerst ist bei Revitalisierungen ein Leitbild mit klar definierten Zielen zu erarbei-

> **Tabelle 2**

Berechnung des HMID für die einzelnen Untersuchungsabschnitte an der Sense (FR/BE).

Abschnitt		(1) verzweigt, natürlich	(2) pendelnd, natürlich	(3) verzweigt, natürlich, geringfügig verbaut	(4) kanalisiert, teilverbaut	(5) kanalisiert
Abflussge- schwindigkeit	μ [m/s]	0,445	0,564	0,388	0,717	0,713
	σ [m/s]	0,412	0,450	0,266	0,416	0,294
	c_v	0,93	0,80	0,69	0,58	0,41
	V(v)	3,71	3,23	2,84	2,50	1,99
Abflusstiefe	μ [m]	0,196	0,319	0,314	0,461	0,306
	σ [m]	0,131	0,222	0,184	0,219	0,149
	c_v	0,67	0,70	0,59	0,48	0,49
	V(t)	2,78	2,88	2,52	2,18	2,21
HMID		10,31	9,30	7,15	5,43	4,41

ten. Darin sollte die Frage beantwortet werden, ob die strukturell morphologischen Eigenschaften des Fließgewässers die Erreichung des Leitbilds erschweren. Wenn die Biodiversität aus anderen Gründen vermindert ist, zum Beispiel Nährstoff- und Sedimenteinträge aus der Landwirtschaft, chemische Belastung oder Fragmentierung des Fließgewässers, können Massnahmen zur Verbesserung der Strukturvielfalt nicht ausreichend sein, um den gewünschten Erfolg des Projektes zu erreichen. Die Vernetzung des Fließgewässers ist für die Erreichung einer hohen Biodiversität von zentraler Bedeutung (MB 4, Vernetzung von Fließgewässern). Die longitudinale, laterale und vertikale Vernetzung ist die Voraussetzung dafür, dass mit der Verbesserung der Strukturvielfalt eine höhere Biodiversität einhergeht.

Zudem muss bei der Projektierung die Dynamik des Fließgewässers untersucht oder beurteilt werden (MB 1, Förderung der Dynamik bei Revitalisierungen). Fließgewässer, die über längere Zeit strukturell vielfältig bleiben, zeichnen sich durch ein dynamisches Gleichgewicht aus. Bei bettbildenden Abflüssen entstehen zwar in regelmässigen Abständen neue Habitate, aber es kommt zu keinen irreversiblen Eintiefungen oder Auflandungen. Um die zeitliche Stabilität der im HMID verwendeten statistischen Parameter beurteilen zu können, sind Untersuchungen des Geschiebehaushalts und der Abflussdynamik im ganzen Einzugsgebiet notwendig. Zum Beispiel kann eine mangelnde Geschiebezufuhr aus dem Oberlauf zusammen mit häufig auftretenden Hochwasserspit-

zen dazu führen, dass die Verbesserung oder Wiederherstellung der Strukturvielfalt nur kurzfristig wirkt. Die Ursache dafür ist, dass sich der Hauptarm durch die Aufnahme von Geschiebe eintieft und sich deshalb langfristig wieder ein strukturarmes Fließgewässer bildet. Demzufolge ist bei flussbaulichen Projekten nicht nur eine Verbesserung der Strukturvielfalt wichtig, sondern auch die Erreichung eines ausgeglichenen Geschiebehaushalts. Nur damit lässt sich gewährleisten, dass die Wiederherstellung der Ökosystemleistungen eines Fließgewässers von Dauer sind.

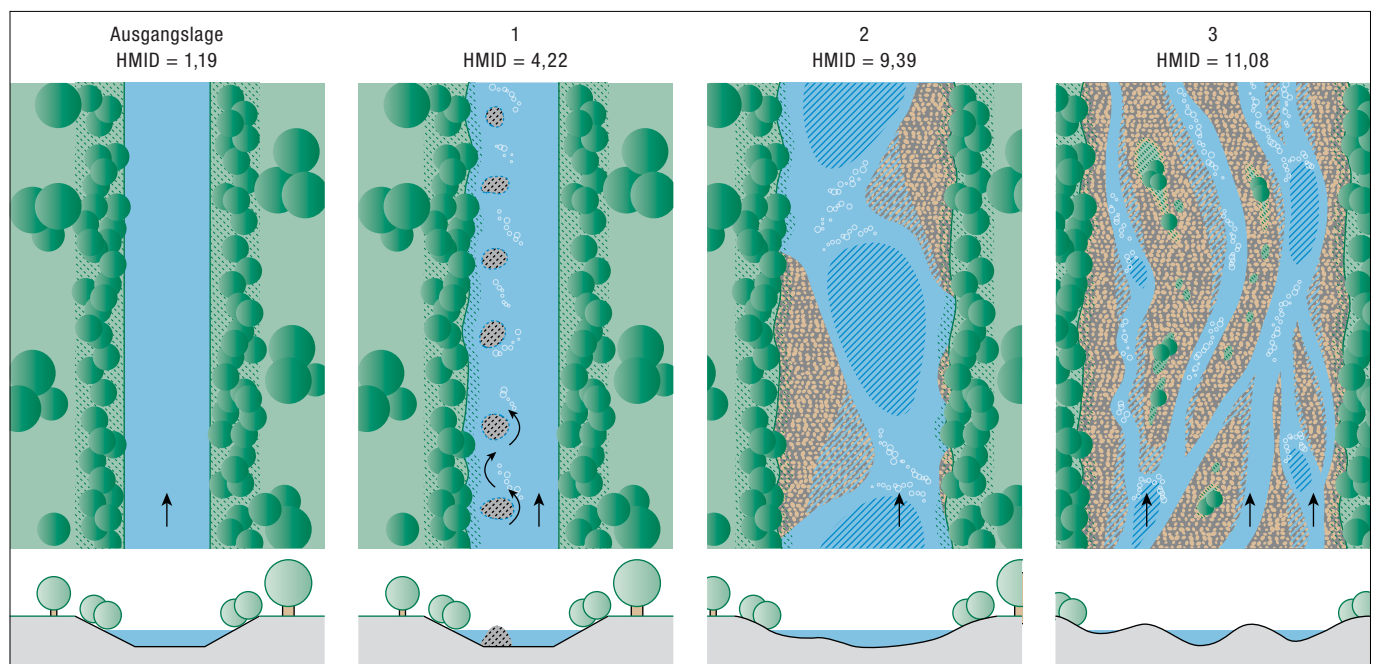


Abb. 3 Skizze möglicher Varianten bei Revitalisierungen mit Angabe des erreichten HMID für jede Variante. Von links nach rechts: Ausgangslage; Variante 1 (Platzierung von Störsteinen); Variante 2 (Initiierung alternierender Kiesbänke); Variante 3 (Entwicklung kompletter Eigendynamik). Illustration nach Walter Gostner

Literatur

BUWAL, 1998: Ökomorphologie Stufe F. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. BUWAL, Bern.

BWG, 2001: Hochwasserschutz an Fliessgewässern. BWG, Bern.

Gostner, W., Schleiss, A., 2011: Der hydromorphologische Index der Diversität – «eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten». Wasser Energie Luft: 4/2011, 327–336.

Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S., 2003: Angewandte Fischökologie an Fliessgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien.

Schleiss, A., 2005: Flussbauliche Hochwasserschutzmassnahmen und Verbesserung der Gewässerökologie – Vorschlag eines hydraulisch-morphologischen Vielfältigkeitsindex. Wasser Energie Luft: 7/8 2005, 195–199.

Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K., Peter, A., 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fliessgewässerrevitalisierungen. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW ETHZ, 112 S.

Impressum

Konzept

In diesem Projekt arbeiteten Wasserbauerinnen und -bauer, Ökologinnen und Ökologen sowie Vertreterinnen und Vertreter von Behörden von Bund und Kantonen gemeinsam an Lösungen für die Behebung der vorhandenen Defizite in und an Fliessgewässern. Im Rahmen des Projekts erforschten sie dynamische, vernetzte Lebensräume und entwickelten innovative Konzepte in der Umsetzung flussbaulicher Massnahmen. Ausführliche Informationen finden sich unter www.rivermanagement.ch

Projekt

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanziell unterstützt und von vier Projektleitern an folgenden Institutionen durchgeführt:

Armin Peter, Eawag, Fischökologie und Evolution, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, www.eawag.ch

Christoph Scheidegger, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Biodiversität und Naturschutzbiologie, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, www.wsl.ch
Anton Schleiss, EPF-Lausanne, Laboratoire de Constructions Hydrauliques LCH-EPFL, Station 18, 1015 Lausanne, www.lch.epfl.ch

Roland Fäh, ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW-ETHZ, Gloriastrasse 37/39, 8092 Zürich, www.vaw.ethz.ch

Koordination

Sonia Angelone, Manuela Di Giulio

Fachliche Begleitung

BAFU: Paul Dändliker, Manuel Epprecht, Werner Göggel, Susanne Haertel-Borer, Daniel Hefti, Jean-Pierre Jordan, Stephan Lussi, Olivier Overney, Markus Thommen
Kantone: Lorenz Jaun (UR), Vinzenz Maurer (BE), Sandro Peduzzi (TI), Markus Zumsteg (AG)

Projekt: Sonia Angelone, Tobias Buser, Manuela Di Giulio, Roland Fäh, Armin Peter, Christopher Robinson, Christoph Scheidegger, Anton Schleiss

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Redaktion

Manuela Di Giulio, Sonia Angelone

Sprachliche Bearbeitung

Jacqueline Dougoud

Zitierung

Gostner, W., Schleiss, A., 2012: Index für hydro-morphologische Diversität. In: Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie.

BAFU, Bern. Merkblatt 3.

Gestaltung und Illustrationen

anamorph.ch: Marcel Schneeberger (AD), Patrik Ferrarelli

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uw-1211-d

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2012



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU