

Zeitschrift:	Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber:	Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band:	103 (2011)
Heft:	4
Artikel:	Der hydromorphologische Index der Diversität : "eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten"
Autor:	Gostner, Walter / Schleiss, Anton
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-941828

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: 10.02.2026

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

Der hydromorphologische Index der Diversität

«eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten»

Walter Gostner, Anton Schleiss

Zusammenfassung

Im modernen Flussbau müssen nicht nur schutzwasserbauliche, sondern auch ökologische Anforderungen berücksichtigt werden. Durch entsprechende Gestaltung ist ein möglichst grosser Strukturreichtum anzustreben, da dieser zweifelsfrei eine der Grundvoraussetzungen für eine hohe Biodiversität in einem Fliessgewässer darstellt.

Im vorliegenden Artikel wird ein neuer hydromorphologischer Index der Diversität (HMID) vorgestellt. Der HMID wurde im Rahmen des Forschungsprojektes «Integrales Flussgebietsmanagement» mittels umfangreicher Felderhebungen, numerischer Modellierungen und statistischer Analysen an drei Fliessgewässern in der Schweiz entwickelt.

Er enthält in seiner Formulierung die hydraulischen Variablen Fliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe, welche aufgrund der vorhandenen Wechselwirkungen mit anderen hydraulischen und geomorphischen Grössen die Strukturvielfalt eines Fliessgewässers zu charakterisieren vermögen.

Mit dem HMID steht dem Wasserbauer ein Werkzeug zur Verfügung, das es ihm erlaubt, bei Hochwasserschutzprojekten auch den Strukturreichtum zu optimieren und damit möglichst günstige hydromorphologische Voraussetzungen für die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines Fliessgewässers zu schaffen.

Résumé

Dans l'ingénierie fluviale moderne, il est non seulement nécessaire de considérer les exigences de protection contre les crues, mais également les demandes écologiques. Avec une configuration du lit optimisée, une richesse structurelle peut être retrouvée. Elle représente sans aucun doute une des conditions de base pour une biodiversité élevée dans un cours d'eau.

Dans le présent article, un nouvel indice hydro-morphologique de diversité (HMID) est présenté. Le HMID a été développé dans le cadre du projet «Gestion intégrale des réseaux fluviaux» à l'aide d'investigations in situ, de modélisations numériques et d'analyses statistiques sur trois cours d'eau situés en Suisse. Dans sa formulation, il contient les variables hydrauliques, tel que les vitesses d'écoulement et les profondeurs d'eau, qui, suite aux correlations avec d'autres grandeurs hydrauliques et géomorphiques, sont capables de caractériser la richesse structurelle d'un cours d'eau.

En utilisant le HMID, l'ingénieur hydraulicien dispose d'un outil qui lui permet d'optimiser la richesse structurelle d'un cours d'eau, dans le cadre des projets de protection contre les crues. Par conséquent, il peut générer des conditions hydro-morphologiques optimales pour la restauration de ses fonctions naturelles.

1. Einführung

Fliessgewässer erfüllen wichtige ökologische, wirtschaftliche und soziale Funktionen. Eingriffe an den Fliessgewässern auf verschiedenen Ebenen waren und sind die Voraussetzung für die Entwicklung unserer Zivilgesellschaften. Durch die mannigfaltigen Nutzungs- und Verbauungsformen zählen Fliessgewässer heutzutage jedoch zu den am vielfältigsten und schwersten beeinträchtigten Ökosystemen (Jungwirth et al., 2003). Zudem hat der klassische Hochwasserschutz oft seine gewünschte Wirkung nicht erreicht. Extreme Hochwässer haben gezeigt, dass ein absoluter Schutz nicht möglich ist und die traditionellen Herangehensweisen zu überdenken sind.

Aus diesen Beweggründen heraus hat sich ein Wandel weg von einer sektorellen Betrachtungsweise hin zu ganzheit-

lichen und integralen Ansätzen vollzogen. In den einschlägigen Gesetzen hat dieser Paradigmenwechsel Eingang gefunden. Demnach müssen die Kantone nicht nur die Gefahrengebiete bezeichnen, sondern auch den Raumbedarf der Gewässer festlegen, der für den Schutz vor Hochwasser und für die Erfüllung der ökologischen Funktionen der Gewässer notwendig ist. Bei Hochwasserschutzprojekten sind also auch die ökologischen Defizite zu ermitteln und zu beheben. Weiters sind die Kantone verpflichtet, die Revitalisierung ihrer Gewässer vorzunehmen, wobei darunter die Wiederherstellung der natürlichen Funktionen der oberirdischen Fliessgewässer zu verstehen ist.

Der Wasserbauingenieur benötigt demzufolge nicht mehr nur Instrumente zur fachgerechten Auslegung der Hochwasserschutzmassnahmen, vielmehr

muss er imstande sein, die Projekte so zu gestalten, dass auch die Voraussetzungen für das ökologische Potenzial der Fliessgewässer verbessert werden.

Der in diesem Artikel vorgestellte «hydromorphologische Index der Diversität» (HMID) ist aus diesen Anforderungen heraus im Rahmen des Forschungsprojektes «Integrales Flussgebietsmanagement» entstanden. Er soll als Werkzeug dienen, bei Hochwasserschutzprojekten die hydromorphologischen Eigenschaften des betroffenen Fliessgewässerabschnitts so zu gestalten, dass möglichst gute Voraussetzungen für dessen natürliche Funktionen geschaffen werden. Durch die Ermittlung des HMID für verschiedene Projektvarianten und die Überprüfung weiterer hydromorphologischer Kriterien können die aus gesamtheitlicher Sicht zu priorisierenden Varianten festgelegt werden.

2. Der hydromorphologische Index der Diversität

2.1 Strukturvielfalt als Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der Gewässerökosysteme

Für die Funktionsfähigkeit der Fließgewässerlebensräume ist eine Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Faktoren abiotischer und biotischer Natur mitbestimmend.

Bei den abiotischen Faktoren spielen die hydromorphologischen Eigenschaften eine tragende Rolle. Stellt man Fließgewässer mit natürlicher und künstlicher Morphologie einander gegenüber, ist in natürlichen Abschnitten (Beispiel in Bild 1, links) in der Regel eine grosse Variabilität der Strömung, d.h. der hydraulischen Variablen, zu erkennen. Zonen mit hoher Fließgeschwindigkeit wechseln sich ab mit Bereichen mittlerer Fliesstiefe und -geschwindigkeit und mit Stellen hoher Tiefe und geringer Fließgeschwindigkeit. Weiter gibt es Flachwasserbereiche mit geringer Strömung, Kiesbänke unterschiedlicher Höhe mit dementsprechend verschiedenen Vegetationscharakteristiken und Sukzessionsstadien, Vorkommen von Totholz und ein buntes Muster an verschiedenen Substratgrössen. Auch ist zwischen dem Fließgewässer und dem Umland oft ein breiter Ufergürtel vorhanden. Man stellt also eine hohe Vielfalt an aquatischen und terrestrischen Lebensräumen fest. In kanalisierten Abschnitten hingegen (Beispiel in Bild 1, rechts) ist eine starke Monotonie mit konstant bleibenden Strömungsmustern sowohl in Längs- als auch in Querrichtung und einem eingeschränkten Angebot an Lebensräumen zu beobachten.

Die hydromorphologische Vielfalt, häufig auch als Strukturvielfalt bezeichnet, ist einerseits bedingt durch die morphologischen Eigenschaften, also durch die räumliche Variabilität, und andererseits durch das hydrologische bzw. abflussdynamische Geschehen, also durch die zeitliche Komponente. Aus dem Zusammenspiel von Morphologie mit dem Abfluss entstehen jene hydraulischen Variablen (Fliesstiefe, Fließgeschwindigkeit, Substrateigenschaften, u.a.), welche das Habitatangebot für aquatische Lebensgemeinschaften bestimmen, aber auch die Randbedingungen für die flussbegleitende Flora und Fauna.

Die Veränderung und vor allem Homogenisierung der physikalischen Habitate mit der damit einhergehenden Verarmung der Strukturvielfalt in den Fließgewässern ist die bedeutsamste Bedrohung für die Biodiversität und führt zu einer Reduzierung von Artenreichtum und Biomasse (Allan & Castillo, 2007). In der Schweiz sind rund 15 000 km der Fließgewässer stark verbaut (BAFU 2010), dort sind verschiedene Fischarten nicht mehr vorhanden bzw. hat sich in den letzten Jahren die Fischbiomasse auf bis zu einem Zehntel dezimiert (Peter A. in Häusler, 2011). Im Umkehrschluss gilt der Grundsatz, dass die Vielfalt der Habitate in verschiedenen räumlichen Massstabsebenen eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für die Entwicklung und Erhaltung artenreicher Lebensgemeinschaften ist (Jungwirth et al., 2003).

2.2 Grundlegende Hypothesen

Aus diesen grundsätzlichen Betrachtungen leiten sich die zur Herleitung des hydromorphologischen Indexes der Diversität (HMID) folgendermassen postulierten

Hypothesen ab (Gostner et al., 2011a, Gostner et al., 2011b):

- Die Strukturvielfalt eines Fließgewässerabschnittes lässt sich mit Hilfe der hydraulischen Größen Fließgeschwindigkeit und Fliesstiefe sowie ihrer statistischen Parameter charakterisieren.
- Die statistischen Parameter dieser hydraulischen Größen können anhand einer mathematischen Definition in einer Masszahl, dem HMID, kombiniert werden. Dieser charakterisiert somit die Strukturvielfalt der aquatischen Lebensräume eines Fließgewässerabschnittes direkt und der flussbegleitenden Lebensräume indirekt.
- Die räumliche Variabilität der aquatischen Habitate ist in einem natürlichen oder naturnahen Fließgewässer höher als in einem künstlichen, während die zeitliche Variabilität in einem künstlichen Fließgewässer höher ist und dort somit eine geringere zeitliche Persistenz der Habitate gegeben ist.

2.3 Anwendungsbereich

Bisher war man in Ermangelung besserer Hilfsmittel bei Hochwasserschutzprojekten auf qualitative und gutachterliche Expertenbeurteilungen angewiesen, wenn es darum ging, auch die Strukturvielfalt zu verbessern. Der HMID (siehe Infobox) trägt den Anforderungen nach einer quantitativen und objektiven Beurteilung Rechnung. Er besitzt nämlich die Fähigkeit zur Vorhersage. Anhand von numerischen Abflussmodellierungen und darauffolgender statistischer Analyse der massgebenden hydraulischen Variablen kann der HMID für einzelne zur Diskussion stehende Varianten auf einfache Weise berechnet werden. Aus dem Vergleich des für die einzelnen

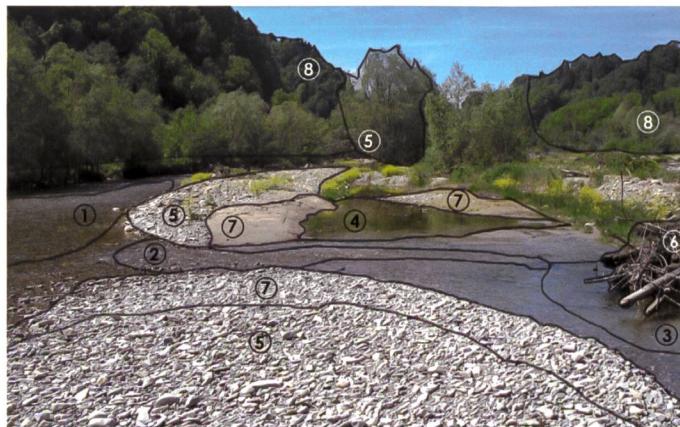


Bild 1. Links: unverbauter, natürlicher Abschnitt an der Sense (Kt. Freiburg) mit Bereichen mittlerer Fließgeschwindigkeit und -tiefe (Rinne) (1), Zonen hoher Fließgeschwindigkeit (Furt) (2), hoher Fliesstiefe (Kolk) (3), Flachwasserbereichen (4), Kiesbänken unterschiedlicher Höhe (5), Totholz (6), wechselnden Substrateigenschaften (7) und einem breiten Ufergürtel (8).
Rechts: verbauter, kanalartiger Abschnitt an der Bünz (Kt. Aargau) mit stark reduziertem Habitatangebot (aquatisch: Rinne, terrestrisch: Böschung konstanter Neigung mit Grasbewuchs und Sträuchern).

Varianten berechneten Wertes für den HMID kann man jene Variante definieren, die das Fließgewässer mit der besten Strukturvielfalt auszustatten imstande ist und deshalb die aus ökologischer Sicht zu priorisierende Variante darstellt. Auch kann eine Abschätzung darüber getroffen werden, inwieweit eine gewählte Variante sich in bezug auf die Strukturvielfalt an den Referenzzustand annähern kann.

In zeitlicher Abfolge betrachtet reiht sich der HMID zwischen den Methoden, welche eine Bewertung des Ist-Zustandes

eines Fließgewässers erlauben (z.B. BUWAL, 1998) und den Anlass zur Lancierung eines Projektes geben können, und den Methoden für die Erfolgskontrolle (z.B. Woolsey, 2005), welche nach Umsetzung des Projekts zur Anwendung kommen, ein. Er füllt damit jene Lücke, die zwischen der Bewertung von Fließgewässern vor und nach Durchführung eines Projektes liegt und schafft eine Möglichkeit, eine a-priori Bewertung vorzunehmen und die Projekte in strukturell-morphologischer Hinsicht zu optimieren.

Der HMID ist an kiesführenden Alpenflüssen, die in ihrem Referenzzustand entweder einen pendelnden bis hin zu einem gewundenen oder verzweigten Verlauf aufwiesen, entwickelt worden. Dieser morphologische Flusstyp war in den Alpen häufig anzutreffen, weshalb sich für die Anwendung des HMID ein breites Betätigungsfeld ergibt.

3. Herleitung und Entwicklung des HMID

3.1 Durchgeführte Arbeiten

3.1.1 Feldarbeiten

An drei Fließgewässern in der Schweiz wurden umfangreiche Felderhebungen durchgeführt (siehe Bild 2). Bei der Auswahl der Fließgewässer wurde darauf geachtet, dass Abschnitte mit unterschiedlicher morphologischer Ausprägung vorhanden sind, um die Strukturvielfalt am Fließgewässer in Funktion der morphologischen Eigenschaften erfassen zu können.

Die Bünz liegt im Kanton Aargau, hat ein Einzugsgebiet von 111 km² und mündet bei Wildegg in den Aare. Die Venoge hingegen weist eine Einzugsgebietsgröße von 238 km² auf und mündet in den Genfer See. Die Sense wiederum entwässert ein Einzugsgebiet mit einer Fläche von 432 km², sie mündet bei Laupen (Kan-

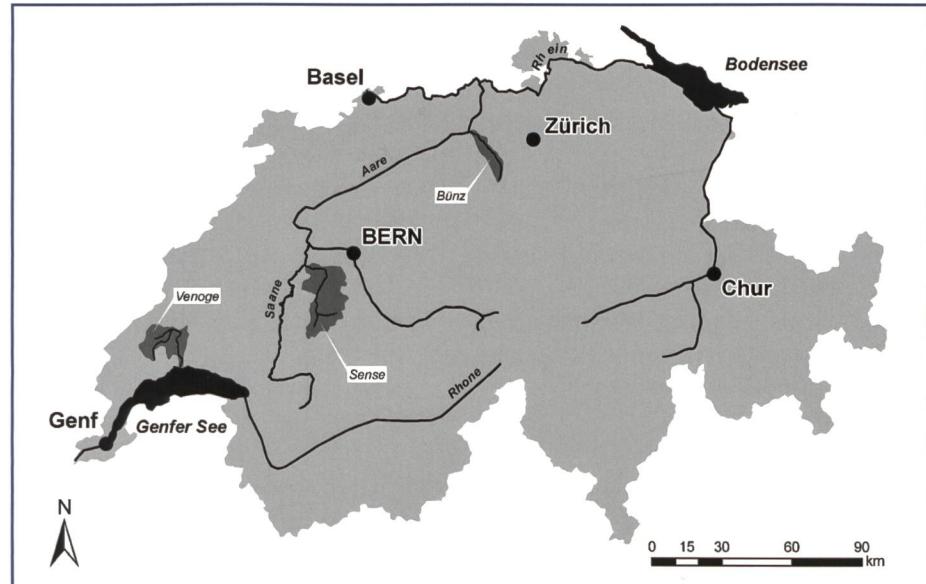


Bild 2. Übersicht der untersuchten Fließgewässer.



Bild 3. Aufnahmen der Untersuchungsabschnitte. Bünz (oben): (1) durch Jahrhunderthochwasser 1999 geformtes pendelndes System («Bünzaue»), (2) naturlässig pendelnd, (3) kanalisiert, (4) revitalisiert.

Venoge (Mitte): (1) naturlässig geradlinig, (2) kanalisiert, (3) kanalisiert, (4) naturlässig mäandrierend.

Sense (unten): (1) naturlässig verzweigt, (2) naturlässig in einer Schlucht pendelnd, (3) naturlässig verzweigt, geringfügig verbaut, (4) rechtsufrig verbaut, linksufrig naturlässig, (5) kanalisiert.

ton Bern) in die Saane. Die untersuchten Fließgewässer weisen pluviales bzw. nivo-pluviales Abflussregime auf, wobei sich das hydrologische Regime weitgehend in seinem natürlichen Zustand befindet. Es gibt nämlich keine bedeutenden Wasserableitungen, auch sind keine grösseren Staustufen vorhanden. Die Sense kann auf einem Grossteil ihres Verlaufes als Referenzgewässer bezeichnet werden: sie weist eine nahezu naturbelassene Morphologie auf und ist vom längsten zusammenhängenden Auenwald der Schweiz flankiert.

An jedem Fließgewässer wurden mehrere Untersuchungsabschnitte festgelegt (siehe Bild 3). Entlang von Querprofilen erfolgte in einem Abstand von durchschnittlich 100–150 cm zwischen den einzelnen Messpunkten die Aufnahme der topographischen Lage, der Sohlhöhe, der Wassertiefe und der mittleren Fließgeschwindigkeit (Übersicht über die wichtigsten Kenndaten der Untersuchungsabschnitte und der Messungen in Tabelle 1). An der Sense wurden zudem die Substrateigenschaften, die Höhe des bordvollen Abflusses, die Dichte der Ufervegetation und die Totholzvolumina erhoben, eine detaillierte Geländevertmessung mit Erfassung des Talweges, der Kiesbänke, der Uferanschlagslinien und aller anderen markanten Bruchkanten im Gelände gemacht sowie eine Temperaturmesskampagne durchgeführt.

3.1.2 Numerische Modellierung

Die Felderhebungen stellen lediglich einen Schnappschuss der im Jahresverlauf auftretenden Situationen dar. Da auch die zeitliche Variabilität der untersuchten Variablen für die Entwicklung des HMID von Interesse war, wurde für die Untersuchungsabschnitte an der Sense mit der Software Basement eine numerische 2d-Modellierung durchgeführt. Diese bietet auch den Vorteil, dass im Gegensatz zur Aufnahme entlang von Querprofilen in jedem Element des Gitternetzes die hydraulischen Variablen ermittelt werden, damit eine flächige Abbildung gegeben und somit eine bessere Repräsentation der tatsächlichen Situation gewährleistet ist.

Folgenden Daten dienten als Input für die Modellierung:

- Abflusswerte, abgelesen von Dauerkurven, die für jeden Untersuchungsabschnitt mithilfe von regionalisierten Modellen (Pfaundler & Zappa, 2006) und mittels Interpolation anhand der Abflusstatistik an drei im Einzugsgebiet vorhandenen Pegeln ermittelt wurden;
- aus der Vermessung gewonnene x-, y-, z-Koordinaten der Geländepunkte;
- Rauhigkeitsbeiwerte, welche anhand der mittels der Pebble-Count Methode (Wolman, 1954) ermittelten charakteristischen Korndurchmesser der Deckschicht berechnet und anhand der Feldmessungen und der Abfluss-

tiefe bei bordvollem Abfluss geeicht wurden.

3.2 Resultate

3.2.1 Räumliche Variabilität

Die Boxplots in Bild 4 zeigen an den jeweiligen Untersuchungsabschnitten die aus den Felderhebungen gewonnenen hydraulischen Größen Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe, Tabelle 2 (oben) listet jeweils die Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen auf. In kanalisierten Abschnitten (S3 an der Bünz, S2 und S3 an der Venoge, S5 an der Sense) ist die Streuung und somit auch Diversität der Variablen gering. In diesen Abschnitten ist auch eine hohe durchschnittliche Fließgeschwindigkeit zu beobachten, Ruhewasserzonen sind kaum vorhanden. An den natürlichen Abschnitten (S1 und S2 an der Bünz, S1 und S4 an der Venoge, S1 bis S3 an der Sense) hingegen lässt sich eine ausgeprägtere Variabilität der Größen feststellen.

Die statistische Auswertung bestätigt somit die visuelle Wahrnehmung (Bild 1). Mit dem Grad der Naturbelassenheit eines Fließgewässers nimmt auch die Variabilität der hydraulischen Größen zu. Je natürlicher also ein Gewässer ist, desto grösser ist die Vielfältigkeit der aquatischen Lebensräume.

3.2.2 Formulierung des HMID

Die Standardabweichung σ ist eine statistische Kenngröße zur Beschreibung der Diversität einer Größe (Palmer et al., 1997). Deren Aussagekraft hängt allerdings eng mit der Größe des Mittelwertes μ zusammen. Eine gleich bleibende Standardabweichung hat nämlich bei einem grösseren Mittelwert eine geringeres Gewicht. Um die Standardabweichung als Vergleichsmass heranzuziehen, ist es somit zielführend den Variationskoeffizienten c_v zu verwenden, welcher den Quotienten aus Standardabweichung und Mittelwert darstellt und damit ein relatives Streuungsmass ausdrückt (Schneider, 1994). Daraus lässt sich ein Indikator für die Strukturvielfalt an einem Fließgewässer errechnen (Schleiss, 2005). Die Teilvielfältigkeit für eine einzelne Größe wird folgendermassen ausgedrückt:

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

Der HMID für einen Abschnitt wird aus dem Produkt der Teilvielfältigkeitsindizes für Fließgeschwindigkeit v und –tiefe t berechnet:

Bünz					
Abschnitt	(S1) verzweigt	(S2) pendelnd	(S3) kanalisiert	(S4) revitalisiert	
Längsneigung (%)	1,5	0,75	0,3	0,15	
Länge Abschnitt [m]	150	115	55	140	
Anzahl Querprofile	15	12	7	10	
Mittlerer Abstand Querprofile [m]	10,7	10,4	9,2	15,6	
Anzahl Messpunkte	436	209	66	177	
Abfluss am Messtag [m^3/s]	0,98	0,84	0,84	0,68	
Abflussspende am Messtag [$l/s,km$]	7,5	7,5	7,5	7,5	

Venoge					
Abschnitt	(S1) gestreckt	(S2) kanalisiert	(S3)	(S4)	
		kanalisiert	kanalisiert	mäandrierend	
Längsneigung (-)	NA	NA	NA	NA	
Länge Abschnitt [m]	60	40	80	120	
Anzahl Querprofile	12	8	8	12	
Mittlerer Abstand Querprofile [m]	5,0	5,0	10,0	10,0	
Anzahl Messpunkte	112	152	113	167	
Abfluss am Messtag [m^3/s]	0,69	2,41	2,69	3,99	
Abflussspende am Messtag [$l/s,km$]	19,0	19,0	19,0	19,0	

Sense					
Abschnitt	(S1) verzweigt	(S2) pendelnd	(S3) verzweigt	(S4) teilverbaut	(S5) kanalisiert
Längsneigung (-)	1,8	1,3	1,2	0,5	0,7
Länge Abschnitt [m]	1850	770	620	685	940
Anzahl Querprofile	19	17	19	14	14
Mittlerer Abstand Querprofile [m]	100	48	25	53	72
Anzahl Messpunkte	310	202	249	135	216
Abfluss am Messtag [m^3/s]	2,30	2,93	3,19	5,65	5,81
Abflussspende am Messtag [$l/s,km$]	19,5	19,5	18,2	17,6	16,3

Tabelle 1. Überblick über die Untersuchungsabschnitte mit den wichtigsten Kenndaten.

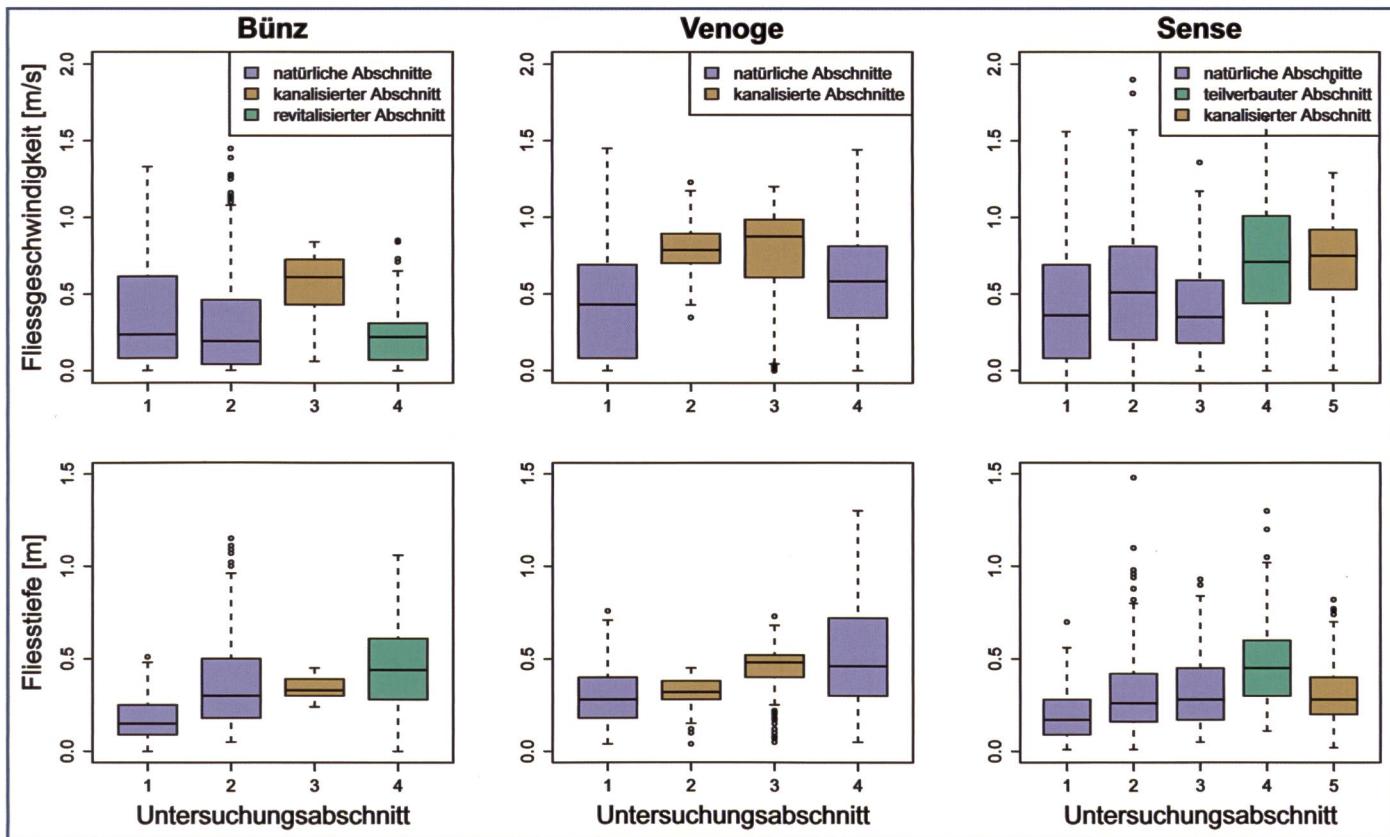


Bild 4. Boxplots der hydraulischen Größen Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe. Die Boxplots geben jeweils den Medianwert (horizontale schwarze Linie) an, die untere und obere horizontale Begrenzung der Box zeigt das 25 bzw. 75% Perzentil der Daten (d.h. 50% der Daten liegen innerhalb dieses Bereiches), die vertikalen strichlierten Linien decken jenen Bereich ab, der ca.zwei Standardabweichungen entspricht. Ausserhalb dieses Bereiches liegende Messdaten sind Ausreisser und werden als Einzelpunkte dargestellt.

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

Bei jedem der untersuchten Fließgewässer weisen die kanalisierten Abschnitte (S3 bei der Bünz, S2 und S3 bei der Venoge, S5 bei der Sense) den niedrigen HMID auf (Tabelle 2, unten). Es folgen Abschnitte, die bis zu einem gewissen Grad revitalisiert (S4 bei der Bünz) bzw. teilverbaut (S4 bei der Sense) sind. Den höchsten HMID weisen naturbelassene Abschnitte (S1 und S2 bei der Bünz, S1 und S4 bei der Venoge, S1 bis S3 bei der Sense) auf. Diese Feststellungen lassen den Schluss zu, dass der HMID die Strukturvielfalt eines Fließgewässers in geeigneter Art und Weise zu charakterisieren vermag.

3.2.3 Vergleich mit einer visuellen Bewertungsmethode

Um die Aussagekraft des vorgeschlagenen Indexes weiter validieren zu können, ist den errechneten Werten für den HMID eine multimetrische Methode gemäß den Bewertungsprotokollen der

	Abschnitt	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bünz	v [m/s]	0,37±0,34	0,32±0,35	0,56±0,21	0,22±0,18	
	t [m]	0,18±0,11	0,38±0,26	0,34±0,06	0,46±0,22	
Venoge	v [m/s]	0,45±0,38	0,79±0,16	0,77±0,31	0,57±0,33	
	t [m]	0,30±0,16	0,32±0,08	0,44±0,14	0,49±0,26	
Sense	v [m/s]	0,44±0,41	0,56±0,45	0,39±0,27	0,72±0,42	0,71±0,29
	t [m]	0,20±0,13	0,32±0,22	0,31±0,18	0,46±0,22	0,31±0,15
	Abschnitt	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bünz	V _v	3,74	4,43	1,88	3,16	
	V _t	2,66	2,85	1,35	2,22	
	HMID	9,92	12,61	2,55	7,01	
Venoge	V _v	3,37	1,46	1,98	2,52	
	V _t	2,41	1,55	1,76	2,35	
	HMID	8,12	2,26	3,50	5,93	
Sense	V _v	3,71	3,23	2,84	2,50	1,99
	V _t	2,79	2,88	2,51	2,17	2,21
	HMID	10,32	9,29	7,13	5,42	4,41

Tabelle 2. Mittelwerte und Standardabweichung (±) der hydraulischen Variablen Fließgeschwindigkeit v und Fließtiefe t (oben). Berechnung der Vielfältigkeitsindizes und des HMID (unten).

USEPA (Barbour et al., 1999) gegenübergestellt worden. Bei diesem Verfahren zur Habitatbewertung wird für zehn Kriterien eine visuelle Bewertung abgegeben und auf einer Skala von 1–20 ein

Wert zugewiesen. Durch Summieren der einzelnen Werte ergibt sich eine Gesamtpunkteanzahl für jeden bewerteten Abschnitt, wobei maximal 200 Punkte erreicht werden können. Die berücksich-

tigten Kriterien betreffen dabei den allgemeinen morphologischen Zustand des Abschnittes sowie die Situation an der Fließgewässersohle und an den Ufern. Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass sich eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Methoden ergibt, obwohl die Ansätze völlig unterschiedlich sind.

3.2.4 Statistische Auswertung der erhobenen Variablen

Ein Fließgewässer und seine Komponenten sind niemals sektoriel zu betrachten. Die abiotischen und biotischen Faktoren beeinflussen sich nämlich auf mannigfaltige Weise, was zu verschiedenen Formen von Wechselwirkungen führt. Ob der Kom-

plexität der in einem Fließgewässer sich abspielenden Interaktionen könnte man versucht sein, angesichts der Einfachheit seiner Formulierung die Repräsentativität des HMID in Frage zu stellen.

Aus diesem Grund wurden die im Feld erhobenen Variablen unter Anwendung der Software R (R Development Core Team, 2009) umfangreichen statistischen Auswertungen unterzogen, um Korrelationen zu erkennen und die Verwendung von lediglich zwei Variablen zur Charakterisierung der Strukturvielfalt rechtfertigen zu können.

Folgende Fragen standen dabei im Vordergrund:

- Wie hängen die hydraulischen mit

den geomorphischen Größen (geomorphe Variabilität in Längs- und Querrichtung, Regimebreite, Breite bei bordvollem Abfluss, Substratigenschaften, usw.) und vor allem deren Variabilität zusammen?

- Welche Korrelationen bzw. Interdependenzen bestehen innerhalb der hydraulischen Größen?

Als Beispiel für diese Analysen sei der Zusammenhang zwischen den Substratigenschaften und der Fließgeschwindigkeit dargestellt. Die Korngrößenverteilung der Deckschicht hängt statistisch signifikant mit dem Verbauungsgrad eines Abschnittes zusammen (Bild 6, links), während unter Heranziehen der Variationskoeffizienten eine eindeutige Korrelation zwischen der Fließgeschwindigkeits- und der Substratvariabilität (Bild 6, rechts) zu erkennen ist. Die Vielfalt in der Fließgeschwindigkeit repräsentiert somit auch die Vielfalt der für die aquatischen Lebewesen und deren Lebenszyklen wichtigen Sohlsubstrate. Bild 7 fasst die Ergebnisse der durchgeführten Analysen zusammen. Die hydraulischen Größen Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe sind imstande, die Strukturvielfalt eines Abschnittes ausreichend zu charakterisieren, da sie aufgrund der inneren Zusammenhänge wichtige geomorphe Größen und andere komplexe hydraulische Variablen, die auch oft für die Charakterisierung aquatischer Habitate Anwendung finden, repräsentieren.

3.2.5 Zeitliche Variabilität

Mittels numerischer 2d-Modellierung wurde die zeitliche Variabilität der hydraulischen Größen untersucht. Wenn man ein Querprofil eines natürlichen Abschnittes einem Querprofil eines verbauten Abschnittes gegenüberstellt, lässt sich feststellen, dass bei gleicher Zunahme des Abflusses Fließgeschwindigkeit und -tiefe in einem verbauten Abschnitt aufgrund der behinderten Seitenausdehnung ungleich schneller ansteigen als in einem natürlichen Abschnitt (Bild 8). Dies hat zur Folge, dass in natürlichen Abschnitten an jeder einzelnen Stelle im Fließgewässer eine grössere zeitliche Konstanz der hydraulischen Variablen vorhanden ist.

In einem Fließgewässer mit natürlicher Morphologie finden die aquatischen Lebewesen also zwar eine grosse räumliche Vielfalt der Habitate vor, diese bleiben aber über einen längeren Zeitraum hinweg erhalten. Erst bei grösseren, bettbildenden Hochwasserabflüssen verlieren die Habitate ihre Stabilität. Es ist aber zu be-

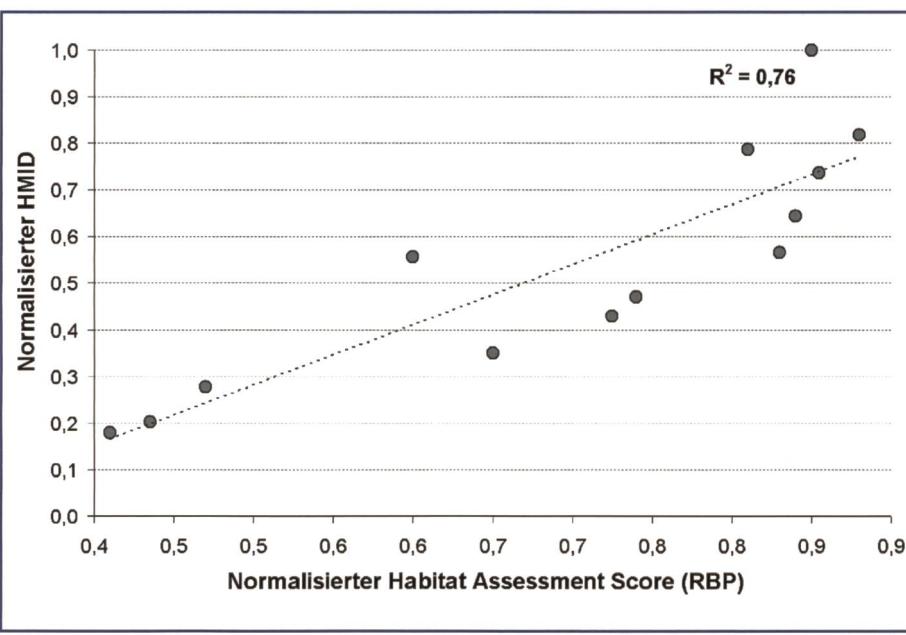


Bild 5. Gegenüberstellung des HMID mit einem multimetrischen, visuell bestimmten Habitatsindex.

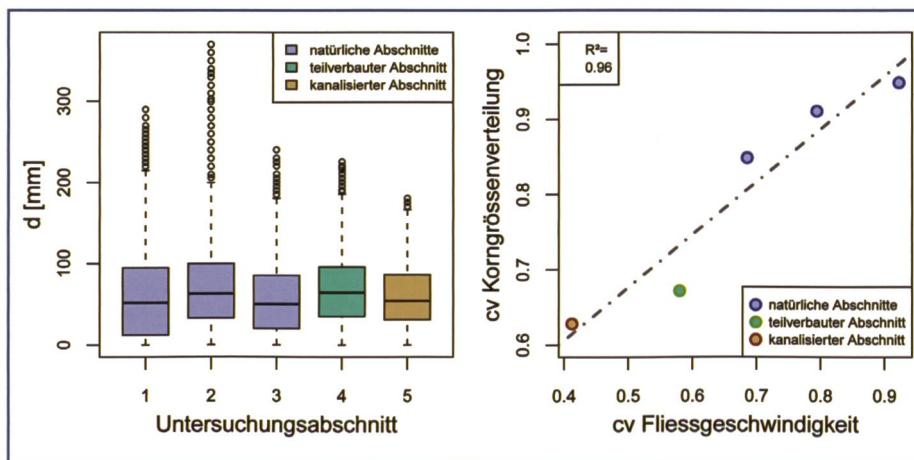


Bild 6. Links: Boxplots der Korngrößenverteilung des Sohlsubstrates in den fünf Untersuchungsabschnitten an der Sense. Ein Kruskal-Wallis Test (McDonald, 2009), die nicht parametrische Version einer ANOVA, zeigte signifikante Effekte ($p < 2,2 \cdot 10^{-16}$), die durch einen post hoc paarweise durchgeführten Mann Whitney Test bestätigt wurden (p durchwegs $< 0,0272$), mit Ausnahme zwischen Abschnitt 1 und 3 ($p = 0,96$). Rechts: Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten der Korngrößenverteilung und der mittleren Fließgeschwindigkeit in den fünf Untersuchungsabschnitten der Sense.

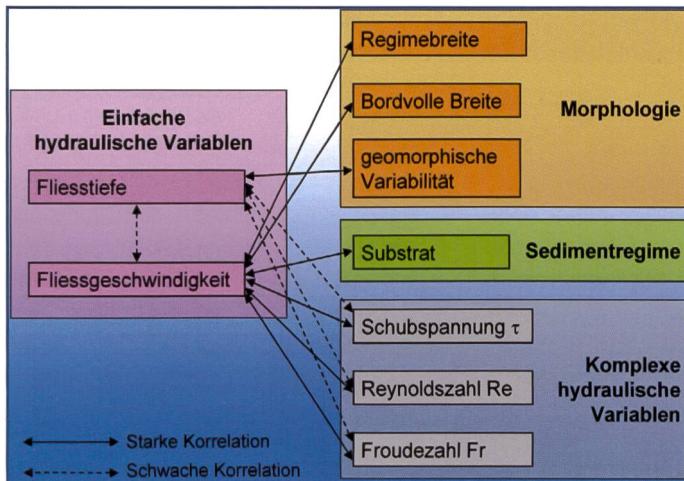


Bild 7. Interdependenzen zwischen morphologischen und hydraulischen Größen.

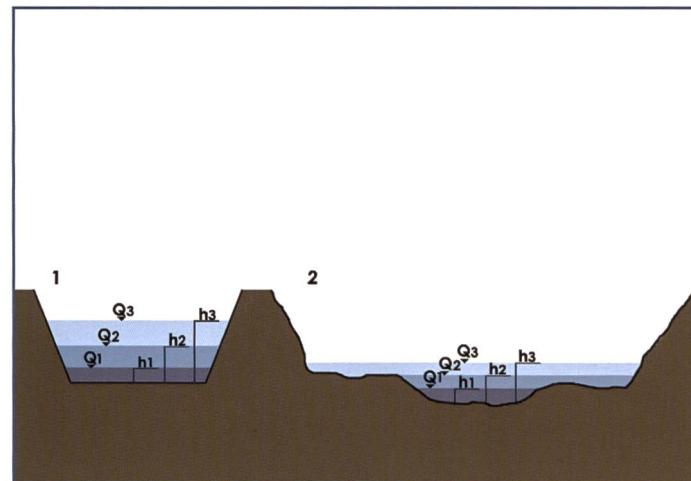


Bild 8. Änderung der Fließtiefen bei gleicher Zunahme des Abflusses in einem verbauten (links) und in einem natürlichen (rechts) Abschnitt.

obachten, dass in Fließgewässern natürlicher Morphologie der prozentuelle Anteil eines Habitats am Gesamthabitatangebot immer ähnlich bleibt, bei bettbildenden Prozessen finden lediglich räumliche Umlagerungen mit Neubildung der Habitate statt (s. auch Arscott et al., 2002).

In einem künstlichen Fließgewässer hingegen sind die aquatischen Lebewesen einem größeren Stress ausgesetzt. Sich ändernde Abflüsse bedeuten immer auch eine Änderung der hydraulischen Randbedingungen und somit der Habitate. Deshalb haben sich Lebewesen in einem künstlichen Fließgewässer nicht nur mit einem verarmten Lebensraum auseinanderzusetzen, sondern auch mit sich ständig wandelnden Lebensbedingungen.

In Bild 9 sind die Zeitreihen für den HMID am Beispiel der Sense dargestellt. Es lassen sich mehrere Beobachtungen anstellen:

- In natürlichen Abschnitten (Abschnitt 1 bis Abschnitt 3) bleibt der HMID für den gesamten Jahresverlauf annähernd konstant. Erst bei einem Abfluss mit einer Überschreitungsdauer von ein bis zwei Tagen, also bei einem Abfluss, der mindestens einem Jahreshochwasser entspricht und an dem größere bettbildende Prozesse stattfinden, fällt der HMID stark ab.
- Bereits eine leichte Verbauung (in Abschnitt 3 ist das rechte Ufer teilweise durch Zyklopensteine gesichert) oder eine durch die Natur vorgegebene Beschränkung der Seitenausdehnung (Abschnitt 2 verläuft in einer Schlucht) führt dazu, dass die Strukturvielfalt geringer ist als in Fließgewässern im Referenzzustand (Abschnitt 1).
- In teilverbauten oder gänzlich kanalisierten Fließgewässerabschnitten

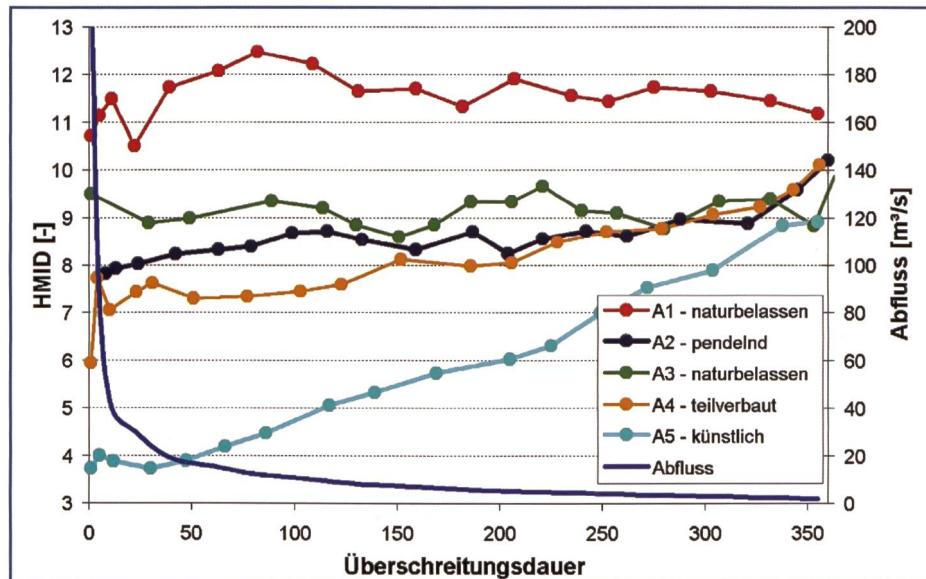


Bild 9. Zeitreihen für den HMID für verschiedene Verbauungsgrade am Beispiel der Sense.

	Abschnitt	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Fließgeschwindigkeit	μ	0,50	0,86	0,55	0,82	0,98
	σ	0,20	0,28	0,18	0,35	0,50
	c_v	0,40	0,33	0,32	0,43	0,51
Fließtiefe	μ	0,16	0,31	0,19	0,42	0,35
	σ	0,05	0,13	0,08	0,19	0,24
	c_v	0,33	0,41	0,41	0,45	0,68
HMID	μ	11,55	8,45	9,16	7,97	5,80
	σ	0,48	0,45	0,34	0,89	1,79
	c_v	0,04	0,05	0,04	0,11	0,31

Tabelle 3. Zeitreihenvariabilität der Fließgeschwindigkeit und -tiefe sowie des HMID für verschiedene Verbauungsgrade am Beispiel der Sense.

ten nimmt der HMID kontinuierlich mit steigendem Abfluss ab. Diese Tendenz verstärkt sich mit dem Verbauungsgrad des Abschnittes: man kann beobachten, dass beim teilverbauten Abschnitt 4 die Neigung der HMID-Linie

geringer ist als beim kanalisierten Abschnitt 5.

- Bei kleineren Abflüssen (in der Grafik im rechten Bereich) nähern sich die Werte für den HMID einander an, während bei Mittelwasserabflüssen

der HMID jene Werte annimmt, welche die Strukturvielfalt des Fließgewässerabschnittes am besten zu charakterisieren vermögen.

Zieht man nun wiederum den Variationskoeffizienten heran, um auch die Variabilität der Zeitreihen zu analysieren, werden diese Feststellungen bestätigt (Tabelle 3). Je natürlicher der Abschnitt, desto geringer ist die zeitliche Variabilität sowohl für die separat gesehenen hydraulischen Größen als auch für den HMID.

4. Anwendung des HMID

4.1 Vorgehensweise

Der HMID soll vor allem dazu dienen, dem Wasserbauer ein Instrument für die Optimierung von Hochwasserschutzprojekten in strukturell-morphologischer Hinsicht in die Hand zu geben.

Da bei einem Hochwasserschutzprojekt die Durchführung von 2d-Modellierungen zur Untersuchung des Hochwasserabflusses für verschiedene Varianten heutzutage Standard ist, bedeutet die Berechnung des HMID keinen wesentlichen Mehraufwand.

Für einzelne zur Diskussion stehende Projektvarianten wird der HMID nun folgendermassen ermittelt:

- Durchführung einer numerischen 2D-Modellierung für den Mittelwasserabfluss. Als Eingabedaten für die Modellierung dienen das digitale Höhenmodell (inklusive Rauhigkeitsbeiwerte) der einzelnen Varianten und der Mittelwasserabfluss, der entweder zu berechnen ist oder aus einer für den betroffenen Fließgewässerabschnitt vorliegenden Abflussdauerkurve abgelesen werden kann;
- Auslesen der Fließgeschwindigkeiten und -tiefen in den einzelnen Zellen des Gitternetzes des 2d-Modells für den Mittelwasserabfluss, wobei bei stark unterschiedlichen Zellengrößen eine Gewichtung der Werte über die Fläche empfehlenswert ist;
- Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen und Berechnung des HMID gemäss Formel in Kapitel 3.2.2.

Durch die Anwendung des HMID eröffnet sich die Möglichkeit, Hochwasserschutzprojekte hinsichtlich der Verbesserung der Strukturvielfalt zu optimieren. Je höher der HMID, desto höher ist die Vielfalt der aquatischen Habitate, die im Projektabschnitt geschaffen werden. Durch die Erlangung eines hohen Strukturreichtums schafft man günstige morphologisch-strukturelle

Voraussetzungen für ein hohes ökologisches Potenzial und als Folge davon für eine hohe Biodiversität.

4.2 Weitere Überprüfungen

Die Untersuchungen zur Entwicklung der HMID haben die Annahme bestätigt, dass die zeitliche Variabilität der aquatischen Habitate in natürlichen Fließgewässern niederer ist als in verbauten Fließgewässern.

Deshalb ist es nicht ausreichend, ein Fließgewässer nur für einen bestimmten Projektzustand mit einer hohen Strukturvielfalt auszustatten. Es ist zu überprüfen, ob die zeitliche Stabilität der Strukturvielfalt gewährleistet bleibt.

Dazu stehen zwei Möglichkeiten, die sich ergänzen können, zur Auswahl:

- Überprüfung des HMID für mehrere Abflüsse. Der HMID soll auch für Abflüsse, die höher oder niedriger als der Mittelwasserabfluss sind, einen ähnlichen Wert wie für den Mittelwasserabfluss aufweisen. Diese Überprüfung kann die zeitliche Stabilität der Habitate bestätigen. Eine Ausnahme bilden Abflüsse mit starken Geschiebeumlagerungen. Bei diesen nimmt der HMID auch in Fließgewässern, die dem Referenzzustand nahe kommen, stark ab.
- Überprüfung des Verhältnisses der benetzten Breite bei Mittelwasserabfluss und bei bordvollem Abfluss. In ihrem natürlichen Zustand beanspruchen Fließgewässer grosse Flächen. Innerhalb des so genannten parafluvialen Bereiches (Lorang & Hauer, 2006) entwickelt sich die volle Dynamik mit Erosions- und Auflandungsprozessen, der Laufverlagerung und der darauffolgenden Neubildung der Habitate bei geschiebeumlagernden Prozessen. Die von kiesführenden, verzweigten Alpenflüssen in ihrem Referenzzustand beanspruchte Breite liegt um ein Vielfaches höher als die bei verbauten Flüssen noch vorhandene Breite. An der Sense zum Beispiel weist die aktive Flusssohle am natürlichen Abschnitt 1 eine Breite von ca. 150 m auf. Bei Hochwasser wird die gesamte Breite beansprucht, während bei Mittel- und Niederrwasser lediglich ca. 20% der Fläche des parafluvialen Bereiches benetzt sind (Gostner et al., 2010).

Im kanalisierten Abschnitt 5 hingegen beträgt die Breite bei bordvollem Abfluss ca. 30 m. Die benetzte Breite bleibt für alle Abflüsse annähernd konstant. Bei steigenden Ab-

flüssen kann es kaum zu einer Beanspruchung nicht benetzer Bereichs kommen. Dies schlägt in einer starken Änderung von Fließgeschwindigkeit und –tiefe und dementsprechend in einer grossen zeitlichen Instabilität der aquatischen Habitate zu Buche. Je kleiner also das Verhältnis zwischen benetzter Breite bei Mittelwasserabfluss und Breite bei bordvollem Abfluss ist, desto näher kommt man – indikativ gesehen – dem Referenzzustand.

4.3 Einschränkungen

Es besteht kein Zweifel darüber, dass die hydromorphologische Strukturvielfalt eine notwendige Bedingung für eine reiche Biodiversität am Fließgewässer darstellt. Dass die Erfüllung dieser Bedingung aber nicht immer hinreichend ist, bringen unterschiedliche Untersuchungen klar zum Ausdruck (Gostner & Schleiss, 2010, Alp et al., 2011).

Damit eine strukturmorphologische Gewässersanierung nicht zum Selbstzweck verkommt bzw. einen rein ästhetischen Wert erhält, ist es notwendig, den Fokus nicht nur auf lokale Defizite zu beziehen, sondern auch ausserhalb des Projektperimeters liegende Prozesse mit einzubeziehen (Rau & Peter, 2011).

In erster Linie ist bei Projekten im Flussbau ein Leitbild mit klar definierten Zielen zu erarbeiten und dementsprechend die Frage zu beantworten, ob die strukturell-morphologischen Eigenschaften tatsächlich eine relevante Hürde auf dem Weg zu diesem Leitbild darstellen. Sind nämlich andere Elemente massgebend für eine verarmte Biodiversität (z.B. Nährstoff- und Sedimenteinträge durch intensive landwirtschaftliche Nutzung bis an den Gewässerrand, chemische Belastung des Fließgewässers, Fragmentierung des betroffenen Fließgewässers, durch Wassernutzungen verändertes Abflussregime, usw.) und wird dieser Frage nicht auf den Grund gegangen, können Massnahmen zur Verbesserung der Strukturvielfalt eventuell ohne positive Effekte bleiben und damit den erwarteten Erfolg des Projektes nicht erreichen.

Ein Kernthema in diesem Zusammenhang bildet die Vernetzung des Fließgewässers und seiner Umgebung. Die longitudinale, laterale und vertikale Vernetzung sind grundlegende Voraussetzung dafür, dass mit der Verbesserung der Strukturvielfalt eine höhere Biodiversität einhergeht.

Auch ist das Wechselspiel zwi-

schen Morphologie und Geschiebehaus-halt zu beleuchten. Fließgewässer, die langfristig positive strukturelle Lebensbe-dingungen anbieten, sind durch ein dyna-misches Gleichgewicht gekennzeichnet. Es treten zwar in periodischen Abstän-den bettbildende Prozesse mit der Neu-bildung der Habitate auf, es kommt aber zu kei-nen irreversiblen Eintiefungs- bzw. Auflandungstendenzen. Um diese Vor-gänge beurteilen zu können, sind Unter-suchungen des Geschiebehaushaltes in Verbindung mit abflussdynami-schen Prozessen auf der Einzugsgebiets-ebene not-wendig. Zum Beispiel kann eine mangelnde Geschiebezufluss aus dem Oberlauf in Ver-bin-dung mit anthropogen veränderten und häu-figer auftretenden Hochwasserspitzen dazu führen, dass die Verbesserung oder Wiederherstellung der Strukturvielfalt nur kurzfristig wirksam ist, da sich der Haupt-arm durch die Aufnahme von Geschiebe aus der Sohle eintieft und sich auf lange Sicht wiederum ein Gewässer mit Verö-dungsflächen und einem verarmten Le-bensraumangebot bildet. Deshalb ist bei Hochwasserschutzprojekten nicht nur eine Verbesserung der Strukturvielfalt notwen-dig. Die Erreichung eines ausgeglichenen Geschiebehaushalts kann nicht nur die Dauerhaftigkeit der Schutzmassnahmen gewährleisten, sondern auch dafür sor-gen, dass die Ökosystemleistungen des Fließgewässers von Dauer sind.

5. Zusammenfassung

Fließgewässer sind komplexe Systeme. Mit dem HMID steht dem Wasserbauer ein Werkzeug zur Verfügung, einzelne Projekt-varianten im Hinblick auf die Verbesserung der Strukturvielfalt vergleichen und bewer-ten zu können.

Der Formel zur Berechnung des HMID enthält die hydraulischen Variablen Fließgeschwindigkeit und -tiefe. Diese können gewissermaßen als repräsentativ für die Strukturvielfalt eines Fließgewäs-sers angesehen werden, da sie aufgrund der vorhandenen Wechselwirkungen stark mit anderen hydraulischen und morpholo-gischen Variablen korrelieren.

Bei einem vorhandenen 2d-Modell, was heutzutage bei der Ausarbeitung von Hochwasserschutzprojekten zum Stan-dard gehört, kann der HMID mit wenig Zusatzaufwand für die zur Diskussion ste-henden Projektvarianten berechnet wer-den. Durch zusätzliche Überprüfungen (Berechnung des HMID für mehrere Ab-flüsse, Untersuchung der Regimebreite im Vergleich zur Breite bei bordvollem Ab-fluss) ist die zeitliche Stabilität der Habitate

Infobox

Der hydro-morphologische Index der Diversität – Wichtigste Merkmale

Was ist neu am HMID?

Der HMID verwendet die statistischen Parameter von hydraulischen, die aquatischen Habitate kennzeichnenden Größen. Im Gegensatz zu Bewertungsmethoden (wie zum Beispiel Ökomorphologie des Modul-Stufen-Konzepts), die auf teilweise sub-jektiven Einschätzungen des Betrachters im Feld aufbauen, basiert der HMID damit auf objektiven Kriterien.

Was sind die Vorteile des HMID?

Die Verwendung von numerischen, zweidimensionalen Abflussmodellen zur Beur-teilung von wasserbaulichen Projekten im Hochwasserfall ist heutzutage Standard. Mit geringem Zusatzaufwand können diese Modelle dazu verwendet werden, auch die Mittelwasserabflüsse zu modellieren und aus den daraus resultierenden hydrau-lischen Kenngrößen den HMID zu berechnen.

Welche Lücke schliesst der HMID?

Der HMID hat die Fähigkeit zur Vorhersage. Durch Anwendung des HMID in wasser-baulichen Projekten können Projektvarianten im Hinblick auf die Verbesserung der Strukturvielfalt quantitativ verglichen werden. Der HMID soll also weder ein neues Instrument zur Beurteilung des IST-Zustandes eines Fließgewässers noch zur Erfolgskontrolle nach der Durchführung von Projekten sein, sondern sich, in zeitlicher Abfolge gesehen, dazwischen einreihen.

und somit des Lebensraumes der aqua-tischen Flora und Fauna zu verifizieren. Natürliche Fließgewässer befinden sich in einem dynamischen Gleichgewicht und sind durch eine hohe zeitliche Stabilität der Lebensräume charakterisiert. Deshalb ist dies auch bei Hochwasserschutzprojekten als Ziel anzustreben. Ist man imstande, ein Fließgewässer mit einem hohen HMID auszustatten und gleichzeitig dessen zeitliche Stabilität bis zum Eintreten von Schwellenereignissen, d.h. von Ereignissen mit intensiven Geschiebeumlage-rungsprozessen, zu gewährleisten, schafft man die für ein hohes ökologisches Poten-zial notwendigen hydromorphologischen Voraussetzungen.

Ob ein Projekt schlussendlich er-folgreich im Hinblick auf die Verbesserung der Biodiversität ist, hängt damit zusam-men, ob auch andere wichtige Faktoren (z.B. Nährstoff- und Sedimenteinträge, chemische Belastung, Fragmentierung, verändertes Abflussregime, usw.) auf der Einzugsgebiets-ebene richtig erkannt und analysiert werden und nicht einer oder mehrere dieser Faktoren einen Erfolg von vornehmerein verhindern können.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Prof. William K. Annable (University of Waterloo/Kanada) für die grosse fachliche und praktische Hilfe bei der Durchführun-ge der Feldarbeiten, bei Prof. Piotr Parasie-wicz (Rushing Rivers Institute, Massachusetts/ USA) für wertvolle wissenschaftliche Unterstüt-zung, bei Laura Vigne für die Datenerhebung und -analyse an der Venoge, bei Fabri Haldi für

die Durchführung der 2D-Modellierungen an der Sense und beim Team der Ingenieure Patschei-der & Partner GmbH (Südtirol/Italien) für den un-ermüdlichen Einsatz bei den Feldarbeiten und der Ausarbeitung der Graphiken.

Das gegenständliche Projekt ist im Rah-me des Forschungsprojektes «Integrales Flussge-bietsmanagement» ausgearbeitet worden. Den Kollegen der EAWAG, WSL und VAW, insbeson-dere Maria Alp und Patric Rousselot, sind wir Dank schuldig für die sehr wertvolle und kon-struktive interdisziplinäre Zusammenarbeit.

An das BAFU und die Autonome Provinz Bozen/ Südtirol geht der Dank für die Finanzierung des Projektes.

Literatur

- Allan J.D., Castillo MM. 2007. Stream Ecology. Structure and Function of Running Waters. Second Edition. Springer, Dordrecht, Nether-lands.
- Alp, M., Karpati, Th., Werth, S., Gostner, W., Scheidegger, Ch., Peter, A. 2011. Erhaltung und Förderung der Biodiversität von Fließgewäs-sern. Wasser Energie Luft. Heft 3: 216–223
- Arscott, D. B., Tockner, K., Nat, D., van der Ward, J.V. 2002. Aquatic Habitat Dynamics along a Braid Alpine River Ecosystem (Taglia-mento River, Northeast Italy). Ecosystems 5: 802–814.
- Barbour M.T., Gerritsen J., Snyder B.D., Stribling J.B. 1999. «Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish», Second Edition, EPA 841-B-99-002. U.S. Environ-mental Protection Agency; Office of Water, Washington, D.C., 337 S.
- BAFU (Hrsg). 2010. Strukturen der Fließgewäs-

ser in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der öko-morphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt Zustand Nr. 0926. Bundesamt für Umwelt, Bern. 100 S.

BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft). 1998. Ökomorphologie Stufe F. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27, 51 S.

Gostner, W., Schleiss, A.J. 2010. «Der hydraulisch-morphologische Index der Diversität: Ein Indikator für die ökologische Funktionsfähigkeit von Fließgewässern». Beiträge zum 15. Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich, vol. 124, pp. 1–10.

Gostner, W., Schleiss, A. J., Annable, W. K., Paternelli, M. 2010 «Gravel bar inundation frequency: an indicator for the ecological potential of a river». Proceedings of the River Flow International Conference on Fluvial Hydraulics in Braunschweig, pp. 1485–1494.

Gostner, W., Alp, M., Schleiss, A.J., Robinson, C.T. 2011a. The hydro morphological index of diversity: a tool for river restoration planning. Eingereicht bei Hydrobiologia.

Gostner, W., Parasiewicz, P., Schleiss, A.J. 2011b. Spatial and temporal hydraulic variabi-

lity in an Alpine gravel bed river with changing morphological characteristics. In Einreichung bei Ecohydrology.

Häusler, Th. 2011. Bahn frei für die Flüsse. Wissenschaftssendung Kontext, ausgestrahlt am 14.09.2011 auf DRS2.

Jungwirth M., Haidvogl G., Moog O., Muhar S., Schmutz S. 2003. Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas Universitätsverlag, Wien, 547 S.

Lorang, M.S., Hauer, F.R. 2006. Fluvial Geomorphic Processes. Hauer F.R. and Lamberti G.A. (Eds.) Methods in Stream Ecology, 2nd edition Elsevier Academic Press, 877 pp.

McDonald, J.H. 2009. Handbook of Biological Statistics, 2nd ed. Sparky House Publishing, Baltimore, Maryland.

Palmer, M.A., Hakenkamp, C.C., Nelson Baker, K. 1997. Ecological heterogeneity in streams: why variance matters. Journal of the North American Benthological Society 16: 189–202.

Pfaundler, M., Zappa, M. 2006. Die mittleren Abflüsse über die ganze Schweiz Ein optimierter Datensatz im 500×500 m Raster. Wasser Energie Luft. Heft 4: 291–298.

Rau, Ch., Peter, A. 2011. Fließgewässerrevitalisierungen – das grosse Potenzial kleiner Bäche. Wasser Energie Luft. Heft 1: 43–48.

R Development Core Team. 2009. R: A langu-

age and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

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

Schneider, D.C. 1994. Quantitative ecology: spatial and temporal ecology. Academic Press: San Diego.

Wolman, M.G. 1954. A method of sampling coarse bed material. American Geophysical Union, Transactions, 35: 951–956.

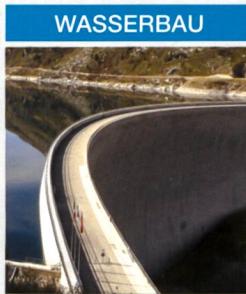
Woolsey, S., Weber, C., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S., Tockner, K., Peter, A. 2005. Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone Thur Projektes. Eawag, WSL, LCH EPFL, VAW ETHZ, 112 S.

Anschrift der Verfasser

Walter Gostner, Anton Schleiss, Laboratoire de constructions hydrauliques (LCH), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Station 18, CH-1015 Lausanne, secrétariat.lch@epfl.ch, <http://lch.epfl.ch>

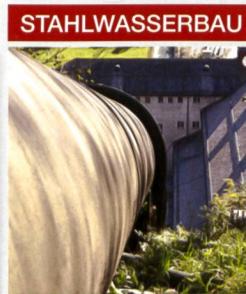


Im Dienste der Wasserkraftwerksbetreiber.
Wir können mehr...testen Sie uns.

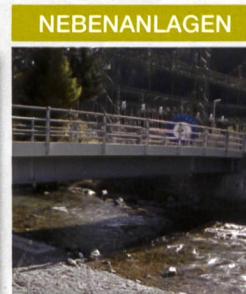


WASSERBAU
Fassungen
Stauanlagen
Stollen
Kanäle
Wasserschlösser

- Injektionen
- Spritzbeton
- Betoninstandsetzung
- Abrasionsschutz
- Abdichtung mit System PP-DAM®
- Felsicherung
- Anker

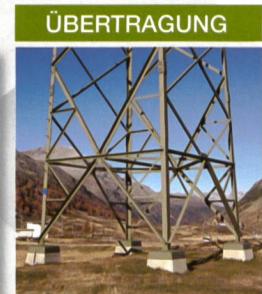


STAHLWASSERBAU
Schützen/Klappen
Abschlussorgane
Leitungen
Maschinen
• Korrosionsschutz



NEBENANLAGEN
Gebäude
Kunstbauten

- Injektionen
- Betoninstandsetzung
- Abdichtung
- Instandsetzung PCB - haltiger Fugen und Beschichtungen
- Bodenbeschichtungen



ÜBERTRAGUNG
Freileitungen
Schaltanlagen

- Mastsockelsanierung
- Ölauflangwannenbeschichtung



www.isopermaproof.ch

Ihr Kompetenzzentrum für Planung und Ausführung von Unterhalts-, Instandsetzungs- und Abdichtungsarbeiten.