

## Nutzung von hydromorphologischen Parametern zur Evaluierung eines Renaturierungsprojekts

Manuela König, Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau und Gewässermorphologie

Katinka Koll, Technische Universität Braunschweig, Leichtweiß Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau und Gewässermorphologie

### Einleitung und Motivation

Unter Hydromorphologie wird die Gestalt und Struktur des Gewässerbettes abhängig von spezifischen hydrologischen Gegebenheiten verstanden. Um die Forderung der WRRL nach einem guten ökologischen Zustand der Gewässer bis 2027 umzusetzen, werden derzeit verstärkt Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur durchgeführt. Die erzielten Veränderungen sollen nach möglichst einheitlichen Ansätzen über geeignete hydromorphologische Parameter quantifiziert und analysiert werden. Eine langfristige Kontrolle wäre dabei wünschenswert.

Im Folgenden werden im Rahmen einer Literaturrecherche zusammengestellte hydromorphologische Parameter vorgestellt und auf die Anwendbarkeit auf Querprofil- und Flächenscan-Daten untersucht. Dabei wird u. a. auf Aspekte wie flussspezifische Randbedingungen und vorhandene Datengrundlagen eingegangen. Anschließend werden zwei Standorte untersucht, die im Projekt „Wilde Mulde – Revitalisierung einer Wildflusslandschaft in Mitteldeutschland“ als Referenzen *Naturnah* und *Naturfern* eingestuft worden sind. Der Fokus liegt dabei auf dem hydromorphologischen Parameter der Fließtiefe zur Beschreibung der Gerinnegestalt. Es soll dabei die Frage geklärt werden, ob neben einer klassischen Auswertung von Querprofilen auch gerasterte Flächenscan-Daten für eine Auswertung in Frage kommen. Zusätzlich soll der Punkt geklärt werden, ob der rein visuelle Gradient der Standorte ebenfalls anhand von Parametern erkennbar ist.

### Hydromorphologische Parameter

Für die Dokumentation, Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der Erkenntnisse umgesetzter Maßnahmen zur Schaffung von Strukturvielfalt und Initiierung eigendynamischer Prozesse, wird ein einheitlicher Bewertungsansatz benötigt. Für sandgeprägte Tieflandbäche hat Berger (2017) Parameter zusammengestellt, um den Erfolg von Revitalisierungsmaßnahmen, ergänzend zur Gewässerstrukturgütekartierung nach LAWA (2010), zu quantifizieren. Berger (2017) wählt einen repräsentativen Abschnitt von 100 m Länge, der über zehn äquidistant voneinander entfernte Querprofile beschrieben wird, und bezieht die untersuchten Parameter auf die bordvolle Breite. Die Parameter werden in die Gruppen lokale Hydraulik, Querschnittsform und Substrate aufgeteilt.

Auch statistische Kennwerte wie der **Mittelwert ( $\mu$ )**, die **Standardabweichung ( $\sigma$ )**, **Schiefe ( $\alpha$ )** und **Kurtosis ( $\gamma$ )** sowie der **Variationskoeffizient (CV)** können pro Abschnitt ausgewertet werden. Die Standardabweichung zeigt die Streubreite der Daten auf. Die Verteilungsfunktion eines Datensatzes kann über die Schiefe und Kurtosis bzw. Wölbung beschrieben werden. Im Vergleich zu einer Normalverteilung ist der Peak bei einer rechtsschiefen Kurve nach links bzw. in Bereiche größerer Werte verschoben und läuft nach rechts flach aus – die Schiefe ist negativ. Im Gegensatz ist der Peak

einer linksschiefen Kurve nach rechts verschoben und läuft nach links flach aus – die Schiefe ist positiv. Im Vergleich zur Normalverteilung, stellt eine positive Abweichung der Kurtosis eine spitze und schmale Wölbung dar und eine negative Abweichung eine breite und flache Kurvenwölbung. Der Variationskoeffizient ( $CV = \text{Standardabweichung } \sigma / \text{Mittelwert } \mu$ ) ist als „relatives Streuungsmaß“ normiert und kann auch als Vergleichskennzahl von Daten unterschiedlicher Einheiten genutzt werden (Duller 2013).

Im Weiteren werden Parameter vorgestellt, mit denen die Variabilität der Wassertiefe und der Wasserspiegelbreite beurteilt werden kann und die aus Querprofilen und Flächenscan-Daten ermittelt werden können. Das **Breiten-Tiefen-Verhältnis ( $b/H = \text{bordvolle Breite/mittlere Fließtiefe [-]}$ )** ist eine Kennzahl, um den Querschnitt eines Gewässergerinnes aufzuzeigen. Dieses wird bereits seit Entwicklung der Regimetheorie (Zeller 1965) als Standard für die Beschreibung von Querprofilen verwendet. Abhängig vom anstehenden Untergrund, ist der Wert umso größer, je kiesgeprägter der Bereich ist.

Weniger üblich ist die Beschreibung der Querschnittsform über die Asymmetrie nach Knighton (1981), welche eine wichtige Aussage zur Diversität des Habitatdargebots schafft (Berger 2017). Die **flächenmäßige Asymmetrie  $A^*$**  (Gl. 1) zeigt bei positiven Werten, dass die Querschnittsfläche links der Mittelachse größer ist als die Fläche rechts und bei einem negativen Wert umgekehrt ausgeprägt ist.

Die **horizontal/vertikale Asymmetrie  $A_2$**  (Gl. 2) zeigt auf, wie weit die größte Wassertiefe von der Mittelachse entfernt ist und damit die Ausprägung der Asymmetrie der Flächenverteilung. Mit einer zunehmenden Entfernung der größten Wassertiefe von der Mittelachse, steigt der Wert  $A_2$ . Die Richtung der Verlagerung wird im Gegensatz zur flächenmäßigen Asymmetrie dabei nicht angezeigt.

$$A^* = \frac{A_l - A_r}{A_{ges}} [-] \quad \text{Gl. 1}$$

mit  $A_l$  = linke Flächenhälfte des Querprofils [ $\text{m}^2$ ]  
 $A_r$  = rechte Flächenhälfte des Querprofils [ $\text{m}^2$ ]  
 $A_{ges}$  = Gesamtquerschnittsfläche des bordvollen Querprofils [ $\text{m}^2$ ]

$$A_2 = \frac{2x * (h_{max} - h_{mittel})}{A_{ges}} [-] \quad \text{Gl. 2}$$

mit  $x$  = Differenz der maximalen Wassertiefe zur Mittelachse [m]  
 $h_{max}$  = maximale Wassertiefe [m]  
 $h_{mittel}$  = mittlere Wassertiefe [m]  
 $A_{ges}$  = Gesamtquerschnittsfläche des bordvollen Querprofils [ $\text{m}^2$ ]

Der **hydraulisch-morphologische Index der Diversität (HMID)** kombiniert geomorphologische und hydraulische Informationen (Gl. 3), um die ökologische Funktionsfähigkeit von Flüssen zu beurteilen (Gostner & Schleiss 2010). Der HMID kann für Planungszwecke auch Potentiale für die Habitatdiversität ausgeben (Gostner & Paternolli 2018). Je höher die Strukturvielfalt eines Gewässers, desto höher ist auch der HMID. Entwickelt und getestet wurde der Parameter an Gebirgsbächen bzw. kiesgeprägten Alpenflüssen in der Schweiz. Der HMID (Gl. 3) setzt sich aus den **Teilvielfältigkeiten** (Terme in Gl. 3) der Fließgeschwindigkeiten und der Wassertiefe zusammen.

$$HMID = \left(1 + \frac{\sigma_v}{\mu_v}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{\sigma_t}{\mu_t}\right)^2 [-] \quad \text{Gl. 3}$$

mit  $\sigma_v, \sigma_t$  = Standardabweichung der Fließgeschwindigkeit (v) und Wassertiefe (t) [m/s bzw. m]  
 $\mu_v, \mu_t$  = Mittelwert der Fließgeschwindigkeit (v) und Wassertiefe (t) [m/s bzw. m]

Als Datengrundlage können sowohl Feldmessdaten als auch Ergebnisse aus numerischen Modellen verwendet werden, die jeweils in Abschnitte mit gleichmäßigen hydromorphologisch Bedingungen – z. B. auch über eine statistische Auswertung generiert – eingeteilt werden. Empfohlen wird die Auswertung bei einem Durchfluss, der an 180 Tagen im Jahr unter- bzw. überschritten wird.

In Stähly et al. (2018) wurde für drei Flüsse in der Schweiz mit unterschiedlichen Randbedingungen untersucht, wie sensitiv der HMID auf unterschiedliche hydraulische und morphologische Randbedingungen reagiert. Für einen Abschnitt mit größerer Diversität reagiert der HMID sensibler und benötigt mehr Eingangsdaten als bei homogenen Abschnitten.

Gostner & Paternolli (2018) vergleichen den relativ einfach bestimmbaren HMID mit dem **morphologischen Qualitätsindex (MQI)**, der aus 28 Indikatoren – hauptsächlich visuell – bestimmt wird. Der Ist-Zustand von Morphologie, Hydrologie und Geschiebehaushalt kann mit dem MQI beschrieben werden. Trotz der unterschiedlichen Datengrundlagen zeigen die Untersuchungen von Gostner & Paternolli (2018) gleiche Ergebnisse und gute Korrelationen, so dass die Parameter einzeln oder ergänzend zueinander angewandt werden können.

## Datengrundlage und Methodik

Im Projekt „Wilde Mulde“ werden verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur umgesetzt und ihre Wirkung von biologischer und morphodynamischer Seite untersucht. Zum Vergleich werden auch zwei Standorte als Referenz *Naturnah* und *Naturfern* untersucht. Die Mulde ist ein kiesgeprägter Tieflandfluss und ist im Projektgebiet durch einen mäandrierenden Flusslauf, viel Flussholz, stark dreidimensionale Strömungen und über lange Strecken unverbaute Ufer geprägt (Puhlmann & Rast 1997). Im Vergleich zu den oben erwähnten Untersuchungen ist die Mulde mit ca. 50 m Gewässerbreite ein großer Fluss und die Datenbeschaffung im Feld birgt Einschränkungen und Herausforderungen. Die Flusssohle wird meist flächig gescannt, um die Topographie großflächig zu erfassen.

Die Datengrundlage des Standorte *Naturnah* und *Naturfern* sind in Bild 1 dargestellt. Zumeinen liegen aus dem Jahr 2014 Querprofildaten vor, die im Auftrag des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) erstellt worden sind. Diese wurden zur Vergleichbarkeit linear auf 1 m Punktabstand interpoliert, da z. B. Berger (2017) mit Messpunkten im gleichen Abstand über die Breite arbeitet. Pro Standort werden je sieben Querprofile untersucht, die am Standort *Naturnah* auf einer Fließlänge von 0,582 km und am Standort *Naturfern* von 0,618 km verteilt sind. Die ermittelten Parameter der einzelnen Querprofile werden je Standort gemittelt, um diese zu beschreiben.

Zum anderen werden regelmäßig gerasterte Flächendaten untersucht. Die Daten der Flusssohle sind im April 2018 mit einem Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) aufgenommen worden. Ergänzende Höheninformationen der Ufer und Aue stammen aus einem vom LHW zur Verfügung gestellten digitalen Geländemodell, da diese nicht aktuell miterfasst worden sind. Der Abschnitt umfasst für beide Standorte jeweils einen Bereich im Fluss von 400 m Länge.

Die Flächendaten werden mit dem Thin Plate Spline Verfahren und ArcMap-Standardereinstellungen, welches sich in ausführlichen Untersuchungen als am besten geeignet erwiesen hat (König & Koll 2018), auf 3x3 m interpoliert.

Die von Berger (2017) untersuchten Parameter für sandgeprägte Tieflandbäche sind über die bordvolle Breite bestimmt worden. Dies wird auch für die hier betrachteten Daten angenommen. Die Höhenlagen des Wasserspiegels bei bordvollem Durchfluss wurden für die Standorte *Naturnah* zu  $H = 64,98$  m ü NHN und *Naturfern* zu  $H = 66,61$  m ü NHN bestimmt. Es wird bei den betrachteten Abschnitten aufgrund des geringen Gefälles von 0,02 – 0,03 % vereinfacht von einer konstanten Wasserspiegellage ausgegangen. Sowohl die Querprofile als auch die Flächendaten werden, abhängig vom Standort, nach der Höhenlage des bordvollen Durchflusses gefiltert.

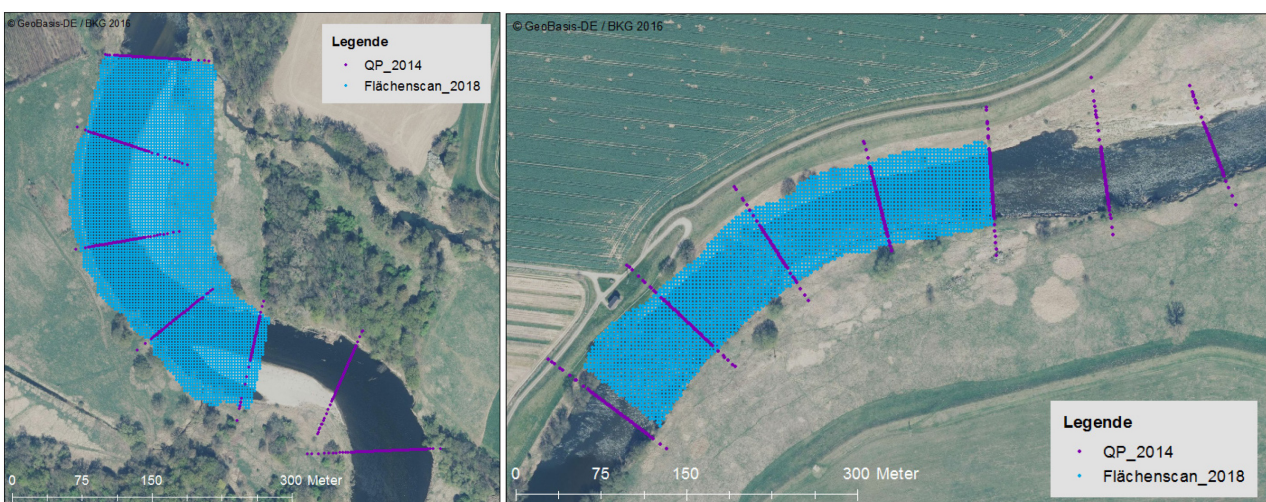


Bild 1: *Naturnaher Standort (links) und naturferner Standort (rechts). Flächig gerasterte (3x3 m) Datenpunkte unterhalb der bordvollen Höhe (blau) und Querprofile (QP) (lila)*

## Ergebnisse und Diskussion

Der Vergleich innerhalb der Standorte soll zeigen, wie die Parameter auf die Datengrundlage reagieren. Zusätzlich kann bei dem Vergleich zwischen den Standorten aufgezeigt werden, ob für die Parameter ähnliche Tendenzen vorliegen. Die Standorte *Naturnah* und *Naturfern* lassen aufgrund der typischen Querschnittsformen erwarten, dass die Parameter am Prall- und Gleithang eine größere Streubreite und damit Diversität aufweisen, als im Bereich des homogenen Kastenprofils.

Die Standardabweichungen liegen jeweils in einem ähnlichen Bereich (Tabelle 1). Die Wassertiefen sind am naturnahen Standort relativ gleichmäßig um den Mittelwert verteilt, allerdings variieren sie stark in der Breite, was über die negative Kurtosis angezeigt wird. Dahingegen sind die Daten am naturfernen Standort rechtsschief verteilt. Der Peak der Datenpunkte liegt im Bereich geringer Wassertiefen. Im Vergleich zum Standort *Naturnah* liegt eine rechtsschiefe, schmaler gewölbte Verteilung vor. Das deutet auf eine größere Diversität am Standort *Naturnah* hin.

Der Vergleich der Querprofil- und Flächenscan-Daten innerhalb eines Standortes zeigt, dass alle Parameter die gleichen Tendenzen aufweisen.

Vorteilhaft an den Querprofil-Daten ist, dass mehr Informationen über die Querschnittsform vorliegen. Ein größeres  $b/H$ -Verhältnis am naturnahen Standort deutet darauf hin, dass der Untergrund eher



kiesgeprägt ist. Die typische Prall-/Gleithang-Form ist hier ausgeprägter als am Standort *Naturfern* und spiegelt sich in den Parametern wider (Tabelle 1). Auch eine größere Asymmetrie zeigt auf, dass der Standort *Naturnah* vielfältiger ist.

Die Querprofil-Daten können aus Flächenscan-Daten mit entsprechenden Regeln extrahiert werden. In Untersuchungen von Stähly et al. (2018) und Poppe et al. (2016) wird jeweils der Aspekt mit aufgefasst und Empfehlungen gegeben, wie groß die zu untersuchenden Abschnitte und die Entfernungen zwischen den Querprofilen sein sollten. Eine detaillierte Untersuchung der Sensibilität auf verschiedene Parameter, abhängig von der Diversität des Standortes, steht allerdings noch aus. Vorteilhaft an den Flächenscan-Daten ist daher eine freie Einteilung in unterschiedliche Entfernungen von Querprofilen. Eine Sensitivitätsanalyse bzgl. der idealen Entfernung von Querprofilen, abhängig von der Diversität der Hydromorphologie am Standort, sollte weiterführend durchgeführt werden.

Tabelle 1: Mittelwerte der Querprofil- und Flächenscan-Daten (Parameter der Wassertiefe und Breite)

		<i>Naturnah</i>		<i>Naturfern</i>	
		<i>Querprofile</i>	<i>Flächenscan</i>	<i>Querprofile</i>	<i>Flächenscan</i>
<b>Wassertiefe</b>	<b>Max. Wassertiefe [m]</b>	4,90	6,34	4,23	6,36
	<b>Mittl. Wassertiefe [m]</b>	2,74	2,80	2,95	3,14
	<b><math>\sigma</math> [m]</b>	1,28	1,38	0,87	1,08
	<b>Schiefe [-]</b>	0,01	0,01	-0,56	-0,57
	<b>Kurtosis [-]</b>	-0,51	-0,93	0,62	0,83
	<b>CV= <math>\sigma/\mu</math> [-]</b>	0,47	0,49	0,29	0,34
	<b>Teilvielfältigkeit [-]</b>	2,15	2,23	1,68	1,80
<b>Breite</b>	<b>Bordvolle Breite [m]</b>	87,29		61,71	
	<b>b/H [-]</b>	32,88		21,17	
	<b>A* [-]</b>	0,02		0,04	
	<b>A2 [-]</b>	0,54		0,32	

## Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag sind hydromorphologische Parameter auf eine unterschiedliche Datengrundlage an einem naturnahen und naturfernen Standort angewandt worden. Es sollte die Frage untersucht werden, ob Querprofil- und Flächenscan-Daten ähnliche Ergebnisse an den gleichen Standorten liefern. Die Anwendung ausgewählter Parameter bei bordvollen Durchflussverhältnissen hat gezeigt, dass unabhängig von der Datengrundlage die Standorte *Naturnah* und *Naturfern* unterschieden werden können.

Bei einer Querprofilauswertung, müsste allerdings zusätzlich eine detaillierte Untersuchung stattfinden, in welchem Abstand die Querprofile im Längsprofil untersucht werden. Eine Sensitivitätsanalyse dieses Aspektes ist wichtig, um eine Empfehlung für eine optimale Datenaufnahme, abhängig vom Fließgewässertyp bzw. der räumlichen Skala, zu geben. Weiterhin muss untersucht werden, ob die Auswahl der Parameter zur Beurteilung der Hydromorphologie abhängig von der vorliegenden Datengrundlage angepasst werden sollte.

Dabei ist bei flächigen Datensätzen von Vorteil, dass Querprofile extrahierbar sind und der Abstand frei wählbar ist. Ein Punkt der dabei noch weiter beachtet werden muss, ist die Lage der Querprofile. Sollen diese z.B. senkrecht zur Mittelachse oder zum Talweg aufgespannt werden – um nur eine mögliche Variation zu nennen.

Es ist außerdem erforderlich, weitere Parameter im Bereich der lokalen Hydraulik, der Substrate und Ökologie zu untersuchen, um die Standorte ganzheitlich zu evaluieren.

Zusätzlich wäre eine Sensitivitätsanalyse der Parameter bei anderen charakteristischen Durchflüssen (z. B. HQ2, MQ, MNQ, NQ etc.) von Interesse. Hierfür sind Ergebnisse aus kalibrierten numerischen Modellen notwendig, die zurzeit aufgebaut werden. Aus dem numerischen Modell können ebenfalls die Fließgeschwindigkeiten genutzt werden, um die Teilvielfältigkeit für die Fließgeschwindigkeiten und damit den HMID zu berechnen.

## Danksagung

Das Forschungsvorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LC1322C gefördert.

## Literaturverzeichnis

- Berger, V. (2017): Ansätze zur Quantifizierung des Renaturierungserfolgs. Beispielhafte Betrachtungen in sandgeprägten Tieflandbächen. Dissertation. Universität Duisburg-Essen.
- Duller, C. (2013): Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS. Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch. 3., überarb. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg.
- Gostner, W.; Paternolli, M. (2018): Lebensraumqualität von Fließgewässern: morphologische oder hydraulische Indizes? In: Wasserwirtschaft 108 (2-3), S. 41–47.
- Gostner, W.; Schleiss, A. J. (2010): Der hydraulisch-morphologische Index der Diversität: Ein Indikator für die ökologische Funktionsfähigkeit von Fließgewässern. In: Beiträge zum 15. Gemeinschafts-Symposium der Wasserbau-Institute TU München, TU Graz und ETH Zürich, S. 124.
- Knighton, A. D. (1981): Asymmetry of river channel cross-sections: Part I. Quantitative indices. Earth Surface Processes and Landforms, 6(6), S. 581–588.
- König, M.; Koll, K. (2018): Feldmessungen zur 3D-HN Modellierung eines Raubaums am Beispiel der Mulde. Tagungsband zum 20. Treffen junger WissenschaftlerInnen deutschsprachiger Wasserbauinstitute vom 29. bis 31. August 2018 in Darmstadt, S. 136–141.
- LAWA (2010): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahrensbeschreibung für Vor-Ort-Kartierungen kleiner bis mittelgroßer Fließgewässer.
- Poppe, M.; Kail, J.; Aroviita, J.; Stelmaszczyk, M.; Giełczewski, M.; Muhar, S. (2016): Assessing restoration effects on hydromorphology in European mid-sized rivers by key hydromorphological parameters. In: Hydrobiologia 769 (1), S. 21–40.
- Stähly, S.; Gostner, W.; Franca, M. J.; Robinson, C. T.; Schleiss, A. J. (2018): Analysis of the sensitivity of the hydromorphological index of diversity, HMID. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH 2018).
- Zeller, J. (1965) Die "Regime-Theorie", eine Methode zur Bemessung stabiler Flussgerinne. Schweizerische Bauzeitung 83(5-6). S. 3–15.