

Grundzüge der Ökohydraulik von Fließgewässern

Bernhard WESTRICH

Vorbemerkungen

Unter dem Begriff Ökohydraulik wird die Verbindung und Wechselwirkung zwischen den biotischen und abiotischen Einflussfaktoren in einem Fließgewässer verstanden. Die Ökohydraulik befasst sich schwerpunktmäßig mit den gewässerökologisch relevanten hydraulischen Einflussfaktoren auf Strömungsverhältnisse und Transportdynamik sowie auf den Stoff-, Sediment- und Energiehaushalt in einem Fließgewässer. Sie stellt eine wichtige Grundlage dar für das Verständnis der komplexen Wechselwirkungen zwischen Hydraulik und Biologie in einem Fließgewässer sowie für hierauf aufbauende Konzepte zur Gewässerentwicklung und Gewässeranierung bis hin zum Flussgebietsmanagement. Die Ökohydraulik ist damit ein wichtiger Baustein in der Umsetzung ökologischer Ziele in der praktischen Wasserwirtschaft.

Fließbewegung des Wassers

Die Fließbewegungen in einem turbulenten Fließgewässer sind theoretisch und experimentell ausreichend erforscht, so dass die räumliche Verteilung der mittleren Fließgeschwindigkeiten, Turbulenz und Sohlschubspannungen sowie der für Vermischungs- und Transportvorgänge maßgebenden turbulenten Diffusion sehr gut quantifiziert werden kann. Dennoch muss man festhalten, dass die räumliche Verteilung der Strömungsgrößen von der Morphologie des Fließgewässers (Mäandrierungsgrad, Querschnittsform) und wasserbaulichen Eingriffen (Quer- u. Längswerke, Staubaufwerke u.ä.) sehr stark abhängt, so dass gewässerspezifische Verhältnisse häufig nur durch komplexe Strömungsmodelle und detaillierte Naturmessdaten quantifiziert werden können.

Durch die turbulente Fließbewegung werden in der fließende Welle Konzentrationsgradienten von Inhaltsstoffen und Wärmeenergie abgebaut. Insbesondere im Bereich der Gewässersohle erfährt die turbulente Bewegung eine starke Dämpfung, so dass die Stoffdiffusion erheblich zurückgeht und letztlich im Bereich des Interstitials nur noch durch molekulare Diffusion, die um mehrere Größenordnungen kleiner ist, kontrolliert wird.

Fließgeschwindigkeiten und Turbulenz können mit modernen feldtauglichen Messgeräten richtungsabhängig und hochauflösend ermittelt werden: z.B. Messflügel, magnetisch induktive 2-Komponenten Sensoren, Akustik-Doppler-Geschwindigkeitssensoren, sowie mit den Statzner-Halbkugeln.

Feststofftransport

Der Feststofftransport ist sowohl für die Gewässer- morphologie als auch für die Gewässerökologie von zentraler Bedeutung, da die Transportdynamik zur Umgestaltung von Fließgewässerquerschnitten, zu Erosions- und Sedimentationserscheinungen führt. Der Feststofftransport ist abhängig von den abflussbedingten Fließgeschwindigkeiten bzw. der örtlichen Schlepptension und der sedimentologischen Zusammensetzung des Gewässerbettes (Korngrößenverteilung, Kohäsionseigenschaften).

Die im Hinblick auf die Gewässerökologie wichtigsten Phänomene des Feststofftransportes können wie folgt skizziert werden: Bei Überschreitungen der Korngrößenabhängigen erosionskritischen Sohlschubspannung kommt es bei grobkörnigem Sediment (Sand- und Kiesfraktion) zur geschiebeartigen Bewegung. Hierbei kann es zu einer selektiven Erosion der feineren Stoffe kommen, wobei die größeren Körner in der Deckschicht zurückbleiben. Dieses als Abpflasterung bezeichnete Phänomen führt zu einer Selbststabilisierung der Gewässersohle. Erst bei einer weiteren Steigerung der Schlepptension kommt es dann zu einem sehr raschen Aufbruch der Deckschicht mit intensivem Sedimenttransport, bei dem dann nahezu alle Kornfraktionen in Bewegung gesetzt werden.

Auch die Sedimentation weist Selektionsphänomene auf, die auf die Korngrößenabhängige Sinkgeschwindigkeit zurückzuführen sind. Bei Unterschreitung der sedimentationskritischen Schlepptension werden suspendierte Feststofffraktionen abgelagert und können bei grobkörniger Gewässersohle wegen der in das Interstitial noch einwirkenden turbulenten Fließbewegungen relativ tief in das Gewässerbett eindringen. Dies führt zur inneren Kolmation der Gewässersohle. Bei feinkörnigem Gewässerbett werden sedimentierte Schwebstoffe im wesentlichen nur an der Oberfläche des Gewässerbettes abgelagert, so dass man dann von einer äußeren Kolmation spricht. Beide Sedimentationsmechanismen führen zu einer Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit der Gewässersohle und damit zu einem reduzierten Wasser- und Stoffaustausch zwischen fließender Welle und Interstitial. Bei einem naturbelassenen Fließgewässer wechseln Erosions- und Sedimentationsprozesse stetig in einer Weise, dass der Sedimenthaushalt auch längerfristig stabil und ausgeglichen ist, und keine wesentlichen Veränderungen in quantitativer und qualitativer Hinsicht erfolgen.

An vielen Fließgewässern haben wasserbauliche Eingriffe für die Wasserkraftgewinnung, den Hochwasserschutz und die Schifffahrt teilweise zu erheblichen Störungen in der Feststofftransportdynamik geführt. Die gravierendsten Auswirkungen sind Sohleintiefungen mit entsprechenden Absenkungen des Grundwasserspiegels und Sedimentablagerungen im Bereich gestauter Gewässerabschnitte. Zur Verringerung der negativen Auswirkungen auf die Gewässermorphologie und Ökologie sind entsprechende wasserbauliche Gegenmaßnahmen erforderlich, die in betriebliche und bauliche Maßnahmen unterteilt werden können. Die wichtigsten hiervon sind in Abbildung 1 dargestellt. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass zur Erhaltung der

gewässerökologischen Durchgängigkeit Sohlsicherungsbaugeräte mit Absturz in flexible Sohlgleiten umzugestaltet sind. Diese bieten neben der Beseitigung der Unfallgefahr für Wassersportler eine gute Durchgängigkeit für Kleinlebewesen und Fische auch bei sehr kleinen Abflüssen (HASSINGER 1991). Neben den Geschiebeablagerungen in gestauten Gewässerabschnitten sind insbesondere die Schwebstoffablagerungen von Bedeutung, da sie einerseits zur Kolmation der Gewässersohle führen und andererseits als Nähr- und Schadstoffträger den Stoffhaushalt mitbeeinflussen können. Bühnenfelder und überstaute Vorländer bzw. bei Hochwasser überflutete Talauen können teilweise sehr stark von der Sedimentation durch Feinschwebstoff-

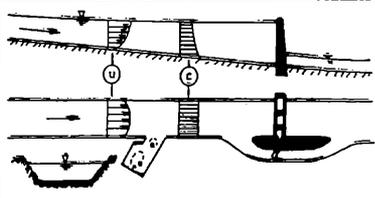
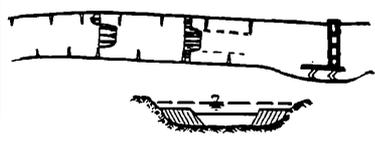
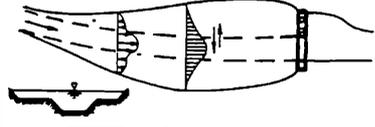
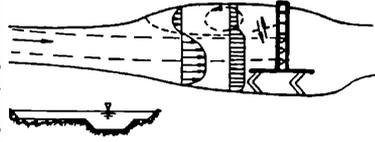
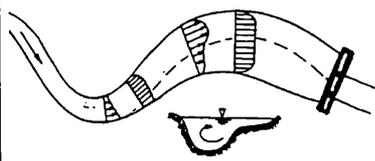
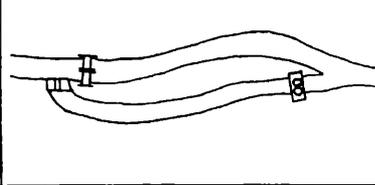
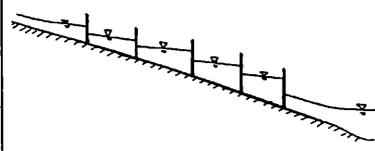
Gewässertyp	Strömungskonfiguration	Bemerkung
Geradlinige Staustrecken		Longitudinales Verlandungsprofil, (z.B. Neckar, Main, Mosel)
Überstaute Bühnenstrecken		Verstärkte Sedimentation in den Bühnenfeldern (z.B. Rhein, Main)
Flußschlauch mit Vorland		Vorländer stark verlandungsgefährdet (z.B. Lech, Isar, Inn)
Querschnittsaufweitung am Staubaauwerk		Rückstromgebiet stark verlandungsgefährdet (z.B. Rhein bei Iffezheim)
Flußkrümmung		Auflandung am Innenufer (z.B. Baldeney-See)
Ausleitungsstrecken		Verlandung im Hauptstrom und in der Ausleitungsstrecke
Staustufenkette		erhöhte Feststoffrückhaltewirkung (z.B. Neckar, Main, Lech, Inn)

Abbildung 1

Erosionserscheinungen und Gegenmaßnahmen

fe betroffen werden, wobei die Sedimentationsbedingungen von den flussmorphologischen Verhältnissen und vom Abfluss abhängen (Abb. 2). Insbesondere bei Bühnenfeldern kommt es bei Hochwasserabfluss infolge Überströmung zur starken Resuspension der Feinsedimente, die zu erheblichen stofflichen Immissionsbelastungen von Talauen führen können. Die Schwebstoffdynamik ist insbesondere bei kohäsiven Feinsedimenten komplex, da deren Erodierbarkeit neben den hydraulischen auch von biologischen und biogeochemischen Einflussfaktoren abhängt. Die Quantifizierung dieser komplexen Wechselwirkungen ist Gegenstand laufender Forschungsaktivitäten.

Interstitial

Das Interstitial ist ein wichtiges Kompartiment der Fließgewässer, das in wechselseitigem Stoffaustausch mit der fließenden Welle steht. Das Lückensystem im Interstitial wird entscheidend geprägt durch die Dynamik des Feststofftransportes und die Zusammensetzungen der Gewässersedimente. Der Austausch gelöster Stoffe zwischen der fließenden Welle und dem Interstitial wird kontrolliert durch die Fließgeschwindigkeit bzw. die Sohlschubspannungsgeschwindigkeit im Fließgewässer, die strukturbedingten Sickergeschwindigkeiten im Interstitial sowie durch die Konzentrationsgradienten. Die

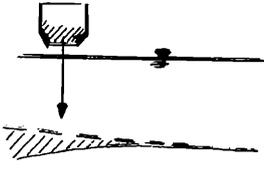
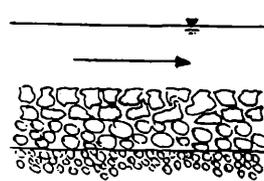
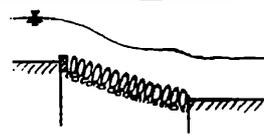
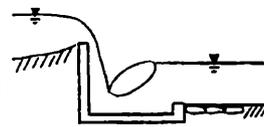
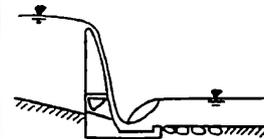
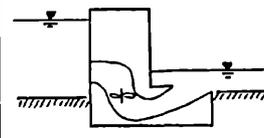
	Maßnahme	Systemskizze	Bemerkung
Betriebliche Maßnahmen	Geschiebezugabe (z.B. Rhein bei Iffezheim)		- Anpassung der Sieblinie - Hohe Betriebskosten * Temporäre Lösung
Bauliche Maßnahmen	Starres Bauwerk	Sohlpanzerung	 - Anhebung des Wasserspiegels - Schwacher Wasseraustausch mit Unterbau - Kostenintensiv * Lokaler Objektschutz
		Sohlgleite (Argen, Iller, Donau)	 - Ausreichende Energieumwandlung - Nachbettsicherung - Morphologische Langzeitwirkung
	Bewegliche Verschlüsse	Absturz (Donau, Lech)	 * Kleinere Energiehöhen-differenz
		Stützschwelle (Isar, Lech)	 - Sohlumgestaltung - Geschiebekontinuität - Ausreichende Energieumwandlung
		Stützschwelkenkraftwerk (Rhein, Donau, Isar, Lech...)	 * Große Energiehöhen-differenz

Abbildung 2

Sedimentationserscheinungen in Fließgewässern

Wechselwirkungen zwischen Fließgewässer und Grundwasser führen zu Ex- bzw. Infiltrationsprozessen, die ihrerseits den Stoffaustausch wesentlich beeinflussen können. Bei grobkörnigen Sohlen ist ein mäßiger Konzentrationsgradient im Übergangsbereich von der fließenden Welle zum Interstitial zu erwarten, während bei stark kolmatierten bzw. konsolidierten Gewässersohlen extrem starke Konzentrationsgradienten von Wasserinhaltsstoffen auftreten, die zu einem entsprechend reduzierten Stoffaustausch zwischen Gewässersediment und fließender Welle führen.

Zusammenfassende Thesen

1. Strömung, Gewässerstruktur und Stoffdynamik stehen in enger Wechselbeziehung. Abflusstiefe, Fließgeschwindigkeiten, Turbulenz und Sohlschubspannungen sind signifikante hydrodynamische Einflussfaktoren für Gewässermorphologie, Sedimentmobilität, Stoffhaushalt und Biozönose eines Fließgewässers.
2. Die Abflussdynamik bestimmt die Sedimentdynamik. Beginn, Intensität und Dauer von Geschiebepositionen und Schwebstofftransport sind für die Zusammensetzung des Sohlsubstrats und die Struktur des Interstitials von entscheidender Bedeutung.
3. Die Strömungsgeschwindigkeiten und deren räumlich-zeitliche Variation sowie die Zusammensetzung und Mobilität der Gewässersedimente sind dominante Einflussfaktoren für den gelösten und partikulären Stoffaustausch zwischen fließender Welle und Interstitial.
4. Die Sedimentation von Schwebstoffen führt bei grobkörnigem Sohlmaterial zur Kolmation der Gewässersohle mit entsprechendem Rückgang der Interaktion zwischen Fließgewässer, Interstitial und Grundwasserleiter. Selektive Erosionsprozesse führen zur Auswaschung von feinerem Sohlmaterial (Abpflasterungseffekte). Hierdurch kann eine kolmatierte Sohle teilweise regeneriert werden.
5. Abfluss- und Feinsedimentdynamik steuern die Stoffdynamik. Der Stoffaustausch zwischen frei fließendem Wasser und hyporheischem Interstitial wird durch die hydrodynamischen und sedimentologischen Bedingungen entscheidend mitbestimmt. Sohlschubspannungen, Durchlässigkeit und Struktur des Gewässerbetts sowie die Ankopplung des Grundwasserleiters steuern die diffusiven und advektiven Stoffströme.
6. Fließgewässer und Interstitial sind gekoppelte Bioreaktoren mit sehr unterschiedlichen Charakteristiken bezüglich Mischungsverhalten und Verweilzeit. In der Trennschicht können daher extrem hohe stoffspezifische Konzentrations-

gradienten auftreten. Das Interstitial fungiert als temporäre Senke und Quelle partikulärer Nähr- und Schadstoffe. Stoffumsatz und Stoffaustausch sind eng gekoppelt an die mikroskaligen Strömungsmuster und Sedimentbedingungen.

7. Die gewässerökologische Durchgängigkeit ist eine zentrale Forderung für wasserbauliche Maßnahmen. Ziel ist die Erhaltung der natürlichen Dynamik und Kontinuität des Gewässers bezüglich Fließgeschwindigkeit, Abflusstiefe und Feststoffführung.

Zusammenfassung

Es werden einige hydraulische Grundbegriffe turbulenter Strömungen in Fließgewässern erläutert. Mit der Kenntnis von Strömung und Abfluss können wichtige Transportphänomene beschrieben werden, beispielsweise der Transport gelöster und partikulärer Substanzen oder der Geschiebe- und Schwebstofftransport. Strömung und Abfluss sind die prägenden Faktoren für die Gewässermorphologie, die Ausbildung des Flussbettes und die Austauschprozesse zwischen Gewässer und Interstitial.

Abstract

Some fundamental hydraulic aspects of turbulent flow in open channels are presented. Knowing the flow and discharge characteristics transport phenomena such as dissolved or particulate matter, convective and dispersive transport as well as bedload and suspended load transport can be described. Flow characteristics and discharge regime have a dominant influence on channel morphology, river bed form and structure and exchange processes between channel and interstitial.

Literatur

WESTRICH, B. (1988):
Fluvialer Feststofftransport, Auswirkungen auf die Gewässermorphologie und Bedeutung für die Gewässergüte, Oldenbourg Verlag.

HASSINGER, R. (1991):
"Beitrag zur Hydraulik und Bemessung von Blocksteinrampen in flexibler Bauweise", Mitteilungsheft 74, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Westrich
Institut für Wasserbau
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61
D-70550 Stuttgart

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [4_1999](#)

Autor(en)/Author(s): Westrich Bernhard

Artikel/Article: [Grundzüge der Ökohydraulik von Fließgewässern 35-38](#)