

DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 526

Grundlagen morphodynamischer Phänomene
in Fließgewässern

August 2015



Deutscher Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.



DWA- Regelwerk

Merkblatt DWA-M 526

Grundlagen morphodynamischer Phänomene in Fließgewässern

August 2015



Herausgabe und Vertrieb:
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de · Internet: www.dwa.de

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland

Tel.: +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: info@dwa.de

Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Siebengebirgsdruck, Bad Honnef

ISBN:

978-3-88721-244-5

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

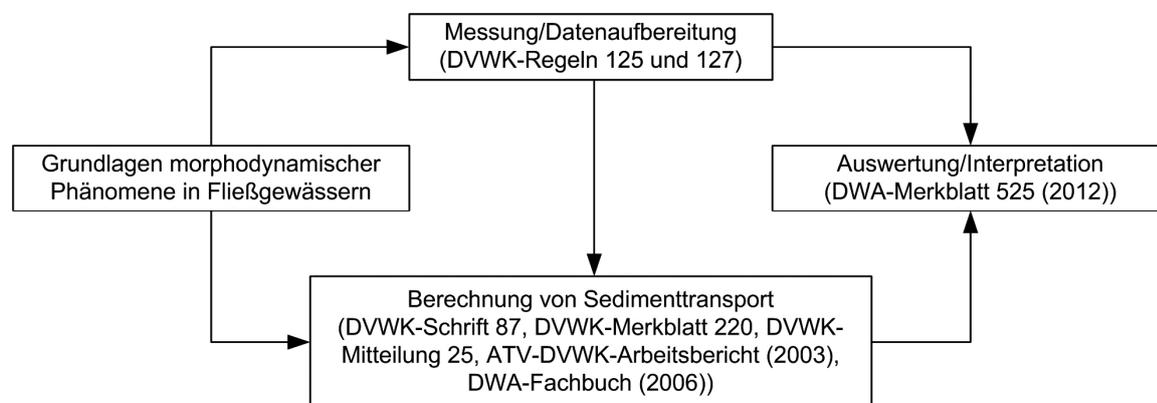
© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2015

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblattes darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Das vorliegende Merkblatt ist als mehrjähriges Arbeitsergebnis der DWA-Arbeitsgruppe WW-2.2 „Grundlagen“ im DWA-Fachausschuss WW-2 „Morphodynamik der Binnen- und Küstengewässer“ entstanden. Es beinhaltet die Beschreibung und Erläuterung der „natürlichen“ morphodynamischen Phänomene in Fließgewässern, die für das Prozessverständnis der Entstehung und des Zerfalls morphologischer Strukturen sowie des Sedimenttransports erforderlich sind. Zusätzlich wird als bauwerksbedingtes Phänomen die Bühnenfeldverlandung behandelt, da Bühnen den Flusslauf über lange Strecken festlegen und somit die Uferstruktur prägen. Die Beschreibungen und Erläuterungen konzentrieren sich auf die morphodynamischen Phänomene im Flussschlauch der Gewässer. Schiffsinduzierte Sohlen- und Uferbelastungen haben bei den hier betrachteten Gewässern in der Regel einen geringen Einfluss auf die Morphodynamik und wurden deshalb nicht betrachtet. Mit Ausnahme von Bühnen blieben auch die verkehrswasserbaulichen Aspekte von Fluss- und Stauregelungsmaßnahmen in ihrer Wechselwirkung zur Morphodynamik unbeachtet, um den Rahmen des Merkblattes nicht zu sprengen.

Das Verständnis der morphodynamischen Phänomene und der damit verbundenen Prozesse ist von grundlegender Bedeutung für die messtechnische Erfassung der relevanten Größen des Sedimenttransports in Fließgewässern sowie der anschließenden Datenaufbereitung und -auswertung. Letztere stellen die Grundlage für die Sedimentbewirtschaftung dar und sind Gegenstand des Merkblattes DWA-M 525 „Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele“ (2012). Die messtechnische Erfassung der Größen des Sedimenttransports ist Inhalt der DVWK-Regel 125 „Schwebstoffmessungen“ (1986) sowie der DVWK-Regel 127 „Geschiebemessungen“ (1992) und wird deshalb in diesem Merkblatt nicht behandelt. Die sedimentologische Größen stellen ihrerseits wiederum die Grundlage für die möglichst genaue Berechnung des Sedimenttransports dar. Die hierfür erforderlichen Formeln können den im Literaturverzeichnis aufgeführten Veröffentlichungen des DVWK und der DWA entnommen werden. Die Handhabung und Vernetzung der aufgeführten Fachliteratur mit dem vorliegenden Merkblatt ist im folgenden Bild schematisch dargestellt. Bei den Veröffentlichungen handelt es sich um die DVWK-Schrift 87 „Feststofftransport in Fließgewässern“, das Merkblatt DVWK-M 220 „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern“, das DVWK-Mitteilungsheft 25 „Hydraulisch-sedimentologische Berechnung naturnah gestalteter Fließgewässer“, den ATV-DVWK-Arbeitsbericht „Feststofftransportmodelle für Fließgewässer“ (2003) und das DWA-Fachbuch „Hydraulisch-sedimentologische Berechnungen naturnah gestalteter Fließgewässer – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis“ (2006).



Einordnung des vorliegenden Merkblattes in die bereits erschienenen Veröffentlichungen des DVWK und der DWA

Der Vorsitzende des DWA-Hauptausschusses „Wasserbau und Wasserkraft“ (HA WW) und Sprecher der DWA-Arbeitsgruppe WW-2.2 „Grundlagen“ bedankt sich bei den Mitgliedern seiner Arbeitsgruppe für die geleistete ehrenamtliche Arbeit, besonders bei Dipl.-Ing. Dr. Ursula Stephan für die redaktionelle und organisatorische Betreuung der Ausschussarbeit, und freut sich, das Merkblatt der Fachöffentlichkeit präsentieren zu können.

Garbsen, im Juli 2015

Ulrich Zanke
(Obmann des FA WW-2)

Braunschweig, im Juli 2015

Andreas Dittrich
(Sprecher der AG WW-2.1 und Vorsitzender des HA WW)

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA- Arbeitsgruppe WW-2.2 „Grundlagen“ im DWA-Fachausschuss WW-2 „Morphodynamik der Binnen- und Küstengewässer“ erstellt, der folgende Mitglieder angehören:

ABERLE, Jochen	Dr.-Ing., Norwegian University of Science and Technology Hydraulic and Environmental Engineering, Trondheim
DITTRICH, Andreas	Prof. Dr.-Ing. habil., TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau, Braunschweig (Sprecher)
FISCHER-ANTZE, Tim	Dipl.-Ing. Dr., Wald + Corbe GbR, Hügelsheim
GÖLZ, Emil	Prof. Dr. em., Koblenz (vormals Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz)
KOLL, Katinka	Dr.-Ing., TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau, Braunschweig
SCHINDLER, Manfred	Dr.-Ing., Dr. Blasy – Dr. Overland, Beratende Ingenieure GmbH & Co KG, Eching/Ammersee
STEPHAN, Ursula	Dipl.-Ing. Dr., Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Wien
WIRTZ, Carsten	Dr., terra4 Gesellschaft für Geosystemanalyse mbH, Berlin
ZANKE, Ulrich	Prof. Dr.-Ing. habil. em., Garbsen, Technische Universität Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, FG Wasserbau, Darmstadt
ZARN, Benno	Dipl. Bau-Ing. ETH, Dr., Hunziker, Zarn & Partner AG, Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau, Domat/Ems

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
----------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Benutzerhinweis	8
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	12
2 Begriffe	12
3 Sedimente und ihre Eigenschaften	15
3.1 Allgemeines	15
3.2 Korngröße	15
3.2.1 Vorbemerkungen	15
3.2.2 Korngrößenverteilung	15
3.2.3 Korngrößenabnahme	17
3.3 Kornform	18
3.4 Petrografie	18
3.5 Kohäsives Sediment	19
4 Morphologische Strukturen	21
4.1 Allgemeines	21
4.2 Laufformen	21
4.3 Uferstrukturen	26
4.3.1 Ufertypen	26
4.3.2 Rehnen	32
4.3.3 Bühnenfeldverlandungen	33
4.4 Bankformen	37
4.5 Sohlenstrukturen	41
4.5.1 Quasi-statische Sohlenstrukturen	41
4.5.2 Mobile Sohlenstrukturen	44
4.6 Kolke	51
4.6.1 Natürliche Kolke	51
4.6.2 Sohlendurchschlag	52
5 Wechselwirkung mit der Strömung	55
5.1 Allgemeines	55
5.2 Rauheit und Fließwiderstand	55
5.2.1 Allgemeines	55
5.2.2 Widerstandsbeiwerte	55
5.2.3 Strömung und Rauheitswirkung	56
5.3 Sekundärströmung	58
5.4 Sortierung und Abrieb	59
5.5 Kolmation	62
Quellen und Literaturhinweise	63

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Hierarchische Gliederung von Flussökosystemen	9
Bild 2:	Systemebenen in einem hierarchisch aufgebauten Raum-Zeit-Modell der morphologischen Gewässerentwicklung	10
Bild 3:	Flussbettbildung im Ober-, Mittel- und Unterlauf.....	10
Bild 4:	Definitionen von Mikro-, Meso- und Makrostrukturen in Fließgewässern	11
Bild 5:	Kornsummenlinien eines Gefrierkerns aus der Elbsohle	16
Bild 6:	Korngrößenabnahme an der Elbsohle zwischen der tschechisch-deutschen Grenze und Geesthacht	17
Bild 7:	Korngrößenband der Elbsohle zwischen der tschechisch-deutschen Grenze und Geesthacht	18
Bild 8:	Petrografische Längsschnitte der Rheinsohle zwischen Rhein-km 200 und der Mündung der Ruhr	19
Bild 9:	Interaktion der sedimentologischen, physikalischen und biologischen Faktoren kohäsiver Sedimente EPS: Extrazelluläre Polymerische Substanzen.....	20
Bild 10:	Grundriss und Querschnitt von a) gestreckten (geraden) Gerinnen, b) Mäandergerinnen, c) verzweigten Flüssen und d) alternierenden Bänken. a), b) und c) sind Hauptformen, d) ist eine Übergangsform.....	21
Bild 11:	Einfluss der Bettbreite auf die Laufformen am Alpenrhein. Oben links: gestrecktes Gerinne, oben rechts: alternierende Bänke, unten links: abgeschnittener Mäander, unten rechts: verzweigte Mastrilser Rheinauen	22
Bild 12:	Die Beschreibung von Mäandergerinne oder alternierenden Bänken basiert auf der Wellenlänge	23
Bild 13:	Laufformen sind abhängig von Verhältniszahlen und nicht von absoluten Werten A: Ausschnitt der Landquart in Serneus außerhalb des ursprünglichen Bachlaufs im Überflutungsgebiet nach dem Hochwasser vom August 2005 B: Welschtobel in Arosa im Oktober 2001 C: Waimakariri River bei Christchurch am 27. Mai 2000 bei 73 m ³ /s	23
Bild 14:	Abgrenzungskriterien nach DA SILVA (1991) mit Modifikation nach ZARN (1997).....	24
Bild 15:	Einfluss der Flussbettbreite auf die Geschiebetransportkapazität bei konstantem Gefälle	25
Bild 16:	Laufverlagerung an der Isar in München durch das Auguthochwasser 2005.....	27
Bild 17:	Ufertypen in Abhängigkeit vom Ufermaterial	27
Bild 18:	Böschungsbruch	28
Bild 19:	Dynamischer Sohlenbereich	29
Bild 20:	Breitendefinitionen	30
Bild 21:	Breitendefinition in gleichbleibender, definierter Höhenlage	30
Bild 22:	Breitendefinition mithilfe eines äquivalenten Abflussrechtecks	30
Bild 23:	Lokaler Ufer- und Sohlenangriff und deren Abhängigkeit von der Hydrologie	31
Bild 24:	Uferentwicklung an der Wertach/Bayern	31
Bild 25:	Ausbildung einer Uferrehne an der Enz bei Pforzheim	32
Bild 26:	Querschnittsaufnahmen an der Salzach (km 45,4) – Entwicklung einer Uferrehne	33
Bild 27:	Buhnenfelder der unteren Mittelbe bei Elbe-km 441	34
Bild 28:	Schema der Strömungsverhältnisse sowie von Erosion und Sedimentation in einem Buhnenfeld bei nicht überströmten Buhnen	35
Bild 29:	Buhnentypen.....	35
Bild 30:	Buhnenfeld bei Elbe-km 441 an der Unteren Mittelbe bei Niedrigwasser mit Verlandungsflächen und Pioniervegetation	36
Bild 31:	Tiefenlinien in zwei Buhnenfeldern der mittleren Unterelbe; der Wasserstand zum Zeitpunkt der Aufnahme ist als weiße Linie und der Abstand der Buhnenköpfe sowie die Buhnenlängen sind als Doppelpfeile gekennzeichnet	36
Bild 32:	Typische Bankformen.....	37
Bild 33:	Typische Inselformen	38
Bild 34:	Talwegentwicklung an der österreichischen Donau östlich von Wien.....	40
Bild 35:	Alternierende Bänke.....	40

Bild 36:	Bankabmessungen	40
Bild 37:	Prinzipskizze und aufgenommene Deckschicht der Rheinsohle	42
Bild 38:	a) Sieblinien des Unterschichtmaterials A_x und der Deckschicht im stabilen Zwischenzustand Z_x sowie der maximalen Deckschicht D_x der Elbe bei Wittenberg/Lutherstadt b) Häufigkeitsverteilungen von A_x , Z_x und D_x	42
Bild 39:	Cluster	42
Bild 40:	Ringstrukturen	43
Bild 41:	Riffle-Pool-System	43
Bild 42:	Step-Pool-System	44
Bild 43:	Definitionen von Absturzhöhe und Wellen- bzw. Beckenlänge	44
Bild 44:	Zur Wassertiefenabhängigkeit von Riffeln und Dünen	45
Bild 45:	3D-Dünenfeld in einem Rinnenversuch an der Bundesanstalt für Wasserwesen (BAW)	46
Bild 46:	Auftrittsbedingungen von Riffeln und Dünen in Gewässern für Froude-Zahlen $Fr < 0,65$	46
Bild 47:	Riffel auf Dünen	46
Bild 48:	Bettformtypen in alluvialen Gewässern	47
Bild 49:	Dünen und Antidünen und zugehörige Wasserspiegelauslenkung	48
Bild 50:	Gipsmodell eines Barchans. Der Pfeil zeigt die Wanderrichtung an	48
Bild 51:	Beispiel zur Regeneration von Sanddünen in der Unterelbe nach einer Baggerung	49
Bild 52:	Hysterese für das unterkritische Abflussregime	50
Bild 53:	Kornsortierung bei Dünen	50
Bild 54:	Grenzen der Entwicklung von statischen Deckschichten (<i>Armor</i>) und mobilen Deckschichten (<i>Pavement</i>)	51
Bild 55:	Schematische Darstellung von Kolken	52
Bild 56:	Fehlende Kiesüberdeckung über erosionsempfindlichen Schichten als Ursache von Sohlendurchschlag ..	52
Bild 57:	Selbststabilisierung von lokalen Kolken oder progressives Aufrollen der Kiesauflage	54
Bild 58:	Sohlendurchschlag mit Rinnenbildung an der Salzach (1969)	54
Bild 59:	Mögliche Strömungsarten über rauen Sohlen nach MORRIS (1955)	57
Bild 60:	Definitionsskizze des Rauheitsdichtekoeffizienten	57
Bild 61:	Der Widerstandsbeiwert λ als Funktion der relativen Überdeckung h/k und der Rauheitsdichte c_k	58
Bild 62:	Skizzenhafte Darstellung der Strömungssituation sowie der Erosions- und Anlandungszonen in Flusskrümmungen	58
Bild 63:	Flusskrümmungen mit Kolken	59
Bild 64:	Exposure/Hiding-Effekt	60
Bild 65:	Vergrößerung der Sohlenoberfläche als Funktion der auf die Unterschicht bezogenen dimensionslosen Schubspannung	61
Bild 66:	Sedimentsortierung bei Wanderung von Transportkörpern	62
Bild 67:	Kolmationstypen. A: Innere Kolmation; B: Deckschichtkolmation; C: Äußere Kolmation	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Korngrößenfraktionen nach DIN EN ISO 14688-1:2013	16
Tabelle 2:	Verknüpfung zwischen den Widerstandsbeiwerten λ , k_{st} und C	56

Benutzerhinweis

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Einleitung

Lokale Eingriffe oder großräumige Umgestaltungsmaßnahmen an Flussläufen haben häufig weitreichende Auswirkungen auf das dynamische Gleichgewicht und auf die Gewässermorphologie. Die Planung und Umsetzung von Maßnahmen, insbesondere im Hinblick auf die Erreichung des guten ökologischen und der Aufwertung des morphologischen Zustands bis zum Jahr 2015 (EG-Wasserrahmenrichtlinie), setzen deshalb grundlegende Kenntnisse über die in den Gewässern zu beobachtenden morphodynamischen Phänomene und die damit verbundenen Prozesse voraus.

Die Gewässermorphologie steht mit der Strömung in komplexer Wechselwirkung. Eine hinreichend große Strömungsbelastung führt an der Gewässersohle zur Umlagerung des dort vorhandenen Materials und damit verbunden zur Ausbildung von morphologischen Strukturen, welche wesentlicher Bestandteil der nachfolgend aufgeführten morphodynamischen Phänomene sind. In Abhängigkeit vom betrachteten Naturraum bilden sich verschiedenste solcher Strukturen aus. Je nach Randbedingung (z. B. Gefälle, Korngrößenspektrum, Kornmaterial etc.) können sogenannte Step-Pool-Systeme, Deckschichten oder Transportkörper auftreten und die zugehörigen Laufformen reichen von Verzweigungen bis zu Mäandern. Die Größenordnung dieser morphologischen Strukturen reicht hierbei von zentimetergroßen Riffeln bis zu meterlangen Dünen, hundertmeterlangen Bänken und kilometerlangen Mäandern. Die hiermit nicht selten verbundenen langfristigen Eintiefungen und Anlandungen werden nicht betrachtet.

Unter dem Begriff „Phänomen“ wird das Ergebnis aus einzelnen Prozessen verstanden. Neben der verbalen Beschreibung der Phänomene werden auch die dafür erforderlichen Parameter aufgeführt. Auf Formeln wird dagegen verzichtet.

Zahlreiche morphodynamische Phänomene werden in signifikanter Weise durch die aufkommende oder vorhandene Vegetation beeinflusst bzw. geprägt. Hierzu zählen u. a. die Rehen- und Inselbildung. Der Vegetationseinfluss wird in denjenigen Abschnitten aufgezeigt und erläutert, in denen er für die Morphodynamik der Fließgewässer von Bedeutung ist.

Die Erfassung und Beschreibung morphodynamischer Phänomene in Fließgewässern erfordern die Berücksichtigung der relevanten Maßstabebene, d. h. der zeitlichen und räumlichen Auflösung der zugrunde liegenden Prozesse. Dabei bemisst sich die Dauerhaftigkeit in Wochen und Monaten bis hin zu Jahrhunderten und die räumlichen Ausmaße reichen, wie bereits erwähnt, von wenigen Zentimetern bis zu vielen Kilometern.

Die Festlegung der Skalenhierarchie ist nicht einheitlich, sondern hängt von der Fragestellung sowie von der Ausdehnung des zu untersuchenden Fließgewässers ab. Auf kontinentaler bis regionaler Ebene beeinflussen geologische Randbedingungen die Entstehung von Landformen und typischen Gewässernetzen, die wiederum Einfluss auf die Phänomene kleinerer Maßstabebenen haben. Der geomorphologische Klassifizierungsansatz von FRISSELL et al. (1986) unterscheidet fünf Raumeinheiten (Bild 1).

Die räumliche Ausdehnung des Einzugsgebiets (Lage und Größe ab 1000 m) bestimmt den Abfluss, Fließgeschwindigkeiten, Sedimenttransport und die Laufentwicklung. Das Flusssystem und der Flussabschnitt mit Ausdehnungen von 100 m bzw. 10 m schließen sich an und werden darüber hinaus durch ihre Lage im Ober-, Mittel- oder Unterlauf geprägt. Die nächste Ebene stellen ortsbezogene Strukturen wie Kolke und Furten dar, welche durch die Randbedingungen der höheren Ebene, beispielsweise dem Vorhandensein von Totholz oder den Substraten, beeinflusst sind. Mikrohabitate, wie spezifi-