

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 543-3

Geodaten in der Fließgewässermodellierung –
Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele

Februar 2019



DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 543-3

Geodaten in der Fließgewässermodellierung –
Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele

Februar 2019



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

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
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:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-88721-752-5 (Print)

978-3-88721-753-2 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2019

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts 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

Numerische Modelle zur Simulation von Strömungsvorgängen in Fließgewässern werden seit mehreren Jahrzehnten als Analyse- und Prognosewerkzeug in nahezu allen Bereichen des Wasserbaus und der Wasserwirtschaft eingesetzt. Aufgrund begrenzter Rechnerleistungen war die computergestützte Abbildung hydraulischer Prozesse dabei zunächst nur näherungsweise mittels starker Vereinfachungen in den physikalischen Grundgleichungen möglich. Mittlerweile lassen sich jedoch auch aufwendige mehrdimensionale Modellsysteme mit hoher Auflösung und Genauigkeit auf handelsüblichen Computern effizient einsetzen.

Neben der fachlich fundierten Auswahl und Handhabung von Modellierungsmethodik und Simulationssoftware hängt die Qualität einer hydraulischen Untersuchung maßgeblich von der adäquaten Abbildung der topographischen bzw. geometrischen Randbedingungen der zu modellierenden Gewässerstrecke ab. Hier treffen nun zwei Fachdisziplinen aufeinander: auf der einen Seite der Geodät bzw. Geoinformatiker, der mit der Erfassung und Bereitstellung der geometrischen Eingangsgrößen beauftragt wurde – auf der anderen Seite der Hydrauliker, der die Daten zur Erstellung seiner Modellgeometrie nutzen möchte und letztendlich den Anforderungen des Auftragsgebers an die Genauigkeit der Modellierungsergebnisse gerecht werden muss.

Fast schon sprichwörtlich ist in Fachkreisen die Antwort des Hydraulikers auf die Frage des Geodäten nach der geforderten Genauigkeit der Vermessung *„Naja, so genau wie möglich eben!“*, welche wohl kaum zur Klärung der vermessungstechnischen Aufgabenstellung beitragen kann. Die Antwort auf diese durchaus berechtigte (und notwendige) Frage ist jedoch alles andere als trivial. So geht es bei der Bestimmung der für eine Modellierung benötigten Datenbasis nicht nur um die Festlegung der tolerierbaren Messunsicherheiten einzelner Vermessungspunkte sondern vor allem auch um die differenzierte Vorgabe, welche Oberflächenstrukturen aus hydraulischer Sicht überhaupt erfasst werden müssen und welche räumliche Auflösung zu wählen ist. Hierbei sind nicht zuletzt zeitliche und ökonomische Zwänge, aber auch Fragen der technischen Machbarkeit sowohl in Bezug auf die Datenerhebung als auch die hydraulische Modellierung zu berücksichtigen und fachgebietsübergreifend zielführende Lösungen zu finden.

Aufgrund der engen Verknüpfung sowie gegenseitiger Abhängigkeiten zwischen der Strömungsmodellierung und der ihr zugrunde liegenden Geodatenbasis ist ein Dialog bzw. Informations- und Wissensaustausch zwischen den beiden Fachdisziplinen Gewässerhydraulik und Vermessungstechnik für die Qualitätssicherung sowohl in Bezug auf die Geländemodellierung als auch die hydraulischen Berechnungsergebnisse von grundlegender Bedeutung.

Die Merkblattreihe DWA-M 543 richtet sich daher gleichermaßen an Geodäten bzw. Geoinformatiker sowie Hydrauliker, um beiden Seiten zu einem vertieften Einblick in die Anforderungen und Möglichkeiten der Fließgewässermodellierung sowie die dazu benötigte Datenbasis zu verhelfen. Darüber hinaus bietet die Schrift aber auch Hilfestellungen für Fachleute aus allen anderen Disziplinen, die fließgewässerbezogene Geodaten und/oder hydraulische Modellierungsergebnisse für ihre weiterführenden Expertisen bzw. Entscheidungsfindungen nutzen und mehr Sicherheit in der eigenen Bewertung der Genauigkeit und Aussagekraft topographischer Informationen und darauf aufbauender Strömungssimulationen gewinnen möchten. Nicht zuletzt ist die Auseinandersetzung mit den Methoden der Datenerfassung und Modellierungstechnik aber auch für die Verantwortlichen in Behörden und Unternehmen bedeutsam, um Auftragsvergaben fachlich und ökonomisch abzusichern und ein fundiertes Qualitätsmanagement gewährleisten zu können.

Das Merkblatt wird in folgenden drei Teilen veröffentlicht:

- Teil 1: Grundlagen und Verfahren (Merkblatt DWA-M 543-1)
- Teil 2: Bedarfsgerechte Datenerfassung und -aufbereitung (Merkblatt DWA-M 543-2)
- Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele (Merkblatt DWA-M 543-3)

Im ersten Teil werden die grundlegenden fachspezifischen Terminologien erläutert und eine Übersicht in Bezug auf Verfahren der Strömungsmodellierung sowie Vermessungsmethoden zur Erhebung fließgewässerbezogener Geodaten gegeben. Der zweite Teil des Merkblatts liefert konkrete Handlungsempfehlungen zur Erfassung und Aufbereitung der Geodatenbasis in Abhängigkeit der einer Modelluntersuchung zugrunde liegenden Anforderungen. Im vorliegenden Teil 3 werden nun fortführende Arbeitsschritte zur Erstellung und Gütesicherung des Strömungsmodells behandelt und der im Rahmen des Merkblatts behandelte Themenkomplex wird anhand ausgewählter Praxisbeispiele illustriert.

Angesichts aktueller Innovationen im Bereich der Fernerkundung sowie des kontinuierlichen Ausbaus moderner und standardisierter Geodienste sind in den kommenden Jahren weitere Fortschritte hinsichtlich der Verfügbarkeit regelmäßig aktualisierter und hochaufgelöster Fließgewässerdaten sowie deren Integration in Fließgewässermodelle zu erwarten. Dem fachlichen Austausch zwischen den involvierten Fachdisziplinen und der Weiterentwicklung effizienter Daten- bzw. Modellschnittstellen wird auch zukünftig eine wesentliche Aufgabe zukommen. Die Verfasser hoffen, mit dem vorliegenden Merkblatt hierzu einen Beitrag leisten zu können.

Karlsruhe, im Dezember 2018

Peter Oberle
(Sprecher der AG WW-3.2)

Ettlingen, im Dezember 2018

Andreas Dittrich
(Obmann des FA WW-3)

In diesem Arbeitsblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird im Hinblick auf einen gut verständlichen und lesefreundlichen Text verallgemeinernd die männliche Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-3.2 „Mehrdimensionale numerische Modelle“ im DWA-Fachausschuss WW-3 „Hydraulik“ des DWA-Hauptausschusses „Wasserbau und Wasserkraft“ (HA WW) erstellt. An der Erarbeitung dieses Merkblatts haben nachfolgende Personen mitgewirkt:

OBERLE, Peter	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe (Sprecher)
BERNREUTHER, Andreas	Dipl.-Ing., Wald+CORBE Consulting GmbH, Hügelsheim
HE, Yingping	Dr.-Ing., Rehm Software GmbH, Berg/Ravensburg
KOWALSKI, Reinhard	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro valitec® simulations, Aachen
MANDLBURGER, Gottfried	Dipl.-Ing. Dr. techn., Department für Geodäsie und Geoinformation (E 120.7), Technische Universität Wien, Wien
MUSALL, Mark	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
SCHRÖDER, Paul Michael	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
VÖGTLE, Thomas	Dr.-Ing., Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
WEIDNER, Uwe	Dr.-Ing., Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

Als Gäste haben mitgewirkt:

BROCKMANN, Herbert	Dipl.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
BRUDY-ZIPPELIUS, Thomas	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
CZERNY, Rebekka	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
RIESTERER, Jochen	Dipl.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
TRENKLE, Jürgen	Dipl.-Ing., Ingenieurteam Trenkle GmbH, Karlsruhe
VETSCH, David Florian	Dr. sc., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
WENKA, Thomas	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	5
Inhalt	6
Bilderverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Hinweis für die Benutzung	9
1 Anwendungsbereich	9
2 Begriffe	10
2.1 Definitionen	10
2.2 Abkürzungen	10
3 Aspekte der Strömungsmodellierung	11
3.1 Allgemeines	11
3.2 Erstellung zweidimensionaler Strömungsmodelle	12
3.2.1 Berechnungsgitter	12
3.2.2 Allgemeine Anforderungen an Berechnungsgitter	14
3.2.3 Zuweisung von Parametern	17
3.2.4 Randbedingungen	17
3.2.5 Anfangsbedingungen	18
3.3 Modellkalibrierung und Sensitivitätsanalysen	18
3.4 Qualitätsaspekte	19
3.4.1 Vorbemerkungen	19
3.4.2 Anforderungen an die Modellierung	19
3.4.3 Fehlerquellen	20
3.4.4 Qualitätssicherung	21
3.4.5 Modellgenauigkeit	21
3.5 Checkliste HN-Modellierung	22
4 Fallbeispiele	24
4.1 Anmerkung	24
4.2 Fallbeispiel I – Hydrografische Vermessung mit Fächerecholot	24
4.3 Fallbeispiel II – DGM-W Niederrhein	27
4.4 Fallbeispiel III – Hochwasseranalyse an einem größeren Fließgewässer	31
4.5 Fallbeispiel IV – Hochwasseranalyse an einem kleineren Fließgewässer	34
4.6 Fallbeispiel V – Dokumentation von hochwasserbedingten Veränderungen an einem naturnahen Flusslauf mittels Laserbathymetrie	37
4.7 Fallbeispiel VI – Detailanalyse an einem kleinen, strukturreichen Fließgewässer	40
Quellen und Literaturhinweise	43

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Prinzipieller Zusammenhang von Berechnungszeit, Anzahl an Berechnungsstellen und Modellfehler.....	13
Bild 2:	Buhnenmodell mit und ohne Zwangskante auf dem Buhnenrücken	14
Bild 3:	Güteanforderungen an Elementformen	15
Bild 4:	Netzknoten mit 6 bzw. 10 angrenzenden Nachbarelementen.....	15
Bild 5:	Ersatzdarstellung für senkrechte Wände innerhalb des Modellgebiets	15
Bild 6:	Prinzipiskizze zur Parameterzuweisung.....	17
Bild 7:	Übersicht des Untersuchungsgebiets	24
Bild 8:	Messboot (links) und Messkopf (rechts).....	25
Bild 9:	Bildschirmaufzeichnung während der Messfahrt.....	26
Bild 10:	3D-Ansicht der Fächerecholotaufnahmen im Zulaufbereich des Kraftwerks (a), Ausschnitt aus der Systemgeometrie des 3D-HN-Modells (b); exemplarische Darstellung berechneter Fließgeschwindigkeiten (m/s) im Kraftwerkszulauf (c)	27
Bild 11:	Verfügbare Höhendaten und deren Verteilung	28
Bild 12:	Datenprüfung, farbkodierte Höhendifferenzen (oben) in überlappend aufgenommenen Bereichen und deren statistische Auswertung (unten); (a) Fahrrinne/Bereich Rheinbrücke, (b) Anschluss Fahrrinne/Ufer, (c) Anschluss ALS/Peildaten	29
Bild 13:	Automatisch abgeleitete Uferliniensegmente (grün) und finale Wasser-Land-Grenzlinie (halb-transparentes, blaues Polygon); Bildhintergrund: Digitales Orthobild und Gebäudepolygone (rot)	30
Bild 14:	Digitales Wasserlauf-Geländemodell Niederrhein Uerdingen/Krefeld.	31
Bild 15:	Wesentliche topographische und hydraulische Einflussfaktoren (links) sowie Einteilung des Untersuchungsgebiets nach Strukturbereichen und dortige Genauigkeitsanforderungen (rechts)	32
Bild 16:	Simulierte Uferüberströmung und qualitative Validierung bei Hochwasser vor Ort	34
Bild 17:	Geplante Hochwasserschutzmaßnahmen im Bereich Sennfeld	35
Bild 18:	Digitales Geländemodell im Ist- und Plan-Zustand.....	36
Bild 19:	Erzeugung des Berechnungsnetzes auf Grundlage vorgegebener Polylinien	36
Bild 20:	(a) Übersichtskarte, (b) Untersuchungsgebiet Pielach/Neubacher Au), (c+d) Fotos der Flussmäander; aufgenommen am Befliegungstag 25. Mai 2013.....	37
Bild 21:	Laserpunktwolke eingefärbt nach Reflektivität (rot=hoch, blau=niedrig).	38
Bild 22:	Wasseroberflächenmodell als Grundlage für die Refraktionskorrektur von ALB-Punkt看ken; links: Manuelle Festlegung der Wasserspiegellage im Querprofil; rechts: Höhenkodierte Darstellung des interpolierten Wasseroberflächenmodells.....	39
Bild 23:	Auswirkung des HQ _i auf den in Bild 21 ausgewiesenen Querschnitt	39
Bild 24:	Ergebnisse DGM-W-Analysen, (a) Wassertiefen, April; (b) Punktdichte, April; (c) Höhendifferenzen, Oktober minus April; (d) Habitatklassen (hydro-morphologische Einheiten).....	40
Bild 25:	Untersuchungsgebiet: Luftbild der naturnahen FAA am Hochrhein	41
Bild 26:	Links: 3D-Punkt看ke und Foto eines Querriegels; rechts: topographisches Modell mit Kennzeichnung der Ränder für die Strömungssimulation	42
Bild 27:	Beobachtetes und simuliertes (LES) Strömungsbild in einem exemplarischen Becken der Fischaufstiegsanlage	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl möglicher zweidimensionaler Berechnungsgittertypen	12
Tabelle 2: Strukturbereiche, Genauigkeitsanforderungen und dazugehörige Geodatengrundlagen	32

Hinweis für die Benutzung

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 ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person steht die Anwendung des Merkblatts 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.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

1 Anwendungsbereich

Das dreiteilige Merkblatt DWA-M 543 gibt einen praxisbezogenen Überblick über Methoden der Erfassung und Weiterverarbeitung fließgewässerrelevanter Geodaten als Grundlage für die Erstellung numerischer Strömungsmodelle im Kontext wasserwirtschaftlicher Themenfelder wie Hochwasserschutz, Gewässerökologie, Wasserkraft und Verkehrswasserbau. Behandelt werden sowohl naturähnliche als auch anthropogen stark veränderte Fließgewässer unterschiedlichster Größe und morphologischer Ausprägung einschließlich ihrer Uferbereiche, Vorlandflächen und Bauwerke.

In Teil 1 und Teil 2 des Merkblatts DWA-M 543 werden die grundlegenden Methoden der ein- und mehrdimensionalen Strömungsmodellierung und Erfassung geeigneter Geobasisdaten erläutert sowie konkrete Handlungsempfehlungen zur Datenerhebung und -aufbereitung gegeben.

Der vorliegende Teil 3 greift zunächst nochmals Aspekte der hydraulischen Modellierung auf (Abschnitt 3) und beschreibt u.a. die fortführenden Arbeitsschritte zur Erstellung des Berechnungsgitters zur Strömungssimulation sowie zur Gütesicherung der Berechnungsergebnisse. Aufgrund der in der Ingenieurspraxis weiten Verbreitung und der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten konzentrieren sich die Ausführungen zur Modellerstellung hierbei im Wesentlichen auf zweidimensionale Strömungsmodelle. Die weiterführenden Hinweise zu Modellkalibrierung und Qualitätsaspekten sowie die „Checkliste“ gelten jedoch prinzipiell auch für Anwendungen mit ein- oder dreidimensionalen Verfahren bzw. gekoppelte Modellierungsmethoden.

Abschließend wird in Abschnitt 4 „Fallbeispiele“ der im Rahmen des Merkblatts behandelte Themenkomplex anhand praxisbezogener Anwendungsfälle in Bezug auf unterschiedliche Fließgewässertypen und Fragestellungen illustriert. Die Projektbeispiele behandeln aus bereits genannten Gründen schwerpunktmäßig wiederum Anwendungsfälle mit zweidimensionalen Strömungsmodellen als „State-of-the-Art“. Zudem werden Untersuchungen unter Einsatz innovativer Aufnahme- bzw. Modellierungsmethoden vorgestellt.